SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

ADRIJANA AGATIĆ

MODEL TRANZICIJE TERETNIH MORSKIH LUKA U PAMETNE LUKE

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

ADRIJANA AGATIĆ

MODEL TRANZICIJE TERETNIH MORSKIH LUKA U PAMETNE LUKE

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Edvard Tijan

Komentor: izv. prof. dr. sc. Saša Aksentijević

Rijeka, rujan 2024.

UNIVERSITY OF RIJEKA

FACULTY OF MARITIME STUDIES

ADRIJANA AGATIĆ

TRANSITION MODEL OF CARGO SEAPORTS INTO SMART PORTS

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2024

Mentor rada: dr. sc. Edvard Tijan, redoviti profesor

Komentor rada: dr. sc. Saša Aksentijević, izvanredni profesor

Doktorski rad obranjen je 24. rujna 2024. godine na Pomorskom fakultetu u Rijeci, pred Povjerenstvom za obranu u sastavu:

1. dr. sc. Neven Grubišić, redoviti profesor, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, predsjednik

2. dr. sc. Dražen Žgaljić, docent, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, član

3. dr. sc. Andreja Pucihar, redovita profesorica, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, članica.

PREDGOVOR

Mali maraton zvan *Doktorski rad* za mene je bilo neprocjenjivo iskustvo, profesionalno i osobno. Koliko god da je bilo teško u nekim trenutcima, sve je bilo baš kako je trebalo biti i cijenim svaki trenutak.

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Edvardu Tijanu i komentoru izv. prof. dr. sc. Saši Aksentijeviću, na svim savjetima i sugestijama pri izradi doktorskog rada. Zahvaljujem Vam na strpljenju, razumijevanju, utrošenom vremenu i dinamičnoj komunikaciji brzine "nulte latencije" čime ste mi uvelike pomogli u izradi doktorskog rada. Hvala Vam što ste i pored Vaše formalne uloge, razgovarali u prijateljskom tonu, čineći mi pisanje doktorskog rada lakšim. Naš brod (doktorski rad) sretno je uplovio u luku. S ponosom kažem da ste mi upravo Vi mentor i komentor.

Zahvaljujem članovima Povjerenstva, koji su me u okviru svojih dužnosti pratili na putu obrane teme te obrane doktorskog rada.

Zahvaljujem direktorima lučkih poduzeća, voditeljima odjela te ostalim zaposlenicima na susretljivosti u prikupljanju podataka.

Zahvaljujem g. Guidu Piccoliu, g. Andrei Ballarinu, g. Alainu Gohomeneu, g. Karimu Coluiablyu, g. Daliboru Peleviću na susretljivosti i pomoći u prikupljanju inozemnih podataka. Zahvaljujem dr. sc. Mariji Jović iz Institute of Shipping Economics and Logistics, Bremen, na suradljivosti i pomoći u prikupljaju inozemnih podataka. Zahvaljujem doc. dr. sc. Luki Vukiću s Pomorskog fakulteta u Splitu, na kolegijalnosti i pomoći u prikupljanju podataka. Zahvaljujem gđi Dragici Franulović i gđi Nini Kokorović iz Luka Rijeka d.d. na pomoći u provedbi istraživanja.

Svim prijateljima i kolegama hvala na toploj ljudskoj riječi, savjetu, gesti, pomoći.

Najveću i posebnu zahvalnost upućujem svojoj majci Anici. Mama, nikad ti neću moći dovoljno zahvaliti na svoj tvojoj požrtvovnosti za mene. Hvala ti što si me od malih nogu dosljedno učila o važnosti znanja i obrazovanja te radnih navika. Hvala ti što si me na svom primjeru učila da nikad ne odustajem i da imam svoj cilj ispred sebe. Najdraža mama, tebi od srca posvećujem doktorski rad.

Sve mogu u Onome koji me jača. (Fil 4,13)

SAŽETAK

Tranzicija teretnih morskih luka u *pametne luke* moguća je samo ukoliko su luke visoke razine *digitalne zrelosti*. Postizanje visoke razine *digitalne zrelosti* teretnih morskih luka i tranzicija u *pametne luke* ostvaruje se primjenom digitalnih tehnologija i sustava. Proces tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* je postupan, s obzirom da se nove digitalne tehnologije i sustavi ne primjenjuju odjednom u lukama. Iako je koncept *pametna luka* praktično potvrđen kroz primjere vodećih svjetskih luka, još uvijek nije primijenjen u većini teretnih morskih luka.

U doktorskom radu detaljno su istražene i analizirane *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* koje se koriste u teretnim morskim lukama. Detaljno je elaboriran koncept *pametna luka* te su analizirani relevantni primjeri teretnih morskih luka uspješnih u primjeni digitalnih tehnologija i sustava i tranziciji u *pametnu luku*. Identificirani su kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke.* Analizirani kriteriji definirani su sukladno *TOE okviru*.

U radu je primijenjeno više *Metoda višekriterijskog odlučivanja* te *Deskriptivna statistička analiza* i *Multivarijatna statistička analiza*, a u istraživanje su involvirani stručnjaci iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama.

Primjenom *DEX metode* višekriterijskog odlučivanja, na primjerima luka (Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena) analizirana je *digitalna zrelost* luka, kao prvi korak u izradi modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija.

Primjenom *Deskriptivne statističke analize* i *Multivarijatne statističke analize − metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje*, interpretirani su rezultati istraživanja provedenog ispitivanjem mišljenja stručnjaka iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Provedenim istraživanjem utvrđeno je koje *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* te *Disruptivne digitalne tehnologije* stručnjaci smatraju najvažnijima za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* te koje kriterije stručnjaci smatraju najvažnijim za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Temeljem rezultata istraživanja značaja digitalnih tehnologija i sustava za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* izrađen je model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija. Identificirana su tri scenarija: *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*, *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* i *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Sukladno istraženim i analiziranim digitalnim tehnologijama i sustavima te kriterijima za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, primjenom *AHP metode* višekriterijskog odlučivanja provedena je evaluacija, odnosno odabir scenarija tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku,* na primjeru luke Rijeka koja je odabrana zbog dostupnosti podataka. Evaluacija scenarija tranzicije rezultirala je

odabirom scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku: Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*.

Provedenim istraživanjem u doktorskom radu dokazane su glavna hipoteza i pomoćne hipoteze.

Ključne riječi: teretne morske luke, digitalne tehnologije i sustavi, *pametne luke*, višekriterijsko odlučivanje, tranzicija u *pametnu luku*.

SUMMARY

The transition of cargo seaports into smart ports is only possible if ports have a high level of digital maturity. A high level of digital maturity of cargo seaports and the transition of seaports into smart ports is achieved by applying digital technologies and systems. The process of transition of cargo seaports into smart ports is gradual, given that new digital technologies and systems are not applied in ports all at once. Although the concept of a smart port has been confirmed in practice based on the examples of the world's leading ports, it has not yet been applied in the most cargo seaports.

An in-depth study and analysis of traditional digital technologies and systems, as well as disruptive digital technologies used in cargo seaports, was conducted in this doctoral thesis. The concept of a smart port was elaborated in detail, and relevant examples of cargo seaports that have successfully applied digital technologies and systems and made the transition to a smart port were analyzed. The criteria for evaluating the scenario of the transition of cargo seaports to smart ports were identified. The analyzed criteria were defined according to the TOE framework.

Several Multi-criteria decision-making methods and Descriptive statistical analysis as well as Multivariate statistical analysis were applied in the work, and experts from the field of application of digital technologies and systems in ports were involved in the research.

By applying the DEX method of multi-criteria decision-making, the digital maturity of the ports was analyzed on the examples of specific ports (Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena) and digital maturity of ports was analyzed as the first step in creating a model of transition of cargo seaports into smart ports with the identification of transition scenarios.

The results of the research conducted by studying the opinions of experts in the field of application of digital technologies and systems in ports were interpreted using Descriptive statistical analysis and Multivariate statistical analysis - the agglomerative hierarchical clustering method. The conducted research showed which "traditional digital technologies and systems", as well as "disruptive digital technologies", are considered by experts to be the most important in the transition of cargo seaports into smart ports and which criteria are considered to be the most important for evaluating the scenario of the transition of cargo seaports into smart ports.

Based on the results of studying the importance of digital technologies and systems for the transition of cargo seaports into smart ports, a model of the transition of cargo seaports into smart ports with the identification of transition scenarios was created. Three scenarios were identified: "Digital leadership in cargo business processes", "Digital leadership in administrative business processes" and "Digital leadership in internal business processes".

In accordance with the researched and analyzed digital technologies and systems, as well as the criteria for evaluating the scenario of the transition of cargo seaports into smart ports using the AHP method of multi-criteria decision-making, an evaluation was

carried out, the scenario of the transition of a cargo seaport into smart port was selected based on the example of the port of Rijeka, which was chosen due to the availability of data. The evaluation of the transition scenario resulted in the selection of the following transition scenario of the port of Rijeka into a smart port: "Digital leadership in cargo business processes".

The research described in the doctoral thesis proved the main hypothesis and auxiliary hypotheses.

Keywords: cargo seaports, digital technologies and systems, smart ports, multi-criteria decision analysis, transition into smart port.

PREDGOVOR ..... **I**

SAŽETAK ..... **II**

SUMMARY ..... **IV**

1. UVOD **1**

1.1. Obrazloženje teme (naslova) doktorskog rada **1**

1.2. Problem, predmet i objekt istraživanja **2**

1.3. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze **2**

1.4. Svrha i cilj istraživanja **3**

1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja **4**

1.6. Znanstvene metode **13**

1.7. Obrazloženje strukture doktorskog rada **13**

1.8. Očekivani znanstveni doprinos **15**

1.9. Primjena rezultata istraživanja **15**

2. ZNAČAJKE POSLOVANJA TERETNIH MORSKIH LUKA **16**

2.1. Poslovni procesi u teretnim morskim lukama **16**

2.2. Dionici u poslovanju teretnih morskih luka **17**

2.3. Upravljanje teretnim morskim lukama **19**

2.4. Digitalizacija teretnih morskih luka **20**

3. PRIMJENA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA I SUSTAVA U TERETNIM MORSKIM LUKAMA I KONCEPT *PAMETNA LUKA* **23**

3.1. Digitalne tehnologije i sustavi u lukama **23**

3.1.1. Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi 28

3.1.2. Disruptivne digitalne tehnologije 32

3.2. Razvoj koncepta *pametna luka* **38**

3.3. Komponente *pametne luke* **39**

3.4. Analiza relevantnih primjera primjene digitalnih tehnologija u lukama **42**

3.4.1. Luka Rotterdam 42

3.4.2. Luka Hamburg 44

3.4.3. Luka Antwerp-Bruges 44

3.4.4. Luka Valencia 46

3.4.5. Luka Shanghai 47

3.4.6. Luka Singapur 48
3.4.7. Luka Qingdao 49
4. *DIGITALNA ZRELOST* LUKA 50
4.1. Pojam *digitalne zrelosti* 50
4.2. Prethodna istraživanja *digitalne zrelosti* luka 51
4.3. Odabir metode za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka 53
4.4. Analiza kriterija za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka 60
4.4.1. Analiza kriterija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* 64
4.4.2. Analiza kriterija *Disruptivne digitalne tehnologije* 72
4.5. Evaluacija *digitalne zrelosti* odabranih luka 78
4.5.1. Preliminarna analiza ukupnih rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka 78
4.5.2. Analiza individualnih rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka 90
4.5.2.1. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Ploče 97
4.5.2.2. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Split 98
4.5.2.3. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Rijeka 99
4.5.2.4. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Bar 101
4.5.2.5. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Port of Adria 102
4.5.2.6. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Kopar 103
4.5.2.7. Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luke Ravena 104
4.5.3. Primjena selektivne eksplanacije u analizi rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka 106
4.5.4. Zaključna razmatranja *digitalne zrelosti* odabranih luka 112
5. MODEL TRANZICIJE TERETNIH MORSKIH LUKA U *PAMETNE LUKE* 114
5.1. Uvodna razmatranja 114
5.2. Definiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 120
5.2.1. Istraživanje u svrhu definiranja scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 121
5.2.1.1. Deskriptivna statistička analiza važnosti tradicionalnih digitalnih tehnologija te disruptivnih digitalnih tehnologija 123
5.2.1.2. Multivarijatna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih digitalnih tehnologija – primjena metode aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje 133

5.2.2. Scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 150
5.2.2.1. Scenarij Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima 153
5.2.2.2. Scenarij Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima 156
5.2.2.3. Scenarij Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima 160
5.3. Kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 164
5.3.1. Tehnološki kriteriji 166
5.3.2. Organizacijski kriteriji 167
5.3.3. Kriteriji okruženja 169
5.3.4. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 171
5.3.5. Multivarijatna analiza kriterija – metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje 173
5.4. Analiza metoda i odabir optimalne metode za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* 177
5.5. Evaluacija scenarija tranzicije odabrane teretne morske luke u *pametnu luku* i interpretacija rezultata 180
5.6. Prijedlog budućih istraživanja 200
6. ZAKLJUČAK 204
POPIS LITERATURE 223
POPIS TABLICA 247
POPIS GRAFIKONA 248
POPIS SHEMA 249
POPIS SLIKA 249
PRIVITCI 250

1. UVOD

1.1. Obrazloženje teme (naslova) doktorskog rada

Poslovanje teretnih morskih luka pod utjecajem je procesa digitalizacije koji u novije vrijeme podrazumijeva inovativan pristup poslovanju luka implementiranjem recentnih digitalnih tehnologija i sustava (primjerice *Internet stvari*, *Umjetna inteligencija*, *Strojno učenje* itd.).

Kao prominentan koncept za poslovanje teretnih morskih luka ističe se *pametna luka* (engl. *smart port*). Pod tim pojmom se podrazumijeva luka u kojoj se implementiraju digitalne tehnologije i sustavi u svrhu pojednostavljenja, ubrzanja i automatizacije lučkih aktivnosti. Uspješnost teretnih morskih luka više se ne mjeri samo parametrima poput odgovarajuće infrastrukture, opremljenosti prekrcajnim sredstvima, i sl., već su u fokusu brzina i učinkovitost provedbe lučkih aktivnosti uz uvažavanje načela održivosti.

Teretne morske luke se razlikuju u pogledu digitaliziranosti, tj. primjene digitalnih tehnologija i sustava, odnosno tranzicije u *pametne luke*. Preliminarnim istraživanjem je utvrđeno da je manji dio luka dostigao visoku razinu *digitalne zrelosti* te tranzitirao u *pametne luke*, a to su uglavnom vodeće europske, odnosno svjetske luke, primjerice: Rotterdam, Hamburg, Singapur, Shanghai. Primjetno je, kroz preliminarno istraživanje, kako je fokus u lukama još uvijek na izgradnji nedostajuće lučke infrastrukture: operativne obale, lukobrani i drugi objekti infrastrukture (cestovne i željezničke prometnice) te na opremanju luke prekrcajnim sredstvima.

U dijelu teretnih morskih luka, poslovni procesi se provode uglavnom na tradicionalan način koji podrazumijeva nepovezanost sustava za razmjenu informacija i dokumentacije između dionika lučke zajednice te izostanak korištenja digitalnih tehnologija i sustava u provođenju procesa. Dionici lučke zajednice međusobno uvelike komuniciraju elektroničkom poštom i telefonom, pri čemu većina dionika lučke zajednice interno koristi vlastite sustave za razmjenu informacija i dokumentacije bez međusobne povezanosti.

Tranzicija u *pametne luke* je složen i dugotrajan proces, a primjer su vodeće svjetske luke koje su nekoliko desetljeća provodile proces tranzicije u *pametne luke*. Svaka teretna morska luka ima specifične razvojne potrebe i ciljeve, a koje je potrebno uzeti u obzir tijekom tranzicije u *pametne luke*. Ovisno o razvojnim potrebama i ciljevima, teretne morske luke mogu implementirati različite digitalne tehnologije i sustave koje će im omogućiti tranziciju u *pametne luke*. Tranzicijom u *pametne luke*, teretne morske luke mogu biti konkurentnije te umanjiti negativne učinke na okoliš i okruženje luke. Primjena digitalnih tehnologija i sustava krucijalna je za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*.

1.2. Problem, predmet i objekt istraživanja

U kontekstu navedene problematike može se definirati **znanstveni problem istraživanja:**

U teretnim morskim lukama još uvijek je nedovoljno znanstveno istražen i praktično primijenjen koncept *pametna luka*, a isto je vidljivo u: nepovezanosti i nekompatibilnosti informacijskih sustava dionika lučke zajednice, usporenoj razmjeni informacija i dokumentacije (uglavnom papirne dokumentacije) te nekorištenju digitalnih tehnologija i sustava u provedbi poslovnih procesa. Stoga je definirani problem nužno primjereno istražiti te izraditi model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija.

Iz utvrđenog problema istraživanja moguće je definirati i **znanstveni predmet istraživanja:**

Sustavno istražiti i konzistentno utvrditi sve relevantne teorijske i praktične značajke koncepta *pametna luka*; istražiti i analizirati digitalne tehnologije i sustave koji se primjenjuju u teretnim morskim lukama; istražiti i analizirati razinu digitaliziranosti, tj. razinu primjene digitalnih tehnologija u teretnim morskim lukama; istražiti i analizirati kriterije koji utječu na tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*, a s ciljem izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* identifikacijom tranzicijskih scenarija.

Znanstveni problem i predmet znanstvenoga istraživanja odnose se na **dva objekta znanstvenog istraživanja**: **teretne morske luke i digitalne tehnologije i sustavi.**

1.3. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze

Iz definiranog problema istraživanja te predmeta istraživanja proizlazi i **glavna znanstvena hipoteza:**

Analizom digitalnih tehnologija i sustava, analizom *digitalne zrelosti* luka, definiranjem scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* i kriterija za evaluaciju scenarija moguće je izraditi model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Tako postavljena glavna znanstvena hipoteza implicira više **pomoćnih hipoteza:**

PH 1. Analizom prethodnih istraživanja o *pametnim lukama* i primjera *pametnih luka* moguće je utvrditi i kategorizirati digitalne tehnologije i sustave koji se primjenjuju u teretnim morskim lukama.

PH 2. Analizom postojećeg stanja digitaliziranosti odabranih teretnih morskih luka, tj. primjene digitalnih tehnologija i sustava, moguće je kategorizirati teretne morske luke prema razini *digitalne zrelosti* i omogućiti uvid u *digitalnu spremnost* za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*.

PH 3. Na temelju analize razine *digitalne zrelosti* i analize najvažnijih digitalnih tehnologija i sustava, moguće je definirati scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, a definiranjem kriterija za evaluaciju scenarija, moguće je odabrati optimalan scenarij tranzicije pojedine teretne morske luke u *pametnu luku*.

1.4. Svrha i cilj istraživanja

Sukladno definiranom znanstvenom problemu, predmetu i objektima istraživanja te postavljenoj glavnoj hipotezi i pomoćnim hipotezama, determinirani su svrha i ciljevi istraživanja.

Svrha istraživanja jest: primjenom znanstvenih metoda istražiti i utvrditi digitalne tehnologije i sustave koji se koriste u teretnim morskim lukama; istražiti i utvrditi *digitalnu zrelost* luka; istražiti i definirati scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*; istražiti i definirati kriterije za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Cilj istraživanja je predložiti metodologiju izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* identifikacijom tranzicijskih scenarija te provesti evaluaciju scenarija tranzicije na konkretnom primjeru luke.

Kako bi se ostvarila svrha i cilj istraživanja, u doktorskom radu dat će se odgovor na sljedeća pitanja:

- Kako digitalizacija utječe na poslovne procese teretnih morskih luka?
- Što su *pametne luke*?
- Koja su značajke i komponente *pametne luke*?
- Koje se digitalne tehnologije i sustavi koriste u *pametnim lukama* te kako ih je moguće podijeliti?
- Što je *digitalna zrelost* luka?
- Kojim metodama je moguće evaluirati *digitalnu zrelost* luka?
- Koje su značajke metodologije izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*?
- Koji su kriteriji relevantni za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*?
- Koje metode je moguće primijeniti u evaluaciji i interpretaciji rezultata evaluacije scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*?

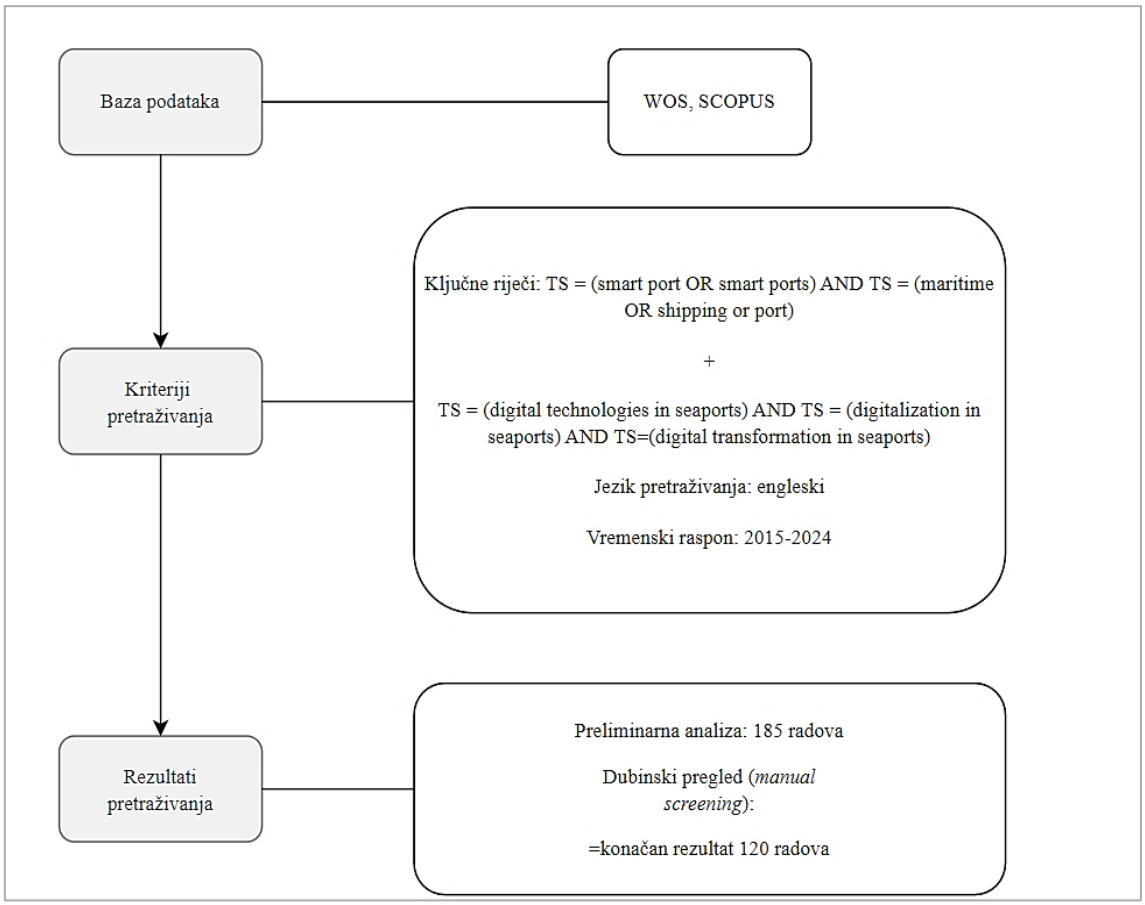
1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja

Kako bi se sveobuhvatno i objektivno istražila tema doktorskog rada, učinjena je detaljna analiza prethodnih istraživanja. Učinjen je pregled vodećih akademskih baza znanstvenih radova: WOS − Web of Science i SCOPUS. Obuhvaćena su istraživanja od 2015. do 2024. godine, s obzirom na rapidan razvoj digitalnih tehnologija u promatranom razdoblju i porast broja istraživanja u području primjene digitalnih tehnologija u lukama. Predmetno razdoblje uzeto je u obzir u odnosu na zastarijevanje informacija iz područja istraživanja, a kako bi se osim obuhvata dovoljno istraživanja, osigurale recentne spoznaje o temi istraživanja. U pregled su uključene sljedeće kategorije radova: članak (*Article*), rad u zborniku radova (*Proceeding paper* − WOS, *Conference paper* − SCOPUS), pregledni rad (*Review article*), recenzirani cjeloviti rad prije objave (*Early Access*) doktorski rad (*Doctoral thesis*) i poglavlje knjige (*Book chapter*). Iz analize su izuzeti konferencijski sažetak (*Conference review*), kratko istraživanje (*Short survey*), bilješka (*Note*), urednički materijal (*Editorial material*), recenzirani podatkovni skup (*Data paper*) te korekcije (*Corrections* − WOS, *Erratum* −SCOPUS), s obzirom da ne predstavljaju gotovu i cjelovitu formu znanstvenog istraživanja.

Podatci su ekstrahirani pretraživanjem ključnih riječi na engleskom jeziku u okviru baza WOS i SCOPUS. Članci o temi *pametne luke* odabrani su Booleovim operatorima uz uvjet ključnih riječi: *TS = (smart port OR smart ports) AND TS = (maritime OR shipping OR port)*. Prvi dio (*pametna luka* ILI *pametne luke*) pokriva istraživanja koji uključuju ove ključne riječi, dok drugi dio (pomorski ILI brodarstvo ILI luka) za ograničenje na domenu pomorstva u odnosu na druge domene na koje se može odnositi riječ *port* (elektronika, informatika…). Svakako treba napomenuti da su pri pretraživanju baza pronađeni radovi koji u naslovu umjesto riječi *smart port* imaju riječi *intelligent port* i *port of the future*. S obzirom na temu doktorskog rada koja se odnosi na teretne morske luke te s obzirom na objekt istraživanja − digitalne tehnologije i sustavi, provedena je dodatna pretraga WOS i SCOPUS baza, sa sljedećim Booleovim operatorima: *TS = (digital technologies in seaports) AND TS = (digitalization in seaports) AND TS = (digital transformation in seaports).* Isto podrazumijeva sljedeće ključne riječi: digitalne tehnologije u morskim lukama, digitalizacija u morskim lukama, digitalna transformacija u morskim lukama.

S obzirom na rezultate pretrage, primjenom prethodno definiranih ključnih riječi, preliminarno je selektirano 185 radova od ukupno 193 rada. Unatoč primijenjenim Booleovim operatorima, prikazano je i nekoliko radova koji se odnose na potpuno druga područja istraživanja. Nadalje, neki od radova bili su u kategorijama za koje je prethodno pojašnjeno da se ne uzimaju u obzir u analizi, a dodatna su dva rada isključena jer su samo sažeci radova pisani na engleskom jeziku. Potom je proveden dubinski pregled selektiranih radova, tzv. *manual screening*, a kako bi se izdvojila relevantna istraživanja u skladu s temom i objektima istraživanja doktorskoga rada. Identificirano je 120 relevantnih radova te iskorišteno za istraživanje u doktorskom radu. U nastavku, na shemi 1. je prikazan hodogram provedene analize prethodnih istraživanja.

Shema 1. Hodogram provedene analize prethodnih istraživanja



Izvor: Izradila doktorandica

U nastavku je napravljen pregled prethodnih istraživanja neposredno vezanih za temu doktorskog rada. U pregled su uključena istraživanja koja u naslovu sadrže ključne riječi: *pametna luka* (engl. *smart port, intelligent port*), luka budućnosti (engl. *port of the future*), s obzirom da se sukladno naslovu odnose direktno na temu *pametna luka*.

- Agatić, A., Poletan Jugović, T, Tijan E., Kolanović, I. (2021) *European Union policies and funding for smart port model implementation*: autori su analizirali ulogu institucija i organizacija Europske unije u implementaciji koncepta *pametna luka*. Napravljen je pregled izvora financiranja za projekte tranzicije u *pametnu luku* te je opisano nekoliko projekata s tematikom *pametnih luka*.
- Al-Fatlawi, H., Motlak, J. H. (2023) *Smart ports: towards a high performance, increased productivity and a better environment*: autori su predložili indikatore za evaluaciju kontejnerskih luka u kontekstu *pametne kontejnerske luke*.
- Alzate, P. et al. (2024) *Operational efficiency and sustainability in smart ports: A comprehensive review*: autori su napravili pregled literature na temu *pametna luka,* uz fokus na izdvajanje ključnih autora i država dominantnih u istraživanju teme *pametna luka*.

- Barasti, D. et al. (2022) *An ICT prototyping framework for the "Port of the Future*: autori su opisali prototip za razvoj i implementiranje informacijsko-komunikacijskih tehnologija u luci Salerno u Italiji.
- Battino, S., Muñoz Leonisio, M. M. (2022*) Port authorities and smartness: the training policies of Spain's smart ports*: autori su analizirali koncept *pametna luka,* ulogu lučke uprave u implementiranju koncepta *pametna luka* kroz inicijative i projekte. Autori su definirali nekoliko ključnih pokazatelja uspješnosti (engl. KPI – *Key Performance Indicators*) za evaluaciju *pametnih luka* te dali osvrt na društveni aspekt i aspekt ljudskih resursa u kontekstu implementiranja modela *pametna luka.*
- Bauer, C. et al. (2022) *Virtual intelligent port VIPort – a holistic energy approach*: autori su analizirali energetski aspekt odnosno optimizaciju energetske učinkovitosti u *pametnim lukama*. Pritom su autori posebno analizirali tehnologiju *Digitalni blizanac.*
- Behdani, B. (2023) *Port 4.0: a conceptual model for smart port digitalization*: autor je u radu analizirao koncept *Luka 4.0*, s aspekta digitalnih tehnologija koje je potrebno implementirati kako bi luka postala *pametna luka*.
- Belmoukari, B., Audy, J.F., Forget, P. (2023) *Smart port: A systematic literature review*: autori su dali pregled prethodnih istraživanja na temu *pametnih luka*, od 2011. do 2023. godine. U analizi literature autori su definirali karakteristike *pametne luke* te aktivnosti u *pametnim lukama*.
- Bojic, F., Bošnjak, R., Gudelj, A. (2021) *Review of smart ports in the European Union*: autori su analizirali razvoj *pametnih luka* te napravili pregled primjera *pametnih luka* u Europskoj uniji (EU), pri čemu su utvrđene koristi odnosno vrijednosti koje su luke dobile implementiranjem digitalnih tehnologija.
- Botti, A., Monda, A., Pellicano, M., Torre, C. (2017) *The re-conceptualization of the port supply chain as a smart port service system*: *The case of the Port of Salerno*: autori su definirali pojam *pametna luka* te komponente *pametnog* uslužnog sustava luke (engl. *smart port service system*). Autori su analizirali primjer luke Salerno u Italiji.
- Bouhlal, A., Aitabdelouahid, R., Marzak, A. (2022) *The Internet of Things for smart ports*: autori su u radu istražili potencijal digitalne tehnologije *Internet stvari* u olakšavanju tranzicije luke u *pametnu luku*. Autori su utvrdili kako primjena *Interneta stvari* omogućava optimizaciju aktivnosti u lukama odnosno kontejnerskim terminalima te bolju konkurentnost luke.
- Boullauazan, Y., Sys, C., Vanelslander, T. (2022) *Developing and demonstrating a maturity model for smart ports*: autori su definirali pojam *pametna luka* te izazove i koristi implementiranja modela *pametna luka*. Autori su definirali razine zrelosti *pametne luke* te domene zrelosti *pametne luke*.
- Bracke, V. et al. (2021) *Design and evaluation of a scalable Internet of Things backend for smart ports*: autori su u radu analizirali tehnologiju *Internet stvari*

u kontekstu luka koje trebaju biti *pametne luke.* Pritom autori predlažu arhitekturu *Internata stvari* u luci, kroz Obelisk *Računalstvo u oblaku*.

- Campisi, T. et al. (2022) *Locally integrated partnership as a tool to implement a smart port management strategy*: autori su u radu istražili važnost lokalnog partnerstva u digitalizaciji i razvoju *pametne luke* i uvođenju *pametne* strategije upravljanja lukom, a koju su analizirali na primjeru luke Ravena.
- Castellano, R. et al. (2019) *Do digital and communication technologies improve smart ports? A Fuzzy DEA approach*: autori su u radu analizirali utjecaj digitalnih komunikacijskih tehnologija na transformaciju luke iz tradicionalne u *pametnu luku,* uz primjenu Fuzzy DEA metode.
- Chen, J. et al. (2019) *Simplified neutrosophic exponential similarity measures for evaluation of smart port development*: autori su u radu definirali indikatore (kriterije) za evaluaciju razvoja *pametne luke*: lučke operacije; lučki dobavni lanac; financiranje i tehnologije; energetska učinkovitost i smanjenje emisija.
- Chen, J., Huang, T., Xie, X., Lee, P.T.W., Hua, C. (2019) *Constructing governance framework of a green and smart port*: autori su u radu definirali faktore (kriteriji i potkriteriji) koji najviše utječu na razvoj zelene i *pametne luke*: ekologija, agilnost, personaliziranost, suradnja, inteligentna rješenja, liberalizacija.
- Cheng, Z., Haibin, W., Peng, N. (2020) *Study on the constructing and developing mode of the smart port in the Beibu gulf of Guangxi*: autori su na primjeru izgradnje Beibu Gulf luke definirali osnovne sustave odnosno aplikacije za razvoj *pametne luke* i učinke koje će imati na luku.
- Chiang, C.H., et al., (2022*) Evaluation of supply chain management on green performance in Taichung smart port of Taiwan*: autori su u radu analizirali pojam *zelene luke* (engl. *green port*) u kontekstu *pametne luke.* Stoga su autori definirali sljedeće varijable istraživanja: zeleni pokretači za *pametne luke* (zeleni imidž i inovacije, zeleni menadžment ljudskih resursa), zelene strategije za *pametnu luku* (obnovljivi izvori energije, automatizirani sustavi i digitalne tehnologije, smanjenje onečišćenja i recikliranje), zelene performanse *pametne luke* (ekološki održiva usluga).
- Douaioui, K., Fri, M., Marbouki, C., Semma, E. (2018) *Smart port: Design and perspectives:* autori su u radu definirali pojam *pametna luka* te *pametna logistika*. Nadalje, autori su definirali komponente *pametne luke*.
- Durán, C.A., Córdova, F.M., Palominos, F.E. (2019) *A conceptual model for a cyber-social-technological-cognitive smart medium-size port:* autori su u radu predstavili konceptualni model *pametne luke* te dali osvrt na trenutno stanje primjene digitalnih tehnologija u čileanskim lukama.
- Durán, C.A., Fernandez Campusano, C., Carrasco, R., Vargas, M., Navarrete, A. (2021) *Boosting the decision-making in smart ports by using Blockchain*: autori su u radu analizirali mogućnost primjene *Tehnologije ulančanih blokova*

u *pametnim lukama*, a kako bi se omogućila transparentnost, sigurnost i jednostavnost transakcija. Nadalje, autori su izradili konceptualni model primjene *Tehnologije ulančanih blokova* na primjeru čileanskih luka.

- El Idrissi, A., Haidine, A., Aqqal, A., Dahbi, A. (2022) *Deployment strategies of mobile networks for Internet of Things in smart maritime ports*: autori su u radu naveli osnovne komponente *pametne luke* te analizirali primjenjivost digitalne tehnologije *Internet stvari*. Nadalje, autori su analizirali tehničko-ekonomske aspekte odabira digitalnih tehnologija.
- El Satky, K. (2016) *Smart seaports logistics map*: autor je analizirao tri tematska područja: plan za logistiku *pametne luke*, izazove i prepreke te kriterije i ključne pokazatelje uspješnosti luka u tranziciji u *pametnu luku*.
- Garrido Salsas, J., Saurí, S., Rúa, C., Torrent, J. (2022) *Conceptualisation of the port of the future based on the business canvas model: Case study of the vision 2040 for Barcelona*: autori su napravili koncept luke budućnosti odnosno *pametne luke* na primjeru luke Barcelona. Pritom su autori napravili koncept razvoja luke Barcelona do 2040. godine.
- Haidine, A., Aqqal, A., Dahbi, A. (2021) *Communications backbone for environment monitoring applications in smart maritime ports - case study of a Moroccan port*: autori su u radu analizirali značajke *pametne luke.* Nadalje, autori su predložili tehnologije/sustave za razvoj *pametne luke*. Autori su opisali i nekoliko tehnologija/sustava koji se koriste u *pametnim lukama*.
- Heikkilä, M., Saarni, J., Saurama, A. (2022) *Innovation in smart ports: Future directions of digitalization in container ports*: autori su napravili pregled pethodnih istraživanja prema pojmovima *Port 4.0* i *Smart Port 4.0* (*Luka 4.0* i *Pametna luka 4.0*) te analizu svjetskih luka prema kategorijama *pametnih* aktivnosti i nositelju aktivnosti (operator terminala, lučka uprava).
- Issa Zadeh SB, Esteban Perez MD, López-Gutiérrez J-S, Fernández-Sánchez G. (2023) *Optimizing smart energy infrastructure in smart ports: A systematic scoping review of carbon footprint reduction*: autori su analizirali načine optimizacije energetske infrastrukture u *pametnoj luci.* Nadalje, autori su definirali komponente *pametne luke* te aktivnosti i primjere tehnologija u *pametnim lukama*.
- Jović, M., Aksentijević, S., Tijan, E. (2019) *The transition of Croatian seaports into smart ports*: autori su analizirali mogućnost tranzicije hrvatskih morskih luka u *pametne luke*. Autori su definirali faze razvoja *pametne luke* te utvrdili kako se hrvatske morske luke nalaze u fazi "luka u razvoju" koja podrazumijeva pojednostavljenje poslovnih procesa. Nadalje, autori su dali naznaku potencijalnih faza prijelaza hrvatskih morskih luka u *pametne luke*: implementiranje *Informacijskog sustava lučke zajednice* i *Jedinstvenog sučelja za formalnosti u pomorskom prometu* te implementiranje digitalnih tehnologija.

- Karaś, A. (2020) *Smart port as a key to the future development of modern ports*: autorica je analizirala uspješne projekte tranzicije u *pametne luke* na primjerima sjevernomorskih i baltičkih luka (Rotterdam, Gdynia, Antwerp-Bruges i Gothenburg).
- Karas, A. (2022) *Conceptualization of smart port*: autorica je definirala značajke *pametne luke*.
- Kuo, S. Y., Huang, X. R., Chen, L. B. (2022) *Smart ports: sustainable smart business port operation schemes based on the Artificial intelligence of Things and Blockchain technologies*: autori su analizirali primjenu *Umjetne inteligencije, Interneta stvari i Tehnologije ulančanih blokova* u *pametnim lukama*. Nadalje, autori su napravili usporedbu tradicionalnog i automatiziranog kontejnerskog terminala.
- Li, K., X., et al. (2023) *Smart port: A bibliometric review and future research directions*: autori su u radu napravili bibliometrijsku analizu na temu *pametne luke.* Nadalje, autori su naveli značajke *pametne luke* te indikatore *pametne luke*.
- Li, Y., Zhang, K., Sun, Y. (2022) *Application of Big data technology in ship-to-shore quay cranes at smart port*: autori su analizirali kako pomoću digitalne tehnologije *Veliki podatci*, upravljati velikom količinom podataka koji nastaju pri komunikaciji između uređaja (na primjer senzora) i obalnih dizalica.
- Liao, H.T.; Lo, T.-M.; Pan, C.-L. (2023) *Knowledge mapping analysis of intelligent ports: Research facing global value chain challenges*: autori su napravili detaljnu analizu literature kako bi utvrdili postojeće stanje "baze znanja" o *pametnim lukama*.
- Lin, S.C., Chang, H.K., Chung, Y.F. (2022) *Exploring the impact of different port governances on smart port development strategy in Taiwan and Spain*: autori su napravili pregled strategija razvoja *pametne luke* (u vodećim svjetskim lukama) te pregled glavnih modela upravljanja lukama. Nadalje, autori su definirali kriterije za analizu razvoja *pametne luke* u tajvanskim i španjolskim lukama. Nakon provedenog istraživanja, autori su napravili usporedbu rezultata tajvanskih i španjolskih luka – koji kriteriji dominiraju u skupini luka.
- Makkawan, K., Muangpan, T. (2021) *A conceptual model of smart port performance and smart port indicators in Thailand*: autori su naveli značajke *pametne* luke i aktivnosti *pametne luke*. Nadalje, autori su definirali indikatore *pametne luke*.
- Makkawan, K., Muangpan, T. (2023) *Developing smart port with crucial domains and indicators in the Thai Port case*: *A Confirmatory Factor Analysis*: autori su u radu definirali domene i indikatore *pametne luke*.

- Min, H. (2022). Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0: autor je definirao komponente *pametne luke* te pozitivne učinke sustava *pametna luka* na lučke performanse.
- Molavi, A., Lim, G., i Race, B. (2020) *A farmework for bulinding a smart port and Smart Port Index*: autori su u radu definirali ključne pokazatelje primjene koncepta *pametna luka*, a na osnovu opsežnog istraživanja literature iz tematskog područja. Prema definiranim pokazateljima, autori su proveli istraživanje u vodećim svjetskim lukama. Autori su izradili *Indeks pametne luke* prema kojem su ocijenili postojeće stanje digitalizacije u navedenim lukama. Nadalje, autori su analizirali i nekoliko projekata o *pametnim lukama* u Europskoj uniji.
- Molavi, A., Shi, J., Wu, Y., Lim, G., J. (2020) *Enabling smart ports through the integration of microgrids: A two-stage stochastic programming approach*: autori su definirali aktivnosti u *pametnim lukama*.
- Nascimento Dominguez, G., Gorges, S.C., Macowski Durski Silva, V. (2022) *Roadmap for implementing smart practices at seaports and terminals*: autori su definirali komponente *pametne luke* te napravili usporedbu brazilskih luka i nekih vodećih svjetskih luka s aspekta implementiranih digitalnih tehnologija.
- Nguyen, H. P., Pham, N. D. K., Bui, V. D. (2022) *Technical-environmental assessment of energy management systems in smart ports*: autori su naveli značajke *pametne* luke i osnovnu strukturu *pametne* luke. Autori su posebno analizirali upravljanje energijom u *pametnim* lukama s aspekta procesa i tehnologija koje se mogu primijeniti.
- Ortiz, G. et al. (2022) *A microservice architecture for real-time IoT data processing, A reusable Web of Things approach for smart ports*: autori su napravili prijedlog upravljanja podatcima u *pametnim* lukama, s obzirom na veliku količinu podataka koja se razmjenjuje u *pametnim* lukama.
- Othman, A. El Gazzar, S. Knez, M.(2022) *Investigating the influences of smart port practices and technology employment on port sustainable performance: The Egypt case*: autori su analizirali utjecaj koncepta *pametna luka* odnosno utjecaj primjene digitalnih tehnologija na održivo poslovanje luke. Autori su napravili SWOT analizu na primjeru egipatskih luka te su naveli prepreke prema stvaranju održive *pametne luke*.
- Othman, A., El-Gazzar, S., Knez, M. (2022) *A Framework for adopting a sustainable smart sea port index*: autori su definirali pojam *pametna luka* te naveli značajke *pametne luke*. Nadalje, autori su definirali *Indeks pametne luke* i kriterije za izradu indeksa.
- Paraskevas A, Madas M, Zeimpekis V, Fouskas K. (2024) *Smart ports in Industry 4.0: A systematic literature review*: autori su napravili pregled literature na temu *pametna luka,* a kroz detaljan uvid u nekoliko baza znanstvenih istraživanja.

- Paulauskas, V. et al. (2021) *Smart ports' influence on coastal sustainability*: autori su analizirali utjecaj implementiranja primjene koncepta *pametna luka* na obalnu održivost. Nadalje, autori su naveli najčešće domene digitalizacije u lukama te su izračunali *Indeks digitalne spremnosti* na primjerima luka.
- Pham, Y.T. A. (2023) *Smart port development: Systematic literature and bibliometric analysis*: autor je napravio sustavni pregled i bibliometrijsku analizu literature na temu *pametna luka*.
- Philip, R. (2020) *Digital readiness index assessment towards smart port development*: autor je u radu napravio ocjenu postojećeg stanja digitalizacije u 5 izabranih malih i srednjih luka. Autor je izračunao *Indeks digitalne spremnosti luka*, koji pokazuje stupanj uključenosti digitalnih tehnologija u poslovanje odabranih luka. Nadalje, autor je prema dobivenom indeksu napravio podjelu luka u kategorije prema razini spremnosti za tranziciju u *pametnu luku*.
- Philipp, R., Prause, G, Olaniyi, E., Lemke, F. (2022) *Towards green and smart seaports: Renewable energy and automation technologies for bulk cargo loading operations*: autori su na primjeru luke Wismar analizirali kako automatizirati aktivnosti na terminalima za suhi rasuti teret, a kako bi luka postala *pametna luka* i održiva luka. Autori su analizirali nekoliko tehnologija te na kraju dali osvrt na moguća poboljšanja s operativnog aspekta, aspekta okoliša, aspekta kvalitete i financijskog aspekta.
- Rajabi, A., Khodadad Saryazdi, A., Belfikh, A., Duvallet, C. (2018) *Towards smart port: An apllication of AIS data*: autori su predložili hodogram implementiranja koncepta *pametna luka*. Nadalje, autori su naveli izazove u implementiranju te su opisali projekt u luci Le Havre.
- Rista, A., Llaha, O. (2021) *The integration of Albanian seaports towards smart ports*: autori su analizirali postojeće informacijske sustave u albanskim lukama Durres, Vlora, Himara, Sengjin i Saranda. Naposljetku su autori dali preporuke za implementaciju informacijskih sustava u albanske luke kako bi mogle tranzitirati u *pametne luke*.
- Rodríguez Estévez D, González-Cancelas N, Camarero Orive A, Vaca Cabrero J. (2023) *Development of a "Smart Dry Port" indicator and ranking calculation for Spanish dry ports*: autori su u radu, na primjeru španjolskih luka, definirali indikatore za analizu razine sukladnosti luka s konceptom *pametna luka*.
- Sankla, W., Thanyaphat M. (2022) *Smart and sustainable port performance in Thailand: A conceptual model:* autori su napravili konceptualni model za indikatore pametnog i održivog upravljanja lukom te pritom analizirali aspekt okoliša kao i društveni i ekonomski aspekt.
- Shuo, C, Jian W., Ruoxi, Z. (2016) *The analysis of the necessity of constructing the huizhou smart port and overall framework:* autori su naveli osnovne

značajke *pametne luke* te su definirali ključne komponente za implementiranje u luci Huizhou u Kini.

- Sohaib, R.M.; Onireti, O.; Sambo, Y.; Imran, M.A. (2021) *Network slicing for beyond 5G systems: An overview of the smart port use case:* autori su u radu analizirali 5G mrežnu arhitekturu-tzv. rezanje mreže (engl. *5G network slicing*) i tehnike *Strojnog učenja* i njihovu integraciju s *5G mobilnom mrežom*, u kontekstu primjene u luci Hamburg.
- Vaca-Recalde, Myriam E. et al. (2023) *Spanish approach for the smart digital ports through highly automated logistics*: autori u radu analiziraju ESTIBA +2022 projekt te digitalne tehnologije za automatizaciju logističkih aktivnosti u lukama, što autori smatraju značajnim u primjeni u *pametnim lukama*.
- Wang, K, Hu, Q., Zhou, M., Zhou Z., Qian, X.(2021) *Multi-aspect applications and development challenges of Digital twin-driven management in global smart ports*: autori su u radu analizirali izazove implementacije tehnologije *Digitalni blizanac* u cilju poboljšanja sustava upravljanja lukom te su opisali primjere primjene u lukama.
- Yang, Y., Zhong, M., Yao, H. (2018) *Internet of Things for smart ports: Technologies and challenges:* autori su u radu analizirali mogućnost primjene digitalne tehnologije *Internet stvari* u lukama, pri čemu su se fokusirali na opis potrebnih uvjeta, izazova, kalibraciju i testiranje senzorskih rješenja u *pametnim lukama*. Nadalje, autori su analizirali komunikacijske standarde za *pametne luke*. Autori smatraju kako će digitalna tehnologija *Internet stvari* imati ključnu ulogu u budućnosti razvoja *pametnih luka*.
- Yau, K.-L.A. et al. (2020) *Towards smart port infrastructures- enhancing port activities using information and communications technologies*: autori su napravili sveobuhvatan pregled informacijskih sustava i *pametnih* aplikacija koje se koriste u *pametnim lukama* te pregled primjera projekata *pametnih luka*.
- Zhao, D., Wang, T., Han, H. (2020) *Approach towards sustainable and smart coal port development: The case of Huanghua Port in China*: autori su istražili koje je mjere potrebno poduzeti za održivi razvoj luke i koje bi digitalne tehnologije trebalo implementirati kako bi luka bila *pametna* i u skladu s održivim razvojem.
- Zhou, D. et al. (2022) *Operational indicators of smart container ports*: autori su definirali pojam *pametna luka*, naveli rizike poslovanja kontejnerskih luka te definirali indikatore za mjerenje performansi *pametne* kontejnerske luke.

Uočava se nedostatak znanstvenih istraživanja i objavljenih radova te posljedično i znanstvenih spoznaja o implementiranju koncepta *pametna luka* u teretnim morskim lukama. Naime, u prethodnim istraživanjima uočen je nedostatak znanstvenih spoznaja o metodologiji izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Većina analiziranih znanstvenih istraživanja fokusirana je na elaboriranje koncepta *pametna luka*

te opisivanje digitalnih tehnologija i sustava u teretnim morskim lukama (u istraživanjima su izdvojeno opisane neke od digitalnih tehnologija, ovisno o temi istraživanja). U prethodnim istraživanjima uočen je i nedostatak buduće perspektive, odnosno prijedlog budućih smjerova istraživanja.

U svrhu popunjavanja uočenih praznina, potrebno je provesti sveobuhvatno znanstveno istraživanje, a koje se odnosi na: detaljnu analizu digitalnih tehnologija koje se koriste u teretnim morskim lukama, detaljnu ocjenu *digitalne zrelosti*, tj. primjene digitalnih tehnologija i sustava na konkretnim primjerima teretnih morskih luka, analizu metoda za evaluaciju *digitalne zrelosti* teretnih morskih luka, izradu modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* uz dentifikaciju tranzicijskih scenarija, analizu relevantnih kriterija koji utječu na tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*, analizu metoda za evaluaciju odnosno odabir scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te prijedlog budućih istraživanja na temu *pametna luka*.

1.6. Znanstvene metode

Tijekom znanstvenog istraživanja, odnosno tijekom pisanja doktorskog rada korištene su sljedeće znanstvene metode: metoda analize i sinteze, metoda deskripcije, metoda eksplanacije, metoda komparacije, metoda kompilacije, statističke metode, metoda generalizacije, metoda konkretizacije, metoda dokazivanja, metoda anketiranja, metoda intervjuiranja.

U doktorskom radu primijenjeno je više statističkih metoda: *DEX metoda* višekriterijskog odlučivanja, *AHP metoda* višekriterijskog odlučivanja, *Deskriptivna statistička analiza, Aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje*. Informacije, materijali, spoznaje i podatci, dobiveni korištenjem pisanog materijala i ostalih izvora, obrađeni su primjenom navedenih metoda uz korektno citiranje tuđih opažanja, stavova, zaključaka i spoznaja.

1.7. Obrazloženje strukture doktorskog rada

Istraživanje i rezultati istraživanja u doktorskom radu prezentirani u šest međusobno komplementarnih poglavlja.

U prvom poglavlju doktorskog rada "Uvod", definirani se problem i predmet istraživanja, postavljena je znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze, određeni su svrha i ciljevi istraživanja, dan je pregled prethodnih istraživanja, konstatirane su znanstvene metode koje su korištene u znanstvenom istraživanju, obrazložena je struktura rada, naveden je i pojašnjen očekivani znanstveni doprinos te pojašnjena primjena rezultata istraživanja.

U drugom poglavlju doktorskog rada "Značajke poslovanja teretnih morskih luka" analizirani su poslovni procesi koji se provode u teretnim morskim lukama. U nastavku

poglavlja analizirani su dionici lučke zajednice i njihova uloga u poslovanju teretnih morskih luka. U poglavlju je obrađena i tema upravljanja teretnim morskim lukama. U zadnjem dijelu poglavlja analizirana je digitalizacija teretnih morskih luka.

U trećem poglavlju doktorskog rada "Primjena digitalnih tehnologija i sustava u teretnim morskim lukama i koncept *pametna luka*" analizirane su značajke koncepta *pametna luka* kao i primjena u poslovanju teretnih morskih luka. Najprije je napravljen pregled digitalnih tehnologija i sustava koje se primjenjuju u lukama, analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih tehnologija. Potom su opisane značajke *pametnih luka.* Nadalje, analizirane su komponente *pametne luke*. Naposljetku, napravljena je analiza relevantnih primjera, odnosno primjera dobre prakse primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama.

U četvrtom poglavlju doktorskog rada "*Digitalna zrelost* luka" evaluirana je *digitalna zrelost* na primjerima odabranih luka (Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena). Najprije je analiziran pojam *digitalne zrelosti* općenito sukladno dosad provedenim istraživanjima. Potom je posebno definirana *digitalna zrelost* luke. U nastavku poglavlja pojašnjena je metoda višekriterijskog odlučivanja odabrana za evaluaciju *digitalne zrelosti* luke te odabir luka za provedbu evaluacije. Potom su detaljno elaborirani kriteriji za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka te druge značajke evaluacije *digitalne zrelosti* luka primjenom *DEX metode* višekriterijskog odlučivanja. Naposljetku, prezentirani su rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka.

U petom poglavlju doktorskog rada, pod nazivom "Model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*", izrađen je model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* uz identifikaciju tranzicijskih scenarija. Najprije je pojašnjen koncept modela uz pregled prethodnih istraživanja. Analizirane su digitalne tehnologije s aspekta krucijalnih komponenti scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije. Pritom su, primjenom *Deskriptivne statističke analize* (aritmetička sredina, standardna devijacija, zaobljenost, asimetrija, medijan, interkvartilni raspon) te primjenom *Multivarijatne statističke analize* – metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje, obrađeni podatci prikupljeni istraživanjem. Potom su definirani scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Provedena je evaluacija scenarija tranzicije na primjeru luke Rijeka, primjenom *AHP metode* višekriterijskog odlučivanja. Analizom dobivenih rezultata odabran je optimalan scenarij tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku* (na konkretnom primjeru luke Rijeka). Na kraju poglavlja predloženi su mogući smjerovi budućih istraživanja.

U zadnjem šestom poglavlju doktorskog rada "Zaključak", sustavno i koncizno formulirani su i prezentirani najvažniji rezultati znanstvenog istraživanja, opširnije elaborirani u samom radu, a kojima je dokazana postavljena glavna znanstvena hipoteza te pomoćne hipoteze.

1.8. Očekivani znanstveni doprinos

Rezultati istraživanja doktorskog rada doprinijet će popunjavanju praznina u dosadašnjim istraživanjima u domaćoj i stranoj literaturi. Doktorski rad predstavlja sustavno istraživanje i sistematizaciju digitalnih tehnologija i sustava u teretnim morskim lukama. Doktorski rad doprinijet će spoznajama o mogućim razinama *digitalne zrelosti* luka te spoznajama o metodologiji evaluacije *digitalne zrelosti* luka. Doprinos doktorskog rada će se očitovati u razvoju znanstvenih spoznaja o izradi modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* uz identifikaciju tranzicijskih scenarija. Nadalje, znanstveni doprinos doktorskog rada je metodologija izrade scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*: definiranje scenarija, definiranje kriterija i metoda za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Konačno, doktorski rad doprinijet će poticanju daljnjih istraživanja o implementiranju koncepta *pametna luka* u teretnim morskim lukama.

1.9. Primjena rezultata istraživanja

Rezultati istraživanja poslužit će domaćim i stranim znanstvenicima te široj akademskoj zajednici kao poticaj za daljnja istraživanja tematike tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Nadalje, rezultati istraživanja poslužit će i relevantnim lučkim dionicima i stručnjacima za kreiranje strategija i planova tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. K tome, rezultati istraživanja poslužit će za upoznavanje svekolike zainteresirane javnosti za tematiku *pametnih luka*. Rezultate istraživanja moći će koristiti poduzeća, odnosno institucije koje se izravno bave lukama, a to su lučke uprave, operatori terminala te ostali dionici lučke zajednice (brodari, agenti, špediteri, lučka kapetanija, carina). Rezultate istraživanja moći će koristiti institucije koje sudjeluju u kreiranju strategija razvoja luka i donošenju zakonodavnih okvira, kao i fakulteti te druge obrazovne institucije.

2. ZNAČAJKE POSLOVANJA TERETNIH MORSKIH LUKA

U poglavlju su razmotrene značajke poslovanja teretnih morskih luka s aspekta poslovnih procesa u lukama, dionika koji posluju u morskim lukama, upravljanja morskim lukama te digitalizacije procesa odnosno aktivnosti teretnih morskih luka. Najprije su analizirani poslovni procesi u teretnim morskim lukama. Nadalje, razmatrani su dionici lučke zajednice s obzirom da sudjeluju u poslovnim procesima luke te imaju utjecaj na provođenje projekata kao što je digitalizacija, odnosno tranzicija luke u *pametnu luku*. U razmatranju upravljanja u teretnim morskim lukama navedeni su osnovni načini upravljanja lukama, uz fokus na promjene načina upravljanja u teretnim morskim lukama. Naposljetku je analizirana digitalizacija poslovnih procesa teretnih morskih luka.

2.1. Poslovni procesi u teretnim morskim lukama

U lukama se provode brojni poslovni procesi usmjereni na teretne procese, administrativne procese te interne poslovne procese luke. (Sinay, 2022).

U lukama se obavlja prekrcaj različitih vrsta tereta uključujući kontejnere, rasutu robu (ugljen, žitarice i rudače,…), tekući teret (nafta i kemikalije,…) i generalni teret (strojevi, vozila,…). Luke kao centralna mjesta u logističkoj mreži povezuju različite načine transporta (brodovi, kamioni, vlakovi) kako bi se omogućilo i olakšalo kretanje tereta od ishodišta do odredišta. Upravo su manipulacije teretom glavna djelatnost luka (Sinay, 2022). Nastavno na manipulacije teretom, u lukama se provodi i skladištenje tereta te razmjena informacija i dokumentacije o teretnim aktivnostima, što uključuje i carinjenje.

Neizostavni su i administrativni poslovni procesi – carinjenje, inspekcija, kontrola ulaza u luku, kontrola izlaza iz luke, sigurnosni protokoli, protokoli zaštite okoliša (Sinay, 2022).

U lukama se često nalaze uredi brodarskih tvrtki, špeditera, carinskih posrednika i drugih tvrtki uključenih u međunarodnu trgovinu, koje na području luke obavljaju procese vezane za manipulacije teretom i prateće procese (na primjer, carinjenje).

U lukama se pružaju usluge za brodove kao što su tegljenje (pomoć brodova tegljača za manevriranje velikih brodova i sigurnu plovidbu) punjenje goriva i odlaganje otpada. Nastavno, u lukama se pružaju usluge popravka i održavanja brodova.

Važan aspekt jesu procesi vezani za sigurnost luke, a koje luke provode za zaštitu od terorizma, krijumčarenja i drugih prijetnji što uključuje sustave nadzora, kontrolu pristupa i postupke provjere pri ulazu na lučko područje.

S obzirom da provedba poslovnih procesa u lukama utječe na okoliš, u lukama se provode i popratne aktivnosti koje uključuju sprječavanje onečišćenja, očuvanje staništa i usklađenost s propisima za očuvanje okoliša.

2.2. Dionici u poslovanju teretnih morskih luka

Budući da su teretne morske luke heterogen sustav u kojem djeluje više različitih dionika, razumljiv je njihov utjecaj na poslovanje luke i provedbu poslovnih procesa u lukama. Dionici u lukama mogu se kategorizirati u nekoliko skupina na temelju uloge u lukama, odnosno poslovnih procesa tj. aktivnosti koje obavljaju. Uobičajene skupine dionika u lukama jesu (Parola, Pallis, Ristano, Ferreti, 2016), (Agatić, Čišić, Tijan, 2011):

- Institucionalni dionici: ministarstva, financijske institucije, trgovačke organizacije, osiguravajuća društva, lokalna i regionalna samouprava, sindikati.
- Koordinatori i regulatori: lučka uprava, lučka kapetanija, carina, pomorska policija, inspektorat.
- Komercijalni dionici: veći operatori terminala, prijevoznici, brodari, logistički operatori, pomorski agenti, špediteri, peljari, tegljači.
- Zajednica: lokalno stanovništvo, ekološke organizacije.

U nastavku slijedi pojašnjenje na primjeru luka u Republici Hrvatskoj. Ministarstva imaju ulogu donošenja strategija i okvira sveukupnog razvoja luka. Prvenstveno je riječ o Ministarstvu mora, prometa i infrastrukture, a potom o ministarstvima vezanim za područje kulture i obrane. Ukoliko se izvode veliki infrastrukturni zahvati, tijekom kojih se pronađu povijesni artefakti, potrebno je informirati Ministarstvo kulture (Zakon o pomorskom dobru i morskim lukama, NN 83/23, 2023). Vezano za Ministarstvo obrane, neke luke su po namjeni vojne luke (u Republici Hrvatskoj luka Lora u Splitu). S druge strane, za potrebe obrane i u ratnim uvjetima postoje posebne dozvole za prolazak ratnih brodova i dopremu vojne opreme u luke, odnosno tranzit kroz luke kao i popravak vojnih brodova (Zakon o pomorskom dobru i morskim lukama, NN 83/23, 2023), (Pomorski zakonik, NN 17/19). Financijske institucije su banke koje mogu kreditiranjem poduprijeti projekte razvoja luka i putem kojih se provodi naplata lučkih usluga. Za rad luka važne su i trgovinske organizacije koje sudjeluju u kreiranju općih trgovinskih pravila, odnosno užih pravila za pomorsku trgovinu. Osiguravajuća društva dionik su luke u pogledu osiguranja tereta koji prolazi kroz luku, ali i u pogledu osiguranja lučke infrastrukture, lučke suprastrukture te lučke opreme. Lokalna i regionalna zajednica odnosi se na područje lučkog grada ili šireg regionalnog područja na kojem je luka smještena. Sindikati zastupaju interese lučkih radnika.

Lučka uprava je odgovorna za upravljanje i nadzor rada luke. Ima važnu ulogu u donošenju planova za razvoj luke, provedbi projekata u luci, upravljanju lučkom

infrastrukturom i osiguravanju nesmetanog funkcioniranja lučkih aktivnosti. Lučka kapetanija obavlja poslove nadzora plovidbe u unutrašnjim morskim vodama i teritorijalnom moru; poslove traganja i spašavanja ljudskih života i imovine na moru; inspekcijske poslove sigurnosti plovidbe; inspekcijski nadzor nad pomorskim dobrom; poslove upisa i brisanja brodova te vođenja upisnika brodova; poslove utvrđivanja sposobnosti za plovidbu; baždarenje brodica; poslove upisa i brisanja brodica te vođenja očevidnika brodica; poslove izdavanja pomorskih knjižica; poslove utvrđivanja stručne osposobljenosti pomoraca za stjecanje zvanja u pomorstvu; izdavanje i vođenje očevidnika izdanih ovlaštenja za obavljanje službe na brodovima; druge upravne, stručne i tehničke poslove sigurnosti plovidbe na moru prema posebnom zakonu i drugim propisima (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024). Pomorska policija pored redovnih zadaća, kao što su nadzor i kontrola državne granice, sanitetski prijevoz, sudjelovanje u spašavanju i traganju za osobama i plovilima te pružanje pomoći drugim nadležnim službama, provodi i sankcioniranje počinitelja navedenih prekršaja zbog podizanja razine sigurnosti na moru. Carinska služba provodi carinski nadzor nad stranom robom, nadzor nad domaćom robom stavljenom u postupak radi izvoza ili smještenom u slobodnu zonu i carinsko skladište, te nadzor nad proizvodima podložnim posebnim porezima. Nadalje, provodi carinske postupke i određuje carinski dopuštena postupanja ili upotrebu robe (Lučka uprava Rijeka, 2024). Veterinarska inspekcija zadužena je za provjere i nadzor procesa prekrcaja životinja u luci (Lučka uprava Rijeka, 2024).

Veći operatori terminala su tvrtke koje dobivaju koncesije za obavljanje lučkih djelatnosti te ostalih gospodarskih djelatnosti na području luke. Operatori terminala mogu biti privatni subjekti ili podružnice lučkih operatora i brodskih kompanija. Prijevoznici su dionici koji obuhvaćaju kamionske kompanije, željezničke operatore i pružatelje intermodalnih usluga. Brodari su tvrtke koje posjeduju ili iznajmljuju plovila za prijevoz tereta te su primarni korisnici lučkih objekata i usluga. Vlasnici tereta su tvrtke ili pojedinci koji posjeduju ili ustupaju teret koji se prevozi kroz luku. Pomorski agenti obavljaju poslove koji se odnose na brod: prihvaćanje i otpremanje brodova; posredovanje pri sklapanju ugovora o iskorištavanju brodova kupoprodaji; osiguranje brodova, tereta i interesa; opskrba zalihama; popunjavanje posadom te briga o posadi i putnicima. Peljari i tegljači obavljaju usluge pomoći brodovima u kretanju i pristupu luci (Lučka uprava Rijeka, 2024).

Dionici iz lokalne zajednice, uključujući stanovnike, poduzeća i ekološke organizacije, strukovna udruženja, obrazovne institucije, interesne zajednice, npr. Hrvatska gospodarska komora, Hrvatska obrtnička komora i sl. Dionici lokalne zajednice zainteresirani su za utjecaj procesa i aktivnosti luke na okoliš i kvalitetu života.

Konkretni dionici i njihove uloge mogu varirati ovisno o lokaciji luke, odnosno državi u kojoj se luka nalazi i propisima kojima podliježe, vlasničkoj strukturi i vrsti lučkih aktivnosti. Učinkovita suradnja između svih dionika važna je za uspješno funkcioniranje i razvoj luke pa tako i za tranziciju luke u *pametnu luku*.

2.3. Upravljanje teretnim morskim lukama

Primjetna je promjena načina upravljanja, odnosno oblika vlasništva u teretnim morskim lukama (ESPO, 2022). Isto je potaknuto traženjem načina kako provesti velike razvojne projekte luka, kao što je digitalizacija, odnosno tranzicija u *pametne luke*. Načini upravljanja lukom prema definiciji Svjetske banke jesu (Charłampowicz, 2019):

1. *Service* luka: imaju dominantno javni karakter. Lučka uprava posjeduje, održava i upravlja svim raspoloživim dobrima luke, a manipulacije teretom obavljaju radnici koji su zaposleni u luci.
2. *Tool* luka: lučka uprava posjeduje, razvija i održava lučku infrastrukturu i lučku suprastrukturu (obalni kranovi, ...). Manipulacije teretom mogu obavljati i privatne tvrtke kojima lučka uprava dodijeli koncesije.
3. *Landlord* luka: lučka uprava funkcionira kao regulatorno tijelo i kao posjednik zemljišta, dok manipulacije teretom obavljaju privatne tvrtke. Infrastruktura se daje na korištenje privatnim tvrtkama. Privatne tvrtke pritom održavaju vlastitu suprastrukturu i prekrcajnu mehanizaciju.
4. Privatna luka: u potpuno privatiziranoj luci lučko je zemljište privatno, suprotno rješenjima u ostalim modelima upravljanja lukama.

Europska organizacija morskih luka (*European Sea Ports Organisation* - ESPO) provela je 2022. godine istraživanje o trendovima u upravljanju morskim lukama *"Trends in EU's port governance 2022*" (ESPO, 2022). U istraživanju su navedeni primjeri luka Kalipedia (Litva), Pirej i Thessaloniki (Grčka). Inicijativom litvanske vlade, vlasništvo luke Klaipedia promijenjeno je iz državnog vlasništva u privatno društvo, kako bi se omogućilo fleksibilnije upravljanje i bolje mogućnosti investiranja u projekte kao što je digitalizacija, odnosno implementiranje modela *pametna luka.* Grčka luka Thessaloniki ima samo 7 % državnog vlasništva, dok je 67 % u vlasništvu konzorcija investitora, a 26 % je izlistano na burzi *Athens Stock Exchange* (ESPO, 2022).

Provedeno istraživanje je pokazalo da je 72 % upravnih tijela luke aktivno u projektima digitalizacije odnosno implementacije digitalnih tehnologija. Dvije trećine ispitanih upravnih tijela luke jesu partneri u inovacijskim projektima u koje su uključeni korisnici i drugi dionici luke te privatne tvrtke, dok 46 % ispitanih sudjeluje u kreiranju inovacijskog ekosustava luke. U istraživanju su posebno istaknuti primjeri *pametnih luka* Hamburg i Valencia. Zaključeno je da vlasništvo i upravljanje u lukama, u kontekstu razvoja i provođenja velikih projekata kao što je i digitalizacija luke, odnosno tranzicija u *pametnu luku*, najčešće podrazumijevaju veću involviranost privatnog sektora (ESPO, 2022).

2.4. Digitalizacija teretnih morskih luka

Digitalizacija omogućava značajne promjene u poslovnim procesima teretnih morskih luka, transformirajući tradicionalne procese i povećavajući učinkovitost, sigurnost i održivost (PierNexT, 2022). Unatoč tome, digitalizacija teretnih morskih luka sporija je u odnosu na neke druge industrije (Jović, Tijan, Brčić, Pucihar, 2022).

Digitalizacija je omogućila prijelaz s papirnate dokumentacije na elektroničke sustave za upravljanje carinjenjem, fakturiranjem i drugim administrativnim aktivnostima. Digitalne tehnologije i sustavi koriste se za pojednostavljenje obrade dokumenata, smanjenje pogrešaka i povećanje transparentnosti.

Omogućena je automatizacija aktivnosti manipulacije teretom korištenjem autonomnih vozila (Sanchez-Gonzalez, Díaz-Gutiérrez, Leo, Núñez-Rivas, 2019). Na automatiziranim kontejnerskim terminalima npr. mogu se učinkovito premještati kontejneri između brodova i slagališta bez ljudske intervencije, što dovodi do bržeg vremena obrta kontejnera i smanjenih troškova rada u lukama (Heuermann, Duin, Gorldt, Thoben, 2017).

Nadalje, luke implementiraju *pametne sustave upravljanja*, pokretane digitalnim tehnologijama kao što su *Internet stvari*, *Umjetna inteligencija* i *Veliki podatci*. Sustavi optimiziraju lučke procese pružanjem uvida u kretanje plovila, kretanje tereta i raspodjelu resursa u stvarnom vremenu. Digitalizacija je lukama omogućila prikupljanje i analizu velikih količina podataka iz različitih izvora, uključujući senzore, opremu i podatke prikupljene od dionika. Napredni analitički alati mogu optimizirati raspodjelu resursa luke. Analiziranjem podataka o performansama opreme u stvarnom vremenu, luke mogu identificirati potencijalne kvarove prije nego se dogode, planirati proaktivno održavanje i minimizirati vrijeme zastoja.

Digitalizacija omogućava održivost lučkih procesa optimizacijom potrošnje energije, smanjenjem emisija i minimiziranjem utjecaja na okoliš. *Pametni* sustavi upravljanja energijom, oprema na električni pogon i alternativna goriva omogućuju morskim lukama smanjiti ugljični otisak i biti u skladu s ekološkim propisima. Digitalne tehnologije omogućuju bolje praćenje i upravljanje otpadom i onečišćenjem lučkog područja (Zhao, Wang, Han, 2020).

Buduća perspektiva digitalizacije poslovnih procesa teretnih morskih luka pokazuje smjer prema većoj autonomnosti opreme i vozila u lukama, uz korištenje *Umjetne inteligencije, Interneta stvari*, *5G mobilne mreže* i u budućnosti *6G mobilne mreže* (Future Network Services, 2024).

Implementiranje digitalnih tehnologija i sustava u lukama varira u pojedinim regijama svijeta. U Aziji (osobito Kini) se nalaze neke od najprometnijih luka na svijetu, sa značajnim udjelom globalnog teretnog prometa. Stoga su azijske (osobito kineske luke) kako bi odgovorile na rastuću potražnju, implementirale niz digitalnih tehnologija i sustava. Kineske luke su globalni lideri u automatizaciji i digitalizaciji luka, s najvećim brojem potpuno automatiziranih luka i terminala. Primjeri su luke Shangai, Qingdao, Tianjin, Guangzhou, Xiamen, Dalian, Victoria (Hong Kong), Ningbo-Zhoushan itd. Na

primjer, na kontejnerskom terminalu u luci Ningbo-Zhoushan, koriste se *Robotske dizalice* i *Automatski navođena vozila*. U luci Tianjin koriste se automatizirane dizalice i inteligentni sustavi upravljanja koji doprinose učinkovitoj manipulaciji kontejnerima. Koristeći *5G mrežnu tehnologiju*, automatizaciju i obnovljivu energiju, luka Tianjin postala je prva luka na svijetu koja koristi tehnologiju autonomne vožnje razine 4 (L4) (Riviera, 2023).

Za razliku od kineskih luka, od 360 komercijalnih luka u SAD-u, samo četiri luke imaju poluautomatizirane ili automatizirane terminale: Los Angeles, Long Beach, New York i New Jersey te Virginia (APM Research Lab, 2022). Postoji nekoliko čimbenika koji pridonose sporijoj automatizaciji. Lukama u SAD-u obično upravljaju vladina tijela, privatni operatori ili njihova kombinacija. Tako decentralizirana vlasnička struktura stvara izazove kada je u pitanju koordinacija i financiranje velikih projekata automatizacije, jer dionici imaju različite prioritete i financijske mogućnosti. Dok neke luke imaju moderne objekte i infrastrukturu koji su prikladni za automatizaciju, druge mogu imati ograničenja koja implementaciju automatiziranih sustava čine izazovnijom. S obzirom da automatizacija može dovesti do potencijalnog gubitka radnih mjesta, u lukama u SAD-u prisutan je veliki otpor sindikata. Luke u SAD-u rade unutar složenog regulatornog okvira, što utječe na brzinu automatizacije. Usklađenost sa sigurnosnim, ekološkim i radnim propisima dodatno otežava implementiranje digitalnih tehnologija i sustava (APM Research Lab, 2022).

Napredan primjer je TraPac – potpuno automatizirani kontejnerski terminal u luci Los Angeles. Na terminalu TraPac koriste se automatizirane slagališne dizalice, integrirana mreža lasera, diferencijalni sustav globalnog pozicioniranja i magnetska tehnologija za upravljanje najsuvremenijim portalnim dizalicama na tračnicama koje prenose kontejnere na i sa željezničkih vagona (The Port of Los Angeles, 2023).

U europskim lukama ponešto je bolja situacija nego u američkim lukama. Uglavnom su automatizirane najveće europske luke: Rotterdam, Hamburg, Antwerp-Bruges, Valencia, Barcelona, dok ostale luke imaju sporiji trend automatizacije (Port Technology International, 2023). Na primjer, luka Rotterdam oslanja se uvelike na automatizaciju. S obzirom da je luka Rotterdam ispunila prostorne kapacitete, automatizacija omogućava brz protok velike količine tereta.

Korištenjem tehnologija povezanih s *Industrijom 4.0* (engl. *Industry* 4.0), kao što su *Internet stvari*, *Umjetna inteligencija*, *Veliki podatci i Računalstvo u oblaku*, ubrzana je automatizacija u lukama, s ciljem tranzicije u *pametne luke* (Mohd Salleh et al. 2021). U *Industriji 4.0.* naglašeno je međusobno povezivanje strojeva, uređaja, senzora i sustava, omogućujući besprijekornu komunikaciju i dijeljenje podataka. Karakteristično je odlučivanje korištenjem analitike *Velikih podataka*. Nadalje, sigurnosni sustavi temeljeni na *Umjetnoj inteligenciji* i prediktivnom održavanju, poboljšavaju sigurnost minimiziranjem pogrešaka i identificiranjem potencijalnih opasnosti. Osim toga, optimiziranjem potrošnje energije, *Industrija 4.0* promiče održivost (Parham, Aser, Nazzal, Darras, 2023).

Industrija 5.0 (engl. *Industry* 5.0) i 6.0 (engl. *Industry* 6.0) su napredne faze industrijskog razvoja koje slijede implementaciji Industrije 4.0.

Industrija 5.0 usredotočena je na postizanje skladne integracije ljudskih i tehnoloških sposobnosti. U fokusu su digitalne tehnologije i sustavi kao pokretači, ali s naglaskom na pristup usmjeren na čovjeka. Ključne značajke *Industrije 5.0* jesu (TWI, 2023; Adel, 2022):

- Interakcija čovjeka i stroja: tehnologija se koristi za poboljšanje ljudskih sposobnosti, a ne kao njihova zamjena. Isto uključuje stvaranje kooperativnih radnih okruženja u kojima se ljudi i strojevi nadopunjuju, pri čemu ljudi doprinose kreativnosti i vještinama rješavanja problema.
- Otpornost (engl. *Resilience*): mogućnost prilagodbe u okolnostima iznenadnih promjena u radu uzrokovanih kvarovima i drugim izvanrednim situacijama.
- Etički i održivi razvoj: *Industrija 5.0* ima za cilj odgovoriti na društvene i ekološke izazove kroz inovacije i tehnologiju, kroz rješenja (tehnologije) za stvaranje održivog društva minimiziranjem potrošnje resursa.

Industrija 6.0 je još uvijek koncept u razvoju. *Industrija 6.0* predstavlja integraciju novih tehnologija koje nadilaze opseg *Industrije 5.0*. Očekuje se kako će se u okviru koncepta *Industrije 6.0* razviti autonomni sustavi koji mogu međusobno komunicirati i surađivati u stvarnom vremenu, bez značajne ljudske intervencije. Očekuje se da će *Industrija 6.0* dodatno pospješiti automatizaciju i povezivost, kako bi omogućila besprijekorne i učinkovite procese u svim industrijama. Neke od ključnih značajki *Industrije 6.0*. uključuju sljedeće (Ericsson, 2024):

- Napredna automatizacija: implementacija autonomnih strojeva i sustava koji mogu samostalno obavljati složene zadatke što može uključivati digitalne tehnologije poput *Napredne robotike*, *Strojnog učenja* i *Kognitivnog računalstva.*
- Hiperpovezanost: integracija digitalnih sustava, uređaja i senzora u *Industriji 6.0* dovodi do opsežne povezivosti, čime se omogućava razmjena podataka u stvarnom vremenu i neometana komunikacija.

Industrija 6.0 predstavlja sljedeću fazu industrijske transformacije i ima potencijal promjene načina provedbe procesa u svim sektorima kako bi se potaknula učinkovitost, inovacije i gospodarski rast.

Digitalizacija teretnih morskih luka krucijalna je za kvalitetu poslovnih procesa u lukama odnosno kvalitetu lučke usluge (Agatić, Kolanović, 2020).

3. PRIMJENA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA I SUSTAVA U TERETNIM MORSKIM LUKAMA I KONCEPT *PAMETNA LUKA*

Predmet analize u ovom poglavlju je primjena digitalnih tehnologija i sustava u teretnim morskim lukama te značajke koncepta *pametna luka*. Najprije je napravljen pregled digitalnih tehnologija i sustava koje se koriste u teretnim morskim lukama. Potom je opisan razvoj generacija luka, razvoj koncepta *pametna luka* te su navedene značajke *pametne luke.* Nadalje, analizirane su komponente *pametne luke*. Naposljetku, napravljena je analiza relevantnih primjera luka uspješnih u primjeni digitalnih tehnologija i sustava, odnosno uspješnih u procesu tranzicije u *pametnu luku*.

3.1. Digitalne tehnologije i sustavi u lukama

Prije razmatranja koncepta *pametna luka*, uputno je analizirati digitalne tehnologije i sustave koji se koriste u lukama. Primjenjujući pristup odozdo prema gore (engl. *bottom-up*), digitalne tehnologije potrebno je analizirati uzimajući u obzir da je razvoj i implementiranje istih doveo do razvoja koncepta *pametna luka.*

U svrhu definiranja tehnologija i sustava u lukama, napravljena je detaljna analiza relevantnih istraživanja koja uključuju znanstvene radove (ukupno 120 radova- konstatirano u prvom poglavlju i sadržano u popisu literature). Uvidom u znanstvene radove identificirane su digitalne tehnologije koje se najčešće koriste u lukama. Dodatno su istraženi internetski izvori u vidu stručnih portala (na temu digitalnih tehnologija, pomorstva, luka) kako bi se dobio uvid u recentne spoznaje o digitalnim tehnologijama i sustavima. Slijedom analize, digitalne tehnologije i sustavi u lukama mogu se podijeliti u dvije kategorije, sukladno vremenskom okviru razvoja i implementacije od najstarijih do recentnih disruptivnih tehnologija:

- **Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi:** odnose se na digitalne tehnologije i sustave koje se koriste u lukama u razdoblju koje obuhvaća nekoliko posljednjih desetljeća, a dio tehnologija i sustava su postali standardni (uobičajeni) u poslovanju luka ili su postale zakonski, regulatorno obvezni za korištenje u lukama.
- **Disruptivne digitalne tehnologije:** digitalne tehnologije koje su povezane s *Industrijom 4.0* i *Industrijom 5.0*, a primjenom kojih je napravljen značajan pomak prema dodatnoj digitalizaciji i automatizaciji luka. Nastavno, riječ je o tehnologijama koje su ubrzale tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke.* Isto tako to su tehnologije koje se mogu povezati s nadolazećom *Industrijom 6.0.*

U tablici 1. u nastavku prikazane su digitalne tehnologije i sustavi koje se, sukladno pregledanoj literaturi, najčešće koriste u teretnim morskim lukama.

Tablica 1. Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi te disruptivne digitalne tehnologije u teretnim morskim lukama

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi		
Informacijski sustav lučke zajednice (*Port Community System* – PCS)	Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu *(Maritime Single Window* – MSW)	Sustav pomorskog prometa *(Vessel Traffic System* – VTS)
Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom *(Vessel Traffic Monitoring & Information Systems* – VTMIS)	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija *(Radio-frequency identification* - RFID)	Optičko prepoznavanje znakova *(Optical Character Recognition* – OCR)
Bar kod tehnologija (*Barcode technology*)	QR kod tehnologija *(QR technology)*	Skeneri (3D, laser, X-ray) (*Scanner*)
Automatsko prepoznavanje registarskih pločica (*Automated Number Plate Recognition – ANPR*)	Sustavi video nadzora/Sustav televizije zatvorenog kruga *(Video suverillance system)/ Closed-Circuit Television – CCTV)*	Termovizijske kamere (*Thermal cameras*)
Kontrola pristupa mobilnim uređajem *(Mobile access control)*	ID kartice *(ID card)*	Sustav automatiziranog ulaza i izlaza (*Automated gate system*)
Sustav za rezervaciju vozila *(Vehicle booking system)*	Automatski navođena vozila	Automatizirani terminalski traktori *(Automated terminal tractors)*

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi		
	(Automated Guided Vehicles −AGV)	
Automatizirani viličari *(Automated forklifts)*	Automatizirane slagališne dizalice *(Automated Stacking Cranes −ASC)*	Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama ili kotačima (RMG dizalice) (*Automated Rail-Mounted Gantry Crane* ARMG) (*Rubber Tyerd Gantry Crane* − RMG)
Sustav za upravljanje terminalom *(Terminal Operating System* – TOS)	Sustav za upravljanje skladištem (*Warehouse Management System* − WMS)	Sustav upravljanja internim transportom *(Yard Management System* −YMS*)*
Sustavi lociranja u stvarnom vremenu *(RTLS- Real Time Location Systems)*	Sustav za praćenje kontejnera *(Container tracking system)*	Sustav za planiranje resursa *(Enterprise Resource Planning − ERP)*
Sustav za potporu odlučivanju *(Decision Support System − DSS*)	Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima *(Supervisory Control and Data Acquisition System −* SCADA)	Mobilne mreže 3G, 4G, *(Mobile networks)*
Bežična senzorska mreža *(Wireless Sensor Network − WSN)*	Bežična *Bluetooth* tehnologija	WIFI bežična mreža *(Wireless network)*
Elektronička razmjena podataka	XML poruke *(EXtensible Markup Language − XML)*	Komunikacija bliskog polja

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi		
(Electronic Data Interchange – EDI)		(*Near Field Communication* – NFC)
LTE mreža (bežični standard) *Long-Term Evolution Standard)*	Sustav za prepoznavanje broja kontejnera (*Container Number Recognition System* – CNRS)	Online sustavi za naloge i obračun usluga (*Online order and billing systems*)

Disruptivne digitalne tehnologije		
Internet stvari (*Internet of Things* – IoT)	Tehnologija ulančanih blokova *(Blockchain)*	Umjetna inteligencija *(Artificial intelligence)*
Strojno učenje *(Machine learning)*	Digitalni blizanac *(Digital twin)*	Veliki podatci *(Big data)*
Računalstvo u oblaku *(Cloud computing)*	Virtualna stvarnost/Proširena stvarnost/Mješovita stvarnost *(Virtual reality/Augmented reality/Mixed reality)*	Dronovi *(Drones)*
5G mobilna mreža (*5G mobile network*)	Neuronska mreža *(Neural network)*	Pametni senzori *(Smart sensors)*
3D printanje *(3D printing)*	Biometrijsko prepoznavanje *(Biometric recognition)*	*Inteligentne kamere (Intelligent cameras)*
Kibernetičko fizički sustav *(Cyber physical system)*	Napredna analitika (*Advanced analytics*)	Autonomni mobilni roboti *(Autonomous mobile robots)*

Disruptivne digitalne tehnologije		
Rubno računalstvo *(Edge computing)*	Kvantno računalstvo *(Quantum computing)*	Mobilno računalstvo *(Mobile computing)*
Računalni vid *(Computer vision)*	Dubinsko učenje *(Deep learning)*	Generativna umjetna inteligencija *(Generative AI)*
Homomorfna enkripcija *(Homomorphic encryption)*	6G mobilna mreža *(6G network)*	Nulta latencija *(Zero latency)*
Sučelje čovjek-stroj *(Human machine interface)*	Proširena povezana radna snaga *(Augmented connected workforce)*	Konverzacijska korisnička sučelja *(Conversational user interfaces)*
Nosiva tehnologija *(Wearables)*		

Izvor: Izradila doktorandica

U nastavku je ukratko pojašnjeno značenje prethodno identificiranih kategorija tehnologija: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* u lukama te *Disruptivne digitalne tehnologije*. Neke od navedenih tehnologija, detaljnije će se razmatrati okviru analize *digitalne zrelosti* luka (Poglavlje 4.) te u okviru scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* (Poglavlje 5.).

3.1.1. Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi

Informacijski sustav lučke zajednice jedan je od ključnih sustava u *pametnim lukama* jer omogućava dionicima lučke zajednice komunikaciju "bez papira" (engl. *Paperless communication*), standardizaciju poruka koje se razmjenjuju među dionicima, transparentnost kretanja tereta, praćenje, kontrolu, obavijesti o opasnim teretima te informacije u stvarnom vremenu. Kako bi dionici uključeni u trgovinu i transport razmijenili standardizirane informacije i dokumente te ispunili regulatorne zahtjeve koji se odnose na trgovinu, u lukama se implementira sustav *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu* (EMSA, 2023). Sustav na jednom mjestu objedinjuje pomorske i lučke administrativne postupke. Nadalje, sustavi praćenja i kontrole pomorskog prometa neophodni su u lukama. *Sustav pomorskog prometa* (VTS) pruža jednostavne informacijske poruke brodovima, kao što su položaj drugog plovila ili upozorenja o meteorološkim opasnostima, do opsežnog upravljanja prometom unutar luke ili plovnog puta (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024). *Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom* (VTMIS) je prošireni VTS sustav i napredno je integrirano rješenje za potrebe praćenja i nadzora. VTMIS je integrirani sustav za sigurnost i upravljanje pomorskim prometom, praćenje i zaštitu morskog okoliša te podršku operacijama traganja i spašavanja (SAR) u VTMIS području (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024). sastoji od mreže senzora, komunikacijske opreme i softvera za obradu podataka, kako bi se omogućio sveobuhvatan pregled prometa plovila u određenom području (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024).

U lučkim aktivnostima koriste se digitalne tehnologije za identifikaciju i označavanje. *Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija* koristi radiovalove kako bi prepoznala objekt te kako bi se razmijenile informacije između uređaja u svrhu identifikacije i praćenja objekata (TechTarget, 2024). U lukama se koristi za praćenje i nadzor kontejnera, automatsko prikupljanje i provjeru informacija o vozilima (Heilig, Voß, 2017). U luci Los Angeles, npr. *Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija* koristi se za poboljšanje praćenja i nadzora kontejnera. Sustav koristi oznake koje su pričvršćene na svaki kontejner, a čitaju ih čitači postavljeni na različitim mjestima u luci. Nadalje, kao tehnologija identifikacije u lukama se koristi *Optičko prepoznavanje znakova*. Pomoću *Optičkog prepoznavanja znakova* iz skeniranih dokumenata izdvaja se tekst (IBM, 2023). Lučki operatori koriste *Optičko prepoznavanje znakova* za automatizaciju identifikacije opreme, kao i ekstrakciju podataka i skeniranje dokumenata (Alahmadi et al., 2021). U luci Kopar, *Optičko prepoznavanje znakova* koristi se na ulazu kontejnerskog terminala (dio za ulaz željezničkih vlakova). Sustav prepoznaje brojeve kontejnera i vagona te specifične oznake za opasni teret (Port of Koper, 2022). *Tehnologija automatskog prepoznavanja registarskih pločica* bazira se na *Optičkom prepoznavanju znakova*. Kamera snima sliku registarske tablice vozila, a tablica se očitava pomoću *Optičkog prepoznavanja znakova* (Visio, 2024). U lukama se koristi za kontrolu ulaza u luku i sigurnost, ubrzanje procesa ulaza kamiona na terminal te praćenje

kretanja vozila na području luke (2M Technology, 2023). *Bar kod* tehnologija (crtični kod) jedna je od jednostavnijih koja se u lukama koristi za identificiranje i označavanje tereta. Ukoliko se primjenjuje *Sustav za upravljanje skladištem*, informacije prikupljene skeniranjem bar koda generiraju se u sustavu i omogućuju praćenje statusa tereta. skeniranje oznaka na kontejnerima i teretu unutar kontejnera. Nadalje, u lukama se za identifikaciju koristi i *QR kod*. *QR kod* (kratica za "*quick response*" −brzi odgovor) je dvodimenzionalni kod koji svojom funkcionalnošću nalikuje standardnim *Bar kodovima*, s jednom ključnom razlikom – može ga se čitati mobitelom. Na primjer, u luci Keelung u Tajvanu, *QR kod* koristi se na kontejnerskom terminalu za carinsku inspekciju i dodatan uvid u teret koji se prevozi u kontejneru. Pri smještanju tereta u kontejner, odmah se fotografira i šalje u *cloud* platformu tako da carinski službenici pomoću *QR koda* mogu vidjeti fotografiju tereta (Chang et al., 2020). Nadalje, skeneri (3D, laser) u lukama se koriste za mjerenje udaljenosti, dimenzija tereta, pozicioniranje itd. U lukama se *X-ray* skeneri koriste za pregled kontejnera i vozila na ulazu u luku (Transport Security International, 2021). *Sustav za prepoznavanje broja kontejnera* automatski prepoznaje brojeve kontejnera pomoću kamera (Simocrane, 2023). Sustav može očitati do četiri slike po kontejneru (s različitih strana, kutova ili kamera) te prepoznati broj kontejnera i usporediti s brojem generiranim iz sustava automatizacije (Simocrane, 2023).

Sustav zatvorenog videonadzora u lukama se koristi za sveobuhvatan nadzor područja luke. *Termovizijske kamere* pridonose sigurnosti na području luke. *Termovizijska kamera* mjeri termalnu energiju tijela i objekata te bojama signalizira postojanje kretanje. *Termovizijske kamere* imaju višestruku primjenu u lukama: obalna sigurnost, pomorska sigurnost, otkrivanje ilegalnih ulazaka, provođenje zakona na moru, praćenje i promatranje, operacije traganja i spašavanja, zaštita okoliša (Teledyne Flir, 2017). U luci Portland (Australija), npr. pored klasičnih kamera za videonadzor instalirane su *Termovizijske kamere* koje rade kontinuirano (Teledyne Flir, 2017). *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* koristi se za kontrolu pristupa u zaštićeno područje luke, a uključuje i neke od prethodno navedenih tehnologija. Sustav minimalno uključuje nekoliko komponenti. Prva je identifikacija vozača. U nekim lukama koristi se i dodatna identifikacija vozača, na način da pri dolasku u luku očitaju karticu i unesu osobni broj (PIN). U modernijim lukama kao što je Singapur, vozači skeniraju otisak prsta kako bi potvrdili identitet (Liang Chao, 2017). Druga komponenta je automatsko prepoznavanje registarskih oznaka, a treća prepoznavanje broja kontejnera (Liang Chao, 2017). *Sustav za rezervaciju vozila*, prijevoznicima omogućava rezerviranje termina za preuzimanje i odlaganje kontejnera na terminalu. Sustav ujedno služi i za kontrolu ulaska u područje luke. U luci Felixstowe, koristi se web sustav za rezervaciju kojim se omogućava prijevoznicima da odaberu vrijeme za dolazak u luku te se ujedno provjeravaju i korisnički podatci čime se uvelike smanjuju poteškoće i troškovi uzrokovani netočnim informacijama (Port of Felixstowe, 2024).

Osim kontrole ulaza vanjskih korisnika, u lukama se kontrolira pristup zaposlenika: mobilnim uređajem (na *pametnom* telefonu ili *pametnom* satu nalazi se

digitalna kopija važeće kartice za kontrolu fizičkog pristupa) te *ID karticom* s magnetnim ili čip zapisom (očitavanje na uređaju u luci).

Razvoj digitalnih tehnologija utjecao je i na promjene u aktivnostima vezanim za kretanje i premještaj tereta, osobito kontejnera. Implementirani su automatizirani sustavi odnosno tehnologije: *Automatizirane slagališne dizalice, Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama ili kotačima, Automatski navođena vozila, Automatizirani terminalski traktori, Automatizirani viličari*. *Automatski navođena vozila* samostalno premještaju kontejnere na unaprijed zadanim fiksnim rutama vođenim žicama, magnetskim trakama ili senzorima, bez izravne ljudske intervencije (Mobile Industrial Robots, 2024). Nadalje, u lukama se koriste *Automatizirane slagališne dizalice*, montirane na tračnice koje prekrcavaju kontejnere te su važna komponenta automatizacije kontejnerskog terminala omogućujući brže i kontinuirano slaganje, premještanje i preuzimanje kontejnera. Koriste se i *Automatizirani portalni prijenosnik* velikog raspona na tračnicama za prekrcaj kontejnera između vagona i slagališta. *Automatizirani terminalski traktori*, koriste se za premještanje prikolica, kontejnera ili drugog tereta unutar terminala. Opremljeni su senzorima i navigacijskim sustavima, jednako kao i *Automatizirani viličari*.

Sustav za upravljanje terminalom omogućava koordinaciju kretanja tereta unutar luke (terminala), optimiziranje korištenja opreme i analizu podataka u svrhu donošenja odluka. Jedan od najpoznatijih sustava za upravljanje terminalom je NAVIS *(Navis Synchronous Planning and Real-time Control System)*, koji se primjerice koristi u luci Rijeka, na kontejnerskom terminalu Brajdica − verzija SPARCS N4. Sustav omogućava operatorima da na svaku promjenu u radnim uvjetima reagiraju odmah s obzirom na informacije u stvarnom vremenu, automatiziraju donošenje odluka te poboljšavaju produktivnost kontejnerskog terminala (Adriatic Gate Container Terminal, 2023).

U lukama se koristi i Sustav za upravljanje skladištem koji omogućava učinkovit rad skladišta "bez papira". *Sustav za upravljanje skladištem* omogućava integrirano upravljanje i kontrolu skladišnih procesa od trenutka kada teret uđe u skladište do trenutka otpreme (TechTarget, 2020).

Sustav upravljanja internim transportom omogućava koordinaciju kretanja tereta i vozila unutar luke (Yalantis software engineering, 2023). U luci Gdansk, npr. zbog učestalih gužvi na ulazu poradi velikog broja kamiona koji su dolazili u isto vrijeme, implementiran je prilagođeni *Sustav upravljanja internim transportom* (Etteplan, 2023).

Sustavi lociranja u stvarnom vremenu omogućavaju upravljanje i praćenje. Sustav koristi razne bežične digitalne tehnologije, a luke implementiraju sustav za praćenje u stvarnom vremenu te lociranje opreme na terminalima (Alahmadi et al., 2021). *Sustav za praćenje kontejnera* omogućava praćenje kontejnera prema broju kontejnera. Broj kontejnera unosi se u online sustav te pokazuje točnu lokaciju kontejnera.

Sustav za planiranje resursa omogućava integrirano upravljanje glavnim poslovnim procesima, u stvarnom vremenu. Sustav može biti lokalni ili baziran na

računalstvu u oblaku. *Sustav za planiranje resursa* omogućava bolju integraciju informacija iz različitih poslovnih procesa (SAP, 2023).

Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima omogućava nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u različitim procesima te je primjenjiv u raznim domenama pa tako i u lukama. U luci Dover (UK) sustav je implementiran za poboljšano upravljanje, praćenje i izvješćivanje o zauzetosti vezova (SCADA International, 2023).

Sustav za potporu odlučivanju je informacijski sustav koji podržava poslovne ili organizacijske aktivnosti donošenja odluka. Sustav omogućava detaljna informativna izvješća prikupljanjem i analizom podataka (Corporate Finance Institute, 2023), stoga se razlikuje od klasičnih operativnih aplikacija čiji je cilj prikupljanje podataka, ali ne i analiza.

U lukama se primjenjuju različite *mrežne digitalne tehnologije*, a bez kojih je nemoguća značajnija automatizacija aktivnosti, pri čemu je za luke osobito važan razvoj *5G mobilne mreže* koja će se razmatrati i u sljedećem poglavlju. Treća generacija mobilne mreže (3G) bila je prva značajnija generacija mobilnih mreža, s obzirom da je u odnosu na prethodnu 2G generaciju omogućila veću brzinu i kapacitet prijenosa podataka te povezivanje mobilnih uređaja na internet bez obzira na lokaciju na kojoj se nalaze. Četvrta generacija (4G) omogućila je višu razinu povezivanjem *pametnih* telefona i uređaja. *Bežična mreža/Bežični standardi/WIFI/LTE* u širokoj su upotrebi u lukama. *WiFi* je bežična mrežna tehnologija koja omogućava računalima, mobitelima i drugim uređajima bežično komuniciranje međusobno i internetom. LTE je bežični standard četvrte generacije (4G) koji pruža povećani mrežni kapacitet i brzinu za mobilne telefone i druge mobilne uređaje u usporedbi s tehnologijom treće generacije (3G). LTE omogućava daljinski nadzor i kontrolu različitih sustava i opreme u luci. LTE tehnologija jedna je od najkorištenijih u automatiziciji aktivnosti u vodećim lukama (TechTagret, 2023). *Bežična senzorska mreža* odnosi se na grupu prostorno raspršenih i namjenskih senzora za praćenje i bilježenje fizičkih stanja okoliša (temperatura, zvuk, razine zagađenja, vlaga, brzina i smjera vjetra, tlak itd.) i organiziranje prikupljenih podataka na središnjem mjestu. *Bluetooth* tehnologija omogućava bežičnu razmjenu podataka između dvaju ili više uređaja, a veza se uspostavlja radiovalovima (Heilig & Voß, 2017).

Elektronička razmjena podataka je automatizirana razmjena poslovnih dokumenata između organizacija (IBM, 2023). Tradicionalno, papirnati dokumenti ili e-poruke s privicima dijele se između predstavnika poduzeća koji zatim ručno obrađuju i popunjavaju podatke dokumenta u svojim podatkovnim sustavima poduzeća (IBM, 2023). Elektronička razmjena podataka automatizira rad tako da digitalni sustavi mogu dijeliti i obrađivati dokumente (IBM, 2023). U lukama se primjenjuju EDIFACT poruke. Osim toga, u lukama se mogu primijeniti i XML poruke (IBM, 2023).

Komunikacija bliskog polja je tehnologija bežičnog povezivanja kratkog dometa koja koristi indukciju magnetskog polja kako bi omogućila komunikaciju između uređaja kada se dodirnu ili približe na nekoliko centimetara jedan od drugog i uključuje provjeru autentičnosti (TechTarget, 2022). U lukama se koriste i različiti *Online sustavi za naloge*

i obračun usluga, a koji su kreirani posebno prema potrebama svake luke za provedbu radnih naloga te obračuna i plaćanja lučkih usluga.

Svakako treba istaknuti da su digitalne tehnologije međusobno povezane odnosno komplementarne, kao što je prethodno navedeno za digitalne tehnologije identifikacije i sigurnosti pristupa i kretanja lukom. Na primjer, AGCT Navis – ZPMC PDS/RTLS TOS interface – informatičko je sučelje koje povezuje mosne dizalice na skladišnom prostoru terminala i Navis sustav za upravljanje terminalom. Uz pomoć *Globalnog pozicijskog sustava* (GPS), svaki pokret dizalice automatski se bilježi u NAVIS-u tako da se u svakom trenutku zna točna pozicija svakog pojedinog kontejnera na terminalu (usluga u stvarnom vremenu) (Adriatic Gate Container Terminal, 2023).

3.1.2. Disruptivne digitalne tehnologije

Tehnologija *Internet stvari* ima široku primjenu u lukama, a očekuje se i da će u budućnosti biti jedna od najznačajnijih tehnologija u svim lučkim procesima odnosno aktivnostima. *Internet stvari* kreira mrežu u kojoj su različitim uređajima koji međusobno komuniciraju povezani tehnička oprema te osoblje luke. Omogućava upravljanje imovinom luke (engl. *asset management*), prediktivno održavanje (engl. *predictive manintenance*) komponenti dizalica, praćenje i nadzor kontejnera, praćenje i nadzor plovila, praćenje ekoloških, energetskih i vremenskih parametara itd. (Brunila, Kunnaala-Hyrkki, Inkinen, 2021). Uz tehnologiju *Internet stvari* povezana je upotreba *pametnih* senzora kao uređaja koji reagiraju na svjetlost, toplinu, kretanje, vlagu, tlak itd. Pojavni oblici *Interneta stvari* su *Industrijski internet stvari* (engl. *Industrial Internet of Things − IIoT*), *Podvodni internet stvari* (engl. *Underwater Internet of Things − UIoT*), te *Internet brodova* (engl. *Internet of Ships − IoS*).

Tehnologija ulančanih blokova primjenjuje se u lukama kako bi se smanjilo vrijeme ručne obrade, rizik pogrešaka i povećala transparentnost te sigurnost u financijskim transakcijama (Tsiulin, Hegner Reinau, 2021). (Tsvetkova, Gustafsson, WikstrÃom, 2021). Primjena se očituje u *pametnim* ugovorima (Jović, Filipović, Tijan, Jardas, 2019), koji su "samoizvršujući" ugovori s izravnim uvjetima ugovora upisanim u njihov kod. Korištenjem digitalne *Tehnologije ulančanih blokova* u lukama je moguće provesti zaštićene financijske transakcije, carinske procedure (Duran et al., 2021). Jedan od primjera pilot projekta korištenja u lukama je *CargoX Smart Bill of Lading* – teretnica, uspješno zaprimljena u luku Kopar iz luke Shanghai. Teretnica za ovu pošiljku izdana je elektronički i prenesena uz pomoć sigurne i pouzdane javne mreže digitalne *Tehnologije ulančanih blokova* u samo nekoliko minuta umjesto dana ili tjedana, a mogućnosti za gubitak, krađu ili oštećenje teretnice su u potpunosti minimizirane (Cargo X, 2018).

Umjetna inteligencija odnosi se na računalne sustave sposobne za obavljanje složenih zadataka kao što ih obavlja čovjek (rasuđivanje, donošenje odluka ili rješavanje problema). U lukama se koristi za automatizaciju sustava, poboljšanje sigurnosti i zaštite, procjenu vremena dolaska broda, optimizaciju vremena zadržavanja kontejnera, prognoze

performansi u stvarnom vremenu (González Cancelas, Molina Serrano, Soler Flores, F, 2021).

Strojno učenje predstavlja oblik korištenja, potpodručje *Umjetne inteligencije*, a podrazumijeva računala programirana da repliciraju i imitiraju ljudske procese donošenja odluka (IBM, 2023). *Strojno učenje* u lukama se može primijeniti za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu iz senzora i baza podataka te konvertiranje u algoritme *Umjetne inteligencije* kojima se potom može pratiti rute brodova za procjenu točnog vremena dolaska broda (engl. *Estimated Time of Arrival* −ETA), a čime se može optimizirati vrijeme korištenja veza.

Digitalni blizanac predstavlja virtualni model fizičkog objekta, sustava ili procesa koji se kreira u stvarnom vremenu. Tehnologija *Digitalni blizanac* omogućava lukama kreiranje digitalne replike fizičke stvarnosti luke i informacije u stvarnom vremenu (Wang, Hu, Zhoz, Zun, Qian, 2021). U luci Mawan u Kini, npr. *Digitalni blizanac* koriste se za nadzor područja luke od milijun m^2 te bilježenje kretanje svih kontejnera na području luke. Luka Singapur koristi tehnologiju *Digitalni blizanac* za nadzor prometa u luci, a luka Oulu (Finska) u svrhu zaštite okoliša i energetske učinkovitosti (Wang, Hu, Zhoz, Zun, Qian, 2021). Tehnologija *Digitalni blizanac* može se koristiti u poboljšanju kibernetičke sigurnosti luke (Yigit, Kinaci, Duong, Canberk, 2023) te poboljšanju energetske učinkovitosti luke (Bauer, Dunger, Graf, Warmann, 2022).

Veliki podatci odnose se na skupove podataka koji se računalno analiziraju kako bi se otkrili obrasci, trendovi i povezanosti. Omogućavaju prediktivnu analizu (engl. *predictive analytics*), čime se može poboljšati učinkovitost lučkih aktivnosti reagiranjem unaprijed (Sedna, 2022).

Računalstvo u oblaku omogućava dostupnost resursa računalnog sustava na zahtjev, posebice pohrane podataka. Lukama je *Računalstvo u oblaku* omogućilo kreiranje digitalnih platformi i sigurnu pohranu velikih količina podataka o svim aktivnostima luke (IBM, 2024).

Virtualna stvarnost/Proširena stvarnost/Mješovita stvarnost: *Virtualna stvarnost* je simulirano 3D okruženje koje korisnicima omogućava istraživanje i interakciju u virtualnom okruženju na način koji je približan stvarnosti te kako je percipiraju osjetila korisnika. *Proširena stvarnost* je poboljšana, interaktivna verzija okruženja stvarnog svijeta koja se postiže pomoću digitalnih vizualnih elemenata, a uključuje tri značajke: kombinaciju digitalnog i fizičkog svijeta, interakcije u stvarnom vremenu i 3D identifikaciju virtualnih i stvarnih objekata (Microsoft, 2023). *Virtualna stvarnost* i *Proširena stvarnost* spajaju se u *Mješovitoj stvarnosti*, koja opisuje okruženja u kojima stvarni i virtualni subjekti i objekti stupaju u interakciju u stvarnom vremenu. Čileanska brodarska tvrtka *Compañía Sud Americana de Vapores* (CSAV), otvorila je "lučku operativnu sobu" na Južnopacifičkom pomorskom trgovačkom institutu (*Instituto Comercial Marítimo Pacífico Sur* −INCO), kako bi se pomoću virtualne stvarnosti podučavali studenti *Studija lučkih operacija i logistike*. Za podučavanje se primjenjuju

simulatori rada opreme koja se koristi u lukama (Compañía Sud Americana de Vapores, 2023).

Dronovi su bespilotne letjelice kojima se može upravljati daljinski. Koriste se i *Podvodni dronovi* (engl. *Underwater drones*). *Dronovi* omogućuju uvid u aktivnosti luke u stvarnim vremenu te pristup teško dostupnim, potencijalno i opasnim mjestima za zaposlene u luci. U luci Hamburg, *Dronovi* se koriste za održavanje velikih mostova, na način snimanja most čime se mogu utvrditi eventualna oštećenja (PierNext, 2021).

5G mobilna mreža omogućila je još veći razvoj digitalnih usluga te je osigurala funkcioniranje i povezivanje brojnih tehnologija i opreme u lukama, znatno većom brzinom u odnosu ne prethodne generacije. 5G omogućava lukama fleksibilnije i sigurnije aktivnosti (Delloite, 2023). U luci Ningbo-Zhoushan, npr. 5G omogućava automatizaciju manipulacije kontejnerima.

Nekoliko je i novijih tehnologija za povezivanje. *NB-IoT* (engl. *Narrowband Internet of Things*) usluga omogućava velikom broju uređaja da mobilnom mrežom šalju korisne informacije s lokacija gdje standardni mobilni signal ne dopire. Idealna je za slanje manje količine informacije kao što su mjerni podatci, alarmi i slično. *LTE-M* je širokopojasna tehnologija male snage koja podržava *Internet stvari* kroz manju složenost uređaja i pruža proširenu pokrivenost. *LoRa* tehnologija je uglavnom namijenjena *M2M* (engl. *Machine to Machine*) i IoT mrežama. Tehnologija omogućava javnim mrežama ili mrežama s više korisnika povezivanje niza aplikacija koje rade na istoj mreži. *SigFox* je bežična mreža za povezivanje objekata male snage kao što su brojila električne energije i *pametni* satovi, koji trebaju biti neprekidno uključeni i emitirati male količine podataka. *Zigbee* je bežična mreža male snage i niske potrošnje te se primarno koristi za kreiranje osobne računalne mreže u kojoj je povezano više uređaja te se primjenjuje i za povezivanje uređaja *Interneta stvari* (Soracom, 2024).

Neuronska mreža je model strojnog učenja dizajniran za oponašanje funkcije i strukture ljudskog mozga (IBM, 2023). *Neuronska mreža* koristi se u raznim aplikacijama, uključujući prepoznavanje slika, prediktivno modeliranje i sl. *Neuronska mreža* je prilagodljiva i ima sposobnost samostalnog modificiranja i promjene. U lukama se *Neuronska mreža* može primijeniti za kreiranje modela kojima se prognozira količina tereta koja se može očekivati u luci čak i za višegodišnje razdoblje (Sadeghi Gargari, Panahi, Akbari, Ng, 2022).

3D printanje ili aditivna proizvodnja je konstrukcija trodimenzionalnog objekta iz CAD modela ili digitalnog 3D modela. Materijal se taloži, spaja ili skrućuje pod računalnom kontrolom, pri čemu se materijal dodaje sloj po sloj. Prva luka u kojoj je primijenjeno *3D printanje* bila je luka Rotterdam koja je postavila prve svjetske 3D tiskane čelične bitve na novom pristaništu u Sleepboothavenu u Rotterdam Heijplaatu, od strane lučkog klastera RAMLAB (Port of Rotterdam, 2021; Constante, de Langen, Pruñonosa, 2023).

Biometrijsko prepoznavanje je način identifikacije ili potvrđivanja identiteta pojedinca. Sustavi za prepoznavanje lica mogu se koristiti za identifikaciju ljudi na

fotografijama, videozapisima ili u stvarnom vremenu. Prepoznavanje lica je kategorija biometrijske sigurnosti. Ostali oblici biometrijskog softvera uključuju prepoznavanje glasa, prepoznavanje otiska prsta i prepoznavanje mrežnice oka ili šarenice. U luci Antwerpen-Bruges, npr. koristi se biometrijska kontrola pristupa terminalu *PSA Breakbulk* (Biometric, 2023).

Inteligentne kamere koriste *Umjetnu inteligenciju* kako bi kreirale snimke inteligentnim identificiranjem objekata i optimiziranjem boja. Luka Antwerp-Bruges je primijenila *Inteligentne kamere* i radarsku infrastrukturu kako bi kontinuirano pratila područje luke i pomorske aktivnosti (Port of Antwerp Bruges, 2023).

Kibernetičko-fizički sustav osigurava integriranje senzora, fizičkih objekata, infrastrukture s *Internetom stvari* te obradu podataka. Jedna od mogućnosti primjene *Kibernetičko-fizičkog sustava* u kontekstu *pametne luke* je da dionici lučke zajednice rade s kolaborativnim robotima, odnosno koriste interakciju čovjeka i tehnologije (Min, 2022).

Autonomni mobilni roboti ne oslanjaju se samo na fiksne rute, već mogu otkriti prepreke i sigurno ih zaobići odabirom najbolje alternativne rute, bez izravne ljudske intervencije. Time se omogućava neprekinuti protok tereta u luci (Mobile Industrial Robots, 2024).

Rubno računalstvo je računalni okvir koji poslovne aplikacije približava izvorima podataka kao što su uređaji *Interneta stvari*. Uključuje obradu podataka blizu njihovog izvora, smanjujući kašnjenje u obradi podataka te je prikladno za uređaje *Interneta stvari* i aplikacije koje zahtijevaju obradu u stvarnom vremenu (IBM, 2023). Primjenom *Rubnog računalstva* u lukama, moguća je automatizacija procesa i primjena autonomnih tehnologija.

Jedna od tehnologija za koju se previđa značajnije korištenje u lukama je *Kvantno računalstvo* (PierNext, 2021). Tehnologija se temelji na principima kvantne teorije te će rezultirati novim algoritmima i načinom obrade informacija i rješavanjem kompleksnih situacija, u odnosu na trenutna superračunala. U lukama postoji nekoliko primjera pilot projekta u kojima se primijenilo *Kvantno računalstvo*. U luci Hamburg, proveden je projekt MOZART, u kojem je *Kvantno računalstvo* korišteno za optimizaciju cestovnog prometa odnosno prometne signalizacije (PierNext, 2022). U luci Los Angeles (na kontejnerskom terminalu Pier 300) *Kvantno računalstvo* korišteno je za optimizaciju pozicioniranja i smještaja kontejnera kako bi se postiglo bolje usklađenje s dolaskom kamiona i vlakova (Virginia Economic Development Partnership, 2023). Luka Rotterdam testirala je primjenu *Kvantnog računalstva* za *Lučki informacijski sustav* Portbase (Port Technology International, 2022).

Mobilno računalstvo je tehnologija koja korisnicima omogućava povezivanje i prijenos podataka, zvuka/glasa i videa bežično s jednog uređaja na drugi. Uređaji koji podržavaju *Mobilno računalstvo* uključuju *pametne* telefone, tablete, prijenosna računala i nosive uređaje, poput *pametnih* satova (TechTarget, 2022).

Računalni vid je dio *Umjetne inteligencije*, a omogućava računalima ili sustavima kreiranje informacija iz slika, videa i drugih vizualnih inputa te daje preporuke za daljnje

postupanje (IBM, 2024). U lukama se može primijeniti za praćenje objekata, klasificiranje, prebrojavanje i praćenje različitih vrsta tereta; upravljanje prometom i parkiranjem; raspored kontejnera. Tehnologija *Računalnog vida* može nadzirati aktivnosti luke kontinuirano te pridonijeti identificiranju neovlaštenog pristupa (Lee, Chatterjee, Cho, 2023).

Dubinsko učenje je metoda u *Umjetnoj inteligenciji* u kojoj računala obrađuju podatke na način koji je inspiriran načinom funkcioniranja ljudskog mozga. Modeli *Dubinskog učenja* prepoznaju složene obrasce u slikama, tekstu, zvukovima i drugim podatcima te omogućuju točne uvide i predviđanja. *Dubinsko učenje* može se koristiti za procjenu vremena dolaska broda u luku (engl. *Estimated Time of Arrival*- ETA) i predviđanje kretanja broda, što je lukama važan ulazni podatak za planiranje lučkih aktivnosti. (El Mekkaoui, Benabbou, Caron, Berrado, 2023).

Generativna umjetna inteligencija napredna je vrsta *Umjetne inteligencije* koja može kreirati različite nove sadržaje, poput slika, videa, glazbe, govora, teksta, softverskog koda i dizajna proizvoda. *Generativna umjetna inteligencija* koristi algoritme *Strojnog učenja* za stvaranje rezultata na temelju skupa podataka-učenje iz podataka, kreiranje novih sadržaja iz podataka i predviđanje na temelju podataka (IBM, 2023). Primjer implementiranja u pomorstvu je SeaGPT, interaktivni komunikacijski program (*chatbot*) koji se temelji na GPT-4 tehnologiji, kao rješenje za pojednostavljenje komunikacije između posade i lučkih agenata (Smart Maritime Network, 2023).

Homomorfna enkripcija je pretvorba podataka u šifrirani tekst koji se može analizirati i obrađivati kao da je još uvijek u izvornom obliku. *Homomorfna enkripcija* omogućava izvođenje složenih operacija na šifriranim podatcima bez ugrožavanja enkripcije (TechTarget, 2022). Potencijalna primjena u lukama je u svrhu ubrzanja procesa vezanih za manipulacije teretom. Na primjer, u slučaju povećane količine tereta i provedbe carinskih procedura moguće je u stvarnom vremenu od strane brodara izdvojeno provjeravati potrebne informacije o teretu: vrijednost, sadržaj, težinu robe i sl., dok je istovremeno moguće zaštiti identitet korisnika. Ujedno, time se ubrzava i proces planiranja dolaska tereta u luku te preuzimanje tereta od strane prijevoznika (Kontron, 2019).

U tijeku je daljnji razvoj *5G mobilne mreže*, a koje ću konačnici rezultirati novom *6G mobilnom mrežom*, koji se očekuje oko 2030. godine (Ericsson, 2024). *6G mobilna mreža* će imati dodatne zahtjeve visoke vremenske i fazne točnosti sinkronizacije te će morati osigurati gotovo 100% geografsku pokrivenost, točnost geolokacije do razine jednog centimetra i brzinu ažuriranja geolokacije u milisekundama (Xiaohu, You et al., 2021).

Nulta latencija jedna je od tehnologija budućnosti, a odnosi se na latenciju mreže koja je gotovo jednaka nuli. Vezuje se uz daljnji napredak mobilnih mreža, osobito razvoj *6G mobilne mreže* (Ericsson, 2024).

Napredna robotika je tehnologija za koju se očekuje veća primjena u lukama u budućnosti. *Napredna robotika* uključuje robotske sustave sposobne preuzimati naredbe

i reagirati na njih na inteligentan način. Na primjer, robot koji obavlja zadatak transporta materijala unutar skladišta, nakon što se suoči s neočekivanom preprekom, donosi odluku o redefiniranju optimalne rute za dovršenje svoje misije (Robotnik, 2024). *Napredna robotika* bit će jedan od temelja automatizacije u *pametnim lukama* u budućnosti (Medium, 2023). Primjer korištenja u lukama su *Automatizirane robotske dizalice*. U lukama (manjem dijelu luka) za automatizaciju aktivnosti koriste se autonomna vozila i oprema. Karakteristike autonomnih vozila i opreme je opremljenost kombinacijama − visokopreciznih senzora GNSS/INS za pozicioniranje na razini centimetra, laserskim skenerima za otkrivanje prepreka i ugrađenim računalnim alatima za navigaciju i kontrolu u stvarnom vremenu. Izvjesna je primjena V2X − *Vozilo prema svemu* (engl. *Vehicle to Everything*) digitalne tehnologije − vozila i infrastruktura povezuju se bežično *5G mobilnom mrežom*.

Sučelje čovjek-stroj je interaktivno grafičko računalno sučelje kojim se korisnici nekog uređaja, stroja ili sustava mogu povezati i nadzirati procese, opremu i sl. (Inductive automation, 2018). Tehnologija *Proširena-povezana radna snaga* je koncept rada zaposlenika u kojem se integriraju tehnologije kako bi se poboljšala sposobnost i produktivnost zaposlenika te unaprijedili poslovni procesi. Neke od tehnologija koje se koriste jesu: *Proširena stvarnost*, *Mješovita stvarnost*, *Internet stvari*, *Računalni vid*, *Umjetna inteligencija*, *Kolaborativni roboti*. *Konverzacijska korisnička sučelja* spajaju čovjeka i računala te omogućuju interakciju prirodnim jezikom u svrhu ispunjavanja zahtjeva, kao što je odgovaranje na pitanje ili izvršenje zadatka (Data Science Central, 2021). *Nosive digitalne tehnologije* su kategorija elektroničkih uređaja koji se mogu nositi kao dodaci, ugraditi u odjeću, ugraditi u tijelo korisnika ili čak tetovirati na kožu. *4D printanje* je proces kojim se 3D printani objekt transformira u drugačiju strukturu utjecajem vanjskog unosa energije kao što su temperatura, svjetlost ili drugi podražaji iz okoline. Objekti dobiveni 4D digitalnom tehnologijom mogu se transformirati tijekom vremena bez ljudske intervencije (Ahmed, Arya, Gupta, Furukawa, Khosla, 2021). Riječ je o vrlo recentnoj tehnologiji, koja se tek istražuje, stoga nije do kraja poznata primjena u niti jednoj domeni pa tako niti lukama. Potencijalno (uzimajući u obzir istraživanja u domeni transporta) u lukama će se moći primijeniti za: dodatne usluge u slučaju potrebe izrade oštećenih dijelova (kao što se sada koristi *3D printanje* u luci Rotterdam); poboljšanje otpornosti opreme u luci kroz dijelove koji se prilagođavaju uvjetima iz okoline što ih čini otpornijima i pouzdanijima te energetski učinkovitijima (Kantaros, Ganetsos, Piromalis, 2023).

3.2. Razvoj koncepta *pametna luka*

Luke su s vremenom evoluirale, pri čemu je osobit utjecaj imao razvoj trgovine, brodova te digitalnih tehnologija i sustava. Moderne luke su u novijoj povijesti dodatno prošle nekoliko faza razvoja, a u literaturi je to često opisano pod nazivom "generacije luka".

Ovisno o autorima, razlikuje se nekoliko generacija luka. Prema (Nguyen, Khoa Pham i Duc Bui, 2022) razlikuje se pet generacija luka. Prva generacija jesu izolirane luke (do 1960. godine) koje su imale ulogu mjesta prekrcaja tereta. Druga generacija luka (od 1960. godine) bile su transportni, komercijalni i industrijski centri. Osamdesetih godina prošlog stoljeća luke su bile u trećoj fazi razvoja kad dolazi do globalne kontejnerizacije, integriranih transportnih i logističkih centara te pojave prvih usluga elektroničke razmjene podataka. Četvrtu generaciju luka (od 1990. godine) obilježilo je stvaranje pomorskih alijansi i implementacija informacijsko-komunikacijskih tehnologija. U tom razdoblju nastali su prvi *Informacijski sustavi lučke zajednice* (engl. *Port Community System*). Od 2010. godine nadalje razvila se peta generacija luka koju obilježava aktivno implementiranje i primjena digitalnih tehnologija, odnosno tranzicija u *pametne luke.* Luke mijenjaju poslovne procese sukladno konceptu *pametna luka* (González Cancelas, Molina Serrano, Soler Flores, 2021).

Iako još uvijek nema potpuno jedinstvene definicije *pametne luke,* više je autora razmatralo značajke *pametne luke*.

Prema (Al Fatlawi, Motlak, 2023) *pametna luka* podrazumijeva automatizaciju svih poslovnih procesa odnosno aktivnosti koje se provode u luci te automatizaciju komunikacije u luci kroz obradu podataka u stvarnom vremenu. Autori (Belmoukari, Audy, Forget, 2023) utvrdili su sljedeće značajke *pametne luke:* inteligentna i inovativna infrastruktura, efikasnost aktivnosti, ekološka održivost, automatizacija, sigurnost i zaštita, povezanost, upravljanje i menadžment ljudskih resursa, suradnja dionika lučke zajednice na projektima, energetska učinkovitost, komunikacija i razmjena informacija među lukama. *Pametna luka* je ona u kojoj su optimizirani ulazni i izlazni tokovi informacija, jamči se održivi razvoj te sigurnost i zaštita kroz korištenje digitalnih tehnologija (Boullauazan, Sys, Vanelslander, 2023). Prema (Cheng, Wu, Ni, 2020) *pametna luka* temelji se na lučkoj razvojnoj strategiji, planiranju i upravljanju uz implementiranje informacijskih tehnologija, kako bi se izgradio *pametan* lučki uslužni sustav te koordinirao tijek tereta, informacija i kapitala. Autori (Chen, Huang, Xie, Lee, Hua, 2019) smatraju da je koncept *pametna luka* neodvojiv od koncepta *zelena luke* (engl. *green port*). *Zelenom* lukom autori smatraju luku koja posluje na principima održivog razvoja. Autori navode da je razvoj *pametne luke* moguć samo uz istovremeno održivo poslovanje *pametne luke,* dok s druge strane smatraju kako bez primjene tehnoloških inovacija u lukama nije moguć razvoj *zelene luke.* Stoga, autori smatraju da razvoj *pametne luke* treba biti utemeljen na tehnološkim inovacijama, zaštiti okoliša, energetskoj učinkovitosti i korištenju tehnologija kako bi se realizirale *pametne* i *zelene* lučke

aktivnosti. Prema (Gonzalez Canselas, Mollina Serrano, Soler Flores, 2020) *pametna luka* temelji se na korištenju digitalnih tehnologija što poboljšava učinkovitost pomorskog transporta. *Pametna luka* podrazumijeva upotrebu digitalnih tehnologija i automatizaciju, kako bi se optimizirala upotreba resursa, poboljšala učinkovitost, sigurnost i zaštita okoliša. Autori (Henriquez, Martinez de Oses, Martinez Marin, 2022) definirali su obilježja *pametne luke*: fokus na korisnike; dodana vrijednost za razvoj luke; povezanost; integracija s *pametnim* gradom; održivost; razmjena podataka u stvarnom vremenu; sinkronizacija. Prema (Makkawan, Munangpan, 2021; Makkawan, Munangpan, 2023), *pametna luka* podrazumijeva autonomnost procesa i aktivnosti u lukama primjenom modernih tehnologija. *Pametne luke* koriste informacijske i komunikacijske tehnologije kako bi se omogućila upotreba *pametnih* aplikacija za bolje upravljanje brodovima i kontejnerima (Yau et al., 2020).

Razmatranjem prethodnih istraživanja, uočava se da su različite digitalne tehnologije i sustavi osnova koncepta *pametna luka*.

Manji dio luka je dostigao visoku razinu *digitalne zrelosti*, a to su uglavnom vodeće svjetske i europske luke – Shangai, Singapur, Qingdao, Rotterdam, Hamburg itd. Navedene luke identificirale su odgovarajuće digitalne tehnologije i sustave te ih implementirale u dovoljnoj mjeri da bi automatizirale aktivnosti pa se stoga mogu smatrati *pametnim lukama*. Veći dio luka još uvijek je u fazi kada ulažu u infrastrukturu i opremu luke te prostorno proširenje. Na primjer, od luka u Republici Hrvatskoj samo luka Ploče pokazuje značajniji iskorak, s obzirom da će se implementirati *5G mobilna mreža*. Implementiranje je financirano bespovratnim sredstvima iz fonda *Instrument za povezivanje Europe* (*Connecting Europe Facility* – CEF), (Eruopean Commission, 2024).

3.3. Komponente *pametne luke*

Kako bi se detaljno razmotrila primjena koncepta *pametna luka* potrebno identificirati komponente *pametne luke*. U nastavku se izlaže pregled istraživanja, a u kojima su autori definirali komponente *pametne luke*.

Prema (Belmoukari, Audy, Forget, 2023) komponente *pametne luke* su: infrastruktura, oprema i inovativne digitalne tehnologije; aktivnosti; energetika; okoliš; sigurnost i zaštita; društvo; ljudski resursi.

Prema (Behdani, 2023), komponente *pametne luke* su: prometna komponenta, infrastrukturna komponenta i protok tereta kroz luku, bazirano na digitalnim tehnologijama.

Prema (Douaioui, Fri, Marbouki, Semma, 2018) razlikuju se dvije glavne komponente *pametne luke*. Prva komponenta je međupovezanost, a uključuje: *pametne* informacijske sustave, podatkovni centar i kibernetičku sigurnost. Druga komponenta je automatizacija, a uključuje: *pametne* brodove, *pametne* kontejnere, automatizirane aktivnosti.

Autori (Duran, Cordova, Palominos, 2019), izradili su konceptualni model *pametne luke* te su kao komponente *pametne luke* naveli sljedeće:

- Kognitivna: upravljanje znanjem, baza znanja, intelektualni kapital.
- Kibernetička: *Internet stvari*, digitalne mreže, baze podataka, jedinstveno sučelje (engl. *single window*).
- Društvena: društvene mreže, društveni kapital, platforme, pravni, kulturološki i okolišni aspekt.
- Tehnologija: *Internet stvari*, *Umjetna inteligencija*, robotika, digitalne mrežne tehnologije.

U istraživanju koje su proveli (Heikkila, Saarni, Sau, 2022) na primjeru vodećih svjetskih luka, definirane su sljedeće kategorije *pametnih* aktivnosti u lukama:

- Automatizacija: aktivnosti na terminalu, optimizacija pomorskog prometa, optimizacija kopnenog prometa.
- Održivost: energija (certifikati, senzori kvalitete zraka….).
- Kolaboracija i inovativne usluge dionicima.
- Pilot projekti za digitalne tehnologije i testiranja.

Prema (Lin, Chang, Chung, 2022) *pametne luke* čini pet komponenti: operativna, zaštita okoliša, energetska učinkovitost, pomorska sigurnost i usluge lučke zajednice. Autori (Makkawan, Maungpan, 2021) definirali su indikatore *pametne luke*: lučke aktivnosti, okoliš i energija, zaštita i sigurnost. Autor (Min, 2022) navodi sljedeće komponente *pametne luke*:

- *Pametna* infrastruktura: senzori, *Računalstvo u oblaku*, *Internet stvari*, analitika.
- *Pametno* upravljanje prometom: automatizirani sustavi ulaza u luku, inteligentni transportni sustavi, *Automatski navođena vozila*, *Geografski informacijski sustav*.
- *Pametna* logistika: globalni lučki logistički sustav, mreža lučke zajednice, lučke inicijative za održivost, luka bez papira.

Prema (Molavi, Lim, Race, 2019) komponente *pametne luke* su sljedeće:

- Aktivnosti: produktivnost, automatizacija, inteligentna infrastruktura.
- Okoliš: upravljanje okolišem, emisije i kontrola onečišćenja, upravljanje otpadom, upravljanje vodom.
- Energija: učinkovito korištenje energije, proizvodnja i upotreba obnovljivih izvora energije, upravljanje energijom.
- Zaštita i sigurnost: sustav za upravljanje zaštitom (engl. *safety management system*), sustav za upravljanje sigurnošću (engl. *security management system*), integrirano nadziranje i optimizacija sustava.

Prema (Nascimento, Dominguez, Gorges, Macowski Durski Silva, 2021) komponente *pametne luke* su: digitalne tehnologije; okoliš i održivost; energija; zaštita i sigurnost. Autori (Othman, El Gazzar, Knez, 2022) kao komponente *pametne luke* navode okoliš, energiju, zaštitu i sigurnost, ljudske resurse. (Tsvetkova, Gustafsson, WikstrÃom, 2021) razmatraju *pametnu luku* kao onu u kojoj je optimiziran dolazak broda u luku primjenom digitalnih tehnologija. Nadalje, autori (Rajabi, Saryazdi, Belfikh, Duvallet, 2018) definirali su arhitekturu *pametne luke*: infrastruktura i lučka zajednica, digitalne tehnologije, *pametne* usluge, ciljevi *pametne luke*.

Autori (Yau et al., 2022) navode da *pametnu luku* čine: *pametan* promet brodova i upravljanje kontejnerima, *pametni* informacijski sustavi, podatkovni centar, mreže i komunikacija, *pametna* lučka infrastruktura i održive tehnologije. (Zhou, Zhang, Zhou, Li, Liu, 2022) smatraju da *pametna luka* uključuje sljedeće glavne komponente: lučko tržište, proizvodnju lučke usluge, financije, tehnologiju, sigurnost i ljudske potencijale.

Uvidom u istraživanja, uočeno je kako navedene komponente u teorijskom smislu, a napose u primjeni u lukama uključuju neizostavno digitalne tehnologije i sustave. Više autora dalo je svoj osvrt na značaj digitalnih tehnologija i sustava u *pametnim lukama*.

Prema (Al Fatlawi, Motlak, 2023) osnova funkcioniranja *pametnih luka* je upotreba digitalnih tehnologija i sustava. Primjena digitalnih tehnologija i sustava u lukama neophodna je za promjene u lučkim uslugama za koje se traži veća kvaliteta uz manje vremena i uz manje troškove provedbe. Autori (Botti, Monda, Pellicano, Torre, 2017) analizirali su *pametan* uslužni sustav na primjeru luke Salerno. Autori su utvrdili kako se uslužni sustavi nepovratno mijenjaju pod utjecajem digitalizacije, a jedino upotrebom digitalnih tehnologija i sustava moguće je uspješno realizirati primjenu *pametnog* uslužnog sustava luke. Autori (Chen, Huang, Xie, Lee, Hua, 2019) navode kako bez primjene tehnoloških inovacija, odnosno digitalnih tehnologija u lukama nije moguć održivi razvoj luke. Prema (El Nahrawy, 2020) digitalne tehnologije neophodne su lukama ukoliko žele biti učinkovite. Prema (El Sakty, 2016) digitalne tehnologije doprinijet će stvaranju *pametnijih* transportnih sustava, a nedostatak primjene digitalnih tehnologija negativno utječe na mogućnost održivog poslovanja luke, zaštitu, kibernetičku sigurnost i konkurentnost luke. Zaključno, autor smatra da nedostatak upotrebe digitalnih tehnologija predstavlja prepreku za implementaciju koncepta *pametna luka*. Autori (Gonzalez Canselas, Molina Srerrano, Soler Flores, 2021) analizirali su španjolski lučki sustav te utvrdili da je jedan od najznačajnijih načina digitalizacije luka upravo tranzicija u *pametnu luku*, pri čemu je ključna primjena digitalnih tehnologija. Prema (Heikkila, Saarni, Surama, 2022) luke u odnosu na neke druge sektore zaostaju u pogledu digitalizacije, stoga trebaju implementirati nove digitalne tehnologije. Pritom smatraju da luke, kako bi postale *pametne luke*, imaju na raspolaganju puno različitih tehnologija koje se mogu primijeniti u različitim lučkim aktivnostima. Autori (Jović, Tijan, Aksentijević, 2019) smatraju kako upotreba informacijsko-komunikacijskih tehnologija i sustava, odnosno digitalnih tehnologija omogućava nesmetan tijek

informacija. Autori (Makkawan, Muangpan, 2021) smatraju da se u *pametnoj luci* provode autonomni procesi i lučke operacije temeljene na novim digitalnim tehnologijama. Prema (Othman, El Gazzar i Knez, 2022) luka je *pametna* ukoliko su svi objekti u luci povezani kroz upotrebu informacijsko-komunikacijskih tehnologija, *pametne* aplikacije i digitalne tehnologije. Autori (Pavlić Skender, Ribarić, Jović, 2020) napravili su pregled disruptivnih digitalnih tehnologija koje se koriste u vodećim svjetskim lukama, naglašavajući pritom važnost korištenja.

Iz prethodno analiziranih istraživanja proizlazi da su digitalne tehnologije i sustavi krucijalna komponenta *pametne luke*.

3.4. Analiza relevantnih primjera primjene digitalnih tehnologija u lukama

U ovom poglavlju analizirano je nekoliko izabranih luka koje koriste recentne digitalne tehnologije i sustave, te su relevantni primjeri uspješnog procesa tranzicije u *pametne luke*. Analizirane su četiri najautomatiziranije luke u Europi te tri azijske luke (azijske luke smatraju se najautomatiziranijim lukama) (Port Technology International, 2023; Chuprina et al., 2022). S obzirom na ograničenja u dostupnosti podataka, razlikuje se obim analize pojedinih luka. U poglavlju su analizirane sljedeće luke: Rotterdam, Hamburg, Antwerp-Bruges, Valencia, Shanghai, Singapur i Qingdao.

3.4.1. Luka Rotterdam

U luci Rotterdam, kao jedan od prvih koraka s ciljem tranzicije u *pametnu luku*, odnosno automatizacije razmjene podataka i dokumentacije između privatnih i državnih dionika, implementiran je *Portbase – informacijski sustav lučke zajednice*. Implementacijom *Portbase* sustava, omogućeno je ubrzanje logističkih procesa u luci i razmjena elektroničke dokumentacije između dionika s ciljem da luka Rotterdam postane *paperless port*, odnosno luka bez papira (Port of Rotterdam, 2023). Nadalje, luka Rotterdam implementirala je HaMIS − *Haven Management Informatie System*, središnji sustav za administrativni nadzor i usmjeravanje pristajanja u luku. Sustav je omogućio učinkovito upravljanje kretanjem brodova na području luke, smanjenje dokumentacije i dvostrukih provjera (Port of Rotterdam, 2023).

U okviru projekta *Smart Infrastrucutre*, luka Rotterdam opremila je lučku infrastrukturu i opremu senzorima i uređajima, odnosno primijenila *Internet stvari* (Port of Rotterdam, 2023). Korištenjem *LiDAR* skenera rade se modeli utjecaja vjetra − procjena opterećenja dizalica vjetrom (Port of Rotterdam, 2023). U luci Rotterdam koristi se *pametna bitva* koja mjeri silu na konopima za privez čime se može pratiti opterećenje u privezištima (Port of Rotterdam, 2023). Mjerenjem naprezanja na konopima za privez u stvarnom vremenu, ne samo da se utječe na sigurnost već se dobiva i jasnije informacije o tome koja se plovila mogu privezati na kojem privezištu.

Korak dalje prema digitalizaciji, luka Rotterdam napravila je projektom *Floating Lab* – plutajući laboratorij. Lučka uprava opremila je jedan od brodova obalne straže kamerama, mjernim uređajima i senzorima za razvoj i testiranje novih aplikacija u području *pametnog brodarstva,* odnosno autonomnog brodarstva (Port of Rotterdam, 2023). *Floating Lab* projekt trenutno testira sustave kamera u kombinaciji s radarskim podatcima. U kontekstu budućeg razvoja projekta postoje ideje o pretvaranju laboratorija u plovilo na daljinsko upravljanje. U luci Rotterdam cilj je napraviti digitalnu repliku lučkog područja, uključujući sve infrastrukturne objekte, opremu, kretanje brodova, meteorološke uvjete i hidrološki status (Port of Rotterdam, 2023). Prva faza projekta započela je 2018. razvojem platforme *Internet stvari* koja omogućava korisnicima pristup raznim hidrološkim i meteorološkim podatcima, na primjer: salinitet, brzina vjetra, vidljivost i struje koji su prikupljeni uz pomoć senzora. Platforma omogućava smanjenje vremena čekanja za privez, prekrcaj i isplovljavanje, a kroz predviđanje najboljeg vremena za privez i isplovljavanje.

Sustav *PortXchange* omogućava brodarskim tvrtkama, agentima i drugim pružateljima usluga optimalno planiranje, izvođenje i praćenje svih aktivnosti povezanih uplovljavanjem u luku, na temelju standardizirane razmjene podataka (Port of Rotterdam, 2023) što skraćuje vrijeme boravka broda u luci i poboljšava iskorištenost kapaciteta terminala. Luka Rotterdam implementirala je *Nextlogic* alat za digitalno planiranje i upravljanje unutarnjim kontejnerskim prijevozom na lučkom području (Port of Rotterdam, 2023). Svi dionici dijele ažurirane informacije o kretanju kontejnera. Time se smanjuje potreba za koordinacijom te skraćuje vrijeme čekanja. Za praćenje kretanja tereta željeznicom, luka Rotterdam implementirala je *Ontrack* aplikaciju koja pruža uvid u kretanje tereta unutar luke u stvarnom vremenu (Port of Rotterdam, 2023). Operatori terminala mogu izraditi učinkovitije planove manipulacije teretom te previdjeti moguća odstupanja i potrebne izmjene planova. Za nadzor i informiranje korisnika u plovidbi unutarnjim plovnim putovima, u luci Rotterdam koristi se aplikacija *Riverguide* (Port of Rotterdam, 2023). Aplikacija omogućava informacije o rutama, dostupnosti vezova. Korak dalje luka Rotterdam napravila je inicirajući kreiranje platforme *Naviporta,* kojoj je baza *Tehnologija ulančanih blokova*. Platforma omogućava svim sudionicima unutar financijskog lanca razmjenu međusobno potvrđenih podataka (Port of Rotterdam, 2023). Platforma je testirana 2019. godine kada je prvi kontejner iz Koreje do luke Rotterdam isporučen ovom platformom bez razmjene prateće dokumentacije u fizičkom obliku. *Naviporta* platforma dio je *Quay Connect* – nove platforme koja olakšava carinske procedure iz Nizozemske u Ujedinjeno Kraljevstvo (Port Technology International, 2021). Usluga omogućava automatsku razmjenu informacija s carinskim tijelima u lukama u Ujedinjenom Kraljevstvu, što izvoznicima jamči pojednostavljenje izvoznih i carinskih procesa.

Luka Rotterdam primjenjuje *Dronove* u inspekcijskom, sigurnosnom i ekološkom nadzoru luke. U tijeku je razvoj sustava upravljanja *Dronovima* u luci te testiranje primjene i u drugim aktivnostima luke u okviru inovacijskog programa *Drone Port of*

Rotterdam (Port of Rotterdam, 2021). Luka Rotterdam prva je u cijeloj Nizozemskoj uvela *5G mobilnu mrežu*.

3.4.2. Luka Hamburg

U luci Hamburg provedeno je nekoliko projekata u okviru kojih je luka primijenila niz naprednih digitalnih tehnologija. U okviru projekta *Mozart* (Port of Hamburg, 2021) – optimizacija i analiza mobilnosti u stvarnom vremenu, primjenom tehnologije *Digitalni blizanac* razvijen je prometni model, s ciljem pregleda prometne situacije i upravljanja prometom. Promet se u luci bilježi senzorima, a cestovna mreža se detaljno modelira u prometnom modelu. *Portwings* projektom luka Hamburg uspostavila je kontrolni centar za *Dronove*: zračne, plutajuće i podvodne (Port of Hamburg, 2021). Cilj je široka primjena sustava senzora i autonomnih *Dronova*, bazirano na *Umjetnoj inteligenciji*. U slučaju nesreća ili drugih nepredvidivih događaja *Dronovi* mogu puno brže biti na mjestu nesreće te snimiti video zapise i slike visoke rezolucije za točan pregled situacije. Nadalje, primjena omogućava održavanje lučke infrastrukture znatno učinkovitijim, npr. u slučaju objekata do kojih je teško ili opasno doći. *Echo1* je prvi površinski dron za prikupljanje osnovnih hidrografskih podataka u luci Hamburg. *DLSA – digitalization traffic lights and infrastructure in the Port of Hamburg*, projekt je u okviru kojeg luka Hamburg provodi učinkovitu kontrolu i korištenje postojeće infrastrukture, optimizaciju protoka informacija za učinkovito upravljanje protokom tereta, proširenje sustava detekcije vozila za optimizaciju analize prometne situacije. Projektom je predviđeno korištenje sustava senzora (Hamburg Port Authority, 2021). Za siguran rad i izbjegavanje zatvaranja cesta i drugih prometnih ograničenja na logističkoj okosnici luke Hamburg, u okviru projekta *smartBRIDGE Hamburg*, most Köhlbrand opremljen je s više od 500 *Pametnih senzora* koji prikupljaju podatke u stvarnom vremenu (Port of Hamburg, 2022). Podatci se potom analiziraju i prevode u pokazatelje stanja, koji se vizualiziraju u *Digitalnom blizancu* mosta, kako bi se trajno i kontinuirano pratilo stanje mosta. Luka Hamburg među prvim lukama pokrenula je projekt "*5G Mobile Network Architecture (MoNArch)*" za implementiranje *5G mobilne mreže* (Port of Hamburg Authority, 2019). U luci Hamburg ,*Internet stvari* jedna je od glavnih tehnologija u koju će se ulagati u budućnosti (Siapartners, 2016).

3.4.3. Luka Antwerp-Bruges

S obzirom da su luke Antwerpen i Zeebrugge prije udruživanja koristile zasebne sustave te su kao takvi i dalje u primjeni, u nastavku će se sustavi razmatrati za svaku luku posebno. U luci Antwerpen, implementiran je *Sustav lučke zajednice APICS-Antwerp Port Communitiy Information System* (Port of Antwerp-Bruges, 2023). Preko APICS-a luka Antwerpen povezana je s javnim i privatnim dionicima, čime se postiže transparentnost informacija, brzina i ažurnost informacija. APISC omogućava da se

digitalno, brzo i jednostavno provodu pomorske usluge ili druge lučke usluge u Antwerpenu (usluge uključuju peljarenje, tegljenje) Preko APICS-a se jednostavno razmjenjuju dokumenti (npr. Deklaracija o opasnim teretima).

U luci Zeebrugge implementiran je *Lučki informacijski i kontrolni sustav - Zedis*, koji ima iste funkcionalnosti kao i APICS sustav (Port of Antwerp-Bruges, 2023). Osim ovih sustava implementirane su platforme: *Barge Traffic System* (BTS) i *Rail Traffic System* (RTS) za jednostavniju komunikaciju između različitih dionika u logističkom lancu. BTS platforma koristi se za upravljanje prometom teglenica u luci te operatorima teglenica omogućava traženje vezove na terminalu unaprijed, pregled položaja teglenica unutar plovnih putova Nizozemske te uvid u nautičke obavijesti (C-point, 2023). RTS platforma dopušta komunikaciju između željezničkih operatora na terminalima te osigurava dostupnost svih podataka digitalno i centralizirano (Port of Antwerp-Bruges, 2023). U trenutnoj verziji RTS-a, željeznički operatori, operatori terminala mogu planirati prijevoz vlakovima. Sve uključene strane mogu pratiti rute i vidjeti položaje vlakova u stvarnom vremenu.

U luci Antwerpen bespilotne letjelice se koriste za nadzor onečišćenja na dokovima. Podatci koji se prikupe dronom prosljeđuju se Lučkoj jedinici za sigurnost i zaštitu (*Harbour Safety & Security Unit*). Luka Antwerpen kontinuirano razvija mrežu autonomnih bespilotnih letjelica koje mogu pružiti trenutni uvid u razne aktivnosti u luci i doprinijeti sigurnosti u luci (Edgeir Industry Review, 2023). U luci Zeebrugge, implementirana je privatna *5G mobilna mreža* koja ima vrijeme odziva od 1 ms, čime nadmašuje vrijeme ljudske reakcije od 200 ms. Koristeći različite *Pametne senzore*, u luci Antwerpen mjeri se kvaliteta vode na području luka, na različitim lokacijama i dubinama, kako bi se utvrdila eventualna onečišćenja. Nadalje, u luci se koristi *iNoses* senzor koji identificira štetne emisije u luci (Port of Antwerp-Bruges, 2023). Za nadzor luke Antwerpen instalirano je više od 600 *Inteligentnih kamera* koje mogu prepoznati objekte zahvaljujući tehnologiji *Računalnog vida*. Korištenjem kamera olakšava se održavanje i inspekciju mostova i obala. U luci Zeebrugge je instalirano 700 *Inteligentnih kamera* na ulazu u luku. Korištenjem *Umjetne inteligencije* i podataka s kamere, brzo i jednostavno mogu se otkriti problemi u prometnoj mreži. Uz kamere, instalirana je *pametna ograda* u lučkom području za kontrolu pristupa luci. U luci Antwerpen instaliran je sustav senzora *Bollard Monitor* za mjerenje napetosti u vijcima bitvi (Hellenic Shipping News, 2021). Mjeri se napetost u sustavu za pričvršćivanje i fluktuacije napetosti za vrijeme jakih vjetrova i valova. Svakih 15 minuta, sustav bežičnom vezom šalje informacije koje se trajno bilježe i vizualiziraju uz pomoć nadzorne ploče, a sve kako bi se optimiziralo preventivno održavanje bitvi. Nadalje, luka Antwerpen i luka Zeebrugge provode i pilot projekte kojima je cilj uvođenje autonomnih plovila. Primjer je riječni kontejnerski brod '*Deseo*' koji poluautonomno plovi između Zeebruggea i Antwerpena, koristeći tehnologiju za daljinsko upravljanje plovilima (Port of Antwerp-Bruges, 2023). Razvijen je *Echodrone* – autonomno plovilo za sondiranje opremljeno različitim mjernim instrumentima, a obavlja različita mjerenja dubine kako bi se zajamčio siguran prolaz brodova (Port of Antwerp-Bruges, 2023). U luci Antwerp-Bruges, postupak preuzimanja

kontejnera provodi se virtualnom platformom *Certified Pick up* (Port of Antwerp-Bruges, 2023). Platforma omogućava siguran, transparentan i učinkovit proces oslobađanja dolaznih kontejnera.

3.4.4. Luka Valencia

U luci Valencia koristi se Informacijski sustav lučke zajednice *Valenciaport PCS*, koji služi za e-trgovinu i olakšava protok tereta kroz luke Valencia, Sagunto i Gandía (Fundacion Valencia Port, 2023). *Valenciaport PCS* jamči jedinstven izvor informacija o odlascima i dolascima brodova. Korisnici V*alenciaport PCS*-a imaju pristup *Port Call Service Inquiries* usluzi – informacije u stvarnom vremenu o planiranim dolascima brodova i trenutnim brodovima u luci. *Valenciaport PCS* pruža korisnicima rezervacije putem elektroničkih poruka i/ili pomoću aplikacije *Valenciaport PCS,* uz uštedu vremena i uz povećanje točnosti podataka. Nakon što pošalju rezervaciju, korisnici *Valenciaport PCS*-a odmah primaju brojeve rezervacija te mogu provjeriti status tereta u stvarnom vremenu (Fundacion Valencia Port, 2023).

Luka Valencia provela je obuku vozača kamiona za korištenje mobilne aplikacije *Valenciaport PC*S. Aplikacija vozačima skraćuje vrijeme čekanja, eliminira papirnatu dokumentaciju te ubrzava procedure. Luka Valencia pokrenula je program praćenja i analize kvalitete zraka, buke i vremenskih uvjeta u stvarnom vremenu. Instalirane su dvije kabine za kontrolu okoliša opremljene tehnologijom za praćenje atmosferskih utjecaja. Kabine su opremljene meteorološkom stanicom za mjerenje brzine i smjera vjetra, količine padalina, sunčevog zračenja, temperature, relativne vlažnosti i tlaka. Mjerači razine zvuka mjere razinu buke u luci, a svi se podatci primaju i analiziraju u stvarnom vremenu (The Maritime Executive, 2021). U luci Valencia koristi se osam autonomnih kontejnerskih dizalica te senzori koji značajno pridonose automatizaciji na terminalima. Na primjer, *2D LiDAR* senzori omogućuju automatizaciju procesa. Pomoću podataka sa senzora moguće je pratiti vrijednosti i optimizirati brojne postavke i procese, a sustav omogućava primanje obavijesti e-poštom nakon što se prijeđe određeni definirani prag vrijednosti (Sick Sensor Intelligence, 2021).

Luka Valencia pokrenula je projekt PORTWIN − prvi projekt korištenja tehnologije *Digitalni blizanac* u procesu pristajanja brodova (Fundacion Valencia Port, 2021). Informacije o brodovima prikupljaju se u stvarnom vremenu pomoću radara koji koriste *ultra širokopojasnu UWB tehnologiju*. Informacije se prenose *5G mobilnom mrežom*. Krajnji rezultat je donošenje optimalnih odluka, osiguravajući maksimalnu sigurnost tijekom pristajanja broda. *5G mobilna mreža* u luci Valencia je privatna što omogućava sigurnost, dosljednost i rad u stvarnom vremenu.

Cilj projekta VIGIA-*Surveillance through artificial vision and intelligence in port area*s, je razvoj platforme za cjelovitu kontrolu pristupa objektima luke Valencia, gdje se nalaze različiti terminali i skladišta, kao i u drugim ograđenim prostorima izvan luke (Fundacion Valencia Port, 2021). Kontrola osoba i vozila provodi se, kako na ulazima

tako i tijekom kretanja područjem luke, uz maksimalnu rezoluciju snimljenog videa te minimalno vrijeme obrade.

Luka Valencia sudjeluje i u nekoliko projekata financiranih iz programa i fondova Europske unije, a kojima je cilj implementiranje digitalnih tehnologija kroz provođenje pilot projekata. Neki od projekata opisani su u nastavku.

Cilj projekta *5G Radar* je omogućiti lukama rješenje nadzora koje jamči sigurnost, preciznost i kontrolu pristajanja brodova (Fundacion Valencia Port, 2023). U tu svrhu kombiniraju se visokoprecizni UWB radari povezani s *5G mobilnom mrežom,* kako bi se podatci prikupljali i obrađivali u stvarnom vremenu.

Projekt MOSES - *autoMated vessels and supply chain Optimisation for Sustainable short sEa Shipping* (Automatizirana optimizacija plovila i opskrbnog lanca za održivu kratku plovidbu) imao je za cilj poboljšati kratku plovidbu kao dio lanca opskrbe kontejnera nizom inovacija uključujući inovativna plovila (Fundacion Valencia Port, 2020). U okviru projekta razvijen je pilot – hibridni *feeder,* opremljen sustavom za manipulacije kontejnerima te autonomnim sustavom za manevriranje i pristajanje brodova (*MOSES AutoDock*) koji jamči operativnu neovisnost o dostupnosti lučkih nautičkih usluga (peljari, tegljači i privezivači). Razvijena je digitalna platforma (*MOSES platform*) s ciljem povezivanja ponude i potražnje tereta i prijevoza (za pošiljatelje, otpremnike, brodare, itd.).

E2RM – *empty equipment repository management* je sustav implementiran u suradnji s tvrtkom COSCO Shipping, a za upravljanje raspoloživim praznim kontejnerima. Primjena omogućava minimiziranje negativnih učinaka prijevoza praznih kontejnera: smanjenje troškova, smanjenje onečišćenja okoliša, buke. Sustav omogućava previđanje kako bi se mogao brzo prilagoditi promjenjivim obrascima u ponudi, potražnji i kontejnerskom prometu. Isto utječe na smanjenje resursa potrebnih za tehničko održavanje (Fundacion Valencia Port, 2019).

3.4.5. Luka Shanghai

U luci je provedeno niz projekata tranzicije u *pametnu luku* (Cisco Hyperconverged Infrastructure, 2019). Luka Shanghai ima tri glavna kontejnerska područja: Wusongkou, Waigaoqiao and Yangshan. Najpoznatiji je terminal Yangshan Phase IV – najveći i najautomatiziraniji kontejnerski terminal na svijetu (Port Technology International, 2021). Uspostavljen je *pametni* zapovjedni i upravljački centar – prvi projekt u svijetu koji primjenjuje *Tehnologiju optičkog umrežavanja* za centralizirano daljinsko upravljanje, što označava veliki napredak u radu te primjeni autonomije (Qiushi Journal, 2022). *Pametni* zasloni prikazuju rad terminala u stvarnom vremenu, a planiranje rasporeda brodova pomaknuto je s 48 na 72 sata, čime se poboljšala predvidljivost lučkih aktivnosti. U svibnju 2023. protok kontejnera bio je 26 066 TEU-a u 24 sata, pri čemu bi bez digitalnih tehnologija i sustava za rad bilo potrebno 1000 zaposlenih za razliku od trenutno 400 zaposlenih (Port Technology International, 2021). Produktivnost je 213 %

veća u odnosu na tradicionalan terminal. Primjenjuje se *5G mobilna mreža* koju je razvila tvrtka Huawei (Huawei, 2023).

3.4.6. Luka Singapur

Luka Singapur razvija Sustav upravljanja pomorskim prometom temeljen na umjetnoj inteligenciji kako bi se dobio potpuno ažuran uvid u promet brodova u stvarnom vremenu (Maritime and Port Authority of Singapore, 2023). Pomorska i lučka uprava Singapura implementirala je nekoliko digitalnih platformi. Platforma *Singapore Maritime Data Hub (SG-MDH)* implementirana je kako bi se omogućilo dijeljenje podataka i digitalno povezivanje. Platforma/Portal *digitalPORT@SGTM* razvijena je kao jedinstveno sučelje (engl. *single window*) za provedbu sveobuhvatnih transakcija (Maritime and Port Authority of Singapore, 2023). Platforma *digitalPORT@SGTM* pojednostavljuje provjere plovila, povezuje više agencija u jednu aplikaciju konsolidacijom 16 zasebnih obrazaca. Zapovjednici brodova i brodski agenti prate i dobivaju odobrenja za dolazak i odlazak brodova putem portala. Kao rezultat rada portala procijenjena je moguća ušteda do 100.000 radnih sati godišnje (Maritime and Port Authority of Singapore, 2023). Luka Singapur razvija i drugu fazu ovog sustava, pri čemu će ključan tehnološki napredak predstavljati *Active Anchorage Management System (AAMS)*, sustav temeljen na *Umjetnoj inteligenciji*, koji koristi različite izvore podataka za optimizaciju raspodjele ograničenog prostora za pristajanje plovila. Osim toga, omogućava sigurno sidrenje plovila uzimajući u obzir različite uvjete: vjetar, plima, oseka, dubina i blizina opasnosti (Singapore Land Authority, 2024). Sustav *digitalOCEANSTM* (otvorena/zajednička razmjena i standardizacija mreže) (Digital Oceans, 2023) potiče interoperabilnost između digitalPORT@SGTM i drugih digitalnih platformi korištenjem zajedničkih podatkovnih standarda i aplikacijskog programskog sučelja (engl. API- *Application Programming Interface*) (Singapore Government Agency Website, 2023).

U luci Singapur se koriste *Automatizirane slagališne dizalice* i *Automatski navođena vozila*. Nadalje, u luci Singapur koristi se *5G mobilna mreža*. Pomorska i lučka uprava Singapura razvija sustav *Sense-making Analytics for Maritime Event Recognition* (SAFER), koji je temeljen na *Umjetnoj inteligenciji*, a čija je svrha poboljšanje otpreme tereta (Supply Chain Digital, 2020). Sveukupno postoji sedam modula u okviru projekta SAFER kojima se omogućava automatizacija aktivnosti koje su se prethodno oslanjale na rad zaposlenika. Neki od modula su: automatizirano otkrivanje kretanja, predviđanje brodskog prometa. U 2022. godini, luka Singapur provela je prvu isporuku tereta korištenjem *elektroničke teretnice* na temelju *Tehnologije ulančanih blokova* (engl. *electronic Bill of Lading* (eBL) (Smart Maritime Network, 2022).

Kako bi se ubrzao tehnološki napredak luke, Lučka uprava Singapur razvila je *Sea Transport Industry Transformation Map* program, u okviru kojeg se razviju projekti kojima je osnova inovacija u cilju tehnološkog razvoja luke (Maritime and Port Authority

of Singapore, 2023). Stoga je u okviru projekta osnovan *MPA Living Lab*, koji se sastoji od fizičkih i digitalnih prostora u kojem je fokus na sljedećem: analitika podataka i inteligentni sustavi; autonomni sustavi i robotika; pametna i inovativna infrastruktura te sigurnost i okoliš. Na primjer, u *MPA Living Lab*-u provode se istraživanja mogućnosti inovacija i razvoja autonomnih vozila i sl. (Tardo, Pagano, Antonelli, Rao, 2022).

Nadalje, kreiran je program *Port Innovation Ecosystem Reimagined @ BLOCK71*, iz kojeg bi pomorska poduzeća mogla dobiti podršku za razvoj inovativnih rješenja. Osnovana su tri pomorska centra izvrsnosti (engl. *maritime centres of excellence* − CoE) kako bi se povećale sposobnosti istraživanja i razvoja u trima strateškim područjima: luke budućnosti, energija i održivi razvoj te pomorska sigurnost (Maritime and Port Authority of Singapore, 2023).

Digitalni plan industrije pomorskog prometa (*Industry Digital Plan* − IDP) zajednička je inicijativa s *Infocomm Media Development Authority* (IMDA), *Enterprise Singapore* (ESG) i *Skillsgartnerre Singapore* (SSG), kao dio programa *SME Go Digital*, koji malim i srednjim poduzećima čini digitalizaciju jednostavnijom - vodič korak po korak za lakše usvajanje digitalnih rješenja (Maritime and Port Authority of Singapore, 2023).

U luci Singapur planira se do 2040. godine dovršetak najvećeg i potpuno automatiziranog kontejnerskog terminala pod nazivom "Tuas Port" (Futuria, 2023).

3.4.7. Luka Qingdao

U luci Qingdao razvijen je prvi potpuno automatizirani kontejnerski terminal u Kini. Gradnja terminala odvijala se u nekoliko faza. Nakon treće faze izgradnje automatiziranog terminala, u luci Qingdao, koristi se prvi potpuno samostalno razvijeni sustav inteligentne kontrole kontejnera koji se bazira na *5G mrežnoj tehnologiji*. Sustav je omogućio ažuriranje podataka na razini milisekunde i visoku učinkovitost obrade podataka. Nadalje, sustav jamči nadogradnje u bilo kojem trenutku bez ometanja aktivnosti u luci, za razliku od prethodnog sustava koji je zahtijevao istovremeno isključivanje stotina uređaja na gotovo sat vremena. Potpuno automatizirani terminal transformirao je rad, gotovo eliminirajući potrebu za ručnom intervencijom u radu s 200 komada opreme na terminalu (Shanghaiist, 2024). Nadalje, terminal je kontroliran laserskim skenerima i sustavima za pozicioniranje koji mogu locirati četiri kuta svakog kontejnera kako bi ih točno prihvatili i premjestili na automatski navođeno vozilo. Korištenje digitalnih tehnologija osigurava terminalu rad u potpunom mraku, što je pomoglo smanjenju troškova rada terminala za 70 % i povećanju učinkovitosti za 30 %. Isto je dovelo do smanjenja broja radnika potrebnih za prekrcaj kontejnera sa šezdeset na devet (APM Terminals, 2023).

4. *DIGITALNA ZRELOST* LUKA

Digitalna zrelost luke pokazuje postojeću, odnosno dostignutu razinu primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. U poglavlju je najprije razmotren pojam *digitalne zrelosti*, a potom *digitalna zrelost* luka. Razmotreno je više istraživanja *digitalne zrelosti* luka, metode za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka te je odabrana *DEX metoda* koja je primijenjena za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka. U nastavku poglavlja detaljno su analizirani kriteriji (atributi) te su obrazložene funkcije korisnosti za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka. Evaluirana je *digitalna zrelost* odabranih luka: Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena, uz primjenu *DEX metode*. U zadnjem dijelu poglavlja interpretirani su rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka.

4.1. Pojam *digitalne zrelosti*

Prije razmatranja *digitalne zrelosti* luka, uputno je napraviti osvrt na pojam *digitalne zrelosti* općenito. *Digitalna zrelost* je razina digitalne spremnosti tvrtke ili organizacije (Senna, Barros, Roca, Azevedo, 2023).

Osim trenutne *digitalne zrelosti*, evaluacijom *digitalne zrelosti* može se dobiti uvid u aktivnosti potrebne za postizanje najviše razine *digitalne zrelosti*. Stoga se može smatrati kako je evaluacija *digitalne zrelosti* prvi korak prema izradi strategije digitalizacije. U praksi, prisutni su različiti modeli za evaluaciju *digitalne zrelosti*, prilagođeni pojedinoj organizaciji i vrsti djelatnosti. (Rosmann, 2018), navodi kako nema univerzalne metodologije za evaluaciju *digitalne zrelosti* te samim time niti univerzalnog modela *digitalne zrelosti*. Tako modeli mogu uključivati organizacijski aspekt, ekološki, energetski i sl., no neizostavno je da uključuju digitalne tehnologije i sustave (Hein-Pensel et al., 2022). Više autora znanstvenih radova istaknulo je digitalne tehnologije kao krucijalnu komponentu *digitalne zrelosti*. Prema (Aslanova, Kulichika, 2020) nema jedinstvenog modela evaluacije *digitalne zrelosti*, a tehnologije su glavni pokretač *digitalne zrelosti*. Prema (Haryanti, Rakhmawati, Subriadi, 2023) digitalne tehnologije jesu najvažniji kriterij u evaluaciji *digitalne zrelosti*. K tome, autori su ustvrdili kako *digitalnu zrelost* treba promatrati kao promjenjivu s obzirom na kontinuirane promjene u digitalizaciji. Prema (Thorsden, Bick, 2020) digitalne tehnologije glavna su komponenta *digitalne zrelosti*. (Kargas et al., 2023) digitalne tehnologije smatraju najznačajnijim kriterijem za evaluaciju *digitalne zrelosti*.

U istraživanju koje su proveli (Brondy, Tutak, 2021), analizirana je *digitalna zrelost* tvrtki u centralnoj i istočnoj Europi uz primjenu tri metode višekriterijskog odlučivanja (TOPSIS, MOORA i VIKOR). U pogledu metoda kojima se evaluira *digitalna zrelost*, nema propisanih, već provoditelji evaluacije procjenom odabiru najbolju metodu u skladu s ciljem istraživanja. Napravljena je analiza nekoliko modela *digitalne zrelosti*. Među ostalim modelima, autori su determinirali i model u kojem su

kriteriji za evaluaciju *digitalne zrelosti* bile samo digitalne tehnologije u okviru industrije 4.0 (*Internet stvari*, *Računalstvo u oblaku*, *Kibernetičko-fizički sustavi*, *Kolaborativni roboti*, *3D printanje*, *Proširena stvarnost*, *Umjetna inteligencija*). Za evaluaciju kriterija primijenjena je skala 1−6 (6 predstavlja najvišu razinu). Autori su u radu evaluirali *digitalnu zrelost* na osnovi sljedećih digitalnih tehnologija: *Veliki podatci*, *Umjetna inteligencija, Računalstvo u oblaku*, robotika, integracija internih procesa (ERP, CRM), integracija s korisnicima i dobavnim lancem (e-fakture), *Internet stvari*. Razine *digitalne zrelosti* definirane su na jednostavan način: loše, prihvatljivo, dobro, izvrsno.

Autori (Đurek, Begičević Ređeš i Kadoić, 2019) proveli su istraživanje o mogućem modelu za evaluaciju *digitalne zrelosti* institucija visokog obrazovanja. Pritom su autori u radu, između ostalih, analizirali i mogućnost primjene metoda višekriterijskog odlučivanja: DEMATEL, ANP i *DEX metoda*.

Autori (Balkan, Akyuz, 2023) su proveli istraživanje tehnološke zrelosti OECD država primjenom PROMETHEE metode te zaključuju kako su upravo metode višekriterijskog odlučivanja prikladne za evaluaciju *digitalne zrelosti* uz navođenje ostalih metoda: AHP, ANP, TOPSIS, DEMATEL, Fuzzy AHP.

U istraživanju kojeg su proveli (Grover, Damle, 2020), analizirani su primjeri evaluacije *digitalne zrelosti*. Pritom su autori analizirali kriterije evaluacije kao i metode koje su primijenjene za evaluaciju. Za evaluaciju *digitalne zrelosti* moguće je primijeniti kvalitativne i kvantitativne metode, po odabiru i procjeni provoditelja evaluacije te u ovisnosti o temi evaluacije. Razine *digitalne zrelosti* mogu se definirati klasičnim skalama s vrlo jasnim i kratkim značenjem ili sa specifičnim nazivima uz nešto duži opis, ovisno o tematici evaluacije *digitalne zrelosti* i odluci provoditelja evaluacije.

U analiziranim istraživanjima uočava se razlika u broju definiranih razina *digitalne zrelosti*, od dvije do sedam razina.

4.2. Prethodna istraživanja *digitalne zrelosti* luka

U nastavku je analizirana *digitalna zrelost* odabranih luka. Najprije su analizirana prethodna istraživanja i potencijalne metode za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka.

U kontekstu luka, ne postoji jasna definicija *digitalne zrelosti*, a provedeno je nekoliko istraživanja *digitalne zrelosti* luka. Za evaluaciju *digitalne zrelosti*, primijenjene su metode pojašnjene u nastavku.

U istraživanju *digitalne zrelosti* luke (Boullauazan, Sys, Vanelslnader, 2022) *digitalna zrelost* evaluirana je temeljem sljedećih kriterija: lučke operacije: sinkromodalnost, zaštita i sigurnost, energija i okoliš. Za odabir kriterija evaluacije *digitalne zrelosti* luke autori su najprije napravili pregled prethodnih istraživanja. Potom su odabrani kriteriji za evaluaciju. Autori navode da se odabir kriterija za evaluaciju *digitalne zrelosti* i/ili vrijednosti pojedinih kriterija mogu raspraviti sa stručnjacima iz domene evaluacije *digitalne zrelosti*. Prihvatljivost predloženih kriterija testirana je na primjeru luke Moerdijk u Nizozemskoj, a pri čemu je za ocjenu kriterija primijenjena

Likertova skala 1−5. Definirano je pet razina *digitalne zrelosti*: inicijalna razina u kojoj je fokus na digitalizaciji pojedinačnih aktivnosti pojedinih dionika lučke zajednice; faza integracije u kojoj se povezuju sustavi unutar luke i među dionicima lučke zajednice; faza digitalizacije logističkih procesa radi učinkovite razmjene informacija među dionicima logističkog procesa; faza šireg fokusa u kojoj se provodi poboljšano povezivanje dionika i izvan luke; faza povezivanja među lukama u kojoj dolazi do sveobuhvatnog povezivanja luka na širem području radi kreiranja globalne mreže luka za poboljšanje logističkih procesa. U istraživanju autora (Philip, 2020), provedena je evaluacija *digitalne zrelosti* na primjeru pet odabranih luka (Valencia, Klaipeda, Karlskrona, Wismar i Stralsund). Istraživanje je rezultiralo indeksom digitalne spremnosti za svaku od evaluiranih luka (engl. *Digital Readiness Index of Ports*). Kriteriji za evaluaciju *digitalne zrelosti* luke definirani su sukladno pregledu prethodnih istraživanja: upravljanje, ljudski resursi, IT funkcionalnost, tehnologija i informacije. Kriteriju *tehnologija* dodijeljena je najveća težinska vrijednost te je o tehnologijama posebno raspravljano s IT stručnjacima pet odabranih luka. Za evaluaciju kriterija primijenjene su jednostavne skale: 1 − 5, 1 −3, ovisno o pojedinom kriteriju. Definirane su sljedeće razine *digitalne zrelosti*: analogna luka, luka u prilagodbi, luka u razvoju, *pametna luka*. Autori (Paulauskaus i sur, 2021) proveli su istraživanje *digitalne zrelosti* na primjerima 30 luka (odabrane baltičke luke, sjevernomorske luke i mediteranske luke). Definirali su sljedeće kriterije za evaluaciju *digitalne zrelosti*: lučki razvojni program, tehnologija (kao dominantan kriterij s najvećim brojem potkriterija), lučki operativni procesi, organizacija, ljudski resursi. Kriteriji su definirani prema pregledu prethodnih istraživanja, a za evaluaciju je primijenjena jednostavna skala razine 1 −6. Evaluacija *digitalne zrelosti* rezultirala je digitalnim indeksom luke za svaku od evaluiranih luka.

Analizirana istraživanja uglavnom se svode na definiranje kriterija i potkriterija za analizu *digitalne zrelosti*, a koji se potom analiziraju primjenom skala vrijednosti (najčešće Likertova skala različitih razina), a kao krajnji rezultat dobiva se *indeks digitalne zrelosti luke,* odnosno, *indeks digitalne spremnosti luke* (u zavisnosti od naziva primijenjenog u istraživanju).

U ovom istraživanju, odnosno doktorskom radu, *digitalna zrelost* luka evaluirat će se na temelju digitalnih tehnologija i sustava koji se primjenjuju u lukama, a s obzirom da se prema dosadašnjim istraživanjima analiziranim u prethodnim poglavljima pokazuju kao krucijalne komponente *digitalne zrelosti*. Nekoliko je razloga zašto su digitalne tehnologije i sustavi krucijalne u evaluaciji *digitalne zrelosti* luke:

- pružaju temeljnu infrastrukturu i alate potrebne za provedbu digitalizacije i tranziciju luke u *pametnu luku* (na primjer mrežna infrastruktura i digitalne platforme koje lukama omogućuju digitalizaciju aktivnosti i procesa)
- omogućuju optimizaciju tijeka aktivnosti u lukama, kroz automatizaciju, analitiku podataka i sustave upravljanja aktivnostima u lukama što dovodi do poboljšane učinkovitosti, uštede troškova i boljeg korištenja resursa luke,
- omogućuju lukama donošenje odluka temeljenih na podatcima: digitalne tehnologije olakšavaju prikupljanje, obradu, analizu i vizualizaciju podataka.

Prediktivna analitika omogućava lukama *pametno* donošenje odluka na temelju dubinske analize velikih skupova podataka:

- omogućuju lukama agilnost s obzirom na promjenjivu dinamiku tržišta pomorskog transporta, preferencije korisnika i konkurentsko okruženje luka
- omogućuju lukama kontinuirano poboljšanje pružanjem alata za praćenje performansi i prikupljanje povratnih informacija o svim aktivnostima u lukama
- osnažuju potencijal luka za inovacije i stvaranje novih poslovnih modela.

U evaluaciji *digitalne zrelosti* luka, prema dijelu dosadašnjih istraživanja, može se uzeti u obzir i druge komponente (kriterije) kao što su: organizacija, ljudski resursi, digitalne vještine i znanje, ekologija, energetika, strategija digitalizacije, legislativa i regulativa, standardi i sl.

No, fokus istraživanja u ovom doktorskom radu je na digitalnim tehnologijama i sustavima s obzirom da su digitalne tehnologije i sustavi drugi objekt istraživanja u doktorskom radu te s obzirom na analizirana prethodna istraživanja i prethodno navedene razloge o važnosti digitalnih tehnologija i sustava u *digitalnoj zrelosti* luka.

Iako će se neki od navedenih kriterija uvrstiti pri evaluaciji i odabiru scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* u sljedećem poglavlju, neće se uzimati u obzir kao kriteriji evaluacije *digitalne zrelosti* luka. Ukoliko bi se uvrstili u evaluaciju *digitalne zrelosti* luka, bila bi potrebna detaljna analiza navedenih kriterija, čime bi se izašlo izvan okvira istraživanja u doktorskom radu u kontekstu definiranih hipoteza i objekata istraživanja. K tome, to bi predstavljalo obuhvat izvan područja tehničkih znanosti te bi zahtijevalo ekspertizu iz drugih područja znanosti, što je uz poštivanje metodologije znanstveno-istraživačkog rada moguće provesti u budućim multidisciplinarnim istraživanjima.

4.3. Odabir metode za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka

Uzimajući u obzir prethodna istraživanja analizirana u poglavlju 4.1. te prethodna istraživanja *digitalne zrelosti* luka u poglavlju 4.2., uočava se kako su u brojnim prethodnim istraživanjima primijenjene analize temeljene na evaluaciji više kriterija i potkriterija. Pritom su primijenjene konkretne metode višekriterijskog odlučivanja. Stoga je odlučeno da se za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka primijeni metoda višekriterijskog odlučivanja.

Višekriterijsko odlučivanje (engl. *Multi-Criteria Decision Making* − MCDM) je dio metoda operacijskih istraživanja, a primjenjuje se u procjeni alternativa (opcija, rješenja) i odabiru alternativa (opcija, rješenja) prema definiranom skupu kriterija. U višekriterijskom odlučivanju može sudjelovati više ispitanika, a uz primjenu nekih metoda (kao što je AHP) moguće je sudjelovanje samo jednog ispitanika (Sahoo, Goswami, 2023). Uzimajući u obzir da se evaluacija *digitalne zrelosti* luke provodi na temelju digitalnih tehnologija i sustava koji se primjenjuju u lukama, pri čemu nisu

dostupni kvantitativni pokazatelji, uputno je razmotriti primjenu metoda višekriterijskog odlučivanja. U nastavku su analizirane kvalitativne metode te metode koje omogućuju kombiniranje kvalitativnih i kvantitativnih pokazatelja, s ciljem odabira odgovarajuće metode višekriterijskog odlučivanja za evaluaciju *digitalne zrelosti* teretnih morskih luka.

Verbalna analiza odluka (engl. *Verbal decision analysis*) je metoda kojom se evaluacija provodi primjenom kvalitativnih kriterija umjesto numeričkih vrijednosti (Moshkovich, Mechitov, Olson, 2016). Primjer opisa kriterija: preferirano; nije preferirano; manje preferirano i sl. Prvi korak je definiranje relevantnih kriterija. Zatim se definiraju i opisuju različite alternative, a koje se potom evaluiraju na temelju opisnih vrijednosti kriterija te se svakom kriteriju dodjeljuje određena težina prema procjeni provoditelja evaluacije i/ili stručnjaka iz određenog područja. Rezultati evaluacije dodatno se procjenjuju i uspoređuju od strane provoditelja evaluacije i ispitanika kako bi se osigurala ispravnost konačnog rezultata evaluacije (Moshkovich, Mechitov, Olson, 2016).

Macbeth metoda (engl. *Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique*) omogućava kvantificiranje subjektivne procjene i preferencija matematičkim modelima. Prvi korak je definiranje relevantnih kriterija koji će se koristiti za evaluaciju alternativa (opcija, rješenja). Za svaki kriterij određuju se referentne skale ili intervali vrijednosti koje odražavaju relativnu važnost ili preferenciju za svaku alternativu. Skale se mogu postaviti na temelju subjektivnih procjena donositelja odluka ili mišljenja stručnjaka. Zatim se definiraju i opisuju različite alternative za donošenje odluke. Nakon prikupljanja podataka od ispitanika, koriste se matematički modeli za obradu podataka i konačnu evaluaciju. Provodi se analiza osjetljivosti kako bi se procijenila stabilnost rezultata evaluacije. *Macbeth metoda* kombinira kvalitativne i kvantitativne aspekte u procesu odlučivanja, omogućujući donositeljima odluka da usklade subjektivne procjene i preferencije uz analitički pristup rangiranja alternativa (Alinezhad, Khalili, 2019).

MAUT metoda (engl. *Multi-Attribute Utility Theory*) kombinira matematičko modeliranje s subjektivnim procjenama. Prvi korak je definiranje relevantnih kriterija za evaluaciju alternativa (opcija, rješenja). Donositelji odluka dodjeljuju težine svakom kriteriju na temelju njihove relativne važnosti ili prioriteta. Zatim se definiraju i opisuju različite alternative za donošenje odluke. Potom se svaka alternativa ocjenjuje u odnosu na svaki kriterij. Rezultati za svaku alternativu primjenom formule pretvaraju se u funkciju korisnosti koja pokazuje konačno najbolje rangiranu alternativu (Alinezhad, Khalili, 2019).

DRSA metoda (engl. *Dominance-Based Rough Set Approach*) omogućava odabir najbolje alternative (opcije, rješenja) temeljem dominacije nad drugim alternativama u odnosu na različite kriterije. Prvi korak je definiranje kriterija za evaluaciju alternativa, a zatim se definiraju i opisuju različite alternative za donošenje odluke. Alternative se grupiraju prema sličnosti u odnosu na različite kriterije. Dominantne alternative su one koje su bolje od drugih alternativa u odnosu na barem jedan kriterij. Alternativa koja

dominira nad većinom drugih alternativa smatra se najboljom (Soares Silva, de Lima Silva, Ferreira, Teixeira de Almeida-Filho, 2022).

DEX metoda (engl. *Decision EXpert Method*) omogućava strukturiranje više atributnog (višekriterijskog) stabla odlučivanja. Prvi korak je definiranje relevantnih kriterija (u nastavku atributa) kojima se gradi stablo atributa. U *DEX metodi* atributi mogu poprimiti vrijednosti predstavljene riječima, kao što su *nisko* ili *izvrsno*, ovisno o temi evaluacije. Atributima se može dodijeliti i vrijednost iskazana brojem koja održava opisno značenje. Prva razina su osnovni atributi koji se korištenjem funkcija korisnosti agregiraju u više razine (agregirani atributi). Atributima se može dodijeliti vrijednost (težina). Upravo funkcija korisnosti, koja je predstavljena u obliku pravila odlučivanja u odnosu na kombinacije mogućih vrijednosti osnovnih atributa, omogućava konačnu vrijednost evaluacije koja se naziva korijenski atribut (Institute Jožef Stefan, 2024).

U evaluaciji *digitalne zrelosti* luka nije potrebno birati između više potencijalnih alternativa (opcija, rješenja) kako bi se na kraju odabrala najbolja. Stoga metode *Verbalna analiza odluka*, *Macbeth, MAUT i DRSA* nisu prikladne jer višekriterijsko odlučivanje provode na temelju uparivanja više alternativa s više kriterija te se na taj način odabire najbolja alternativa. Za razliku od navedenih metoda, *DEX metoda* omogućava kreiranje stabla atributa (kriterija) i grupiranje u smislene cjeline (agregirani atributi) da bi se naposljetku prema vrijednostima agregiranih atributa utvrdila *digitalna zrelost* luke. S obzirom na kriterije (digitalne tehnologije i sustavi) koji će se primijeniti za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka te s obzirom na neprikladnost prethodno analiziranih metoda, za analizu *digitalne zrelosti* luka odabrana je *DEX metoda*.

U nastavku su sumirani razlozi odabira *DEX metode* za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka, a dalje u poglavlju detaljno su obrazložene značajke *DEX metode*, struktura *DEX metode*, ograničenja u primjeni *DEX metode* te značajke DEXi računalnog programa za provedbu evaluacije primjenom *DEX metode*.

Razlozi odabira *DEX metode* za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka jesu sljedeći:

- *DEX metoda* slijedi jasna pravila strukturiranja, hijerarhije i agregiranja, što omogućava smisleno strukturiranje velikog broja digitalnih tehnologija i sustava te jednostavnu evaluaciju.
- *DEX metoda* omogućava strukturiranje višeatributnog modela, što korelira sa strukturom stabla atributa u *DEX metodi*, a važno je pri evaluaciji *digitalne zrelosti* luka iz razloga uključivanja brojnih digitalnih tehnologija i sustava u analizu.
- DEX je hijerarhijska metoda s obzirom da se sastoji od hijerarhijski strukturiranih atributa (koji su zapravo kriteriji za evaluaciju).
- DEX atributi (kriteriji) u DEX modelu mogu imati vrijednosti izražene kao riječi, a ne broj (na primjer: *loše*, *srednje*, *izvrsno*, *nisko* ili *visoko*), što odgovara strukturiranju tehnologija i sustava s nazivima i njihovim opisima u okviru DEX modela. Uz opisno izražavanje atributa (kriterija), *DEX metoda* omogućava dodjelu vrijednosti (težina) atributima (kriterijima), a prema

procjeni provoditelja evaluacije i involviranjem stručnjaka iz područja evaluacije.

- *DEX metoda* se temelji na pravilima odlučivanja, dobivenim i predstavljenim u obliku funkcije korisnosti.
- *DEX metoda* je dobro prihvaćena od strane korisnika, s obzirom na broj različitih istraživanja odnosno područja primjene *DEX metode* (sukladno pregledu baze radova na Web stranici DEXi računalnog programa).
- *DEX metoda* je dobro prihvaćena od strane ispitanika, s obzirom da se sukladno pravilima *DEX metode* može strukturirati koncizan i razumljiv anketni upitnik, jednostavan za ispunjavanje uz minimalan angažman vremena ispitanika.
- *DEX metoda* daje transparentna objašnjenja konačnog rezultata i mogućnost korištenja analitičkih opcija integriranih u DEXi računalni program (ovisno o potrebama i procjeni provoditelja evaluacije).

DEX metoda je dostupna i provediva računalnim programom DEXi, a koji je bez naknade za korištenje dostupan na web stranici Instituta Jožef Stefan, Ljubljana. U doktorskom radu koristi se verzija DEXi 5.05.

Pri analizi značajki *DEX metode*, korištene su informacije sa službene web stranice DEXi računalnog programa, u okviru Instituta Jožef Stefan, Ljubljana (Bohanec, Institute Jožef Stefan, 2024).

DEX metoda kombinira značajke višekriterijskog odlučivanja s ekspertnim sustavima. Ekspertni sustavi su računalni programi iz područja *Umjetne inteligencije*, namijenjeni rješavanju složenih problema namjenski za uže specijalizirano područje (Bohanec, 2022). Ekspertni sustavi razlikuju se od konvencionalnih računalnih programa po usmjerenosti prema logičkim (nenumeričkim) operacijama te mogućnostima obrade nepotpunih, nepreciznih ili neizrazitih informacija (Bohanec, 2022). Od ekspertnih sustava usvojeno je korištenje kvalitativnih (simboličkih) varijabli, odlučivanje u smislu pravila *ako-onda* (engl. *if-then rules*) kako bi se omogućila transparentnost modela odlučivanja i jednostavna interpretacija rezultata (Bohanec, 2022).

Provedena je i analiza prethodnih istraživanja u svrhu uvida u primjenu *DEX metode*, iz baze znanstvenih radova na službenoj stranici DEXi programa, u okviru Instituta Jožef Stefan, Ljubljana. Analizirano je ukupno 105 radova, iz kojih je vidljivo da je *DEX metoda* primijenjena u mnogim domenama: informacijske i digitalne tehnologije, procjena i odabir tehnologija, *digitalna zrelost*, projekti (evaluacija projekata, evaluacija prijedloga i ulaganja, procjena portfelja proizvoda), poslovanje tvrtki (izbor poslovnog partnera, ocjenjivanje uspješnosti poduzeća, upravljanje osobljem, procjena osoblja, odabir i sastav stručnih skupina, evaluacija prijava za posao), medicina, procjene u ekologiji i energetici, turizam itd. (Institute Jožef Stefan, 2024).

DEX metoda kombinira ideju pristupa *odozgo prema dolje* (*engl. top down*) što znači hijerarhijsku dekompoziciju problema odlučivanja na manje cjeline, te *odozdo*

prema gore (*engl. bottom up*) pristup evaluaciji agregiranjem vrijednosti (Kljajić Borštnar, Pucihar, 2021). Kako bi se shvatio navedeni kombinirani pristup, potrebno je pojasniti pojam i značenje komponenti *DEX metode*: stablo atributa, vrste atributa koji se primjenjuju u *DEX metodi*, skale, alternative, funkciju korisnosti (pravila odlučivanja), vrijednosti (težine) atributa.

Stablo atributa (engl. *tree of attributes*) je skup svih atributa u evaluaciji koji su prikazani hijerarhijskom strukturom. U *DEX metodi*, u stablu atributa, razlikuju se tri vrste atributa od osnovnih do korijenskih atributa (Institute Jožef Stefan, 2024):

- ***Osnovni atributi*** (engl. *basic attributes*): ulazne varijable u *DEX metodi* odnosno **kriteriji** koji se primjenjuju za evaluaciju. Najniža su razina atributa u stablu atributa. Osnovnim atributima (kriterijima) dodjeljuje se vrijednost putem skale. Vrijednosti su ujedno alternative odlučivanja s obzirom da se pri evaluaciji odabire definirana vrijednost (detaljno pojašnjenje u nastavku poglavlja). Samo se osnovnim atributima definira skala, svi ostali atributi pripadaju skupini agregiranih atributa.
- ***Agregirani atributi*** (engl. *aggregate attributes*): zbirni atributi koji predstavljaju rezultat evaluacije na temelju definiranih osnovnih atributa i vrijednosti osnovnih atributa izraženih skalama. Ujedno agregirani atributi jesu međuvrijednosti evaluacije.
- ***Korijenski atribut*** (engl. *root attribute*): izlazna varijabla odnosno rezultat evaluacije DEX metodom. Korijenski atribut u stablu atributa je atribut koji objedinjuje agregirane atribute u jednu vrijednost, odnosno predstavlja konačan rezultat evaluacije.

Sagledavajući vrste atributa i značajke atributa, stablo atributa može se tumačiti na sljedeći način (Institute Jožef Stefan, 2024):

- Dekompozicija: predstavlja dekompoziciju, odnosno raščlanjivanje problema odlučivanja na manje cjeline koje su predstavljene stablom odlučivanja. Za rješavanje *problema*, koji je predstavljen atributom više razine (agregirani atribut), potrebno je riješiti potprobleme koje predstavljaju atributi niže razine (osnovni atributi).
- Međuzavisnost: atribut više razine (agregirani atribut) ovisi o atributima niže razine (osnovni atributi). Međuovisnost je definirana funkcijom korisnosti, koja će se detaljnije pojasniti u nastavku.
- Agregacija: vrijednost atributa više razine (agregiran atributi) izračunava se kao skup vrijednosti atributa niže razine (osnovni atributi), primjenom funkcije korisnosti.

S obzirom na prethodno navedeno, prvi korak u primjeni *DEX metode* je definiranje atributa i prikazivanje istih hijerarhijski strukturiranim stablom atributa. Agregirani atribut treba sadržavati od 2 do 4 osnovna atributa. Ukoliko je broj osnovnih

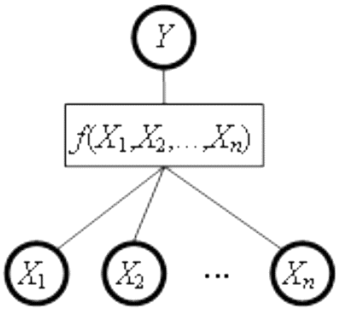
atributa veći od 4, dolazi do multipliciranja pravila odlučivanja i otežane evaluacije. Preporučeno je definirati maksimalno 3 osnovna atributa.

Nadalje, nakon definiranja kriterija odnosno stabla atributa, potrebno je za svaki osnovni atribut definirati skalu. Skala predstavlja skup vrijednosti koje se mogu dodijeliti osnovnom atributu. Definiranje skala za osnovne atribute je neizostavno. Pri definiranju skala razlikuju se dvije vrste: kvalitativna skala i kontinuirana skala, dalje kroz proces agregiranja i definiranja funkcije korisnosti. Kvalitativna skala je opisna kao na primjer: *da, ne; nisko, srednje, visoko; neprihvatljivo, prihvatljivo, dobro, izvrsno* itd. Definiranje kvalitativnih skala uvelike se razlikuje u DEX modelima ovisno o području primjene modela, odnosno temi. Kontinuirana skala izražava kvalitativnu vrijednost kao broj. Na primjer: 1 znači loše, 2 znači dobro, 3 vrlo dobro i sl. Primjer zapisa kontinuirane skale može biti: (<- 5; 5 >) Za definiranje skala treba nastojati primijeniti najmanji broj vrijednosti, a koji je još uvijek dovoljan za razlikovanje između različitih karakteristika vrijednosti. Obično to znači od 2 do 4 vrijednosti, preporučljivo je da to budu 3 vrijednosti. Značenja skale sukladno *DEX metodi* i prikazu u DEXi računalnom programu (Institute Jožef Stefan, 2024) jesu:

- najlošija vrijednost (označena **crvenom** bojom)
- jedna do dvije vrijednosti koje predstavljaju srednju vrijednost (označeno **crnom** bojom)
- najbolja vrijednost (označena **zelenom** bojom).

Nakon što su definirane skale za sve osnovne atribute, potrebno je definirati **funkciju korisnosti** (*engl. utility function*) odnosno pravila odlučivanja. Funkcija korisnosti predstavlja sve kombinacije atributa niže razine (osnovni atributi) agregirane u vrijednosti (Y) atributa više razine (agregirani atribut). Za svaki agregirani atribut Y, čiji su osnovni atributi X_1, X_2,…, X_n, odgovarajuća funkcija korisnosti f definira se kao:

$$\mathbf{f: X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n \longrightarrow Y}$$



Na primjer, ako osnovni atributi X_1, X_2, X_3, imaju definiranu skalu (vrijednosti): *loše; dobro; izvrsno*, funkcija korisnosti (Y) je kombinacija vrijednosti osnovnih atributa, ovisno o odabiru vrijednosti osnovnih atributa u procesu evaluacije. Ukoliko bi se za osnovni atribut X_1 odabrala vrijednost loše, za osnovni atribut X_2 odabrala vrijednost loše, za osnovni atribut X_3 odabrala vrijednost dobro, onda bi funkcija korisnosti za agregirani atribut bila loše. Vrijednosti osnovnih atributa te funkcije korisnosti definiraju se sukladno području, odnosno temi evaluacije. Svim agregiranim atributima definira se funkcija korisnosti. Kombinacije vrijednosti svih agregiranih atributa čine ukupan rezultat evaluacije koji je predstavljen korijenskim atributom.

Kombinacije se mapiraju tablici (u DEXi računalnom programu) gdje svaki redak daje vrijednost *f* za jednu kombinaciju vrijednosti atributa niže razine (osnovnih atributa). Svaki red se može interpretirati kao *ako-onda* pravilo oblika:

ako je **X_1 = vrijednost$_1$ i X_2 = vrijednost$_2$ i … i X_n = vrijednost$_n$ onda je Y = vrijednost.**

Pri definiranju funkcija korisnosti potrebno je prevenirati tzv. **eksploziju kombinacija**. Isto podrazumijeva broj kombinacija pravila odlučivanja. Na primjer, funkcije korisnosti do 25 kombinacija pravila odlučivanja su male i obično ih je lako definirati. Ukoliko broj pravila odlučivanja u funkciji korisnosti raste prema veličini do 100, funkcija korisnosti je zahtjevnija, no još uvijek je u okviru prihvatljivog. Sve iznad 100 je vrlo teško, a sve iznad 500, izuzetno je teško, ako ne i nemoguće definirati. Na eksploziju kombinacija u funkciji korisnosti utječe i broj atributa, osnovnih i agregiranih. Iz tog razloga jedan agregirani atribut može sadržavati maksimalno 4 osnovna atributa, a preporučljivo je 3 osnovna atributa. Ukoliko raste i broj agregiranih atributa, funkciju je sve teže definirati i ostvariti pravilnu analizu. Kako bi spriječio eksploziju kombinacija, program DEXi izdaje upozorenje prije stvaranja funkcije s 200 kombinacija pravila odlučivanja ili više, a ne dopušta stvaranje funkcija većih od 1000 pravila odlučivanja te onemogućuje daljnju evaluaciju. Tada je potrebno pristupiti restrukturiranju modela, odnosno stabla atributa.

Težine, odnosno **vrijednosti atributa** koriste se za određivanje važnosti atributa. To su zapravo brojevi, normalizirani na zbroj ili maksimum do 100, a definiraju relativni doprinos nekog atributa konačnoj procjeni. U analizi odlučivanja, funkcije korisnosti su uobičajeno definirane pomoću nekog oblika ponderiranog zbroja, npr.:

$$\mathbf{f\,(X_1, X_2,..., X_n) = w_0 + w_1 \times X_1 + w_2 \times X_2 + ... + w_n \times X_n}$$

***w_i označava težine, a X_i atribute.**

Pri određivanju težine, odnosno vrijednosti atributa mogu se konzultirati eksperti iz domene evaluacije.

Kako bi se primijenila *DEX metoda*, kreiran je **DEXi računalni program**, koji je dostupan kao nekomercijalni računalni program na stranicama Instituta Jožef Stefan, Ljubljana. Prva naprednija verzija DEXi softvera izdana je 2000. godine. DEXi računalni program omogućava izradu i uređivanje stabla atributa, tabelarno prikazivanje definiranih skala (vrijednosti) osnovnih atributa, tabelarno prikazivanje funkcije korisnosti, evaluaciju alternativa na temelju definiranih osnovnih atributa i agregiranih atributa, tekstualna i grafička izvješća, dodatnu analizu rezultat evaluacije primjenom različitih analitičkih opcija.

U DEXi računalnom programu dostupne su analitičke opcije za analizu rezultata evaluacije, a koje se primjenjuju ovisno o potrebi i prema procjeni provoditelja evaluacije. U doktorskom radu primijenjene su analitičke opcije: *Selektivna eksplanacija* te *Usporedba*. *Selektivna eksplanacija* izdvaja prednosti (slabe točke) i nedostatke (jake točke) u odnosu na rezultat evaluacije *digitalne zrelosti* luka. Primjenom opcije *Usporedbe* mogu se uspoređivati rezultati evaluacije kako bi se utvrdile sličnosti i razlike u *digitalnoj zrelosti* među evaluiranim lukama. Osim primijenjenih opcija, za analizu su dostupne i opcije: *Plus-minus* analiza i *Analiza ciljeva*. Primjenom *Plus-minus* analize može se promatrati kako promjena vrijednosti skale za jedan atribut, biranjem niže ili više vrijednosti, utječe na rezultate evaluacije. U *Analizi ciljeva* može se promatrati kako promjena više vrijednosti skale za više atributa, biranjem niže ili više vrijednosti, utječe na rezultate evaluacije.

U poglavlju u nastavku, slijedi konkretna primjena *DEX metode* za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka.

4.4. Analiza kriterija za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka

Digitalne tehnologije i sustavi su, u okviru istraživanja ovog doktorskog rada, kriteriji za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka. Pritom se kao ulazni podatci koriste digitalne tehnologije i sustavi definirani u trećem poglavlju.

Prije kreiranja konačne verzije stabla atributa (kriterija za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka), u tri navrata obavljene su online konzultacije (na platformi MS *Teams*) sa stručnjakom za primjenu *DEX metode*.

Kako bi se na najbolji način utvrdila *digitalna zrelost* luke, u skladu s *DEX metodom*, bilo je potrebno primijeniti pristup digitalnim tehnologijama i sustavima tako da ih se ne navodi taksativno već da ih se grupira u smislene kategorije i kreira skala u kojoj će već i same digitalne tehnologije i sustavi biti mjerilo razine digitaliziranosti po pitanju pojedine kategorije digitalnih tehnologija i sustava. Isto znači da se, koliko god je moguće u cilju dobivanja uvida u *digitalnu zrelost*, ne primjenjuju skale koje održavaju samo korištenje ili nekorištenje neke tehnologije. Tako definirana skala samo ocjenjuje je li neka tehnologija u upotrebi ili nije, a ne održava razinu digitaliziranosti što je preporučljivo pri definiranju osnovnih atributa i skala sukladno *DEX metodi*.

Konačna verzija stabla atributa (kriterija) ima ukupno **36 atributa**, od čega **23 osnovna atributa** i **13 agregiranih atributa** (označeni *bold* na shemi 2.). **Korijenski atribut** je jedan atribut koji agregira ostale atribute u konačan rezultat evaluacije − *digitalna zrelost* luke. Svakako, kako je već navedeno u prethodnom poglavlju, atributi predstavljaju kriterije za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka.

Za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka, iz korijenskog atributa *digitalna zrelost* luke, definirana su dvama glavnim agregiranim atributima (kriterijima): ***Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*** **te** ***Disruptivne digitalne tehnologije***, koji u kontekstu stabla atributa jesu dvije glavne grane u stablu atributa. Polazna su točka za dekompoziciju problema odlučivanja kroz stablo atributa. Dakle, ***digitalnu zrelost*** **luka u kontekstu definiranog stabla atributa čine zbirni rezultati evaluacije agregiranih atributa:** ***Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*** **te** ***Disruptivne digitalne tehnologije.*** Svi atributi koji nisu osnovni atributi i kojima nije dodijeljena skala jesu agregirani atributi, što je važno napomenuti radi opisa modela u nastavku (agregirani atributi označeni su podebljano − *bold* na shemi).

Nakon konzultacija sa stručnjakom za *DEX metodu* i napravljenih prilagodbi, na shemi 2. prikazana je konačna verzija stabla atributa za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka.

Shema 2. Stablo atributa za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka

Attribute	Description
Digitalna zrelost luke	
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	
│ │ ├─**Razmjena podataka**	
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	
│ ├─5G mreža	
│ └─Internet stvari	
├─**Računalstvo i obrada podataka**	
│ ├─Računalstvo u oblaku	
│ └─Veliki podatci	
├─**Robotika i autonomija**	
│ ├─Dronovi	
│ ├─Napredna robotika	
│ └─Autonomne tehnologije	
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	
├─Umjetna inteligencija	
├─Imerzivna mještovita stvarnost	
└─Simulacijske tehnologije	

Izvor: Izradila doktorandica primjenom DEXi računalnog programa

Važno je napomenuti kako su iz evaluacije isključene neke *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*, a što je pojašnjeno u nastavku. Digitalne tehnologije i sustave bilo je potrebno grupirati i prilagoditi *DEX metodi,* a što znači smanjenje broja tehnologija kreiranjem smislenih grupa tehnologija sukladno njihovoj primjenjivosti i međusobnoj povezanosti. Tehnologija *3D printanje* isključena je s obzirom da nije opsežnije primijenjena te ne predstavlja tehnologiju krucijalnu za provedbu aktivnosti u lukama. *Sustavi lociranja u stvarnom vremenu* te

Sustav za praćenje kontejnera isključeni su s obzirom da ih u odnosu na definirane kriterije i druge tehnologije uzete u obzir, nije nužno uključivati da bi se provela evaluacija *digitalne zrelosti* odabranih luka. *Online sustavi za naloge i obračun* su isključeni s obzirom da obuhvaćaju skup različitih sustava koji variraju od luke do luke (ovisno o potrebama luke) i ne predstavljaju tehnologije odnosno sustave krucijalne za procjenu digitalne zrelosti. *Kibernetičko-fizički sustav* je skup više tehnologija koje se razmatraju u okviru više drugih kategorija tehnologija *digitalne zrelosti*. Nadalje, isključene su disruptivne digitalne tehnologije: *Strojno učenje*, *Rubno računalstvo*, *Kvantno računalstvo*, *Mobilno računalstvo*, *Homomorfna enkripcija*, *6G mobilna mreža*, *Nulta latencija*, *Proširena-povezana radna snaga*, *Konverzacijska korisnička sučelja*, *Nosiva tehnologija*, *4D printanje*. Iste su isključene iz razloga očekivane primjene ili značajnije primjene u lukama tek u narednom razdoblju. Osim vremenskog okvira u kojem se očekuje značajnija primjena navedenih tehnologija, za neke nije u potpunosti poznata konkretna primjena u lukama, odnosno u kojim aktivnostima u lukama i na koji način će se primjenjivati, npr. *4D printanje*. Isto tako neke tehnologije dio su drugih tehnologija, kao na primjer *Strojno učenje* koje je dio, potpodručje *Umjetne inteligencije*. Da bi se slijedila struktura *DEX metode* i pravila slaganja stabla atributa, potrebno je imati uvid u primjenu digitalnih tehnologija i sustava.

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi i *Disruptivne digitalne tehnologije* uključene u kriterije za evaluaciju digitalne zrelosti odabranih luka prikazane su u privitku 1.

U nastavku su obrazloženi atributi (kriteriji) te je za osnovne atribute definirana diskretna (opisna) skala sa sljedećim značenjem i bojama sukladno *DEX metodi* i DEXi računalnom programu:

- najlošija vrijednost (označena **crvenom** bojom)
- dobra, srednja vrijednost (označena **crnom** bojom)
- najbolja vrijednost (označena **zelenom** bojom).

Detaljan opis stabla atributa (kriterija) za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka slijedi u nastavku.

4.4.1. Analiza kriterija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*

Pod *Tradicionalnim digitalnim tehnologijama i sustavima* podrazumijevaju se digitalne tehnologije i sustavi koji su u lukama primijenjeni već izvjesno vrijeme (od sredine devedesetih godina prošlog stoljeća) te u tom smislu nije riječ o recentnim tehnološkim inovacijama. Nadalje, *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* uključuju bazne tehnologije za digitalizaciju i automatizaciju u smislu da su neophodne u provedbi poslovnih procesa odnosno aktivnosti u lukama te su inicijalni korak luke prema tranziciji u *pametnu luku,* npr. *Informacijski sustav lučke zajednice*. Svakako treba naglasiti da dio luka još uvijek ne koristi neke ili većinu *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava*.

Digitalne tehnologije razmjene informacija i dokumentacije (agregirani atribut) jesu digitalne tehnologije koje su u lukama namijenjene za digitalizaciju komunikacije, razmjene informacija i dokumentacije između dionika lučke zajednice za procedure vezane uz brodove i teret. Agregirani atribut *Razmjena informacija* uključuje sljedeće osnovne atribute: *Informacijski sustav lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom i standardi za razmjenu informacija.*

Informacijski sustav lučke zajednice olakšava i usmjerava komunikaciju, suradnju i razmjenu informacija i dokumentacije među različitim dionicima unutar lučke zajednice (lučka uprava, operatori terminala, brodske kompanije, špediteri, carinske vlasti,…). U lukama u kojima se ne koristi *Informacijski sustav lučke zajednice*, dionici lučke zajednice međusobno komuniciraju uglavnom elektroničkom poštom, telefonski, faksom te se dokumenti generiraju u Office paketu i PDF formatu datoteka. U kontekstu korištenja, u nekim lukama primjenjuje se samo osnovni modul vezan za proces i informacije o odlasku i dolasku brodova, odnosno informacije o brodovima i vezu, dok se u nekim lukama primjenjuju dodatni pojedini moduli ili svi moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*. Ostali moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice* jesu (World Bank Group, 2023): modul za službene postupke pomorske administracije, modul ECS/ICS, modul za poslovanje s lučkim kontejnerskim terminalima, modul NCTS, carinski modul, modul lučke koordinacije i planiranja poslova, modul za kontrolu pristupa lučkom području, modul za poslovanje sa skladištima za konvencionalne terete, modul za poslovanje s pozadinskim kontejnerskim terminalima.

Za osnovni atribut *Informacijski sustav lučke zajednice*, definirana je skala:

- razmjena administrativnih dokumenata na brodu se obavlja e-mailom, dokumentima u Wordu, Excelu i PDF formatu
- koristi se osnovni modul za administrativne postupke (dolazak i odlazak brodova)
- koriste se dodatni moduli (carinski modul, *gate in/gate out* procedure itd.)
- koriste se svi moduli.

Sustav za upravljanje terminalom omogućava praćenje i upravljanje aktivnostima u lukama i terminalima, a u cilju koordinacije svih uključenih dionika uključenih u manipulacije teretom. Tradicionalan pristup u kojem se u lukama ne primjenjuje *Sustav za upravljanje terminalom* čini dijeljenje podataka o teretu među dionicima otežanim, što dovodi do kašnjenja u komunikaciji i zastoja u manipulaciji teretom uslijed loše koordinacije dionika. *Sustav za upravljanje terminalom* može se koristiti kao dio drugog sustava, najčešće kao dio *Informacijskog sustava lučke zajednice* (u okviru modula za upravljanje teretom) te *Sustava za planiranje resursa*. Korištenje *Sustava za upravljanje terminalom* kao samostalnog sustava uz primjenu svih modula sustava: modul za upravljanje teretom, modul upravljanja opremom, modul za upravljanje internim transportom, modul ulaza/izlaza, modul za naplatu i fakturiranje, modul za izvještavanje i analitiku, modul integracije i povezivanja, modul sigurnosti i usklađenosti (Envision, 2024), je najviša razina *digitalne zrelosti* u upravljanju terminalom.

Za osnovni atribut *Sustav za upravljanje terminalom* definirana je skala:

- ne koristi se digitalni *Sustav za upravljanje terminalom*
- koriste se djelomična rješenja u okviru drugog sustava (na primjer *Informacijskog sustava lučke zajednice*)
- koristi se *Sustav za upravljanje terminalom*.

Standardi za razmjenu podataka važni su za interoperabilnost i besprijekornu komunikaciju između različitih sustava, organizacija i dionika unutar luke u aktivnostima manipulacije teretom. Još uvijek je prisutna i nestandardizirana razmjena informacija koja podrazumijeva Word, Excel, PDF datoteke i elektroničku poštu. Ukoliko se primjenjuju, u lukama se najčešće koriste EDIFACT i XML poruke. XML poruke u lukama se koriste za razmjenu informacija između različitih sustava i organizacija uključenih u lučke aktivnosti. EDIFACT poruke se koriste u lukama za olakšavanje elektroničke razmjene dokumenata kao što su narudžbenice, fakture, upute za otpremu, carinske deklaracije, teretnice i manifesti. Mogu se koristiti u nekim sustavima u određenom opsegu ili se mogu primijeniti u punom opsegu, a sustavima kao što su *Informacijski sustav lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* te *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu*.

Za osnovni atribut *Standardi razmjene informacija* definirana je skala:

- nestandardizirano (Word, Excel i PDF datoteke te elektronička pošta)
- dio sustava može razmjenjivati podatke (direktno ili posredstvom XML poruka)
- neki sustavi koriste i EDIFACT poruke za razmjenu dokumenata i podataka
- EDIFACT poruke su implementirane u sustavu u svom punom opsegu (npr. u PCS, TOS, MSW).

Tehnologije digitalne potpore poslovanju (agregirani atribut) jesu tehnologije kojima se digitaliziraju poslovni procesi u lukama te olakšava njihova provedba. Primjenom se poslovni procesi mogu pratiti i njima se može upravljati s jednog mjesta

kroz jedinstven sustav, čime se postiže nesmetana koordinacija poslovnih procesa u lukama. Agregirani atribut *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* uključuje sljedeće osnovne atribute: *Digitalne tehnologije za upravljanje procesima* i *Napredne bežične mrežne tehnologije*.

U lukama se kao *Digitalne tehnologije za upravljanje procesima* najčešće koriste *Sustav za planiranje resursa* i *Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima* te *Sustav za potporu odlučivanju*.

Sustav za planiranje resursa u lukama se može primijeniti kao digitalna potpora poslovnim procesima. *Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima*, u lukama se može primijeniti kao digitalna potpora poslovnim procesima: praćenje i kontrola procesa, prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, upravljanje izvanrednim situacijama, kontrola rada na daljinu. *Sustav za potporu odlučivanju* omogućava izradu detaljnih informativnih izvješća o aktivnostima odnosno poslovanju luke, na temelju prikupljenih podataka (Corporate Finance Institute, 2023). Stoga se razlikuje od klasičnih operativnih aplikacija čiji je cilj prikupljanje podataka, ali ne i analiza. U kontekstu primjene, neke luke ne koriste *Digitalne tehnologije za upravljanje procesima*. Nadalje, moguća je primjena za pojedine poslovne procese u lukama. Kao integrirano rješenje za primjenu u svim poslovnim procesima, moguće je primijeniti za strateško odlučivanje i donošenje poslovnih odluka tzv. *dashboarding* (Corporate Finance Institute, 2024). Riječ je o primjeni računalnih alata kojima se omogućava vizualizacija i analiza podataka na jednom mjestu kako bi se donijele poslovne odluke. Ukoliko se *Digitalne tehnologije za upravljanje procesima* koriste u punom opsegu, moguća je primjena u svim procesima za napredno poslovno predviđanje. Prediktivna analitika koristi povijesne podatke i statističko modeliranje za predviđanje budućih ishoda za poslovanje (Paro, 2023).

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije za upravljanje procesima* definirana je skala:

- ne koriste se
- koriste se za pojedine poslovne procese
- integrirano rješenje za sve poslovne procese, za strateško odlučivanje (engl. *dashboarding*)
- integrirano rješenje se koristi za poslovno predviđanje.

Napredne bežične mrežne tehnologije odlikuje brzina, čime se omogućava povezivanje i razmjenu informacija u okviru aktivnosti u lukama. Neke značajne Napredne bežične mrežne tehnologije koje se koriste u lukama uključuju *Bluetooth 4.0 tehnologiju*, *LTE tehnologiju*. U luka se primjenjuje i klasična *WIFI mreža*. Unatoč potencijalu bežičnih mrežnih tehnologija u dijelu luka se ne koriste te se primjenjuje stariji tip mobilnih mreža (3G, 4G). *Napredne bežične mrežne tehnologije* u lukama omogućuju povezivanje opreme i uređaja odnosno sustava. Tako se mogu primijeniti za povezivanje pojedinih izoliranih sustava na primjer senzora koji se nalaze na različitoj

opremi u lukama dizalice, kontejneri, viličari, kamioni. Puni opseg primjene *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* u lukama podrazumijeva objedinjenu primjenu u sklopu automatiziranih sustava što bi značilo da je oprema u potpunosti integrirana te se primjenjuju rješenja kao što je upravljanje i kontrola na daljinu (engl. *remote control*).

Za osnovni atribut *Napredne bežične mrežne tehnologije* definirana je skala:

- ne koriste se
- koriste se tehnologije kao *Bluetooth 4.0*, LTE i slične tehnologije za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava
- koriste se *tehnologije naprednih bežičnih mreža* u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom.

Digitalne tehnologije planiranja i upravljanja teretom (agregirani atribut) u lukama omogućuju digitalizaciju procesa kretanja tereta u kontekstu organizacije, razmjene informacija i utvrđivanja statusa tereta. Digitalizacija koordinacije tereta odnosi se na proces korištenja digitalnih tehnologija za pojednostavljenje koordinacije kretanja tereta. Uključuje zamjenu ručnih, papirnatih procesa digitalnim rješenjima za poboljšanje učinkovitosti, vidljivosti i komunikacije među dionicima uključenim u prijevoz i manipulacije teretom. Agregirani atribut *Digitalne tehnologije planiranja i upravljanja teretom* uključuje sljedeće osnovne atribute: *Digitalne tehnologije upravljanja skladištem*, *Digitalne tehnologije koordiniranja teretom*, *Digitalne tehnologije identifikacije i označavanja tereta*.

Primjena *Digitalnih tehnologija za upravljanje skladištem* neophodna je za nesmetan protok tereta kroz luku. No, još uvijek neke luke ne koriste *Digitalne tehnologije upravljanja skladištem*, što znači da se skladišne aktivnosti provode angažmanom zaposlenika skladišta, uz klasične evidencije skladišnih aktivnosti (npr. Excel tablice, jednostavne baze podataka). Korak više prema digitalizaciji upravljanja skladištem u lukama je uvođenje poluautomatizacije, a što znači kombinirano korištenje digitalnih tehnologija i rada zaposlenika skladišta (LCS, 2024). Poluautomatizirani sustavi za upravljanje skladištem u lukama mogu biti dio nekog drugog sustava kao što je *Sustav za planiranje resursa*. Automatizacija skladišnih aktivnosti u lukama postiže se korištenjem cjelovitog *Sustava za upravljanje skladištem* (SAP, 2024).

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije upravljanja skladištem* definirana je skala:

- pretežno manualno upravljanje bez digitalne potpore uz klasične evidencije skladišnih aktivnosti
- koristi se poluautomatizirani sustav pojedinih procesa (dio procesa je automatiziran, a dio obavljaju zaposlenici skladišta)
- koristi se *Sustav za upravljanje skladištem*.

U lukama u kojima se ne primjenjuju *Digitalne tehnologije koordiniranja teretom*, upravljanje internim transportom pretežno je manualno. Podrazumijeva manualno

kreiranje kompleksnog rasporeda, primjenu telefonske i radioveze za koordinaciju aktivnosti i ovisnost o radu zaposlenika luke (Altexsoft, 2021). Nadalje, u lukama se primjenjuje poluautomatizirano koordiniranje teretom što znači primjenu pojedinih modula *Sustava upravljanja internim transportom* u kombinaciji s manualnim aktivnostima. Automatizirani *Sustav upravljanja internim transportom* sveobuhvatno je rješenje (primjena svih modula) koje se uvelike oslanja na tehnologiju i automatizaciju za pojednostavljenje procesa koordiniranja teretom, odnosno procesa internog transporta u lukama. Moduli *Sustava upravljanja internim transportom* jesu (Altexsoft, 2021): modul za raspored i rezervacije prostora, modul za upravljanje ulazom i izlazom vozila, modul za praćenje i vidljivost u stvarnom vremenu, modul za upravljanje korisnicima, modul za mobilni pristup, modul za izvještavanje i analitiku.

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije koordiniranja teretom* definirana je skala:

- pretežno manualno bez digitalne potpore
- koristi se poluautomatizirani sustav (pojedini moduli Sustava za upravljanje internim transportom)
- koristi se cjeloviti *Sustav upravljanja internim transportom*.

U nekim lukama još je prisutna manualna identifikacija i označavanje tereta, oslonjena isključivo na ljudsku aktivnost. Jedna od prvih i najčešće korištenih digitalnih tehnologija je *Bar kod* tehnologija, odnosno crtični kod koji se očitava pomoću čitača crtičnog koda − skenera. Na primjer, kontejneru se dodjeljuje jedinstveni *Bar kod* koji sadrži podatke kao što su identifikacijski broj, odredište, sadržaj i upute za daljnji premještaj kontejnera. Skeneri za *Bar kodove* postavljaju se na više točaka u luci, uključujući ulaz u luku, dizalice i skladišta te očitavaju *Bar kod* kako bi identificirali teret i pratili kretanje. U lukama se često koriste i *QR kodovi* (kodovi za brzi odgovor). *QR kodovi* koji se mogu ispisati na naljepnicama ili izravno na ambalaži i skenirati pomoću pametnih telefona ili namjenskih čitača *QR kodova*. *Tehnologija radiofrekvencijske identifikacije* koristi radiovalove za prepoznavanje i praćenje objekata, a RFID oznake pričvršćuju se za teret čime se omogućava identifikacija i označavanje tereta (Dempsey, 2011). Osim navedenih tehnologija, u lukama se za identifikaciju i označavanje tereta koriste automatizirani sustavi kao što je *Sustav za prepoznavanje broja kontejnera* (engl. *Container Number Recognition System* − CNRS).

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije identifikacije i označavanja tereta* definirana je skala:

- manualna identifikacija i označavanje
- koriste se *Bar kod*, *QR kod* i/ili *radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija*
- koriste se automatizirani sustavi identifikacije i označavanja.

Digitalne tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu (agregirani atribut) omogućuju digitalizaciju, odnosno automatizaciju procesa horizontalnog i vertikalnog transporta u luci. Agregirani atribut *Digitalne tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* uključuje sljedeće osnovne atribute: *Digitalne tehnologije horizontalnog transporta* i *Digitalne tehnologije vertikalnog*

transporta. Pritom se tehnologije razmatraju na primjeru kontejnerskih terminala u lukama.

Za provedbu horizontalnog transporta u lukama se primjenjuju različita prijevozna odnosno prekrcajna sredstva – ovisno je li riječ o obalnom ili kopnenom podsustavu horizontalnog transporta (Maglić, 2016). Tako se primjenjuju: *Automatski navođena vozila*, tegljači s prikolicama i poluprikolicama, portalni prijenosnici, viličari, kamioni itd. (Maglić, 2016). Razina digitalizacije, odnosno automatizacije horizontalnog transporta ovdje se razmatra se kroz korištenje *Automatski navođenih vozila*. U lukama koje nisu tehnološki napredne koriste se jednostavnija sredstava kao što su viličari, tegljači, kamioni, traktori i sl. Prekretnicu u horizontalnom transportu u lukama i značajan iskorak prema digitalizaciji, odnosno automatizaciji napravila je primjena *Automatski navođenih vozila* koja su opremljena navigacijskim sustavima i sustavima za pozicioniranje. Mogu rukovati s više kontejnera istovremeno i raditi autonomno, smanjujući potrebu za ručnim radom i poboljšavajući učinkovitost. U kontekstu tehnologije rada, razlikuje se primjena od magnetski i laserski navođenih pa sve do navođenih *LIDAR tehnologijom* koja ih čini potpuno samostalnim i adaptabilnim na okruženje (River Systems, 2023).

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije horizontalnog transporta* definirana je skala:

- koriste se viličari, tegljači, kamioni, traktori
- koriste se *Automatski navođena vozila*, navođeni šinom-trakom-laserom
- koristi se autonomni AGV.

Vertikalni transport na kontejnerskim terminalima provodi se pomoću specijalizirane opreme kao što su kontejnerske dizalice, velike portalne dizalice, slagališne dizalice itd. (Maglić, 2016) koje mogu podići kontejnere s brodova i premjestiti ih na terminal ili na kamione i vlakove za daljnji transport. Mogu se koristiti za okomito slaganje kontejnera unutar terminala. U lukama je prisutna i poluatomatizacija vertikalnog transporta, što znači da je dio opreme automatiziran, a dio je još uvijek upravljan od strane lučkih radnika. Tako se u lukama mogu koristiti na primjer *Automatizirane slagališne dizalice* upravljanje na daljinu te dizalice kojima u potpunosti upravljanju lučki radnici. Potpuno automatizirani sustavi daljinskim upravljanjem korištenjem bežične tehnologije, jesu najviša razina *digitalne zrelosti* u pogledu vertikalnog transporta.

Za osnovni atribut *Digitalne tehnologije vertikalnog transporta* definirana je skala:

- koriste se jednostavni sustavi (klasične dizalice uz kontrolu lučkih radnika)
- koriste se poluautomatizirani sustavi (automatiziran neki od procesa vertikalnog transporta ili oprema vertikalnog transporta, daljinska kontrola pojedinih procesa)
- potpuno automatizirani sustavi s daljinskim navođenjem.

Digitalne tehnologije za sigurnost i nadzor luke (agregirani atribut) primjenjuju se za digitalizaciju sigurnosti i nadzora provedbe lučkih aktivnosti. Pritom digitalizacija sigurnosti i nadzora uključuje pristup luci s morske strane, odnosno kontrolu pomorskog prometa, sigurnost i nadzor ulaza u luku s kopnene strane te sigurnost i nadzor kretanja unutar samog područja luke. Agregirani atribut *Digitalne tehnologije za sigurnost i nadzor luke* uključuje sljedeće osnovne atribute: *Digitalne tehnologije upravljanja pomorskim prometom*, *Digitalne tehnologije kontrole ulaza u lučko područje* i *Digitalne tehnologije za nadzor područja luke*.

Digitalizacija upravljanja pomorskim prometom uključuje nadzor, kontrolu i koordinaciju kretanja plovila za sigurnu plovidbu plovnim putovima, lukama i pristaništima. Za podršku upravljanju pomorskim prometom koristi se *Sustav pomorskog prometa* – VTS kao inicijalni korak u digitalizaciji sigurnosti i nadzora pomorskog prometa. Daljnja digitalizacija podrazumijeva korištenje *Informacijskog sustava za nadzor i upravljanje pomorskim prometom* – VTMIS, pojedinih modula ili svih modula sustava (modul nadzora pomorskog prometa, modul upravljanja pomorskim prometom, modul upravljanja informacijama, komunikacijski modul, modul za praćenje okoliša, modul za sigurnost pomorskog prometa). U lukama se mogu koristiti pojedini moduli VTMIS sustava, a korištenje integriranog, cjelovitog *Informacijskog sustava za nadzor i upravljanje pomorskim prometom* je najviša razina digitalizacije upravljanja pomorskim prometom.

Za osnovni atribut *Upravljanje pomorskim prometom* definirana je skala:

- koristi se VTS sustav
- koriste se pojedinačni moduli VTMIS sustava
- koristi se integrirani VTMIS sustav.

Digitalizacija kontrole ulaza u lučko područje uključuje ne samo kontrolu pristupa prijevoznika, već i kontrolu pristupa zaposlenika. No, u nekim lukama kontrola ulaza u lučko područje još uvijek je regulirana angažmanom ljudskih resursa, uglavnom zaštitarske službe. Inicijalni korak prema digitalizaciji je korištenje *Mobilnih uređaja s vjerodajnicama* te *Identifikacijskih (ID) kartica* koje se očitavaju na uređajima postavljenim na ulazu u luku (Port Pass, 2024). U lukama se primjenjuju i uređaji koji se baziraju na *komunikaciji bliskog polja*. Naprednije digitalne tehnologije kontrole ulaza u lučko podrazumijevaju korištenje digitalne tehnologije *Automatskog prepoznavanja registarskih pločica* (engl. *Automatic Plate Number Recognition* − APNR), koja koristi *Optičko prepoznavanje znakova* za čitanje registarskog broja vozila (Visio, 2024). Sustav za rezervaciju dolaska vozila je jedan od primjera kontrole ulaska u lučko područje, s obzirom da se pri procesu rezervacije i dolaska prijevoznika provjeravaju podatci o prijevozniku. Korištenje integriranog digitaliziranog *Sustava ulaza i izlaza* (engl. *gate in/gate out*) je najviša razina digitalizacije kontrole ulaza u lučko područje (Tanger Med, 2024).

Za osnovni atribut *Kontrola ulaza u lučko područje* definirana je skala:

- zaštitarska služba

- koriste se mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice
- koristi se *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica*
- koristi se integrirani *Sustav ulaza i izlaza* (*gate in*/*gate out*).

Digitalizacija nadzora lučkog područja je još jedan aspekt sigurnosti luke. Luke u kojima je manja razina digitalizacije, najčešće koriste klasičan analogni CCTV sustav videonadzora (Eclipse CCTV, 2023). Napredak digitalizacije nadzora lučkog područja očituje se u primjeni poboljšanog videonadzora. *Termovizijske kamere* detektiraju infracrveno zračenje koje emitiraju objekti, što im omogućava izradu slika temeljenih na toplini (Infiniti Electro Optics, 2024). Korisne su za nadzor u potpunom mraku ili okruženjima sa slabom vidljivošću, poput magle ili dima (Infiniti Electro Optics, 2024). Koriste se i kamere opremljene infracrvenim (IR) iluminatorima, što im omogućava snimanje jasnih snimaka čak i u uvjetima slabog osvjetljenja ili noću (Infiniti Electro Optics, 2024). Napredne luke koriste *Inteligentne kamere* koje omogućuju analizu slika, detekciju objekata, praćenje u stvarnom vremenu, upozorenje na uočene opasnosti.

Za osnovni atribut *Nadzor lučkog područja/terminala* definirana je skala:

- koristi se videonadzor
- koristi se napredni videonadzor (termovizijske kamere, kamere za noćni nadzor)
- koriste se *Inteligentne kamere* s automatizacijom prepoznavanja i reagiranja.

U nastavku slijedi analiza kriterija *Disruptivne digitalne tehnologije*.

4.4.2. Analiza kriterija *Disruptivne digitalne tehnologije*

Disruptivne digitalne tehnologije jesu rezultat inovacije koja značajno mijenja način na koji se provode poslovni procesi odnosno aktivnosti. *Disruptivne digitalne tehnologije* dovode do razvoja novih poslovnih modela ili prilagodbe postojećih poslovnih modela. Zamjetno je korištenje *Disruptivnih tehnologija* u vodećim svjetskim lukama koje odlikuje digitalizacija odnosno automatizacija poslovnih procesa odnosno aktivnosti.

Povezivost i mrežna tehnologija (agregirani atribut) odnose se na povezanost uređaja, sustava i ljudi koji sudjeluju u lučkim procesima i aktivnostima, a radi komunikacije i dijeljenja informacija. Za digitalizaciju luke i postizanje *digitalne zrelosti*, ove digitalne tehnologije su od velikog značaja jer omogućuju besprijekornu komunikaciju, prijenos podataka i suradnju kroz podatke prikupljene različitim uređajima i platformama. Ključne digitalne tehnologije za uključivanje u evaluaciju digitalne zrelosti luke u okviru povezivosti i mrežne tehnologije jesu sljedeći osnovni atributi: *5G mobilna mreža* i *Internet stvari*. Svakako treba naglasiti da su ove dvije digitalne tehnologije međusobno komplementarne.

5G mobilna mreža omogućava povezivanje velikog broja uređaja i opreme u lukama, za automatizaciju lučkih aktivnosti. Važnost primjene *5G mobilne mreže* za digitalizaciju luke vidljiva je iz primjera vodećih svjetskih luka koje su investirale u primjenu privatnih *5G mobilnih mreža* kako bi ubrzale, odnosno pospješile automatizaciju (Delloite, 2023). Većina luka još uvijek ne koristi *5G mobilnu mrežu*. U lukama se *5G mobilna mreža* može koristiti za više procesa: praćenje opreme luke u stvarnom vremenu, povezivanje opreme i uređaja u stvarnom vremenu, daljinski nadzor i kontrola autonomnih vozila i dronova, podrška imerzivnim tehnologijama, prediktivna analitika, upozorenja na izvanredne situacije. Primjena *5G mobilne mreže* u lukama najčešće se provodi u fazama za pojedine procese i povezivanje pojedinih uređaja, npr. senzora pa se može koristiti kao cjelovito rješenje na razini luke. U luci Ploče, npr. *5G mobilna mreža* koristit će se najprije za sustave lociranja u stvarnom vremenu, nadzor i evidencija manipulacije teretom te prevenciju incidenata (European Commission, 2024).

Za osnovni atribut *5G mobilna mreža* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se za automatizaciju pojedinih procesa i senzoriku
- koristi se kao cjelovito rješenje.

Primjena digitalne tehnologije *Internet stvari* u lukama uglavnom je vezana za vodeće svjetske luke. Ukoliko se primjenjuje, tehnologija *Internet stvari* može se primijeniti za pojedine procese ili kao cjeloviti sustav povezanih uređaja. *Internet stvari* u lukama se može koristiti za sljedeće poslovne procese odnosno aktivnosti: upravljanje i nadzor tereta primjenom senzora, monitoring i prediktivno održavanje opreme primjenom senzora, praćenje stanja okoliša primjenom senzora, *pametno* parkiranje, automatizirano upravljanje prometom vozila unutar luke, vidljivost carinskih i

administrativnih procedura, analitika podataka iz uređaja *Interneta stvari*. Ukoliko se *Internet stvari* koristi u lukama kao cjeloviti sustav povezanih uređaja tad je riječ o najvišoj razini *digitalne zrelosti*.

Za osnovni atribut *Internet stvari* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se za pojedine procese
- koristi se kao cjeloviti sustav povezanih uređaja.

Digitalne tehnologije računalstva i obrade podataka (agregirani atribut) obuhvaćaju širok raspon alata, sustava i metodologija koje se koriste za upravljanje, pohranjivanje i analizu podataka u digitalnom obliku. U *Digitalne tehnologije računalstva i obrade podataka*, za evaluaciju *digitalne zrelosti* luke razmatraju se sljedeći osnovni atributi: *Računalstvo u oblaku i Veliki podatci.*

U osnovnoj primjeni, *Računalstvo u oblaku* koristi se za baznu pohranu podataka i kao podrška radu aplikacija. Nadalje, *Računalstvo u oblaku* može se koristiti za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture − virtualizaciju fizičke infrastrukture kao što su poslužitelji, pohrana i mrežne komponente te aplikacije, baze podataka. Potpuna virtualizacija omogućava korištenje *virtualnih računala* na način da se *virtualno računalo* pokreće na kroz softversku simulaciju. Kada se koristi potpunu virtualizaciju radi se na način da se sustav *virtualnog računala* ponaša kao da se nalazi na računalu kojeg se koristi dok je u stvari pokrenuto u okviru virtualizacije.

Za osnovni atribut *Računalstvo u oblaku* definirana je skala:

- koristi se za aplikacije i pohranu podataka
- koristi se za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture
- koristi se za potpunu virtualizaciju IT infrastrukture.

Tehnologija *Veliki podatci* u lukama omogućava poboljšano donošenje odluka u različitim aktivnostima. Unatoč prednostima korištenja, tehnologija *Veliki podatci* ne koristi se u svim lukama. Ukoliko se koristi, luke imaju mogućnost korištenja u pojedinim poslovnim procesima ili cjelovito u svim poslovnim procesima. Tehnologija *Veliki podatci* može se u lukama primijeniti za analizu podataka poslovnih procesa: praćenje i analiza prometa brodova u lučkom području i oko luke, analitika podataka o aktivnostima na vezu i terminalu, analitika podataka o teretu, analitika sigurnosnih podataka, analitika podataka o okolišu, analitika resursa i opreme luke − prediktivna analitika za praćenje stanja opreme i proaktivno planiranje održavanje, analitika podataka korisnika (Sedna, 2022).

Za osnovni atribut *Veliki podatci* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se za analitiku unutar pojedinih poslovnih procesa
- koristi se za analitiku za sve poslovne procese.

Robotika i autonomija (agregirani atribut) omogućuju digitalizaciju i automatizaciju u lukama kroz minimiziranje ili eliminiranje korištenja ručnog rada i

intervencija zaposlenika luka. Integrirane su u opremu, vozila ili djeluju samostalno zamjenjujući ljudske resurse osobito u zadacima gdje potrebna brzina ili zadacima koji su opasni za zaposlene u lukama. Prilagodljive su potrebama luka i može ih se postupno uvesti u korištenje. U okviru tehnologija *Robotika i autonomija* razmatraju se sljedeće digitalne tehnologije (osnovni atributi): *Dronovi, Napredna robotika, Autonomne digitalne tehnologije.*

Dronovi imaju višestruku primjenu u morskim lukama, a karakteristično je fazno uvođenje u aktivnosti luke (Haropa Port, 2024). *Dronovi* se koriste u lukama za praćenje kretanja tereta te brodova unutar lučkog područja; nadzor i inspekciju lučkog područja odnosno terminala, infrastrukture i opreme pomoću kamera i senzora; nadzor okoliša primjenom senzora za motrenje i mjerenje kvalitete zraka, buke; upravljanje izvanrednim situacijama kao što su nesreće, prirodne katastrofe ili operacije potrage i spašavanja (Haropa Port, 2024).

Za osnovni atribut *Dronovi* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se za inspekciju broda i tereta
- koristi se za inspekciju lučkog područja
- napredan sustav upravljanja izvanrednim situacijama.

Napredna robotika u lukama se može koristiti u automatizaciji pojedinačne opreme u luci ili u široj primjeni za potpunu automatizaciju. Primjer korištenja *Napredne robotike* jesu *Automatizirane robotske dizalice* koje mogu raditi samostalno ili upravljanjem na daljinu. Tijekom rada identificiraju prisutne radnike ili objekte u blizini kako bi izbjegli sudare, nesreće te kašnjenja tijekom operacija (Global Infrastructure Hub, 2020). Nadalje, primjer primjene *Napredne robotike* u lukama je robotska inspekcija. Roboti opremljeni kamerama, senzorima i manipulatorskim rukama raspoređeni su za zadatke inspekcije i održavanja u lukama. Mogu pristupiti zatvorenim ili opasnim područjima i opremi, kao što su dizalice, podvodna mjesta kako bi izvršili vizualne preglede, otkrili nedostatke i poduzeli aktivnosti održavanja.

Za osnovni atribut *Napredna robotika* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se poneka automatizirana oprema
- koristi se.

Autonomne digitalne tehnologije koriste se u manje luka, uglavnom u vodećim svjetskim lukama. Na primjer, *Autonomni terminalski traktori* poboljšavaju način prijevoza kontejnera. Jedna od glavnih prednosti je sposobnost rada 24 /7, budući da im nisu potrebne stanke, čime se skraćuje vrijeme prijevoza. Osim toga, autonomni traktori sigurniji su od tradicionalnog kretanja kontejnera, jer su programirani da se pridržavaju ruta i izbjegavaju sudare. Kineska luka Caofeidian, primjenom autonomije, zabilježila je smanjenje troškova rada za 70 % u kombinaciji s povećanjem učinkovitosti od 30 % (Global Infrastructure Hub, 2020). Autonomija može poboljšati učinkovitost povećanjem

iskorištenosti opreme luke (dizalice, kamioni, vezovi itd.) i omogućavanjem produljenih razdoblja rada (Global Infrastructure Hub, 2020). U lukama se može djelomično koristiti autonomne digitalne tehnologije tako da se koriste pojedinačna autonomna vozila i/ili oprema ili da se koriste u potpunosti autonomna vozila i oprema kao na primjeru luke Caofeidian.

Za osnovni atribut *Autonomne tehnologije* definirana je skala:

- ne koriste se
- koriste se djelomično (pojedinačna autonomna vozila i oprema)
- koriste se potpuno autonomna vozila i oprema.

Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske digitalne tehnologije (agregirani atribut) tri su međusobno povezane digitalne tehnologije koje su posljednjih godina obilježene ekspanzijom korištenja u lukama. Primjena navedenih tehnologija u lukama mijenja način provedbe aktivnosti, poboljšava sigurnost i zaštitu, optimizira korištenje resursa. U nastavku će se razmatrati sljedeće digitalne tehnologije (osnovni atributi): *Umjetna inteligencija, Imerzivna mješovita stvarnost, Siumlacijske digitalne tehnologije*.

U lukama je moguće parcijalno korištenje *Umjetne inteligencije* za pojedina komercijalna rješenja kao što je biometrijsko prepoznavanje ili računalni vid za primjenu u jednoj ili više aktivnosti u lukama. Nadalje, *Umjetne inteligencije* može se koristiti u lukama kroz *Dubinsko učenje* na temelju *sirovih* podataka tzv. *date lake* luke. Takva baza podataka uključuje neobrađene podatke: slike, videozapise, audio i druge nestrukturirane podatke na temelju kojih se mogu generirati informacije za naprednu analitiku. *Generativna umjetna inteligencija* je primjer najviše razine digitaliziranosti koji se može primijeniti u nekoj od ključnih aplikacija za poslovanje, na način da se iz velikog skupa podataka u lukama autonomno generiraju podatci korisni za analitiku – bez oslanjanja na unaprijed definirana pravila ili obrasce podataka (IBM, 2023).

Za osnovni atribut *Umjetna inteligencija* definirana je skala:

- ne koristi se
- koriste se pojedini moduli u okviru komercijalnih rješenja, npr. *Biometrijsko prepoznavanje lica*, *Računalni vid*
- koristi se *Dubinsko učenje* iz *data lakea* luke
- koristi se *Generativna umjetna inteligencija* u nekoj od ključnih aplikacija za poslovanje.

Imerzivna mješovita stvarnost uključuje digitalne tehnologije: *Virtualnu stvarnost* (VR), *Proširenu stvarnost* (AR) i *Mješovitu stvarnost* (MR), kojima se mogu poboljšati različiti aspekti aktivnosti u morskim lukama.

U lukama se tehnologije *Imerzivne mješovite stvarnosti* mogu primijeniti u više aktivnosti. Edukacija zaposlenika u lukama može se provesti kroz virtualne replike lučke opreme i objekata, za praktičnu obuku u kontroliranom okruženju i bez opasnosti od oštećenja opreme. Nadalje, zaposlenici mogu koristiti virtualnu tehničku pomoć za

održavanje i popravke. Na primjer, putem pametnih naočala zaposlenici dobivaju sheme opreme, postupke održavanja i podatke sa senzora (AR Genie, 2023). Nadalje, korištenjem *Imerzivne mješovite stvarnosti* lučki operatori mogu primijeniti integrirano rješenje na primjer vizualizacije kretanje brodova, proces manipulacije teretom i raspored opreme.

Za osnovni atribut *Imerzivna mješovita stvarnost* definirana je skala:

- ne koristi se
- koristi se AR za pojedine operativne svrhe
- koristi se AR u okviru integriranih rješenja za MR.

Primjena *Simulacijskih digitalnih tehnologija* u lukama omogućava stvaranje modela ili prikaza stvarnih sustava ili procesa, a za razumijevanje, analizu, predviđanje ili poboljšanje sustava i procesa. Simulacije u lukama mogu biti dio jednostavnih računalnih modela (statički modeli u okviru matematičkih i statističkih računanlnih programa). Naprednije simulacije u lukama provode se kroz specijalizirane računalne programe kao na primjer FlexSim (FlexSim, 2024). Najnaprednija simulacijska digitalna tehnologija koja se može koristiti u lukama je *Digitalni blizanac* jer omogućava virtualnu repliku stvarnog procesa ili sustava (Sogelink, 2024). U lukama se tehnologija *Digitalni blizanac* može primijeniti za sljedeće poslovne procese odnosno aktivnosti: planiranje scenarija tijeka različitih aktivnosti u lukama, simulacije primjene opreme u manipulaciji teretom, simuliranje korištenja resursa u lukama. Stvaranjem virtualne replike fizičkog sustava ili procesa u luci i integracijom podataka u stvarnom vremenu, tehnologija *Digitalni blizanac* omogućava lučkim operatorima donošenje odluka temeljenih na podatcima −dakle uključuje i analitičku komponentu (Sogelink, 2024).

Za osnovni atribut *Simulacijske digitalne tehnologije* definirana je skala:

- ne koriste se
- koriste se statički modeli kao dio modula statističkih i matematičkih softvera
- koriste se napredni modeli simulacija kroz specijalizirane softvere
- koristi se *Digitalni blizanac* za cjelovitu digitalnu repliku stvarnih procesa i sustava.

U poglavlju 4.5. u nastavku slijedi analiza rezultata evalucije *digitalne zrelosti* luke, na konkrentim odabranim lukama, uz primjenu *DEX metode* i DEXi računalnog programa. Na slici 1. u nastavku prikazane su definirane skale osnovnih atributa (skraćeni opis s obzirom na grafička ograničenja DEXi računalnog programa). Skale su označene bojama koje su integrirane u DEXi računalni program.

Slika 1. Prikaz definiranih skala osnovnih atributa za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka

Attribute	Scale
Digitalna zrelost luke	**Niska razina digitalne zrelosti luke**; Srednja razina digitalne zrelosti luke; ***Visoka razina digitalne zrelosti luke***
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ │ ├─**Razmjena podataka**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	**Razmjena (Office paket i PDF)**; Osnovni moduli PCS-a; Dodatni moduli PCS-a; ***Svi moduli PCS-a***
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	**Ne koristi se digitalni sustav**; Djelomična rješenja u okviru drugog sustava; ***Sustav za upravljanje terminalom***
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	**Nestandardizirano**; Djelomično (EDIFACT poruke); Djelomično XML; ***Razmjena punog opsega EDIFACT poruka***
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	**Ne koristi se**; Za pojedine poslovne procese; Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding; ***Integrirano rješenje za poslovno predviđanje***
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	**Ne koriste se**; Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora; ***U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom***
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	**Pretežno manulano upravljanje**; Poluautomatizirani sustav; ***Potpuno automatiziran sustav- WMS***
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	**Pretežno manualan rad bez digitalne potpore**; Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli); ***Cjeloviti sustav - YMS***
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	**Manualna identifikacija i označavanje**; Bar kod, QR kod i RFID tehnologije; ***Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja***
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	**Niska digtalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	**Viličari, tegljači, kamioni, traktori**; AGV navođeni šinom-trakom-laserom; ***Autonomni AGV***
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	**Jednostavni sustavi**; Poluautomatizirani sustavi; ***Potpuno automatiziran sustav s daljinskim navođenjem***
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	**VTS sustav**; Pojedinačni moduli VTMIS sustava; ***Integrirani VTMIS sustav***
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	**Zaštitarska služba**; Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice; Automatsko prepoznavanje registarskih pločica-ANPR; ***Integrirani sustav (gate in/gate out)***
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	**Video nadzor**; Napredni video nadzor; ***Inteligetne kamere***
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ ├─5G mreža	**Ne koristi se**; Automatizacija pojedinih procesa i senzorika; ***Cjelovito rješenje***
│ └─Internet stvari	**Ne koristi se**; Pojedini procesi; ***Cjeloviti sustav povezanih uređaja***
├─**Računalstvo i obrada podataka**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ ├─Računalstvo u oblaku	**Aplikacije i bazna pohrana podataka** ; Virtualizacija pojedinih elemenata poslovne arhitekture; ***Potpuna virtualizacija IT infrastrukture***
│ └─Veliki podatci	**Ne koristi se**; Koristi se za pojedine poslovne procese; ***Koristi se za sve poslovne procese***
├─**Robotika i autonomija**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
│ ├─Dronovi	**Ne koristi se**; Za inspekciju broda i tereta; Za inspekciju lučkog područja; ***Napredan sustav upravljanja izvanrednim situacijama***
│ ├─Napredna robotika	**Ne koristi se**; Koristi se poneka robotizirana oprema i vozila ; ***Koristi se***
│ └─Autonomne tehnologije	**Ne koriste se**; Koriste se djelomično; ***Potpuno autonomna vozila i oprema***
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**; Srednja digitalna zrelost; ***Visoka digitalna zrelost***
├─Umjetna inteligencija	**Ne koristi se**; Pojedini moduli komercijalnih rješenja ; Dubinsko učenje iz data lakea luke; ***Generativna umjetna inteligencija***
├─Imerzivna mješovita stvarnost	**Ne koristi se**; AR za pojedine operativne svrhe ; ***XR u okviru integriranih rješenja za MR***
└─Simulacijske tehnologije	**Ne koristi se**; Statički modeli ; Napredni modeli simulacija; ***Digitalni blizanac***

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5. Evaluacija *digitalne zrelosti* odabranih luka

U nastavku najprije slijedi preliminarna analiza ukupnih rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka: Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena. Pojašnjena je provedba prikupljanja podataka, definirane su i pojašnjene razine *digitalne zrelosti* luka te funkcije korisnosti za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka. Napravljen je i test osjetljivosti rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka. Potom slijedi analiza rezultata evaluacije za svaku luku pojedinačno.

4.5.1. Preliminarna analiza ukupnih rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka

Za evaluaciju *digitalne zrelosti*, a s obzirom na dostupnost podataka, izdvojene su sljedeće jadranske luke: Rijeka, Kopar, Venecija, Trst, Ravena, Split, Ploče, Bar, Port of Adria, Drač. Iz istraživanja su isključene primarno putničke luke koje nemaju analiziran teretni promet u okviru statističkih publikacija, npr. Državnog zavoda za statistiku RH. U svrhu prikupljanja podataka, napravljen je anketni upitnik na hrvatskom i engleskom jeziku uz korištenje online alata Google Forms (Privitak 2.). Tijekom prikupljanja podataka kontaktirani su veći operatori terminala u lukama da bi se dobili sveobuhvatni podatci o korištenim tradicionalnim digitalnim tehnologijama i sustavima te disruptivnim tehnologijama. Za prikupljanje potrebnih podataka kontaktirani su i IT menadžeri u navedenim lukama.

U nastavku je obrazložena uloga odnosno važnost većih operatora terminala u digitalizaciji i tranziciji u *pametnu luku*. Veći operatori terminala često provode pilot projekte i implementaciju digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Na taj način doprinose inovacijama, napretku digitalizacije u lukama i potiču primjenu digitalnih tehnologija i sustava. Veći operatori terminala ulažu u opremu u lukama te mogu provoditi projekte modernizacije koji uključuju implementaciju digitalnih tehnologija i sustava kako bi se unaprijedile aktivnosti vezane za teret. Nadalje, veći operatori terminala tijekom obavljanja aktivnosti surađuju s lučkim vlastima te brojnim dionicima lučke zajednice. Pritom je potrebna koordiniranost i nesmetana razmjena velike količine podataka vezanih za kretanje tereta, brodove i aktivnosti na terminalu. Stoga veći operatori terminala ulažu i u digitalne tehnologije i sustave kojima se unaprjeđuje koordinacija s dionicima lučke zajednice. Na primjer, kroz primjenu digitalnih platformi za online rezervacije, sustava praćenja u stvarnom vremenu i digitalno upravljanje dokumentacijom, veći operatori terminala mogu pružiti veću vidljivost i transparentnost u lučkim aktivnostima. Veći operatori terminala su suodgovorni za osiguravanje usklađenosti s propisima i standardima vezanim uz lučke aktivnosti, sigurnost i zaštitu okoliša. Stoga veći operatori terminala primjenjuju digitalne tehnologije kako bi olakšali i osigurali usklađenost s propisima i standardima.

Određen je opseg istraživanja što je učinjeno kako slijedi. Iz istraživanja su isključeni veći operatori terminala za tekući teret, kao na primjer JANAF u luci Rijeka, s obzirom da je riječ o djelatnosti u kojoj se primjenjuju u potpunosti digitalizirani procesi

vezani za samu djelatnost primjenom sustava kao što je SCADA, ali i za procedure kao što je carinjenje. Nadalje, digitalne tehnologije i sustavi koje se primjenjuju za aktivnosti vezane za tekući teret bitno su različiti od onih koji se primjenjuju na kontejnerskim terminalima. S obzirom na prethodno navedeno, bilo je potrebno odrediti opseg u istraživanju kako ne bi došlo do značajnih nesrazmjera u rezultatima istraživanja čime bi postali neupotrebljivi za daljnju analizu. Tijekom prikupljanja podataka bilo je prisutno ograničenje u vidu nezaprimanja odgovora od svih kontaktiranih stručnjaka te u vidu neustupanja podataka. No, s obzirom na značajke *DEX metode*, prikupljen je dostatan broj odgovora za analizu *digitalne zrelosti* luka. Luke su u analizi rezultata istraživanja promatrane kao cjelina, ne uzimajući u obzir vlasničku strukturu pojedinih analiziranih većih operatora terminala.

Pri distribuiranju upitnika te prikupljanja i obrade podataka poštivana su načela zaštite osobnih podataka. Isto uključuje sljedeće: ispitanici su informirani u koju svrhu se provodi istraživanje i zašto je zatraženo njihovo sudjelovanje; ispitanici su informirani da je sudjelovanje u istraživanju dobrovoljno; ispitanici su informirani da su podatci anonimizirani (nije moguće identificirati ispitanika direktno ili indirektno putem podataka o ispitaniku).

Anketni upitnik slijedi definirane atribute u okviru stabla atributa te skale dodijeljene svakom osnovnom atributu (detaljno pojašnjeno u prethodnom poglavlju doktorskog rada). Time je osigurana sukladnost te pouzdanost dobivanja točnih povratnih informacija. Pri kreiranju upitnika, ispitanicima je ostavljena mogućnost davanja dodatnih komentara, sugestija i prijedloga.

Zaprimljeni su podatci od ukupno 7 luka: Rijeka, Split, Ploče, Bar, Port of Adria, Kopar i Ravena. Tijekom obrade zaprimljenih podataka, u slučaju kad je zaokruženo više odgovora po istom pitanju, u obzir je uzet vršni odgovor, odnosno onaj koji predstavlja nabolje rangirani odgovor.

Nadalje, za evaluaciju *digitalne zrelosti* odabranih luka, atributima je dodijeljena vrijednost (težina). Pritom se podrazumijeva dodjela vrijednosti (težina) osnovnim atributima te dvama glavnim agregiranim atributima: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*. Stoga je napravljena preliminarna analiza korištenih *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te *Disruptivnih digitalnih tehnologija u evaluiranim lukama*. Preliminarna analizom sastojala se od detaljnog pregleda web stranica odabranih luka te pregleda medijski dostupnih informacija o digitalnim tehnologijama u odabranim lukama. S obzirom na provedenu analizu, uočeno je kako u predmetnim lukama dominiraju Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava.

Stoga je za *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* dodijeljena preliminarna vrijednost (težina) 60 %, a za *Disruptivne digitalne tehnologije* dodijeljena vrijednost (težina) 40 %.

Rezultati evaluacije digitalne zrelosti odabranih luka, obradom u DEXi računalnom programu, pokazali su da je konačna vrijednost (težina) sljedeća (prikazano u tablici 2.):

- *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* 57 %
- *Disruptivne digitalne tehnologije* 43 %.

Konačna vrijednost (težina) dodijeljena *Tradicionalnim digitalnim tehnologijama* i sustavima te *Disruptivnim digitalnim tehnologijama* proizlazi iz konačnog rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka. Kako je već i prethodno pojašnjeno, definirane su skale za osnovne atribute. Definirana su pravila odlučivanja (sukladno mogućim opcijama odabira putem skala za osnovne atribute) za agregirane atribute koja su mapirana u tablice odlučivanja u DEXi računalnom programu. Temeljem vrednovanja *digitalne zrelosti* od strane stručnjaka, konačan rezultat evaluacije pokazao je gore navedenu vrijednost (težinu) kriterija.

Nadalje, konačna vrijednost (težina) pokazuje da je napravljena točna preliminarna procjena vrijednosti (težina), s obzirom na neznatno odstupanje (3 %) te je dokazana dominantnost *Tradicionalnih digitalnih tehnologija* u ukupnoj digitalnoj zrelosti evaluiranih luka. Originalni rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa nalazi se u privitku 3.

Prije same evaluacije digitalne zrelosti luka, potrebno je definirati razine digitalne zrelosti luka. Sukladno dosad analiziranoj relevantnoj literaturi, sukladno digitalnim i disruptivnim tehnologijama i sustavima analiziranim u poglavlju 3.1. te sukladno primjerima analiziranih luka u poglavlju 3.4., razine *digitalne zrelosti* luke jesu:

- ***Tradicionalna luka:*** luke na ovoj razini imaju minimalnu integraciju digitalnih tehnologija i sustava u provedbi teretnih i administrativnih poslovnih procesa. Dominantni su manualni procesi i papirnata dokumentacija za provedbu aktivnosti kao što su manipulacija teretom i administrativni zadaci. Načini komunikacije su uglavnom elektroničkom poštom i sl. Karakteristična je izoliranost i nepovezanost sustava dionika lučke zajednice, dionici koriste vlastite nepovezane digitalne sustave.
- ***Inicijalno digitalizirana luka*:** luke u ovoj fazi započinju inicijalnu digitalizaciju integracijom izoliranih i nepovezanih informacijskih sustava dionika lučke zajednice. Karakteristično je implementiranje i korištenje barem nekog modula Informacijskog sustava lučke zajednice koji dionicima lučke zajednice osigurava standardizaciju poruka koje se razmjenjuju i komunikaciju bez papira. Implementiraju se digitalne tehnologije i sustavi za pojednostavljenje poslovnih procesa tj. aktivnosti luke kao što su aktivnosti vezane za premještaj tereta u luci, pristup luci, praćenje i kontrolu.
- ***Digitalno integrirana luka:*** luke u ovoj fazi nastavljaju s digitalizacijom koordinacije poslovnih procesa i dionika. Dodatno se uvode novi sustavi ili poboljšavaju inačice postojećih kroz nove module, a u cilju daljnje minimizacije manualnih aktivnosti i većeg zamaha prema automatizaciji.
- ***Napredno digitalizirana luka:*** na ovoj su razini *digitalne zrelosti* luke ostvarile veći iskorak prema digitalizaciji aktivnosti. Luke koriste digitalne tehnologije i

sustave u različitim poslovnim procesima odnosno aktivnostima, uključujući upravljanje cijelim lučkim područjem, praćenje tereta i upravljanje sigurnošću. Razina automatizacije je povećana te pokriva veliki raspon aktivnosti luke. Dolazi do postupnog uvođenja digitalnih tehnologija kao što su primjerice *Internet stvari* i napredna analitika podataka kako bi se optimizirao rad luka i poboljšalo donošenje odluka.

- ***Pametna luka*:** luke su u potpunosti prihvatile i implementirale recentne *pametne* digitalne tehnologije kao što su *Umjetna inteligencija*, *Internet stvari* i sl. U *pametnim lukama* digitalne tehnologije se koriste za potpunu automatizaciju. Isto uključuje prediktivno održavanje vođeno *Umjetnom inteligencijom*, autonomne sustave za zadatke poput manipulacije kontejnerima, dodjele vezova i sigurnosnog nadzora, implementaciju robotike i sl. *pametne luke* karakterizira kontinuirana prilagodba novim tehnologijama i trendovima u industriji te intenzivna ulaganja u nova digitalna rješenja.

S obzirom na specifičnosti i ograničenja *DEX metode*, odnosno DEXi računalnog programa, koji se u prvom redu odnose na definiranje i primjenu funkcije korisnosti, bilo je potrebno pristupiti agregiranju razina *digitalne zrelosti* luka. S obzirom na značajke funkcije korisnosti u kontekstu eksplozija broja kombinacija pravila odlučivanja (pojašnjeno u poglavlju 4.3.) te samim time potrebe pojednostavljenja funkcije korisnosti, prethodno definiranih pet razina *digitalne zrelosti* luke svedene su na tri razine *digitalne zrelosti* luke za agregirane atribute, odnosno konačan rezultat evaluacije – *digitalna zrelost* luke te je na taj način napravljena prilagodba sukladno *DEX metodi*. Definirane su sljedeće **razine *digitalne zrelosti***, odnosno vrijednosti funkcije korisnosti:

- **niska *digitalna zrelost* luke** (tradicionalna luka i inicijalno digitalizirana luka)
- **srednja *digitalna zrelost* luke** (digitalno integrirana luka i napredno digitalizirana luka)
- **visoka *digitalna zrelost* luke** (*pametna luka*).

Vrijednosti funkcije korisnosti označene su na sljedeći način, sukladno *DEX metodi* i DEXi računalnom programu:

- niska razina označena **crvenom** bojom
- srednja razina označena **crnom** bojom
- visoka razina označena **zelenom** bojom.

U nastavku je pojašnjeno značenje vrijednosti funkcije korisnosti:

- **Niska razina *digitalne zrelosti* luke**: minimalna primjena i integracija digitalnih tehnologija i sustava. U lukama se primjenjuju manualni procesi za većinu aktivnosti, uključujući manipulacije teretom, razmjenu

dokumentacije i prikupljanje podataka. Ograničena je automatizacija aktivnosti što dovodi do neefikasnosti, pogrešaka i kašnjenja u aktivnostima luke. Niska *digitalna zrelost* ukazuje na fragmentiranost, odnosno nedostatak integracije među digitalnim tehnologijama koje se koriste unutar luke. Nadalje, osnovna IT infrastruktura uključuje zastarjelu mrežnu opremu i softverske sustave, što može rezultirati čestim kvarovima, sigurnosnim rizicima i poteškoćama u provođenju aktivnosti. Ograničena je upotreba računalnih alata za analizu podataka i poslovne inteligencije čime se odluke donose uglavnom na temelju iskustva ili vrlo malog broja nepotpunih podataka. Niska razina *digitalne zrelosti* ukazuje na značajnu razliku između trenutne razine *digitalne zrelosti* luke i potencijalnih koristi koje bi se mogle postići kroz primjenu digitalnih tehnologija i sustava.

- **Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**: za razliku od niske razine *digitalne zrelosti*, napravljen je određen pomak prema digitalizaciji, no još uvijek se u lukama provode i manualni procesi. Prisutna je poluatomatizacija poslovnih procesa odnosno aktivnosti. Napravljeni su inicijalni koraci prema integraciji digitalnih tehnologija i sustava koje koriste luke i dionici lučke zajednice, čime je dijelom olakšana razmjena podataka i dokumentacije. Implementirane su platforme za suradnju radi poticanja suradnje među dionicima luke, uključujući brodare, carinu, pružatelje logističkih usluga. Trenutna *digitalna zrelost* ukazuje na manju razliku između trenutne razine *digitalne zrelosti* luke i potencijalnih koristi koje bi se mogle postići kroz primjenu digitalnih tehnologija i sustava. Stoga još uvijek postoji prostor za poboljšanja u optimizaciji aktivnosti, koordinaciji dionika i primjeni digitalnih tehnologija i sustava kako bi se postigla visoka razina *digitalne zrelosti*.
- **Visoka razina *digitalne zrelosti* luke**: napredna razina u kojoj su digitalne tehnologije i sustavi u potpunosti integrirani u poslovne procese luke. Dionici lučke zajednice međusobno su povezani na potpuno integriranoj digitalnoj osnovi, čime je omogućena besprijekorna razmjena informacija u stvarnom vremenu unutar ekosustava luke. Luke koriste recentne digitalne tehnologije i sustave uključujući robotiku i umjetnu inteligenciju za automatizirane manipulacije teretom. Primjenjuje se prediktivna analitika za predviđanje potražnje, alokaciju resursa i raspored brodova, što rezultira poboljšanom učinkovitošću i uštedama u troškovima. Luke na visokoj razini *digitalne zrelosti* koriste tehnologije kao što je *Digitalni blizanac* za stvaranje virtualnih replika fizičkih opreme i sustava. Simulacijski modeli koriste se za planiranje scenarija, analizu rizika i optimizaciju performansi, omogućujući proaktivno donošenje odluka i smanjenje rizika. Nadalje, luke na visokoj razini *digitalne zrelosti* otporne su na izvanredne situacije zahvaljujući korištenju tehnologija za napredne sustave upravljanja rizicima. Digitalne tehnologije i sustavi u potpunosti su involvirane u mjere

zaštite kibernetičke sigurnosti. Luke na visokoj razini *digitalne zrelosti* često su središte inovacija, suradnje i dijeljenja znanja unutar pomorske industrije. Visoka razina *digitalne zrelosti* u luci odražava sveobuhvatnu digitalizaciju.

U tablici 2. u nastavku prikazana je funkcija korisnosti – *ako-onda* pravila odlučivanja, za ukupnu *digitalnu zrelost* luka te konačna težina (vrijednost) *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* i *Disruptivnih tehnologija* koja utječe na konačnu *digitalnu zrelost* luka. Zbog opsežnosti, funkcija korisnosti za međuvrijednosti agregiranih atributa prikazat će se samo za pojedine agregirane atribute, a što je detaljno pojašnjeno u nastavku. Originalni rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa nalazi se u privitku 3.

Tablica 2. Funkcija korisnosti – *ako-onda* pravila odlučivanja za ukupnu *digitalnu zrelost* luke i vrijednosti (težine)

Tradicionalne digitalne tehnologije	**Disruptivne digitalne tehnologije**	***Digitalna zrelost* luke**
57%	**43%**	
Niska *digitalna zrelost*	**Niska *digitalna zrelost***	**Niska razina *digitalne zrelosti* luke**
Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	**Niska razina *digitalne zrelosti* luke**
Niska *digitalna zrelost*	**Visoka *digitalna zrelost***	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke
Srednja *digitalna zrelost*	**Niska *digitalna zrelost***	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke
Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke
Srednja *digitalna zrelost*	**Visoka *digitalna zrelost***	**Visoka razina *digitalne zrelosti* luke**
Visoka *digitalna zrelost*	**Niska *digitalna zrelost***	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke
Visoka *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	**Visoka razina *digitalne zrelosti* luke**
Visoka *digitalna zrelost*	**Visoka *digitalna zrelost***	**Visoka razina *digitalne zrelosti* luke**

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Ukupno je mapirano devet pravila odlučivanja u okviru funkcije korisnosti *digitalne zrelosti* luke. Ukoliko je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija* niska *digitalna zrelost* te je i vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* niska *digitalna zrelost* ukupna *digitalna zrelost* luke je niska *digitalna zrelost*. Ukoliko je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija niska digitalna zrelost*, a vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* - srednja *digitalna zrelost* ukupna *digitalna zrelost* luke je niska *digitalna zrelost* uzimajući u obzir vrijednost težine dodijeljene *Tradicionalnim digitalnim tehnologijama.* Niska *digitalna zrelost Tradicionalnih digitalnih tehnologija* te srednja *digitalna zrelost Disruptivnih digitalnih tehnologija*, ukupna *digitalna zrelost* luke je srednja *digitalna zrelost*.

Ukoliko je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* - srednja *digitalna zrelost*, a vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* niska *digitalna zrelost* ukupna *digitalna zrelost* luke je srednja *digitalna zrelost*. Ukoliko su i *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije* - srednje *digitalne zrelosti* onda je ukupna *digitalna zrelost* luke srednja *digitalna zrelost*. Srednja *digitalna zrelost Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te visoka *digitalna zrelost Disruptivnih digitalnih tehnologija*, ukupna *digitalna zrelost* luke je visoka *digitalna zrelost*.

Ako je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* - visoka *digitalna zrelost*, a vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* - niska *digitalna zrelost* ukupna zrelost luke je srednja *digitalna zrelost.* Ako je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* - visoka *digitalna zrelost* te vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* - srednja *digitalna zrelost*, ukupna *digitalna zrelost* luke je visoka *digitalna zrelost*. Ako je vrijednost zrelosti *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* - visoka *digitalna zrelost* te je i vrijednost *Disruptivnih digitalnih tehnologija* - visoka *digitalna zrelost*, ukupna *digitalna zrelost* luke je visoka *digitalna zrelost*.

Interpretacija rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luka bazirana je na, u poglavlju 4.4. prethodno definiranim i opisanim, osnovnim atributima (kriterijima), skalama dodijeljenim atributima te definiranim funkcijama korisnosti odnosno pravilima odlučivanja definiranim i opisanim u ovom poglavlju.

U preliminarnom sagledavanju rezultata evaluacije, prije detaljne analize rezultata, bilo je potrebno testirati osjetljivost definiranih funkcija korisnosti i definiranih skala za osnovne atribute, a u odnosu na rezultate evaluacije u različitim lukama. U *DEX metodi* može se provesti analiza jedne ili više alternativa koje su zapravo potencijalne, moguće alternative (u kontekstu analize alternativa je odabrana evaluirana luka). Cilj testiranja osjetljivosti je utvrditi promjene rezultata evaluacije (promjene se odnose na odabrane vrijednosti osnovnih atributa) u vrijednosti agregiranih atributa sukladno definiranoj funkciji korisnosti agregiranih atributa (*ako-onda* pravila odlučivanja).

Za potrebe testiranja osjetljivosti evaluacije *digitalne zrelosti* luka, u evaluaciju je uveden takozvani *Sintetički test slučaj* (engl. *Syntetic test case*), (Jukić, Pluchinotta, Hržica, Vrbek, 2022). Riječ je proizvoljno generiranim rezultatima evaluacije *digitalne*

zrelosti luka. Za konzistentnost interpretacije rezultata evaluacije *digitalne zrelosti*, *Sintetički test slučaj* nazvan je *Test luka* te je kompariran s lukom Ploče, a kako bi se usporedile promjene rezultata evaluacije sukladno definiranim skalama (vrijednostima) osnovnih atributa te sukladno definiranim funkcijama korisnosti. Odabir stvarno evaluirane luke čiji će rezultati ocjene *digitalne zrelosti* u postupku testiranja osjetljivosti biti sučeljeni istovjetnim rezultatima ocjene *digitalne zrelosti Test luke*, unos vrijednosti osnovnih atributa za *Test luku* te odabir agregiranih atributa i osnovnih atributa kojima će se testirati osjetljivost, nije uvjetovan pravilima *DEX metode* već je riječ o proizvoljnom odabiru provoditelja evaluacije. Za testiranje osjetljivosti odabrani su sljedeći agregirani atributi i osnovni atributi:

- *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* (agregirani atribut) te osnovni atributi: *Tehnologije za upravljanje procesima* i *Napredne bežične mrežne tehnologije*.
- *Povezivost i mrežna tehnologija* (agregirani atribut) te osnovni atributi: *5G mobilna mreža* i *Internet stvari.*

U tablicama 3. i 4. u nastavku, prikazane su definirane funkcije korisnosti – *ako-onda* pravila odlučivanja, za prethodno navedene agregirane atribute. Originalni rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa nalazi se u privitku 3.

Tablica 3. Funkcija korisnosti – *ako-onda* pravila odlučivanja za agregirani atribut: *Tehnologije digitalne potpore poslovanju*

Tehnologije za upravljanje procesima	Napredne bežične mrežne tehnologije	Tehnologije digitalne potpore poslovanju
Ne koriste se	Ne koriste se	Niska *digitalna zrelost*
Ne koriste se	Bluetooth 4.0, LTE za povezivanje senzora	Niska *digitalna zrelost*
Ne koriste se	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Srednja *digitalna zrelost*
Za pojedine poslovne procese	Ne koriste se	Niska *digitalna zrelost*
Za pojedine poslovne procese	Bluetooth 4.0, LTE za povezivanje senzora	Srednja *digitalna zrelost*
Za pojedine poslovne procese	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka *digitalna zrelost*
Integrirano rješenje za poslovne procese i *dashboarding*	Ne koriste se	Srednja *digitalna zrelost*
Integrirano rješenje za poslovne procese i *dashboarding*	Bluetooth 4.0, LTE za povezivanje senzora	Srednja *digitalna zrelost*

Tehnologije za upravljanje procesima	Napredne bežične mrežne tehnologije	Tehnologije digitalne potpore poslovanju
Integrirano rješenje za poslovne procese i *dashboarding*	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka *digitalna zrelost*
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	Ne koriste se	Srednja *digitalna zrelost*
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	Bluetooth 4.0, LTE za povezivanje senzora	Visoka *digitalna zrelost*
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka *digitalna zrelost*

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Tablica 4. Funkcija korisnosti – *ako-onda* pravila odlučivanja za agregirani atribut: *Povezivost i mrežna tehnologija*

5G mobilna mreža	Internet stvari	Povezivost i mrežna tehnologija
Ne koristi se	Ne koristi se	Niska *digitalna zrelost*
Ne koristi se	Pojedini procesi	Niska *digitalna zrelost*
Ne koristi se	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Srednja *digitalna zrelost*
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Ne koristi se	Niska *digitalna zrelost*
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Pojedini procesi	Srednja *digitalna zrelost*
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Visoka *digitalna zrelost*
Cjelovito rješenje	Ne koristi se	Srednja *digitalna zrelost*
Cjelovito rješenje	Pojedini procesi	Visoka *digitalna zrelost*
Cjelovito rješenje	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Visoka *digitalna zrelost*

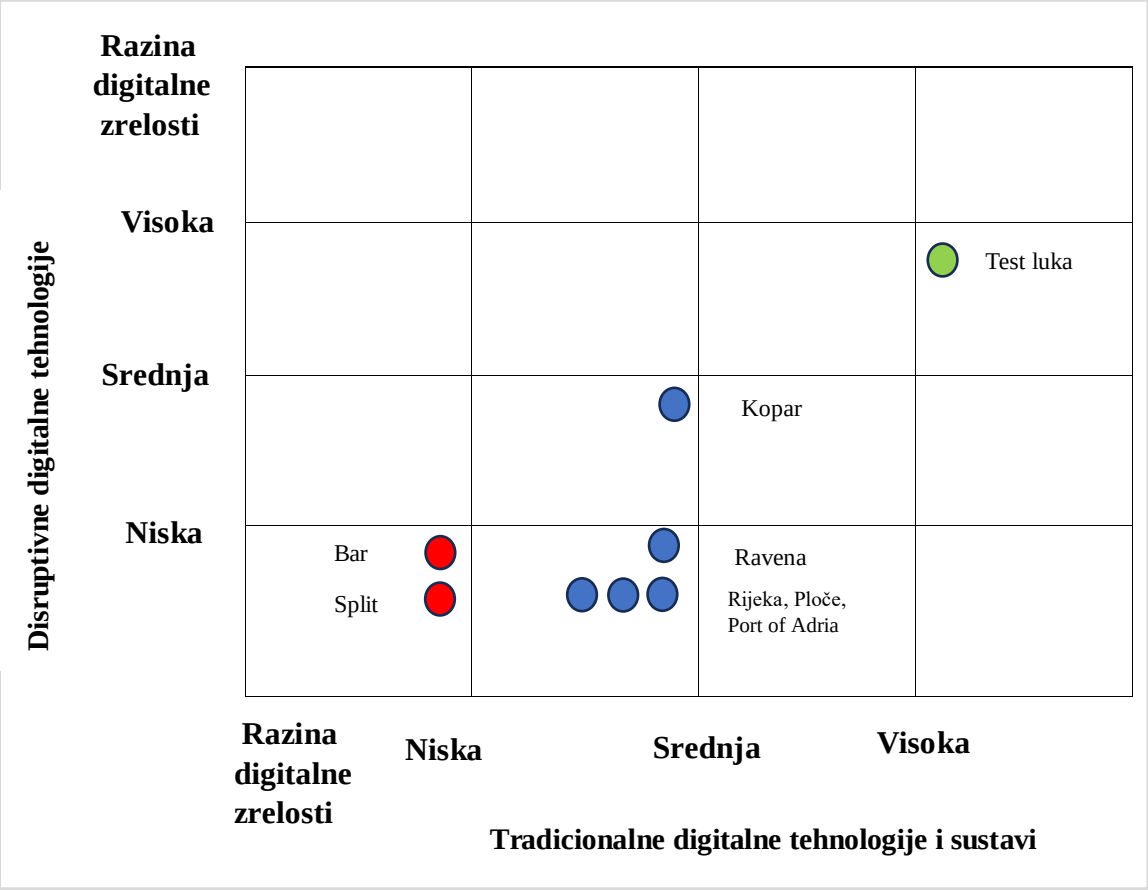
Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Za *Test luku* najprije su odabrane najveće vrijednosti osnovnih atributa te slijedom funkcija korisnosti, a potom je sukladno prethodno definiranim agregiranim i osnovnim atributima podvrgnuta testiranju i usporedbi s lukom Ploče.

'*Tehnologije digitalne potpore poslovanju* za luku Ploče ocijenjene su kao srednja razina *digitalne zrelosti*, s obzirom da se *Tehnologije za upravljanje procesima* koriste za pojedine poslovne procese, a *Napredne bežične mrežne tehnologije* se koriste za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. Za *Test luku* za *Tehnologije za upravljanje procesima* dodijeljena je vrijednost skale osnovnog atributa: integrirano

rješenje za poslovne procese i *dashboarding* te ista vrijednost za *Napredne bežične mrežne tehnologije* – koriste se za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. Za luku Ploče i *Test luku*, *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* srednje su razine *digitalne zrelosti*, čime je potvrđena definirana vrijednost skala osnovnih atributa te definirana vrijednost funkcije korisnosti. *Povezivost i mrežna tehnologija* za luku Ploče ocijenjeno je kao niska razina *digitalne zrelosti* s obzirom da se ne koriste niti *5G mobilna mreža* niti *Internet stvari*. Za *Test luku* za *5G mobilnu mrežu* dodijeljena je vrijednost skale: ne koristi se, dok je za *Internet stvari* dodijeljena vrijednost: koristi se za pojedine procese. Za *Test luku* i luku Ploče, *Povezivost i mrežna tehnologija* ocijenjene su kao niska razina *digitalne zrelosti*, čime je potvrđena definirana vrijednost skala osnovnih atributa te definirana vrijednost funkcije korisnosti. Ukoliko se sagledava ukupna razina *digitalne zrelosti* luke Ploče i *Test" luke*, potvrđuje se i ukupna vrijednost funkcije korisnosti koja je definirana za *digitalnu zrelost* luke: luka Ploče srednje je razine *digitalne zrelosti* dok je *Test luka* visoke razine *digitalne zrelosti*. Na grafikonu 1. u nastavku prikazani su ukupni rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luka, uključujući i *Test luku* s obzirom na prethodno provedeno testiranje.

Grafikon 1. Ukupni rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka



Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Sagledavajući rezultate evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka, prikazane na grafikonu, uočava se da se rezultati evaluacije poklapaju s utvrđenim u preliminarnom istraživanju (pojašnjeno prethodno u ovom poglavlju) primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama koje su predmet evaluacije. Niti jedna od evaluiranih luka ne pokazuje visoku razinu *digitalne zrelosti*, stoga su očekivano dominantne *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*.

Najbolje rangirana je luka Kopar koja je ocijenjena kao luka srednje razine *digitalne zrelosti*, ali se nalazi na gornjoj granici prema visokoj razini *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* srednje su razine *digitalne zrelosti* u luci Kopar.

Najlošije rangirane su luka Bar i luka Split, koja su ocijenjene kao luke niske razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* niske su razine *digitalne zrelosti* kao i *Disruptivne digitalne tehnologije*.

Luke Ploče, Rijeka, Port of Adria i Ravena, ukupno su rangirane kao luke srednje razine *digitalne zrelosti*. Kod svih luka, *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* srednje su razine *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* niske su razine *digitalne zrelosti*.

Originalni rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa nalazi se u privitku 4.

Na slici 2. u nastavku prikazana je komparacija luke Ploče i *Test luke*, napravljena primjenom opcije *Usporedba* (engl. *Comparison option*) koja je integrirana u DEXi računalni program kao analitička opcija.

Slika 2. Usporedba digitalne zrelosti luke Ploče i Test luke

Attribute	Luka Ploče	Test luka
Digitalna zrelost luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke	*Visoka razina digitalne zrelosti luke*
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─**Razmjena podataka**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	Osnovni moduli PCS-a	*Svi moduli PCS-a*
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*	
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	Djelomično XML	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	Srednja digitalna zrelost	
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	Poluautomatizirani sustav	*Potpuno automatiziran sustav- WMS*
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	*Cjeloviti sustav - YMS*
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	**Manualna identifikacija i označavanje**	*Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja*
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	**Niska digtalna zrelost**	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	**Viličari, tegljači, kamioni, traktori**	*Autonomni AGV*
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	**Jednostavni sustavi**	*Potpuno automatiziran sustav s daljinskim navođenjem*
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	**VTS sustav**	*Integrirani VTMIS sustav*
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Napredni video nadzor	*Inteligetne kamere*
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**	*Visoka digitalna zrelost*
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	**Niska digitalna zrelost**	
│ ├─5G mreža	**Ne koristi se**	
│ └─Internet stvari	**Ne koristi se**	Pojedini procesi
├─**Računalstvo i obrada podataka**	**Niska digitalna zrelost**	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Računalstvo u oblaku	**Aplikacije i bazna pohrana podataka**	*Potpuna virtualizacija IT infrastrukture*
│ └─Veliki podatci	Koristi se za pojedine poslovne procese	*Koristi se za sve poslovne procese*
├─**Robotika i autonomija**	**Niska digitalna zrelost**	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Dronovi	**Ne koristi se**	*Napredan sustav upravljanja izvanrednim situacijama*
│ ├─Napredna robotika	**Ne koristi se**	*Koristi se*
│ └─Autonomne tehnologije	**Ne koriste se**	*Potpuno autonomna vozila i oprema*
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**	*Visoka digitalna zrelost*
├─Umjetna inteligencija	**Ne koristi se**	*Generativna umjetna inteligencija*
├─Imerzivna mještovita stvarnost	**Ne koristi se**	*XR u okviru integriranih rješenja za MR*
└─Simulacijske tehnologije	**Ne koristi se**	*Digitalni blizanac*

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2. Analiza individualnih rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka

U nastavku, u tablicama 5. i 6. prikazani su rezultati evaluacije digitalne zrelosti odabranih luka u kojima su vidljive pojedinačne vrijednosti osnovnih atributa, agregiranih atributa te vrijednost funkcije korisnosti, zasebno za svaku evaluiranu luku.

Vrijednosti osnovnih atributa i agregiranih atributa funkcije označene su na sljedeći način, sukladno *DEX metodi* i DEXi računalnom programu:

- niska razina označena **crvenom** bojom
- srednja razina označena **crnom** bojom
- visoka razina označena **zelenom** bojom.

Iza prikazanih tablica slijedi analiza rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* pojedinačnih odabranih luka. Rezultati analize prikazani su na grafikonu – polarnom dijagramu. Dijagram je prikazan na razini agregiranih atributa. Digitalne tehnologije i sustavi najbliže rubu polarnog dijagrama predstavljaju najbolji rezultat, a digitalne tehnologije i sustavi najbliže središtu predstavljaju najlošiji rezultat. U DEXi računalnom programu, razina *digitalne zrelosti* na polarnom dijagramu označena je bojama: **zelena boja** – visoka *digitalna zrelost*, **plava boja** – srednja *digitalna zrelost*, **crvena boja** – niska *digitalna zrelost*.

Na kraju je napravljena analiza slabih i jakih točaka pojedine odabrane luke primjenom analitičke opcije *Selektivna eksplanacija*.

Tablica 5. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luka: Ploče, Split, Rijeka

***Digitalna zrelost* luke**	**Luka**		
	Luka Ploče	**Luka Split**	**Luka Rijeka**
	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke	**Niska razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi	**Srednja *digitalna zrelost***	**Niska *digitalna zrelost***	**Srednja *digitalna zrelost***
Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije	Srednja *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Razmjena podataka	Srednja *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Informacijski sustav lučke zajednice	Osnovni moduli PCS-a	Razmjena (Office paket i PDF)	Osnovni moduli PCS-a
Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom	Ne koristi se digitalni sustav	Sustav za upravljanje terminalom
Standardi razmjene informacija	Djelomično (XML poruke)	Nestandardizirano	Djelomično (EDIFACT poruke)
Tehnologije digitalne potpore poslovanju	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese	Integrirano rješenje za pojedine poslovne procese i *dashboarding*
Napredne bežične mrežne tehnologije	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora
Tehnologije planiranja i upravljanja teretom	Srednja *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*
Tehnologije upravljanja skladištem	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav	Potpuno automatiziran sustav – WMS
Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Pretežno manualno bez digitalne potpore	Cjeloviti sustav – YMS
Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje	Manualna identifikacija i označavanje	Bar kod, QR kod i RFID tehnologije

Digitalna zrelost luke	Luka		
	Luka Ploče	**Luka Split**	**Luka Rijeka**
	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke	**Niska razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi	Poluautomatizirani sustavi
Tehnologije za sigurnost i nadzor	Srednja *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Upravljanje pomorskim prometom	VTS sustav	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava
Kontrola ulaza u lučko područje	Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice	Zaštitarska služba	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica – ANPR
Nadzor lučkog područja/terminala	Napredni video nadzor	Video nadzor	Napredni video nadzor
Disruptivne digitalne tehnologije	**Niska *digitalna zrelost***	**Niska *digitalna zrelost***	**Niska *digitalna zrelost***
Povezivost i mrežna tehnologija	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
5G mreža	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Internet stvari	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Računalstvo i obrada podataka	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka
Veliki podatci	Koristi se za pojedine poslovne procese	Koristi se za pojedine poslovne procese	Koristi se za pojedine poslovne procese
Robotika i autonomija	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
Dronovi	Ne koristi se	Za inspekciju lučkog područja	Za inspekciju lučkog područja
Napredna robotika	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se

Digitalna zrelost luke	Luka		
	Luka Ploče	**Luka Split**	**Luka Rijeka**
	Srednja razina *digitalne zrelosti* luke	**Niska razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Autonomne tehnologije	Ne koriste se	Ne koriste se	Ne koriste se
Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
Umjetna inteligencija	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Simulacijske tehnologije	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Tablica 6. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luka: Bar, Port of Adria, Kopar i Ravena

Digitalna zrelost luke	Luka			
	Luka Bar	**Port of Adria**	**Luka Kopar**	**Luka Ravena**
	Niska razina *digitalne zrelosti* luke	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi i sustavi	**Niska *digitalna zrelost***	**Srednja *digitalna zrelost***	**Srednja *digitalna zrelost***	**Srednja *digitalna zrelost***
Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije	Niska *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*
Razmjena podataka	Srednja *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Informacijski sustav lučke zajednice	Dodatni moduli PCS-a	Svi moduli PCS-a	Dodatni moduli PCS-a	Dodatni moduli PCS-a
Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom
Standardi razmjene informacija	Djelomično (EDIFACT poruke)	Razmjena punog opsega EDIFACT poruka	Razmjena punog opsega EDIFACT poruka	Djelomično XML

***Digitalna zrelost* luke**	**Luka**			
	Luka Bar	**Port of Adria**	**Luka Kopar**	**Luka Ravena**
	Niska razina *digitalne zrelosti* luke	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Tehnologije digitalne potpore poslovanju	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*	Visoka *digitalna zrelost*
Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese
Napredne bežične mrežne tehnologije	Ne koriste se	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom
Tehnologije planiranja i upravljanja teretom	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Tehnologije upravljanja skladištem	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav	Pretežno manulano upravljanje
Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)
Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje	Manualna identifikacija i označavanje	Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja	Bar kod, QR kod i RFID tehnologije
Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi
Tehnologije za sigurnost i nadzor	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Upravljanje pomorskim prometom	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava

***Digitalna zrelost* luke**	**Luka**			
	Luka Bar	**Port of Adria**	**Luka Kopar**	**Luka Ravena**
	Niska razina *digitalne zrelosti* luke	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Kontrola ulaza u lučko područje	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica –ANPR	Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice	Integrirani sustav (gate in/gate out)	Integrirani sustav (gate in/gate out)
Nadzor lučkog područja/terminala	Napredni video nadzor	Video nadzor	Napredni video nadzor	Video nadzor
Disruptivne digitalne tehnologije	**Niska *digitalna zrelost***	**Niska *digitalna zrelost***	**Srednja *digitalna zrelost***	**Niska *digitalna zrelost***
Povezivost i mrežna tehnologija	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
5G mreža	Ne koristi se	Ne koristi se	Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Ne koristi se
Internet stvari	Ne koristi se	Ne koristi se	Pojedini procesi	Pojedini procesi
Računalstvo i obrada podataka	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Virtualizacija pojedinih elemenata poslovne arhitekture	Virtualizacija pojedinih elemenata poslovne arhitekture
Veliki podatci	Ne koristi se	Ne koristi se	Koristi se za pojedine poslovne procese	Ne koristi se
Robotika i autonomija	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*
Dronovi	Za inspekciju lučkog područja	Ne koristi se	Za inspekciju lučkog područja	Ne koristi se
Napredna robotika	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Autonomne tehnologije	Ne koriste se	Ne koriste se	Ne koriste se	Ne koriste se
Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije	Niska *digitalna zrelost*	Niska *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*	Srednja *digitalna zrelost*
Umjetna inteligencija	Ne koristi se	Ne koristi se	Pojedini moduli komercijalnih rješenja	Ne koristi se

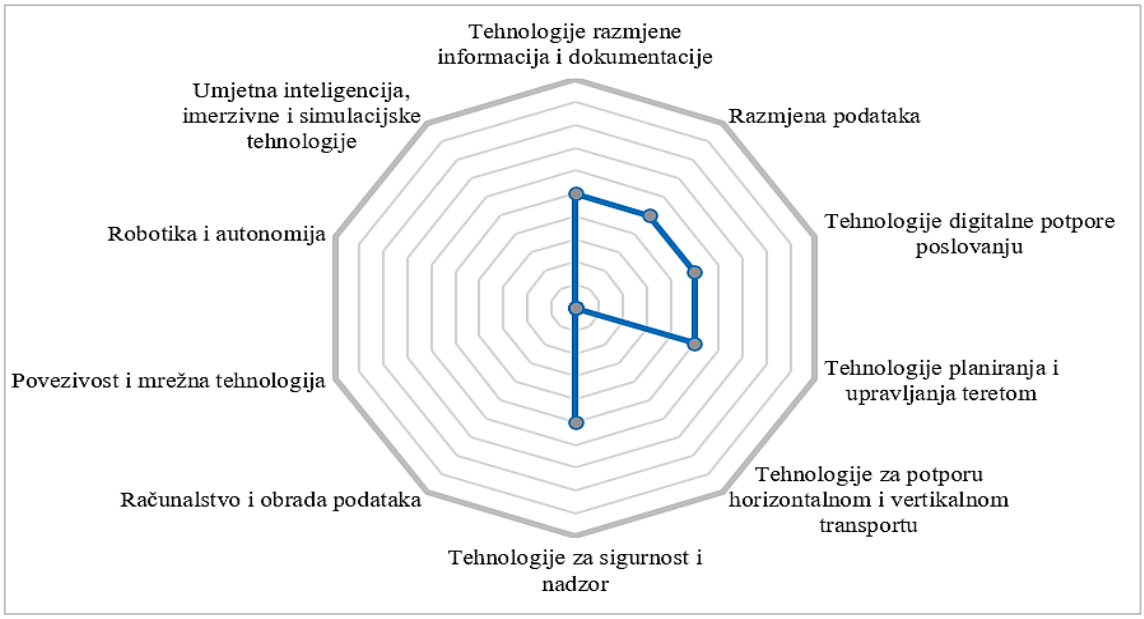
***Digitalna zrelost* luke**	**Luka**			
	Luka Bar	**Port of Adria**	**Luka Kopar**	**Luka Ravena**
	Niska razina *digitalne zrelosti* luke	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**	**Srednja razina *digitalne zrelosti* luke**
Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
Simulacijske tehnologije	Ne koristi se	Ne koristi se	Napredni modeli simulacija	Digitalni blizanac

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.1. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Ploče

Luka Ploče je ocijenjena kao luka srednje *digitalne zrelosti*. Pritom *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* nisku razinu *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Za razmjenu podataka u luci Ploče koriste se osnovni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice, Sustava za upravljanje terminalom* dok se djelomično primjenjuju standardi razmjene informacija (XML poruke). *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Pritom se *Tehnologije za upravljanje procesima* primjenjuju za pojedine poslovne procese, a *Napredne bežične mrežne tehnologije* primjenjuju se za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. U luci Ploče primjenjuje se poluautomatizirano upravljanje skladištem te pojedini moduli *Sustava upravljanja internim transportom*. Nadalje, primjenjuje se manualna identifikacija i označavanje tereta. *Tehnologije digitalne potpore horizontalnom i vertikalnom transportu* na niskoj su razini *digitalne zrelosti*, s obzirom da su u primjeni viličari, tegljači, kamioni, traktori te jednostavni sustavi za vertikalni transport. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Za upravljanje pomorskim prometom primjenjuje se VTS sustav. Za kontrolu ulaza u lučko područje koriste se mobilni uređaji s vjerodajnicama/ID kartice, dok se za nadzor lučkog područja/terminala koristi napredni videonadzor. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* koristi za aplikacije i pohranu podataka dok se *Veliki podatci* koriste se za pojedine poslovne procese.

Grafikon 2. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Ploče (razina agregiranih atributa)

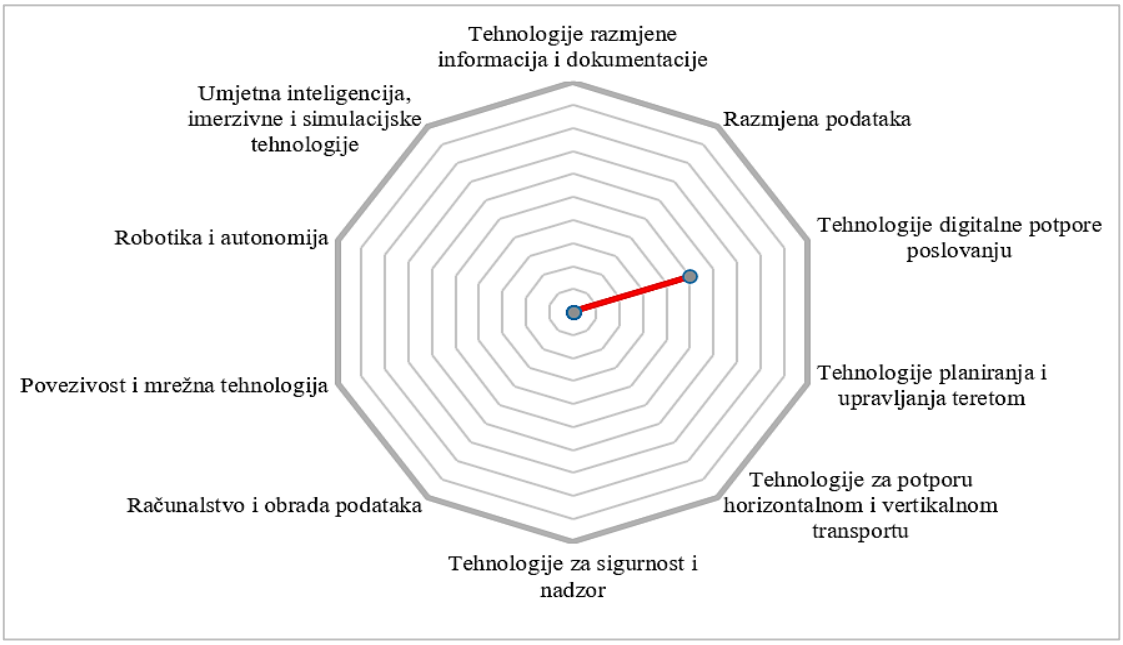


Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.2. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Split

Luka Split je ocijenjena kao luka niske razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju ukupno nisku razinu *digitalne zrelosti*, kao i *Disruptivne digitalne tehnologije*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije niske su razine digitalne zrelosti, s* obzirom da se ne koristi *Informacijski sustav lučke zajednice*, ne koristi se *Sustav za upravljanje terminalom* te nema standardizacije razmjene informacija. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* srednje su razine *digitalne zrelosti*. *Tehnologije za upravljanje procesima* se koriste u pojedinim poslovnim procesima. Nadalje, primjenjuju se *Napredne bežične mrežne tehnologije* (Bluetooth 4.0., LTE) za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* niske su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se primjenjuje poluautomatizirani *Sustav za upravljanje skladištem* te se primjenjuje pretežno manualan rad za koordiniranje internim transportom kao i za identifikaciju i označavanje tereta. *Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti*. Ne primjenjuju se *Tehnologije digitalne potpore horizontalnom transportu* dok se od *Tehnologija digitalne potpore vertikalnom transportu* primjenjuju jednostavni sustavi. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* su na niskoj razini *digitalne zrelosti* s obzirom da se primjenjuju pojedinačni moduli VTMIS sustava, zaštitarska služba za kontrolu ulaza u lučko područje te se koristi videonadzor lučkog područja. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* upotrebljava se za aplikacije i pohranu podataka. Tehnologija *Veliki podatci* primjenjuju se za pojedine poslovne procese, a *Dronovi* se koriste za inspekciju lučkog područja.

Grafikon 3. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Split (razina agregiranih atributa)



Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.3. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Rijeka

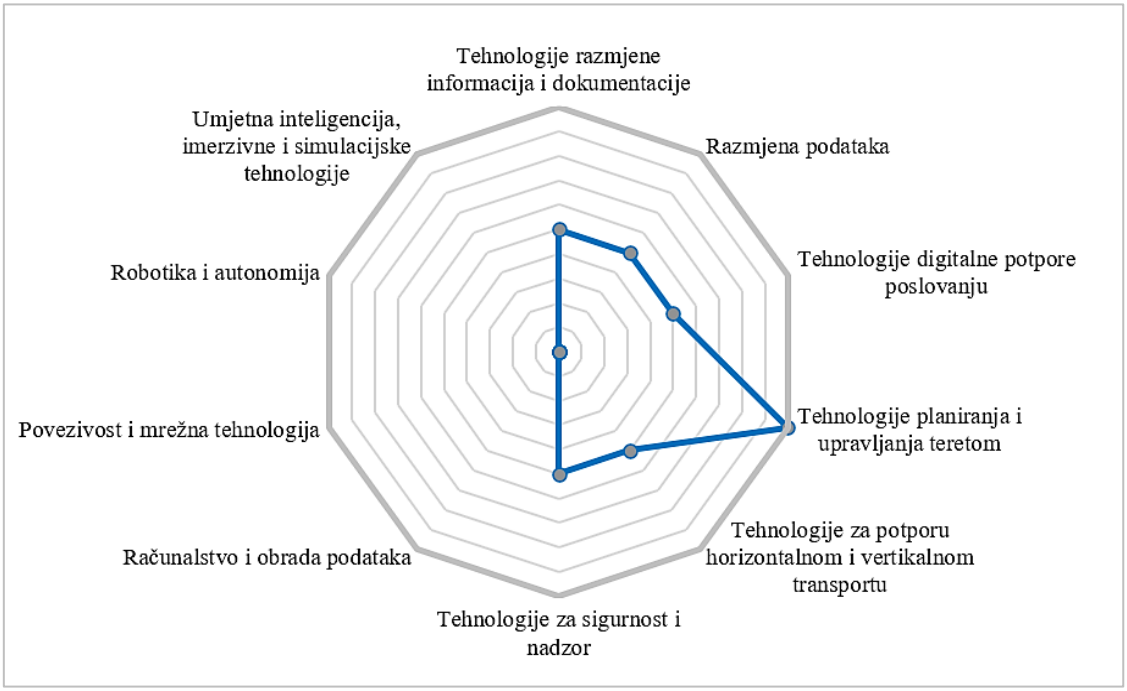
U evaluaciji luke Rijeka sagledane su Luka Rijeka d.d. i Jadranska vrata d.d. Riječ je o povezanim društvima koji zajednički imaju gotovo ravnopravne udjele na kontejnerskom terminalu Brajdica. Primjenom funkcije korisnosti, odnosno *ako-onda* pravila agregiranja atributa, napravljena je sinteza rezultata evaluacije. Polazeći od cilja evaluacije *digitalne zrelosti*, uz uvažavanje pravila definiranih funkcijom korisnosti, bilo je nužno utvrditi maksimalnu ukupnu razinu *digitalne zrelosti* luke Rijeka. Ukoliko se ne bi pristupilo kreiranju ukupnog rezultata evaluacije, značilo bi da se zanemaruju postavljene funkcije korisnosti te da postoji rizik da neka digitalna tehnologija koja se koristi bude izostavljena u ocjeni ukupne *digitalne zrelosti* luke Rijeka. Radi uvida, u nastavku su najprije pojašnjeni rezultati istraživanja pojedinačno, a potom skupno odnosno za luku Rijeka.

U Luka Rijeka d.d., *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Pritom *Tehnologije razmjene podataka* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti* s obzirom da se primjenjuju osnovni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice* te se koristi *Sustav za upravljanje terminalom*, a standardizacija razmjene informacija je djelomična putem EDIFACT poruka. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* niske su razine *digitalne zrelosti*. Ne koriste se *Tehnologije za upravljanje procesima*, ali se koriste *Napredne bežične mrežne tehnologije* za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se primjenjuje automatizirani *Sustav za upravljanje skladištem*, poluautomatizirani *Sustav upravljanja internim transportom* te manualna identifikacija i označavanje tereta. *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuju se jednostavne tehnologije i sustavi (viličari, kamioni, traktori, jednostavne dizalice). *Tehnologije za sigurnost i nadzor* niske su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuje se VTS sustav za upravljanje pomorskim prometom. Za kontrolu ulaza u lučko područje koriste se *Mobilni uređaji s vjerodajnicama* ili *ID kartice*, a za nadzor lučkog područja/terminala koristi se klasičan videonadzor. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* upotrebljava se za aplikacije i pohranu podataka, a *Veliki podatci* upotrebljavaju se za pojedine poslovne procese. *Dronovi* se primjenjuju za inspekciju lučkog područja.

Za Jadranska vrata d.d., *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Pritom *Tehnologije razmjene podataka* pokazuju visoku razinu *digitalne zrelosti* s obzirom da se primjenjuju osnovni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice* te se koristi *Sustav za upravljanje terminalom* i djelomična standardizacija EDIFACT porukama. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* visoke su

razine *digitalne zrelosti*. *Tehnologije za upravljanje procesima* primjenjuju se kao integrirano rješenje za poslovne procese i *dashboarding,* a *Napredne bežične mrežne tehnologije* upotrebljavaju se u sklopu povezivanja senzora pojedinih sustava. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da upotrebljava poluautomatizirani *Sustav za upravljanje skladištem*, cjeloviti *Sustav upravljanja internim transportom* te *Bar kod*, *QR kod* i *RFID tehnologija* za identifikaciju i označavanje tereta. *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Za horizontalni transport upotrebljavaju se viličari, kamioni i traktori dok se za vertikalni transport primjenjuju poluatomatizirani sustavi. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuju se pojedinačni moduli *VTMIS sustava* za upravljanje pomorskim prometom, a za kontrolu ulaza u lučko područje upotrebljava se *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica*. Za nadzor lučkog područja/terminala koristi se napredni videonadzor. *Disruptivne digitalne tehnologije* ukupno su niske razine *digitalne zrelosti*. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* upotrebljava se za aplikacije i pohranu podataka, a *Veliki podatci* koristi se za pojedine poslovne procese.

Grafikon 4. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Rijeka (razina agregiranih atributa)



Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

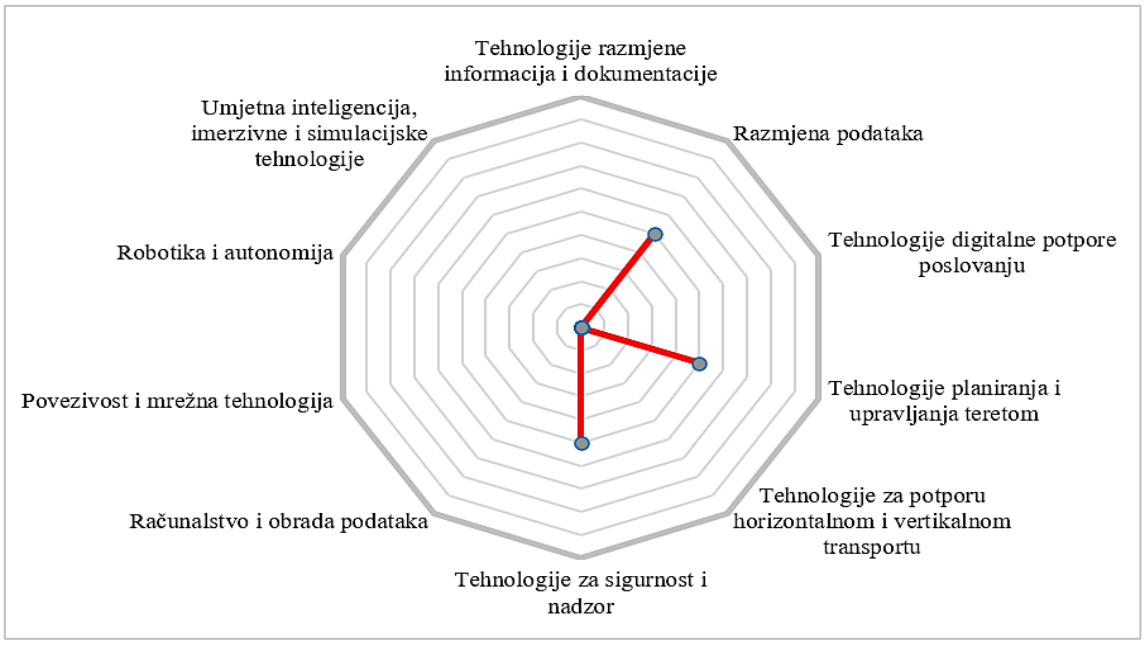
Luka Rijeka je ocijenjena kao luka srednje razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*. Pritom su *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* srednje razne *digitalne zrelosti*, primjenjuju se osnovni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje*

terminalom te djelomična standardizacija EDIFACT porukama. Od *Tehnologija za digitalnu potporu poslovanju* primjenjuju je integrirana rješenja za pojedine poslovne procese te *Napredne bežične mreže tehnologije* za povezivanje senzora pojedinih sustava. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* visoke su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da upotrebljavaju *Sustav za upravljanje skladištem* i *Sustav upravljanja internim transportom* te *bar kod*, *QR kod* i *RFID tehnologija* za identifikaciju i označavanje tereta. *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* srednje su razine *digitalne zrelosti*, s obzirom da se za horizontalni transport primjenjuju viličari, kamioni, traktori, tegljači, dok se za vertikalni transport koriste poluatmatizirani sustavi. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Za upravljanje pomorskim prometom upotrebljavaju se pojedinačni moduli *VTMIS sustava*, a za kontrolu ulaza u lučko područje upotrebljava se *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica* i napredan videonadzor lučkog područja/terminala. *Računalstvo u oblaku* upotrebljava se za aplikacije i pohranu podataka, a *Veliki podatci* primjenjuju se za pojedine poslovne procese. *Dronovi* se primjenjuju za inspekciju lučkog područja.

4.5.2.4. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Bar

Luka Bar je ocijenjena kao luka niske razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* niske su razine *digitalne zrelosti*. Pritom *Tehnologije razmjene podataka* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, s obzirom da se primjenjuju dodatni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* te djelomično EDIFACT poruke. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* niske su razine *digitalne zrelosti*, s obzirom da se *Tehnologije za upravljanje poslovnim procesima* primjenjuju za pojedine poslovne procese, dok se *Napredne bežične mrežne tehnologije* ne primjenjuju. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se upotrebljava poluatomatizirani *Sustav za upravljanje skladištem* te poluautomatizirani (pojedinačni moduli) *Sustav upravljanja internim transportom*. Za identifikaciju i označavanje tereta koriste se manualne metode. *Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se ne primjenjuju digitalne tehnologije. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se upotrebljavaju pojedinačni moduli *VTMIS sustava*, *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica −ANPR* te napredni video nadzor lučkog područja terminala. *Disruptivne digitalne tehnologije* ukupno su niske razine *digitalne zrelosti*. *Dronovi* se primjenjuju za inspekciju lučkog područja te tehnologija *Računalstvo u oblaku* za aplikacije i baznu pohranu.

Grafikon 5. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Bar (razina agregiranih atributa)

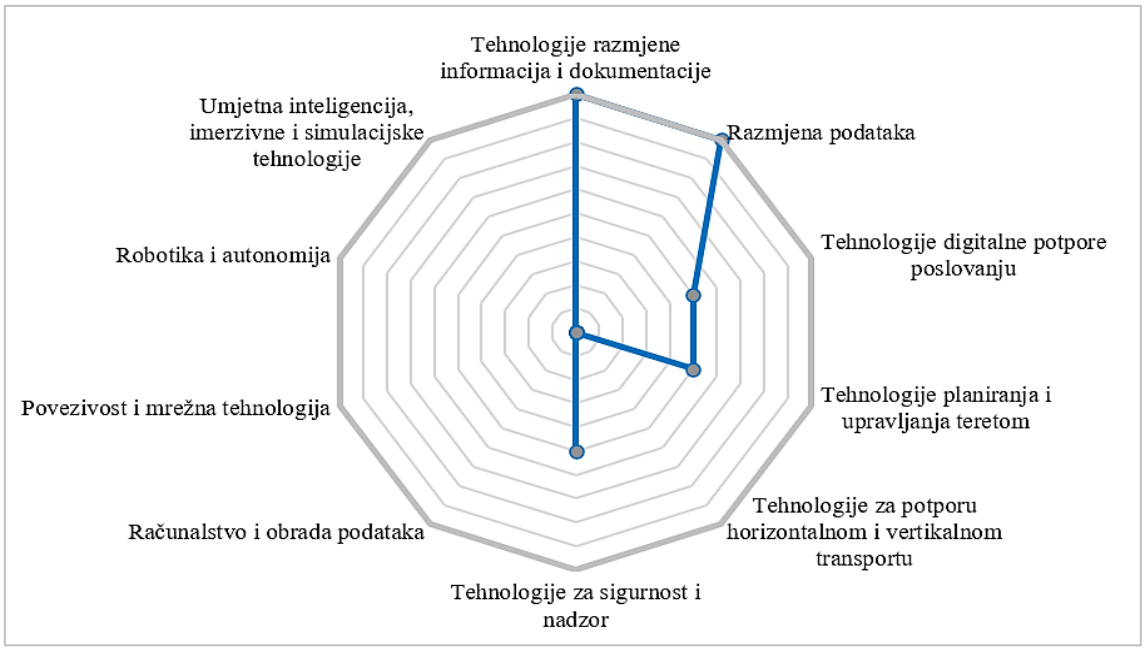


Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.5. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Port of Adria

Luka Port of Adria je ocijenjena kao luka srednje *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* niske su razine *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*. Pritom *Tehnologije razmjene podataka* pokazuju visoku *digitalnu zrelost* s obzirom da se koriste dodatni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* te se EDIFACT poruke razmjenjuju u punom opsegu. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuju se *Tehnologije za upravljanje pojedinim poslovnim procesima*. *Napredne bežične mrežne tehnologije: Bluetooth*, *LTE* koriste se za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Upotrebljavaju se poluautomatizirani *Sustav za upravljanje skladištem*, *Sustav upravljanja internim transportom* (pojedini moduli), ali se koristi manualna identifikacija i označavanje tereta. *Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se ne primjenjuju digitalne tehnologije niti automatizirani sustavi. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Upotrebljavaju se pojedinačni moduli *VTMIS sustava*, *Mobilni uređaji s vjerodajnicama*, *ID kartice* te klasičan sustav video nadzora. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* primjenjuje se za aplikacije i pohranu podataka.

Grafikon 6. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Port of Adria (razina agregiranih atributa)



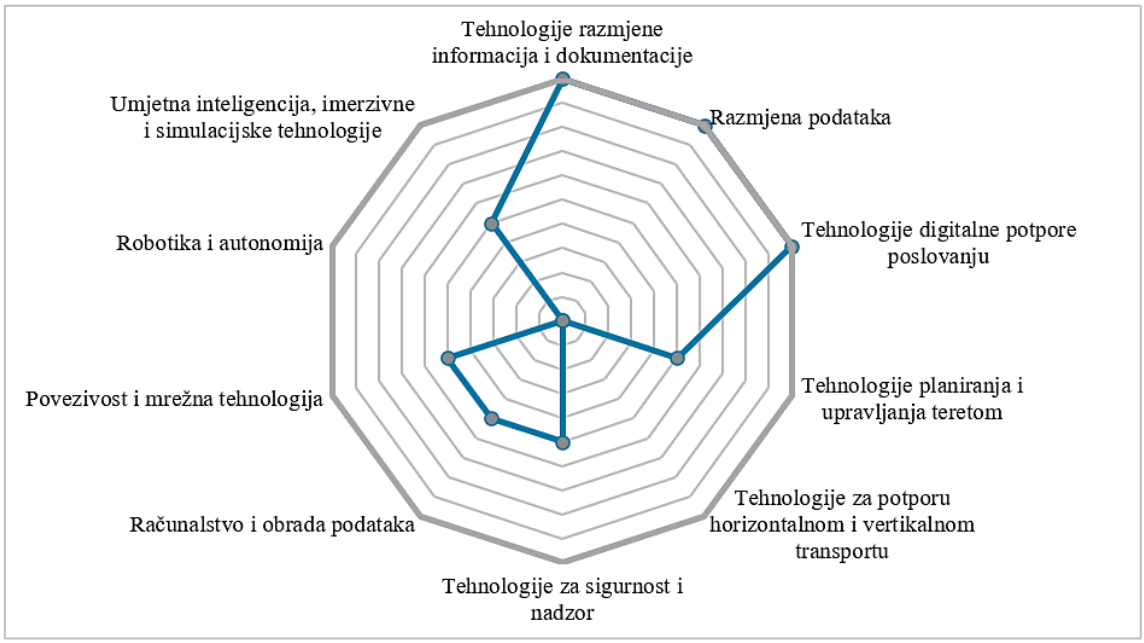
Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.6. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Kopar

Luka Kopar od svih evaluiranih luka pokazuje najvišu razinu *digitalne zrelosti*, iako se još uvijek nalazi rubno u srednjoj razini *digitalne zrelosti* prema visokoj *digitalnoj zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* srednje su razine *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* visoke su razine *digitalne zrelosti*. Nastavno, *Tehnologije razmjene podataka* i *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* visoke su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuju se dodatni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* i puni opseg razmjene EDIFACT poruka. Nadalje, primjenjuju se *Tehnologije za upravljanje pojedinim poslovnim procesima* te se koriste tehnologije *Naprednih bežičnih mreža* u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja transportom. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Upotrebljavaju se poluautomatizirani *Sustav za upravljanje skladištem*, poluatomatizirani *Sustav upravljanja internim transportom* te potpuno *Automatizirani sustav identifikacije i označavanja tereta*. *Tehnologije digitalne potpore horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se upotrebljavaju viličari, tegljači, kamioni, traktori te jednostavni sustavi vertikalnog transporta. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*, budući da se koriste pojedinačni moduli *VTMIS sustava*, integrirani *Sustav ulaza i izlaza* za kontrolu ulaza u lučko područje te se koristi napredni videonadzor. *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju

ukupno srednju razinu *digitalne zrelosti*. *5G mobilna mreža* primjenjuje se za automatizaciju pojedinih procesa i senzoriku, a *Internet stvari* primjenjuje se za pojedine procese. *Računalstvo i obrada podataka* srednje su razine *digitalne zrelosti*, dok se *Računalstvo u oblaku* koristi za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture, a *Veliki podatci* primjenjuju se za pojedine poslovne procese. U okviru *Disruptivnih tehnologija*, tehnologije *Robotika i autonomija* pokazuju nisku *digitalnu zrelost*. *Dronovi* se koriste za inspekciju lučkog područja dok se napredna robotika i autonomne tehnologije ne koriste. *Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije* srednje su razine *digitalne zrelosti*. *Umjetna inteligencija* primjenjuje se za pojedine module komercijalnih rješenja, dok se *Tehnologije imerzivne mješovite stvarnosti* ne koriste. U okviru simulacijskih tehnologija primjenjuju se napredni modeli simulacija.

Grafikon 7. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Kopar (razina agregiranih atributa)



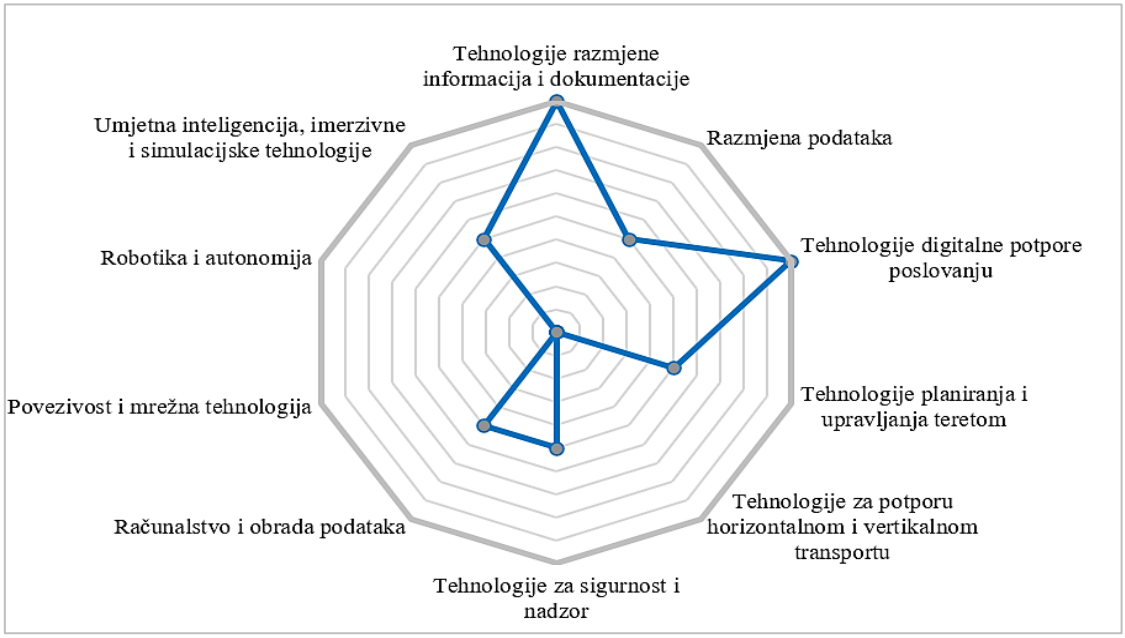
Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

4.5.2.7. Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* luke Ravena

Luka Ravena je ocijenjena kao luka srednje razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*, a *Disruptivne digitalne tehnologije* nisku razinu *digitalne zrelosti*. *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* visoke su razine *digitalne zrelosti*. Koriste se dodatni moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* te djelomična standardizacija putem XML poruka. *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* visoke su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuju se *Tehnologije za upravljanje pojedinim poslovnim*

procesima te se koriste *Tehnologije naprednih bežičnih mreža* u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom. *Tehnologije planiranja i upravljanja teretom* srednje su razine *digitalne zrelosti*. Primjenjuje se poluatomatizirani *Sustav upravljanja internim transportom* te *Bar kod*, *QR kod* i *RFID tehnologija*. *Tehnologije digitalne potpore horizontalnom i vertikalnom transportu* niske su razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se koriste viličari, tegljači, kamioni, traktori te jednostavni sustavi vertikalnog transporta. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* srednje su razine *digitalne zrelosti*, s obzirom da se primjenjuju samo pojedinačni moduli *VTMIS sustava*, integrirani *Sustav ulaza i izlaza* za kontrolu ulaza u lučko područje uz klasični videonadzor. *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazuju ukupno nisku *digitalnu zrelost*, dok *Povezivost i mrežne tehnologije* pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti*. *Internet stvari* koristi se za pojedine procese. *Računalstvo i obrada podataka* srednje su razine *digitalne zrelosti,* dok se za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture primjenjuje *Računalstvo u oblaku*. *Robotika i autonomija* pokazuju nisku *digitalnu zrelost*. Jednako tako tehnologije *Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije* uz naznaku da se u okviru simulacijskih tehnologija koristi tehnologija *Digitalni blizanac*.

Grafikon 8. Polarni dijagram: evaluacija *digitalne zrelosti* luke Ravena (razina agregiranih atributa)



Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Sagledavajući ukupnu *digitalnu zrelost* evaluiranih luka te pojedinačne rezultate evaluacije, sukladno definiranim glavnim atributima (*Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije*), uočava se da analizirane luke odstupaju od visoke razine *digitalne zrelosti* što upućuje na to da još uvijek nisu tranzitirale u *pametne luke*.

U nastavku slijedi primjena analitičke opcije *Selektivna eksplanacija* u analizi rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka.

4.5.3. Primjena selektivne eksplanacije u analizi rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka

DEX metoda i DEX računalni program omogućuju korištenje opcije *Selektivna eksplanacija* (engl. *Selective explanation*) kojom se izdvajaju slabe i jake točke pojedine evaluirane luke. *Selektivna eksplanacija* pokazuje potencijalne točke poboljšanja, odnosno u kontekstu evaluacije *digitalne zrelosti* luka pokazuje koje digitalne tehnologije i sustavi u lukama su slabe točke i koje bi luke trebale primijeniti kako bi postigle visoku razinu *digitalne zrelosti*. U nastavku je prikazana i pojašnjena *Selektivna eksplanacija* za evaluirane luke.

Na slikama u nastavku prikazana je primjena analitičke opcije *Selektivna eksplanacija* za analizu rezultata evaluacije *digitalne zrelosti*, za svaku luku pojedinačno.

Slika 3. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Ploče

Weak points

Attribute	Luka Ploče
| | └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje
| ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost
| | ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
| | └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi
| ├─Upravljanje pomorskim prometom	VTS sustav
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost
| ├─5G mreža	Ne koristi se
| └─Internet stvari	Ne koristi se
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Niska digitalna zrelost
| ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
| ├─Dronovi	Ne koristi se
| ├─Napredna robotika	Ne koristi se
| └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se
├─Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se

Strong points

Attribute	Luka Ploče
| | | ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Ploče pokazuje da je jaka točka *Sustav za upravljanje terminalom*. Slabe točke luke Ploče su manualna identifikacija i označavanje tereta te korištenje jednostavnih, manualnih tehnologija za horizontalni i vertikalni transport. Nadalje, upravljanje pomorskim prometom slaba je točka luke, s

obzirom da se primjenjuje samo *VTS sustav*. *Računalstvo i obrada podataka* izdvojeni su kao slaba točka s obzirom da se primjenjuju za aplikacije i pohranu podataka. Nadalje, *Povezivost i mrežna tehnologija, Robotika i autonomija* te *Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije* slaba su točke *digitalne zrelosti* analizirane luke.

Slika 4. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Split

Weak points

Attribute	Luka Split
Digitalna zrelost luke	Niska razina digitalne zrelosti luke
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	Niska digitalna zrelost
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	Niska digitalna zrelost
│ │ ├─**Razmjena podataka**	Niska digitalna zrelost
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	Razmjena (Office paket i PDF)
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	Ne koristi se digitalni sustav
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	Nestandardizirano
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	Niska digitalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	Pretežno manualan rad bez digitalne potpore
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	Zaštitarska služba
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Video nadzor
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se
│ └─Internet stvari	Ne koristi se
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se
├─Imerzivna mješovita stvarnost	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se

Strong points

None

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Split pokazuje da nema izdvojenih jakih točaka. Slabe točke luke Split jesu: ne koristi se *Informacijski sustav lučke zajednice*, ne koristi se *Sustav za upravljanje terminalom* te nije standardizirana razmjena informacija. Nadalje, slabe točke se manualno koordiniranje tereta, manualna identifikacija i označavanje tereta, jednostavne tehnologije horizontalnog transporta i vertikalnog transporta. *Tehnologije za sigurnost i nadzor* slaba su točka, s obzirom da se koristi *VTS sustav* i videonadzor. Tehnologija *Računalstvo u oblaku* primjenjuje se samo za aplikacije i pohranu podataka. *Povezivost i mrežna tehnologija* te *Robotika i autonomija* slabe su točke, kao i *Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije*.

Slika 5. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Rijeka

Weak points

Attribute	Luka Rijeka
| | ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost
| ├─5G mreža	Ne koristi se
| └─Internet stvari	Ne koristi se
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Niska digitalna zrelost
| ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
| ├─Napredna robotika	Ne koristi se
| └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se
├─Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se

Strong points

Attribute	Luka Rijeka
| | | ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*
| ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	*Visoka digitalna zrelost*
| | ├─Tehnologije upravljanja skladištem	*Potpuno automatiziran sustav- WMS*
| | ├─Tehnologije koordiniranja teretom	*Cjeloviti sustav - YMS*

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Rijeka pokazuje da su jake točke luke Rijeka *Sustav za upravljanje terminalom*, *Sustav za upravljanje skladištem* i *Sustav za upravljanje internim transportom*. Slabe točke su *Tehnologije horizontalnog transporta*, nadalje *Računalstvo u oblaku* jer je u primjeni samo za aplikacije i pohranu podataka kao i *Povezivost i mrežna tehnologija* te *Robotika i autonomija uz Umjetnu inteligenciju, imerzivne i simulacijske tehnologije*.

Slika 6. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Bar

Weak points

Attribute	Luka Bar
Digitalna zrelost luke	**Niska razina digitalne zrelosti luke**
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	**Niska digitalna zrelost**
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	**Niska digitalna zrelost**
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	**Niska digitalna zrelost**
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	**Ne koriste se**
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	**Niska digtalna zrelost**
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	**Viličari, tegljači, kamioni, traktori**
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	**Jednostavni sustavi**
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	**Niska digitalna zrelost**
│ ├─5G mreža	**Ne koristi se**
│ └─Internet stvari	**Ne koristi se**
├─**Računalstvo i obrada podataka**	**Niska digitalna zrelost**
│ ├─Računalstvo u oblaku	**Aplikacije i bazna pohrana podataka**
│ └─Veliki podatci	**Ne koristi se**
├─**Robotika i autonomija**	**Niska digitalna zrelost**
│ ├─Napredna robotika	**Ne koristi se**
│ └─Autonomne tehnologije	**Ne koriste se**
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	**Niska digitalna zrelost**
├─Umjetna inteligencija	**Ne koristi se**
├─Imerzivna mještovita stvarnost	**Ne koristi se**
└─Simulacijske tehnologije	**Ne koristi se**
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	**Manualna identifikacija i označavanje**

Strong points

Attribute	Luka Bar
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	***Sustav za upravljanje terminalom***

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Bar pokazuje da je jaka točka luke samo *Sustav za upravljanje terminalom*, dok su ostale točke ocijenjene kao slabe točke. *Tehnologije za digitalnu potporu poslovanju* slabe su u dijelu *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* koje se ne koriste. Nadalje, *Tehnologije identifikacije i označavanja* te *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* slaba su točka. U okviru *Disruptivnih tehnologija* slaba točka su *Povezivost i mrežna tehnologija*, *Računalstvo i obrada podataka, Robotika i autonomija* te *Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije*.

Slika 7. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Port of Adria

Weak points

Attribute	Port of Adria
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Video nadzor
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se
│ └─Internet stvari	Ne koristi se
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka
│ └─Veliki podatci	Ne koristi se
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Dronovi	Ne koristi se
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se
├─Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se

Strong points

Attribute	Port of Adria
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─**Razmjena podataka**	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	*Svi moduli PCS-a*
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Port of Adria pokazuje da su *Tehnologija razmjene informacija i dokumentacije* jaka točka s obzirom da se koriste svi moduli *Informacijskog sustava lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom* te se primjenjuje razmjena punog opsega EDIFACT poruka. *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* slaba su točka. U okviru *Disruptivnih tehnologija – Povezivost i mrežna tehnologija, Računalstvo i obrada podataka, Robotika i autonomija te Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije* slabe su točke *digitalne zrelosti* analizirane luke.

Slika 8. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Kopar

Weak points

Attribute	Luka Kopar
├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost
│ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
├─Imerzivna mješovita stvarnost	Ne koristi se

Strong points

Attribute	Luka Kopar
├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─**Razmjena podataka**	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*
│ │ └─Standardi razmjene informacija	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*
│ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	*Visoka digitalna zrelost*
│ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	*U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja*
│ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	*Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja*
├─Kontrola ulaza u lučko područje	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Kopar pokazuje da su jake točke luke Kopar *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije*: primjenjuje *Sustav za upravljanje terminalom* te razmjena punog opsega *EDIFACT poruka*. Nadalje, jaka točka jesu i *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* u dijelu *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* koje se koriste u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom. Jake točke su i *Tehnologije identifikacije i označavanja tereta* s obzirom da se primjenjuje *Automatizirani sustav identifikacije i označavanja*, kao i kontrola ulaza u lučko područje za koju se primjenjuje integrirani *Sustav ulaza i izlaza*. Slabe točke luke Kopar jesu *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu, Robotika i autonomija* te *Imerzivna mješovita stvarnost*.

Slika 9. *Selektivna eksplanacija* rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke Ravena

Weak points

Attribute	Luka Ravena
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	Pretežno manulano upravljanje
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Video nadzor
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost
│ ├─Dronovi	Ne koristi se
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se
│ └─Veliki podatci	Ne koristi se
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se
├─Imerzivna mješovita stvarnost	Ne koristi se

Strong points

Attribute	Luka Ravena
├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	*Visoka digitalna zrelost*
│ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	*Visoka digitalna zrelost*
│ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	*U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja*
│ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*
├─Kontrola ulaza u lučko područje	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*
└─Simulacijske tehnologije	*Digitalni blizanac*

Izvor: Rezultat obrade korištenjem DEXi računalnog programa

Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Ravena pokazuje da su jake točke luke Ravena korištenje *Sustava za upravljanje terminalom*, *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* koje se koriste u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom, korištenje integriranog *Sustava za ulaz i izlaz* za kontrolu ulaza u lučko područje te tehnologija *Digitalni blizanac* kao simulacijska tehnologija. Slabe točke luke Ravena jesu *Tehnologije za digitalnu potporu horizontalnom i vertikalnom transportu*, *Tehnologije upravljanja skladištem* (pretežno manualno) te nadzor lučkog područja/terminala kroz klasičan videonadzor. Slabe točke su i *Povezivost i mrežna tehnologija, Robotika i autonomija* te *Umjetna inteligencija* i *Imerzivna mješovita stvarnost*.

Uvid kroz primjenu analitičke opcije *Selektivna eksplanacija* može doprinijeti kreiranju smjernica i strategija digitalizacije luke. Ukoliko bi se kreirala baza s podatcima o velikom broju luka, *Selektivna eksplanacija* omogućila bi uvid u jake i slabe točke više luka te bi doprinijela u kreiranju sveobuhvatnih strategija za razvoj luka (na primjer na razini države, regije i sl.).

4.5.4. Zaključna razmatranja *digitalne zrelosti* odabranih luka

Evaluirane su odabrane luke, a rezultati evaluacije pokazuju da su sve luke osim luka Split i Bar (niska razina *digitalne zrelosti*) na srednjoj razini *digitalne zrelosti*. Kategorije digitalnih tehnologija i sustava *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*, u evaluiranim lukama pokazuju većinom srednju razinu *digitalne zrelosti*, osim u slučaju luke Split i luke Bar kad pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*.

Sukladno rezultatima, kumulativan utjecaj primijenjenih tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih digitalnih tehnologija, nedovoljan je da bi se evaluirane luke mogle smatrati *pametnim lukama*. Luka Kopar se, unatoč srednjoj razini *digitalne zrelosti* izdvaja kao luka koja je najbliže tranziciji u *pametnu luku*. Ukoliko se razmatra kategorija digitalnih tehnologija i sustava *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*, visoka *digitalna zrelost* uočava se uglavnom u sljedećim tehnologijama i sustavima: *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* (primjenjuju se Informacijski sustav lučke zajednice i Sustav za upravljanje terminalom), *Tehnologije upravljanja skladištem* (primjenjuju se poluautomatizirani ili automatizirani Sustav za upravljanje skladištem), *Tehnologije koordiniranja teretom* (primjenjuju se poluatomatizirani ili automatizirani *Sustav upravljanja internim transportom*). *Tehnologije za upravljanje procesima* u evaluiranim lukama primjenjuju se uglavnom za pojedine poslovne procese, a od *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* primjenjuju se *Bluetooth 4.0.*, *LTE* za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. *Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* uglavnom su niske razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se u evaluiranim lukama upotrebljavaju najjednostavnije tehnologije

i sustavi. Za nadzor pomorskog prometa u evaluiranim lukama u primjeni su uglavnom pojedinačni moduli VTMIS sustava.

Ukoliko se razmatra kategorija digitalnih tehnologija i sustava *Disruptivne digitalne tehnologije*, uočava se primjena uglavnom *Računalstva u oblaku* za aplikacije i baznu pohranu podataka te *Dronovi* za inspekciju lučkog područja. Luka Kopar izdvaja se od ostalih evaluiranih luka u primjeni disruptivnih tehnologija, s obzirom da se primjenjuje *Računalstvo u oblaku* za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture, a *Veliki podatci* primjenjuju se za pojedine poslovne procese. *Umjetna inteligencija* primjenjuje se za pojedine module komercijalnih rješenja uz napredne modele simulacija. Luka Ravena jedina je u kojoj se za simulacije primjenjuje tehnologija *Digitalni blizanac*.

Primjenom analitičke opcije *Selektivna eksplanacija*, u odnosu na rezultate evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka, utvrđene su slabe i jake točke svake pojedine luke, a prema kojima je moguće utvrditi koje bi digitalne tehnologije i sustave evaluirane luke trebale implementirati kako bi tranzitirale u *pametnu luku*.

Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka jesu jedan od ulaznih podataka za model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, s obzirom da je utvrđivanje *digitalne zrelosti* luke preliminarni korak kojim se dobiva uvid u trenutnu razinu *digitalne zrelosti* luke. Nadalje, primjenom analitičke opcije *Selektivna eksplanacija*, u odnosu na rezultate evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka, utvrđene su slabe i jake točke svake pojedine luke, a prema kojima je moguće dobiti naznaku koje digitalne tehnologije i sustavi nedostaju u evaluiranim lukama, odnosno koje bi trebalo implementirati kako bi tranzitirale u *pametnu luku*. Odabir primjera luke za vrednovanje u modelu tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, pojašnjen je u narednom poglavlju, uključujući prethodno obrazložene razloge kao i druge značajke za odabir konkretne luke (luka Rijeka).

5. MODEL TRANZICIJE TERETNIH MORSKIH LUKA U *PAMETNE LUKE*

U ovom poglavlju doktorskog rada izrađen je model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija.

Poglavlje započinje pojašnjenjem modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, uz detaljan pregled prethodnih istraživanja u kojima su analizirani scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te digitalne tehnologije i sustavi kao glavne komponente scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke.* Daljnjom analizom prethodnih istraživanja utvrđeni su kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* kao i metode za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. U nastavku poglavlja opisan je tijek istraživanja provedenog involviranjem stručnjaka iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama, a u svrhu identificiranja najvažnijih digitalnih tehnologija i sustava za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* te za identifikaciju najvažnijih kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Pritom je pojašnjen način provedbe ispitivanja mišljenja stručnjaka te su pojašnjene metode primijenjene u analizi rezultata (*Deskriptivna statistička analiza, Multivarijatna statistička analiza – metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje*). Analiziran je pristup luka digitalizaciji te su definirane skupine poslovnih procesa u lukama. Potom su definirani i elaborirani scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Temeljem definiranih scenarija provedena je evaluacija scenarija tranzicije u *pametnu luku* na primjeru luke Rijeka*,* uz primjenu *AHP metode* višekriterijskog odlučivanja. Poglavlje završava prijedlogom budućih istraživanja na temu *pametna luka*.

5.1. Uvodna razmatranja

Model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* čine scenariji tranzicije u *pametnu luku*. Sastavnice scenarija su digitalne tehnologije i sustavi, s obzirom da su detaljnom analizom prethodnih istraživanja i analizom relevantnih primjera *pametnih luka* te analizom *digitalne zrelosti* luka, determinirane kao krucijalne u tranziciji teretnih morskih luka u *pametne luke*.

U cilju daljnjeg pojašnjenja modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke,* napravljen je detaljan pregled prethodnih istraživanja u kojem je analizirano sljedeće: uključenost digitalnih tehnologija i sustava u scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, značajke scenarija, evaluacija scenarija, kriteriji za evaluaciju scenarija, metode evaluacije scenarija.

Autori (Al Fatlawi, Motlak, 2023) smatraju da luke, kako bi mogle ispuniti svoju ulogu i manipulirati sve većom količinom tereta, trebaju postati *pametne luke*. Nadalje,

autori (Bojić, Bošnjak, Gudelj, 2020) navode da se luke suočavaju s promjenama u vidu povećanja tereta u lukama, povećanja sigurnosnih zahtjeva i potrebe za održivim poslovanjem. Kao odgovor na ove izazove autori predlažu tranziciju u *pametnu luku* te smatraju nužnim ulaganje u digitalne tehnologije i sustave. Prema (Boullauazan, Sys, Vanelslander, 2022) luke su suočene s povećanim prometom, stoga tranzicija u *pametnu luku* omogućava poboljšan protok tereta i informacija, održivi razvoj i sigurnost korištenjem digitalnih tehnologija i sustava. Prema (Brunilla, Kunnala Hyrkki, Inkinen, 2021) digitalizacija nepovratno mijenja pomorski sektor i odlučujuća je za uspješnost luka. Nadalje, autori navode da više međunarodnih organizacija, kao što je IMO, zagovaraju digitalizaciju i tranziciju u *pametnu luku*. Autori (Dalaklis et al., 2022) rješenje za manipulaciju sve većim količinama tereta u lukama vide u implementaciji digitalnih tehnologija i sustava, odnosno u tranziciji u *pametnu luku*. Prema (Klar, Fredriksson, Angelikas, 2022) kompleksnost lučkih aktivnosti i porast pomorskog transporta čini nužnim implementaciju digitalnih tehnologija i sustava u cilju poboljšanja performansi, transparentnosti, sigurnosti i održivog poslovanja luka. Autori (Nugyen, Khoa Pam, Duc Bui, 2022) navode da održivi razvoj stvara pritisak na luke u smislu operacijskih, ekonomskih, ekoloških i funkcionalnih performansi. Nadalje, autori navode da luke, ne samo da moraju poboljšati prostorne aspekte luke i opremu već i brzinu manipulacije teretom kao i brzinu pratećih administrativnih procedura. Stoga je potrebna tranzicija u *pametnu luku*.

Više autora provelo je istraživanja o kreiranju scenarija, kriterijima i metodama za evaluaciju scenarija. S obzirom da su digitalne tehnologije i sustavi sastavnice scenarija, uputno je analizirati kriterije i metode koji su primjenjivi pri evaluaciji i odabiru digitalnih tehnologija i sustava.

Ne postoji jedinstvena definicija scenarija, jedinstven scenarij niti jedinstvena metodologija izrade scenarija. Scenarij se može definirati kao opis potencijalne buduće situacije i aktivnosti koju je potrebno poduzeti kako bi došlo do realizacije (Itonics, 2024). Nadalje, scenariji ne moraju nužno prikazivati cjelokupnu viziju željenog razvoja u budućnosti, već mogu obuhvatiti jedan segment poslovanja ili cjelokupno poslovanje (Bielinska Dusza, 2013). Prema (Ferris, Barker, Adcock, 2016) kreiranje i odabir scenarija koristi se za definiranje i odabir mogućnosti razvoja i ostvarenja ciljeva tvrtke ili organizacije. Glavni koraci u definiranju scenarija jesu definiranje cilja te definiranje aktivnosti kojima će cilj ostvariti. U početku se može kreirati više scenarija, no konačno treba evaluirati samo nekoliko scenarija (Ferris, Barker, Adcock, 2016). Scenariji se mogu definirati i prema vremenskom okviru: kratkoročni, srednjoročni i dugoročni (Inkinen, Helminen, Saarikoski, 2021).

Autori (Hussain, Tapinosb, Knighta, 2017) su proveli istraživanje na temu uvođenja *Radiofrekvencijske identifikacije* u zdravstveni sustav. Pritom su autori utvrdili hodogram za izradu scenarija: utvrđivanje potreba za razvojem scenarija, rasprava stručnjaka koji sudjeluju u kreiranju scenarija, definiranje kriterija za evaluaciju scenarija i konačno evaluacija scenarija prema kriterijima. Autori smatraju kako je potrebno kreirati

minimalno dva scenarija. U kontekstu tehnologija, scenariji uključuju više tehnologija, a odabire se onaj scenarij za kojeg je najizvjesnije ostvarenje (Hussain, Tapinosb, Knighta, 2017).

Autori (Hartweina et al., 2022) su izradili scenarije implementiranja digitalne tehnologije *Internet stvari* u malim i srednjim poduzećima te su definirali hodogram izrade scenarija polazeći od tri pretpostavke: način na koji se tehnologija *Internet stvari* može integrirati u svakodnevne radne aktivnosti, prihvaćanje od strane korisnika i potrebne promjene u organizaciji. U prvom dijelu izrade scenarija, autori su definirali potencijalne utjecaje na svakodnevne aktivnosti. Radi utvrđivanja utjecaja na svakodnevne aktivnosti, provedeni su intervjui sa zaposlenicima koji će direktno koristiti tehnologiju *Internet stvari*. U drugom dijelu izrade scenarija, autori su definirali aktivnosti, informacije i interakcije u svakodnevnim aktivnostima. U trećem dijelu izrade scenarija, definirani su primjeri potencijalnih situacija koje se mogu riješiti primjenom tehnologije *Internet stvari*.

Autori (Tavana, Ghasrikhouzanic, Abtahic, 2022) kreirali su scenarije razvoja na primjeru tvrtke za pružanje internet usluga te navode da je kreiranje scenarija primjenjivo u cilju evaluacije i odabira tehnologija. Definiran je hodogram izrade i evaluacije scenarija: pregled prethodnih istraživanja, utvrđivanje kriterija vrednovanja, izrada anketnog upitnika, prikupljanje ekspertnih mišljenja, odabir metode evaluacije, kreiranje scenarija, evaluacija scenarija. U radu je korištena metoda višekriterijskog odlučivanja *DEAMTEL* (engl. *Decision making trial and evaluation laboratory*).

S obzirom na veliki broj tehnologija koje se mogu evaluirati kao i veći broj različitih kriterija koji se mogu primijeniti za evaluaciju i odabir digitalne tehnologije, uputno je pri odabiru tehnologija primijeniti višekriterijsku analizu, odnosno metode višekriterijskog odlučivanja (Kozlowska, 2022). Evaluacija i odabir tehnologija uključuje kvalitativne i kvantitativne metode, kao što je *TOPSIS metoda* (Halicka, 2020).

Prema (Nouri, Sohrabi, 2021) višekriterijsko odlučivanje omogućava uspješan odabir tehnologija. Autori su proveli istraživanje odabira tehnologija na primjeru petrokemijske industrije. Prvi korak bio je pregled prethodnih istraživanja kako bi se utvrdili kriteriji za evaluaciju i odabir tehnologija. Analiza je provedena korištenjem *TOPISIS metode*. Izdvojeni su sljedeći kriteriji za evaluaciju i odabir tehnologija: kompleksnost tehnologije, cijena tehnologije, transfer znanja, regulative, troškovi popravka i održavanja, responzivnost na izazove tržišta, vrijeme potrebno za implementaciju, sigurnost, dostupnost i ekološki utjecaj.

Prema (Halicka, 2020) kriteriji za evaluaciju i odabir tehnologija jesu: razina tehnološke inovacije, znanje za primjenu digitalne tehnologije, korisnost nove digitalne tehnologije, utjecaj nove digitalne tehnologije na postojeće digitalne tehnologije, dostupnost tehnologija na tržištu, koju tehnologija koristi konkurencija, jednostavnost korištenja, sukladnost s regulativama, responzivnost na tehničke poteškoće. Pregledom prethodnih istraživanja (Matheney, Herr, Henn, 2023) definirali su više kriterija za odabir tehnologija: tržište, okruženje, kvaliteta, inovativnost, tehnička izvedivost, vrijeme implementiranja, organizacija, korisnici, prednosti.

Prema (Vujić, Gudelj, Miljanović, 2013) za evaluaciju i odabir tehnologija moguća je primjena metoda višekriterijskog odlučivanja. S obzirom na specifičnost područja analize (proizvodnja), kriteriji su: vrijednost ulaganja u novu tehnologiju, troškovi proizvodnje/prilagodbe digitalne tehnologije, ekološki utjecaj digitalne tehnologije, razina obučenosti zaposlenika za korištenje digitalne tehnologije.

Nadalje, primjer primjene višekriterijskog odlučivanja je istraživanje koje su proveli (Chansa Ngavej, Srijuntub, 2010). Autori su definirali odabir VoIP digitalne tehnologije korištenjem *AHP metode*, kao proces od triju faza. U prvoj fazi definira se problem analize u suradnji sa stručnjacima, u kontekstu željenog tehnološkog napretka. Druga faza je dizajniranje, u kojoj se definira lista VoIP digitalnih tehnologija i kriterija za evaluaciju, a koji su prethodno utvrđeni analizom prethodnih istraživanja i potreba razvoja pojedine tvrtke ili organizacije. Treća faza je evaluacija odnosno primjena *AHP metode* i odabir VoIP digitalne tehnologije. Uključuju se stručnjaci koji evaluiraju predložene VoIP digitalne tehnologije, sukladno kriterijima. Pri definiranju kriterija autori navode minimiziranje broja kriterija kako bi usporedba alternativa bila što preciznija i jednostavnija. Autori su definirali i kriterije te potkriterije za odabir tehnologija. Kriterij korisnost: dijeli se na mjerljivu i nemjerljivu korisnost digitalne tehnologije. Mjerljiva znači uštede u troškovima provedbe aktivnosti i u troškovima smanjenja zaposlenih za provedbu aktivnosti. Nemjerljivi su jednostavnost korištenja, jednostavnost implementacije i održavanja, skalabilnost, multivendor pristup, pouzdanost i sigurnost, nove poslovne prilike, poboljšanje suradnje, poboljšanje usluga. Drugi kriterij su početna ulaganja: potrebna početna ulaganja u implementaciju digitalne tehnologije, troškovi održavanja, trošak prilagodbe postojećeg sustava. Treći kriterij je tehnička izvedivost: jednostavnost implementacije, jednostavnost upotrebe za krajnjeg korisnika, pouzdanost i sigurnost. Kriterij rizika jesu dovoljno vještina za korištenje digitalne tehnologije, nepredviđeni troškovi implementacije, rizik lošeg funkcioniranja digitalne tehnologije, rizik nemogućnosti održavanja digitalne tehnologije.

AHP metodu višekriterijskog odlučivanja primijenili su (Santos, Loures, Santos, 2017) u automobilskoj industriji za odabir scenarija simulacije i primjene simulacijskog računalnog programa.

Prema (Saha, Islam, 2016) kriteriji za odabir tehnologija su sljedeći: tehničko-ekonomski, organizacijski i operativni. U tehničko-ekonomske kriterije ubrajaju se: tehnološka kompleksnost, doprinos kvaliteti, energetska intenzivnost, ekološka stabilnost, trošak ulaganja, profitabilnost, dokazana korisnost. U organizacijske kriterije ubrajaju se: vještine zaposlenih, jednostavna upotreba, kompatibilnost s postojećim tehnologijama. U operativne kriterije ubraja se: dobavljivost, institucijska potpora, utjecaj na druge sektore, socio-kulturni utjecaj.

Pri evaluaciji i odabiru digitalnih tehnologija višekriterijskom analizom moguće je kombinirati više metoda (Chang, Chang, Lu, 2021). Autori su evaluirali primjenu tehnologija u okviru *Industrije 4.0*, uz primjenu *TOE okvira*: tehnologija −organizacija − okolina (engl. *Technology – Organization – Environment framework* - TOE) za definiranje i evaluaciju kriterija za odabir tehnologija. U tehnološke kriterije uvršteni su:

tehnološka spremnost, tehnološka sigurnost, tehnološka integracija. U organizacijske kriterije uvršteni su: ulaganja u tehnologiju, organizacijska spremnost i potpora menadžmenta. U kriterij okoline uvršteni su: konkurentnost, regulativa, responzivnost menadžmenta na izazove tržišta. Uz *TOE okvir*, autori s koristili *DEMATEL I VIKOR metode* višekriterijskog odlučivanja.

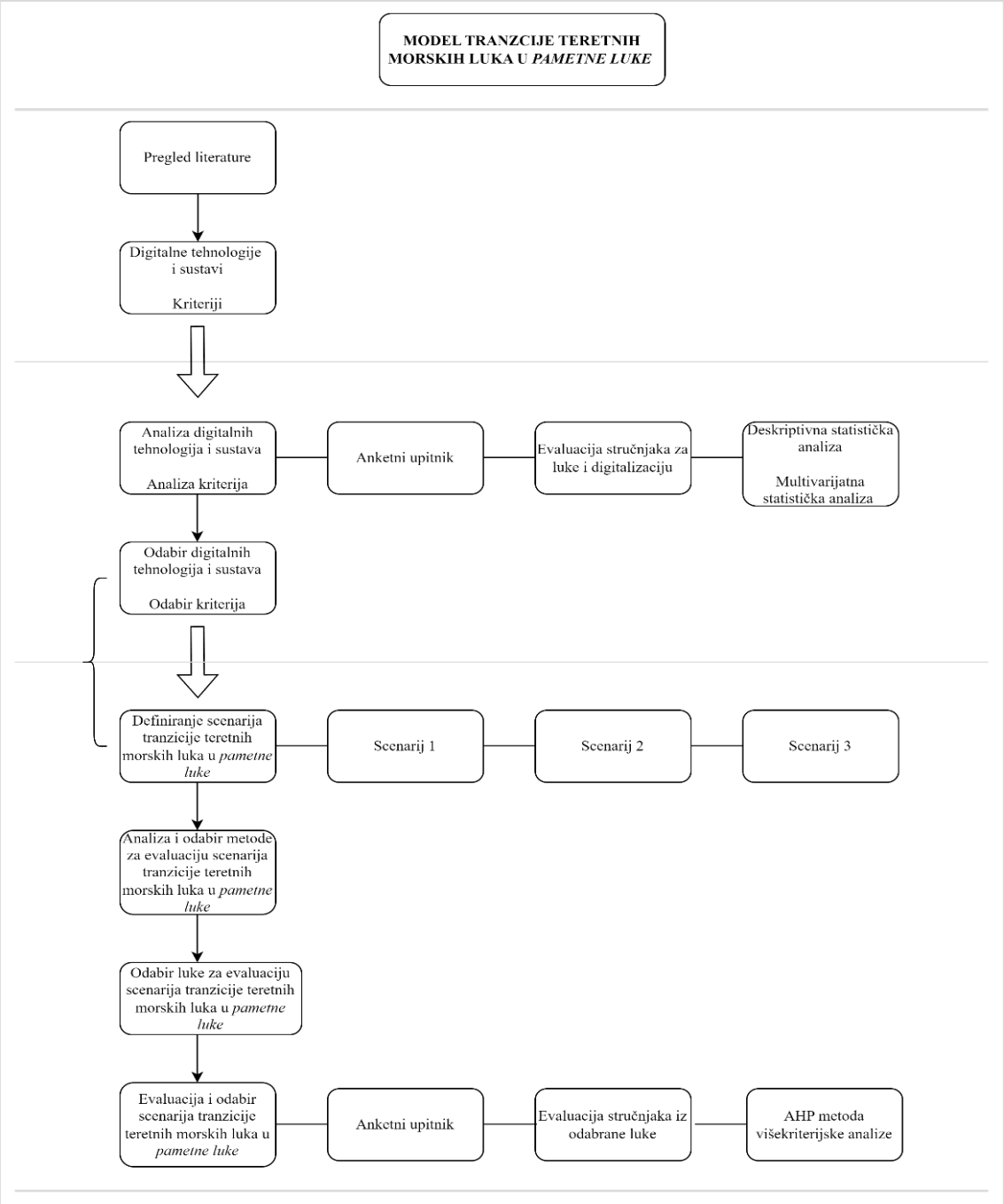
Nadalje, primjer evaluacije tehnologija *Industrije 4.0* (u proizvodnji) napravili su (Parham, Aser, Nazzal, Darras, 2023) pri čemu su kombinirali *Fuzzy AHP i TOPSIS metode* višekriterijskog odlučivanja. Autori su analizirali odabir tehnologija: *Veliki podatci, Računalstvo u oblaku, Internet stvari, Tehnologija ulančanih blokova, Autonomni industrijski roboti, 3D printanje*, te su definirali i kriterije za evaluaciju i odabir digitalne tehnologije. U istraživanju su autori kriterije definirali kao ključne pokazatelje uspješnosti koji se mogu koristiti za evaluaciju i odabir digitalne tehnologije (kriteriji specifični za tematiku proizvodnje). Kriteriji su podijeljeni na četiri skupine: proizvodnja (efektivnost, tehnička učinkovitost, ponovljena proizvodnja zbog neispravnosti proizvoda, proizvodno vrijeme po jedinici proizvoda, ukupno vrijeme realizacije narudžbe), okoliš (trošak materijala, količina utrošene energije, količina utrošene vode, štete emisije), društveni (zaštita privatnosti podataka kupaca, rizici, ozljede na radu), ekonomski (troškovi, povrat ulaganja, dodana vrijednost na tržištu).

Metodu AHP za odabir tehnologije *Interneta stvari* primijenili su (Durao, Carvalho, Cauchick, Zancul, 2018). Autori su definirali nekoliko kriterija za evaluaciju: pouzdanost, sigurnost, poslovni model, heterogenost. Metoda se pokazala primjenjivom i u evaluaciji odabira platforme velikih podataka (Lnenička, 2015). Autor je definirao 3 kriterija: tehnički, društveni te troškovi i smjernice. U tehničke kriterije autor je uvrstio: dostupnost mrežne infrastrukture, skalabilnost, fleksibilnost, performanse, kompleksnost, procesuiranje podataka, sigurnost podataka. U društvene kriterije autor je uvrstio lakoću postavljanja i održavanja, lakoću korištenja i izvještavanja te korisničku podršku. U troškove i smjernice uvršteni su kriteriji: trošak pristupa tehnologiji, vještine za korištenje te smjernice za implementaciju i regulativa.

Prema (Boullauazan, Sys, Vanelslander, 2022) za pravilan odabir i implementaciju digitalnih tehnologija treba ispitati kompatibilnost s postojećom IT infrastrukturom. Prema (El Idrissi, Haidine, Aqqal, Dahbi, 2022) pri odabiru digitalnih tehnologija potrebno je uzeti u obzir nekoliko kriterija: tehničke karakteristike odabrane tehnologije, financijski aspekt, pravni i regulatorni aspekt, životni ciklus tehnologije, licence te povrat ulaganja. Autori (Ozkanlisoy, Akkartal, 2021) odabir prikladne tehnologije smatraju strateškom odlukom. Autori smatraju da je nekoliko ključnih pitanja na koja treba odgovoriti pri odabiru digitalnih tehnologija: koja tehnologija je potrebna, karakteristike tehnologije, utjecaj odabira tehnologije na druge resurse te kakve su organizacijske mogućnosti za implementaciju tehnologija.

U nastavku, na shemi 3. prikazan je hodogram izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Shema 3. Hodogram izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*



Izvor: Izradila doktorandica

Kao što je navedeno na hodogramu, preliminarna aktivnost je pregled literature kako bi se utvrdile digitalne tehnologije i sustavi (bazirano na poglavlju 3.2. doktorskog rada) te kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Definirane digitalne tehnologije i sustavi te kriteriji upućuju se na evaluaciju stručnjacima iz područja luka i digitalnih tehnologija, a kako bi se odabrale tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi te disruptivne digitalne tehnologije koje će biti sastavni dio scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* kao i kriteriji za evaluaciju scenarija

tranzicije u *pametnu luku*. Zatim se kreiraju 3 scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, a koji se evaluiraju promjenom *AHP metode* višekriterijskog odlučivanja. Scenariji se evaluiraju na primjeru odabrane luke (odabrana temeljem rezultata evaluacije *digitalne zrelosti* luke i dostupnosti podataka) te involviranjem stručnjaka iz odabrane luke. Konačan rezultat je odabir scenarija tranzicije odabrane teretne morske luke u *pametnu luku*.

5.2. Definiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Prije definiranja scenarija tranzicije u *pametne luke,* uputno je dati osvrt na različit pristup luka digitalizaciji i samim time tranziciji u *pametnu luku*. Nadalje, uputno je dati osvrt na poslovne procese u lukama, s obzirom da se scenariji tranzicije u *pametnu luku* trebaju uskladiti s poslovnim procesima u lukama.

Luke se međusobno razlikuju što utječe na digitalizaciju i tranziciju u *pametnu luku*. Primarno, luke se razlikuju po veličini, kapacitetu i procesima. Na primjer, kontejnerske luke globalnog značaja zasigurno imaju drugačije potrebe implementiranja digitalnih tehnologija i sustava, u usporedbi s regionalnim ili nacionalnim lukama fokusiranim na rasuti teret. Različite države imaju različite propise koji reguliraju lučke poslovne procese, a koje luke moraju uvažavati tijekom implementacije digitalnih tehnologija i sustava (primjer su luke u SAD-u u kojima puno propisa usporava digitalizaciju, a što je prethodno analizirano u drugom poglavlju doktorskog rada). U dijelu luka još uvijek je potrebno ulaganje u infrastrukturu, što može utjecati na sporije implementiranje i korištenje digitalnih tehnologija i sustava. Jedan od najčešćih razloga različitog pristupa luka tranziciji u *pametnu luku* je dostupnost financijskih resursa za primjenu digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Veće luke s većim financijskim sredstvima imaju veću fleksibilnost za ulaganje u digitalne tehnologije i sustave, dok manje luke s ograničenim financijskim resursima moraju prioritet dati ekonomičnim rješenjima.

U nastavku su obrazloženi poslovni procesi u teretnim morskim lukama, na osnovi kojih će se definirati scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Obrazložene poslovni procesi definirani su bazirano na analizi u poglavlju 2.1. doktorskog rada, te su stoga podijeljeni u tri skupine.

Teretni poslovni procesi uključuju sve procese u lukama koji se odnose na teret. Uzimajući u obzir činjenicu da su luke glavne točke međunarodne trgovine, logistička središta, s terminalima, skladištima, infrastrukturom i opremom za manipulacije s različitim vrstama tereta, teretni poslovni procesi predstavljaju srž poslovanja luka. Manipulacija teretom obično je primaran izvor prihoda luka. Luke ostvaruju prihode kroz naknade za utovar, istovar, skladištenje i druge usluge povezane s teretom. Teretne aktivnosti u lukama uključuju manipulacije teretom: kretanje tereta, koordinaciju tereta, prediktivno održavanje opreme, automatizaciju skladišnih aktivnosti, automatizaciju internog transporta. U provedbi teretnih poslovnih procesa u lukama, fokus je na

direktnim operativnim aktivnostima vezanim za premještaj odnosno manipulacije teretom.

Administrativni poslovni procesi su druga osnovna skupina poslovnih procesa u lukama. Luke posluju sukladno zakonima, propisima i standardima koje primjenjuju u provedbi poslovnih procesa i pripadajućih aktivnosti. Administrativni poslovni procesi u lukama uključuju sljedeće: procedura ulaza u luku i izlaza iz luke: procedure kretanja vozila i tereta unutar luke, nadzor luke; nadzor i sigurnost pomorskog prometa; administrativne procedure uplovljavanja i isplovljavanja brodova; inspekcijski nadzor; carinske procedure; koordinaciju u slučaju hitnih i nepredviđenih situacija; protokole zaštite luke od kibernetičkih prijetnji; protokoli zaštite okoliša. U provedbi administrativnih poslovnih procesa u lukama, fokus je na pratećim aktivnostima vezanim uz teretne aktivnosti te aktivnostima koje proizlaze iz obveza luka sukladno regulativi i legislativi.

Interni poslovni procesi u lukama uključuju organizaciju, koordinaciju i nadzor nad aktivnostima povezanim uz teret i administrativne formalnosti: kontrolu poslovnih procesa; upravljanje resursima luke; sustav odlučivanja u poslovnim procesima; prikupljanje, pohranu i obradu podataka u poslovnim procesima; razmjenu informacija i dokumentacije među poslovnim odjelima luke; praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators* − KPI); analitiku poslovnih procesa; simulaciju poslovnih procesa. Interni poslovni procesi u lukama fokusirani su na interne aktivnosti unutar i između organizacijske strukture luke odnosno dionika luke.

5.2.1. Istraživanje u svrhu definiranja scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Kako bi se kreirali scenariji tranzicije u *pametnu luku,* provedeno je istraživanje u suradnji sa stručnjacima iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Kontaktirani su stručnjaci iz Hrvatske i inozemstva. U kontekstu tvrtki ili institucija u okviru kojih stručnjaci djeluju, istraživanjem su obuhvaćene sljedeće skupine: lučka poduzeća (operatori terminala); lučke uprave; lučke organizacije, udruženja i institucije; obrazovne institucije iz područja pomorstva. Cilj istraživanja bio je utvrditi koje digitalne tehnologije i sustavi su prema mišljenju stručnjaka najvažnije za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. Nadalje, cilj istraživanja bio je utvrditi koji kriteriji su prema mišljenju stručnjaka najvažniji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Stoga je kreiran anketni upitnik koji obuhvaća digitalne tehnologije i sustave definirane u poglavlju 3.1. doktorskog rada. (Privitak 5.) Sukladno tome, digitalne tehnologije su podijeljene u dvije skupine: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*.

Pri kreiranju anketnog upitnika, važno je napomenuti kako je ekskludirano nekoliko digitalnih tehnologija i sustava čija je primjena neophodna u procesu tranzicije

teretnih morskih luka u *pametne luke*. Stoga se smatraju osnovnom komponentom scenarija. Osnovna komponenta scenarija podrazumijeva digitalne tehnologije i sustave koji su neophodni za luke iz sljedećih razloga: obveza korištenja sukladno zakonu, propisima, koji podrazumijevaju obvezu primjene određenih digitalnih tehnologija i sustava (zakoni, propisi, regulative, standardi); značajke i učinci primjene u lukama, integracija aktivnosti, odnosno poslovnih procesa luke. U osnovnu komponentu scenarija uvrštene su sljedeće digitalne tehnologije i sustavi:

- *Informacijski sustav lučke zajednice*
- *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu*
- *Sustav pomorskog prometa*
- *Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom*
- *Računalstvo u oblaku*
- *Sustav za upravljanje terminalom*
- *Sustav upravljanja internim transportom*
- *Sustav za upravljanje skladištem*
- *Sustav za upravljanje resursima*
- *Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima*
- *Sustav za potporu odlučivanju*.

U svrhu prikupljanja podataka, napravljen je anketni upitnik na hrvatskom i engleskom jeziku uz korištenje online alata *Google Forms*. Kontaktirano je ukupno 180 stručnjaka, a u strukturi odgovora stručnjaka dominiraju stručnjaci iz lučkih poduzeća (veći operatori terminala); lučke uprave, lučke organizacije i institucije te potom obrazovne institucije iz područja pomorstva. Zaprimljeno je ukupno 112 odgovora. Od ukupnog broja odgovora stručnjaka izdvojeno je 107 važećih, s obzirom da je dio anketnih upitnika djelomično ispunjen te na taj način nije prikupljeno cjelovito mišljenje stručnjaka.

Pri distribuiranju upitnika te prikupljanju i obradi podataka poštivana su načela zaštite osobnih podataka, a što uključuje sljedeće: ispitanici su informirani u koju svrhu se provodi istraživanje i zašto je zatraženo njihovo sudjelovanje; ispitanici su informirani da je sudjelovanje u istraživanju dobrovoljno; ispitanici su informirani da su podatci anonimizirani (nije moguće identificirati ispitanika direktno ili indirektno iz podataka o ispitaniku).

Za evaluaciju važnosti tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava, disruptivnih digitalnih tehnologija te kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku*, primijenjena je **Likertova skala razine 1 − 5**, pri čemu pojedine razine imaju sljedeće značenje:

1 = nevažno
2 = manje važno
3 = umjereno važno
4 = važno
5 = iznimno važno.

Zaprimljeni odgovori stručnjaka obrađeni su najprije *Deskriptivnom statističkom analizom* za utvrđivanje razdiobe skupa podataka te potom *Multivarijatnom statističkom analizom −metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje*, uz primjenu statističkog računalnog programa SPSS. U nastavku slijedi pojašnjenje primijenjenih metoda te analiza odgovora zaprimljenih od stručnjaka.

5.2.1.1. Deskriptivna statistička analiza važnosti tradicionalnih digitalnih tehnologija te disruptivnih digitalnih tehnologija

Zaprimljene odgovore stručnjaka bilo je potrebno najprije analizirati primjenom *Deskriptivne statističke analize*, kako bi se utvrdila distribucija odnosno razdioba podataka. *Deskriptivna statistika* (engl. *Descriptive statistics*) bavi se analizom prikupljenih podataka te njihovim sažetim opisom kroz numerički i/ili grafički prikaz (Corporate Finance Institute, 2024). Glavni ciljevi primjene *Deskriptivne statistike* su: prikupljanje, uređivanje i grupiranje podataka; utvrđivanje razdiobe podataka, tablično i grafičko prikazivanje analize podataka (Corporate Finance Institute, 2024). U nastavku je kratko pojašnjenje najčešće primijenjenih pokazatelja u *Deskriptivnoj statističkoj analizi*, a koji se koriste kao primarni pokazatelji razdiobe podataka.

Aritmetička sredina je najčešće korištena srednja vrijednost u *Deskriptivnoj statističkoj analizi*. Naziva se još i prosjek ili prosječna vrijednost te predstavlja omjer zbroja svih vrijednosti i broja analiziranih varijabli (podataka) (Corporate Finance Institute, 2024). Osim utvrđivanja same normalnosti razdiobe podataka, *Aritmetička sredina* u predmetnoj analizi je primijenjena za izračun i rangiranje pojedinih tradicionalnih digitalnih tehnologija, disruptivnih tehnologija, te kriterija za evaluaciju scenarija, a kako bi se identificirala percipirana važnost u odnosu na uzorak.

Standardna devijacija (engl. *standard deviation*) mjeri koliko su podatci disperzirani u odnosu na srednju vrijednost. Niska *Standardna devijacija* ukazuje da su podatci usko grupirani oko srednje vrijednosti, a visoka standardna devijacija ukazuje na to da su podatci više raspoređeni. *Standardna devijacija* blizu nule označava da su podatkovne točke vrlo blizu srednje vrijednosti, dok veća *Standardna devijacija* ukazuje

da su podatkovne točke udaljenije od srednje vrijednosti (National Library of Medicine, 2024).

Mjera asimetrije (engl. *skewness*) daje informaciju o načinu rasporeda podataka u odnosu na *Aritmetičku sredinu*. *Mjerom asimetrije* utvrđuje postoji li simetrija ili asimetrija podataka (National Institute of Standards and Technology, 2024). Ukoliko postoji asimetrija određuje se smjer i jačina. Mjeri se način rasporeda podataka prema srednjoj vrijednosti (aritmetička sredina) koja se promatra kao os simetrije. Sukladno tome, raspored (razdioba) može biti (National Institute of Standards and Technology, 2024):

- Simetričan – mjere asimetrije su jednake nuli
- Pozitivno asimetričan (desnostran) – mjere asimetrije su veće od nule
- Negativno asimetričan (lijevostran) – mjere asimetrije su manje od nule.

Kada distribucija ima nultu pomaknutost, simetrična je. Normalne razdiobe podataka su simetrične odnosno asimetrija je jednaka nuli (National Institute of Standards and Technology, 2024). Lijeva i desna strana postavljene su 'zrcalno' te je karakterističan oblik 'zvona' pa se često upravo ovaj figurativan naziv koristi za normalnu distribuciju.

Distribucija može biti asimetrična u dva smjera: pomaknuta u desno te pomaknuta u lijevo. Pomaknutost u desno također se naziva i pozitivna pomaknutost (National Institute of Standards and Technology, 2024). Pomaknutost u lijevo također se naziva i negativna pomaknutost (National Institute of standards and technology, 2024).

Mjera asimetrije u pravilu zauzima vrijednosti u intervalu [-2, 2], osim u slučaju vrlo jake asimetrije, kada može prijeći definirani interval (GraphPad, 2024).

Mjera zaobljenosti razdiobe opisuje koliko su vrijednosti iz skupa podataka koncentrirane oko aritmetičke sredine (National Institute of Standards and Technology, 2024). Za normalnu distribuciju vrijednost zaobljenosti je jednaka 3,0, tada je riječ o mezokurtičnoj distribuciji. Odstupanja od *Aritmetičke sredine* mogu biti pozitivna ili negativna. Ukoliko je vrijednost zaobljenosti pozitivna, onda je zaobljenost šiljata (leptokurtična), a ukoliko je negativna onda je zaobljenost spljoštena (platikurtična). Vrijednost zaobljenosti kreće se u intervalu [-3, 3], osim u slučaju vrlo jake zaobljenosti, kada može prijeći definirani interval (GraphPad, 2024).

U nastavku slijedi *Deskriptivna statistička analiza* rezultata evaluacije *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te *Disruptivnih digitalnih tehnologija*. Analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* prikazana je u poglavlju koje se odnosi na kriterije.

U tablicama 7. i 8. prikazani su rezultati Deskriptivne statističke analize za *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* te *Disruptivne digitalne tehnologije* (aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost).

Tablica 7. Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
1.	Automatski navođena vozila	4,49	0,502	0,058	-2,036
2.	Sustav automatiziranog ulaza i izlaza	4,38	0,507	0,271	-1,399
3.	LTE	3,85	0,568	-0,336	0,769
4.	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	3,81	0,695	-0,602	0,727
5.	Skeneri (X ray, laser)	3,76	0,658	-0,736	0,981
6.	Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama	3,67	0,805	-0,899	3,743
7.	Termovizijske kamere	3,65	0,72	-0,927	0,519
8.	3G i 4G mobilne mreže	3,61	0,814	-0,362	-0,304
9.	WIFI bežična mreža	3,6	0,792	-0,218	-0,314
10.	Optičko prepoznavanje znakova	3,59	0,805	-0,244	-0,348
11.	Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	3,53	0,773	-0,368	0,406
12.	Automatizirane slagališne dizalice	3,51	0,637	-0,509	-0,167
13.	Sustav za praćenje kontejnera	3,39	0,612	0,302	-0,056
14.	Sustav za rezervaciju vozila	3,39	0,753	-0,238	-0,468
15.	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica	3,38	0,712	-0,383	-0,503
16.	CCTV sustav	3,34	0,757	-1,074	0,928

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
17.	Elektronička razmjena podataka	3,27	0,697	-0,244	-0,634
18.	QR kod	3,23	0,869	-0,285	-0,862
19.	Bežična senzorska mreža	3,22	0,759	-0,258	-0,956
20.	Bar kod	3,18	0,841	-0,553	-0,834
21.	Automatizirani traktor	3,14	0,994	-0,233	-1,113
22.	Komunikacija bliskog polja	3,14	0,893	-0,783	-0,211
23.	Bluetooth	3,13	1,029	-0,596	-0,331
24.	Pristup mobilnim uređajem	3,1	0,876	-0,12	-1,098
25.	Automatizirani viličar	3,01	0,658	-0,01	-0,64
26.	ID kartica	2,84	1,194	-0,337	-1,255

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Analizirano je ukupno 26 *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava*. Sukladno podatcima navedenim u tablici 5., prosječne ocjene koje su stručnjaci dodijelili pojedinim tradicionalnim digitalnim tehnologijama i sustavima, kreću se od 2,84 ± 1,194 za ID kartice do 4,49 ± 0,502 koliko su stručnjaci dodijelili *Automatski navođenim vozilima*. Uz *Automatski navođena vozila*, visoku prosječnu ocjenu stručnjaci su dodijelili za *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* od 4,38 ± 0,507. Nadalje, *Automatski navođena vozila* i *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* ujedno imaju i malu disperziju, simetrični su, pokazuju blagu zaobljenost te nemaju karakteristike normalne razdiobe.

Ostale *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* dobili su prosječne ocjene niže od 4, što upućuje da stručnjaci ostale tehnologije većinom smatraju umjereno važnima do važnima.

Tablica 8. Deskriptivna statistička analiza disruptivnih digitalnih tehnologija – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
1.	5G mobilna mreža	4,56	0,517	-0,465	-1,306
2.	Internet stvari	4,53	0,52	-0,344	-1,413
3.	Računalni vid	4,51	0,502	-0,058	-2,036
4.	Umjetna inteligencija	4,47	0,501	0,136	-2,02
5.	Konverzacijska korisnička sučelja	4,47	0,52	-0,074	-1,525
6.	Digitalni blizanac	4,46	0,501	0,175	-2,008
7.	Veliki podatci	4,44	0,499	0,253	-1,974
8.	Dronovi	4,39	0,49	0,456	-1,828
9.	Inteligentne kamere	4,38	0,488	0,497	-1,787
10.	Sučelje čovjek-stroj	4,37	0,486	0,54	-1,742
11.	Proširena stvarnost	4,17	0,612	-0,366	0,761
12.	Autonomna vozila	4,12	0,756	-0,21	-1,211
13.	Virtualna stvarnost	3,98	0,808	-0,856	0,736
14.	Napredna analitika	3,95	0,544	-0,767	2,987
15.	Strojno učenje	3,9	0,643	0,088	-0,558
16.	Pametni senzori	3,9	0,517	-0,15	0,643
17.	Mješovita stvarnost	3,79	0,675	-0,103	-0,116
18.	Neuronska mreža	3,78	0,759	-0,145	-0,337
19.	Nulta latencija	3,78	0,665	0,277	-0,752
20.	6G mobilna mreža	3,76	0,673	0,323	-0,789
21.	Autonomni mobilni roboti	3,75	0,662	-0,087	-0,1
22.	Mobilno računalstvo	3,74	0,636	-0,639	0,811
23.	Generativna umjetna inteligencija	3,65	0,554	0,08	-0,768
24.	Tehnologija ulančanih blokova	3,62	0,656	-0,036	-0,161
25.	Rubno računalstvo	3,62	0,595	-0,475	0,031
26.	Kibernetičko - fizički sustavi	3,61	0,596	0,119	-0,451

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
27.	Proširena povezana radna snaga	3,58	0,794	-0,506	-0,209
28.	Biometrijsko prepoznavanje	3,54	0,772	-0,401	0,434
29.	Kvantno računalstvo	3,49	0,59	-0,087	-0,452
30.	Homomorfna enkripcija	3,44	0,887	-0,904	0,608
31.	Napredna robotika	3,43	0,618	-0,595	-0,556
32.	Dubinsko učenje	3,36	0,856	-0,871	1,934
33.	3D printanje	2,93	0,933	-0,662	-0,32
34.	4D printanje	2,61	1,042	-0,194	-1,119

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Analizirane su ukupno 34 *Disruptivne digitalne tehnologije*. Prema rezultatima iz tablice 7. može se zaključiti da su najvišu prosječnu ocjenu stručnjaci dodijelili sljedećim *Disruptivnim digitalnim tehnologijama*: *5G mobilna mreža*, *Internet stvari*, *Računalni vid*, *Umjetna inteligencija*, *Konverzacijska korisnička sučelja*, *Digitalni blizanac, Veliki podatci, Dronovi, Inteligentne kamere, Sučelje čovjek-stroj, Proširena stvarnost, Autonomna vozila.*

Najmanje prosječne ocjene stručnjaci su dodijelili tehnologijama *3D printanje* i *4D printanje*. Zaključno, prosječne ocjene kreću se u rasponu od 2,61 ± 1,042 za *4D printanje* do 4,56 ± 0,517. Za tehnologije *3D printanje* i *4D printanje* pokazuje se značajnije odstupanje od prosjeka (mjerom standardne devijacije).

Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privicima 6. i 7.

Provedbom preliminarne deskriptivne statističke analize *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te *Disruptivnih digitalnih tehnologija*, utvrđeno je da podatci nemaju normalnu razdiobu.

Kako bi se potvrdila uočena odstupanja, normalnost razdiobe dodatno je testirana *Kolmogorov-Smirnov* testom (GraphPad, 2024). Postupak se temelji na usporedbi empirijskih relativnih kumulativnih frekvencija (rcf) i teoretskih relativnih kumulativnih frekvencija (trcf). Postupak je proveden za sve varijable (*Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi, Disruptivne digitalne tehnologije*) te je u konačnici *Kolmogorov-Smirnov* test pokazao značajno odstupanje od normalne razdiobe ($p < 0,001$). S obzirom na obim (grupiranje rezultata prema više tehnologija), nisu prikazani pojedinačni rezultati *Kolmogorov-Smirnov* testa, već samo prethodno naveden ukupan rezultat proizašao iz SPSS računalnog programa. Izvadak *Kolmogorov-Smirnov* testa iz SPSS računalnog programa prikazan je u privitku 8.

Pristupilo se *Neparametrijskom testiranju*, utvrđivanjem *Medijana* i *Interkvartilnog raspona*.

Medijan je srednja vrijednost u nizu skupa podataka poredanih od najmanjeg do najvećeg koja dijeli skup na dva jednaka dijela, i to tako da prvih 50 % elemenata skupa ima vrijednost manju od *Medijana* ili jednaku *Medijanu*, a preostalih 50 % ima vrijednost obilježja veću od *Medijana* ili jednaku *Medijanu* (Hrvatska enciklopedija, 2024).

Interkvartilni raspon je mjera raspršenosti podataka. Definira se pomoću kvartila. Smisao kvartila jest istaknuti broj koji dijeli uređeni niz podataka na dva dijela tako da jedan dio sadržava četvrtinu podataka, a drugi dio tri četvrtine podataka, svi podatci iz prvog dijela nisu veći od podataka iz drugog dijela. Razlikuju se dva kvartila koja se primjenjuju pri izračunu *Interkvartilnog raspona*: donji kvartil, koji se označava s Q_1, i gornji kvartil, koji se označava s Q_3 (Oxford Brookes University, 2024) Donji kvartil dijeli statistički niz na četiri jednaka dijela u omjeru 1:3, odnosno 25 % elemenata statističkog skupa ima vrijednost obilježja manju od donjeg kvartila, a 75 % elemenata statističkog skupa ima vrijednost obilježja veću od donjeg kvartila (Stedy, 2024). Gornji kvartil dijeli statistički niz na četiri jednaka dijela u omjeru 3:1, odnosno 75 % elemenata statističkog skupa ima vrijednost obilježja manju od gornjeg kvartila, a 25 % elemenata statističkog skupa ima vrijednost obilježja veću od gornjeg kvartila (Stedy, 2024).

U tablicama 9. i 10. prikazani su rezultati deskriptivne statističke analize *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te *Disruptivnih digitalnih tehnologija* (medijan i interkvartilni raspon). Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privicima 9. i 10.

Tablica 9. Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava – medijan i interkvartilni raspon

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni raspon
1.	Automatski navođena vozila	4	1,0
2.	Sustav automatiziranog ulaza i izlaza	4	1,0
3.	LTE	4	0,0
4.	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	4	1,0
5.	Skeneri (X ray, laser)	4	1,0

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni raspon
6.	Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama	4	1,0
7.	Termovizijske kamere	4	1,0
8.	3G i 4G mobilne mreže	4	1,0
9.	WIFI bežična mreža	4	1,0
10.	Optičko prepoznavanje znakova	4	1,0
11.	Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	4	1,0
12.	Automatizirane slagališne dizalice	4	1,0
13.	Sustav za praćenje kontejnera	3	1,0
14.	Sustav za rezervaciju vozila	3	1,0
15.	Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka	3	1,0
16.	CCTV sustav	3	1,0
17.	Elektronička razmjena podataka	3	1,0
18.	QR kod	3	1,0
19.	Bežična senzorska mreža	3	1,0
20.	Bar kod	3	1,0
21.	Automatizirani traktor	3	2,0
22.	Komunikacija bliskog polja	3	1,0
23.	Bluetooth	3	2,0
24.	Pristup mobilnim uređajem	3	2,0
25.	Automatizirani viličar	3	0,0
26.	ID kartica	3	2,0

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Raspon vrijednosti *Medijana* za *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* kreće se od 3 do 4. Niže vrijednosti *Medijana*, odnosno vrijednosti umjerene važnosti odnose se na tehnologije od *Sustava za praćenje kontejnera* do *ID kartica*, za koje je polovica ispitanika utvrdila da su do umjereno važne. Uz nešto niže, ali nereprezentativno

kvartilno odstupanje, digitalne tehnologije i sustavi: *Automatizirani traktor*, *Bluetooth*, *Pristup mobilnim uređajem* i *ID kartica*, nisu prikladne za daljnju analizu u kontekstu uključivanja u scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, a zbog velikog odstupanja u odnosu na svoje vrijednosti.

Najviše vrijednosti *Medijana* (4) imaju sljedeće tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi: *Automatski navođena vozila*, *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, LTE, Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija, Skeneri (X ray, laser), Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama, Termovizijske kamere, 3G i 4G mreže, WIFI bežična mreža, Optičko prepoznavanje znakova, Sustavi lociranja u stvarnom vremenu, Automatizirane slagališne dizalice.*

Ostale *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* imaju *Medijan* jednak 3 pa su stručnjaci prema tim tehnologijama pokazali da ih smatraju do umjereno važnim.

Tablica 10. Deskriptivna statistička analiza disruptivnih tehnologija – medijan i interkvartilni raspon

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni raspon
1.	5G mobilna mreža	5	1
2.	Internet stvari	5	1
3.	Računalni vid	5	1
4.	Umjetna inteligencija	4	1
5.	Konverzacijska korisnička sučelja	4	1
6.	Digitalni blizanac	4	1
7.	Veliki podatci	4	1
8.	Dronovi	4	1
9.	Inteligentne kamere	4	1
10.	Sučelje čovjek-stroj	4	1
11.	Proširena stvarnost	4	1
12.	Autonomna vozila	4	1
13.	Virtualna stvarnost	4	0
14.	Napredna analitika	4	0
15.	Strojno učenje	4	1
16.	Pametni senzori	4	0
17.	Mješovita stvarnost	4	1

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni raspon
18.	Neuronska mreža	4	1
19.	Nulta latencija	4	1
20.	6G mobilna mreža	4	1
21.	Autonomni mobilni roboti	4	1
22.	Mobilno računalstvo	4	1
23.	Generativna umjetna inteligencija	4	1
24.	Tehnologija ulančanih blokova	4	1
25.	Rubno računalstvo	4	1
26.	Kibernetičko fizički sustavi	4	1
27.	Proširena povezana radna snaga	4	1
28.	Biometrijsko prepoznavanje	4	1
29.	Kvantno računalstvo	3	1
30.	Homomorfna enkripcija	4	1
31.	Napredna robotika	3	1
32.	Dubinsko učenje	3	1
33.	3D printanje	3	2
34.	4D printanje	3	1

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Disruptivne digitalne tehnologije imaju visoku vrijednost *Medijana*. Indiferentan stav stručnjaci su iskazali samo prema *Naprednoj robotici, Dubinskom učenju, 3D printanju i 4D printanju*, prema kojima polovica ispitanika ima stav od nevažnog do umjereno važnog. Sve navedene tehnologije, osim *3D printanja*, imaju nizak *Interkvartilni raspon*. Apsolutno iznimno važne svim stručnjacima su sljedeće disruptivne digitalne tehnologije: *5G mobilna mreža, Internet stvari i Računalni vid*, uz interkvartilni raspon od 1, što označava odgovarajuću reprezentativnost *Medijana*.

Nakon provedene preliminarne statističke analize, valjalo je pristupiti detaljnoj analizi odgovora prikupljenih od stručnjaka, što je učinjeno u nastavku.

5.2.1.2. Multivarijatna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih digitalnih tehnologija – primjena metode aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje

Analizom je obuhvaćen kompleksan skup podataka (varijabli). Provedena je evaluacija koja uključuje više varijabli: tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi, disruptivne digitalne tehnologije te kriteriji (koji će se razmatrati kasnije u doktorskom radu). Nadalje, u evaluaciji je prikupljeno 107 valjanih odgovora stručnjaka, a svaki stručnjak evaluirao je prethodno navedeno prema definiranoj Likertovoj skali.

Stoga je potrebno primijeniti ***Multivarijatnu statističku analizu*** (engl. *Multivariate statistical analysis*), kako bi se pored provedene preliminarne deskriptivne statističke analize, provela dubinska analiza skupa podataka te postigao cilj evaluacije: identificiranje najvažnijih tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih tehnologija za tranziciju u *pametnu luku* te identificiranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku*. Primjenom *Multivarijatne statističke analize*, dodatno će se ispitati rezultati deskriptivne statističke analize, kako bi se utvrdilo jesu li tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi te disruptivne digitalne tehnologije identificirane deskriptivnom analizom konačan odabir stručnjaka te ulaze li kao takve u kreiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Primjena *Univarijatne statističke analize* nije moguća s obzirom da se ne analizira samo jedna varijabla, dok *Bivarijatna statistička analiza* nije primjenjiva s obzirom da se ne provodi komparacija dviju varijabli. *Multivarijatnom statističkom analizom* istovremeno se promatra i analizira više od dvije varijable (University of West Georgia, 2024).

Uzimajući u obzir više varijabli istovremeno, *Multivarijatna statistička analiza* pruža sveobuhvatnu analizu složenih skupova podataka (Statgraphics, 2024). *Multivarijatna statistička analiza* omogućava ispitivanje interakcija i ovisnosti između varijabli te utjecaja na konačan ishod evaluacije (Statgraphics, 2024). Nadalje, *Multivarijatna statistička analiza* omogućava grupiranje varijabli kako bi se smanjio ukupan broj čime se pojednostavljuje analiza (Statgraphics, 2024).

Razlikuju se dvije skupine metoda *Multivarijatne statističke analize*: *Zavisne* (engl. *Dependence methods*) i *Međuzavisne* (engl. *Interdependence methods*). *Zavisne metode* koriste se kada jedna ili neke varijable ovise o drugima, na principu uzroka i posljedice. To bi značilo utvrditi mogu li vrijednosti dviju ili više nezavisnih varijabli mogu koristiti za objašnjenje, opisivanje ili predviđanje vrijednosti druge zavisne varijable (CF, 2023). *Međuzavisne metode* koriste se za razumijevanje strukture i temeljnih obrazaca unutar skupa podataka. S obzirom da niti jedna varijabla ne ovisi o drugima, ne traže se uzročno-posljedične veze. Umjesto toga, *Međuzavisne metode* nastoje dati značenje skupu varijabli ili ih grupirati zajedno (CF, 2023).

S obzirom da se u evaluaciji odgovora stručnjaka ne traže uzročno-posljedične veze među varijablama, primijenit će se **Međuzavisna metoda**. U skupu Multivarijatnih statističkih metoda, manji je broj *Međuzavisnih metoda* u odnosu na *Zavisne metode*.

Stoga je u nastavku analizirano nekoliko međuzavisnih metoda kako bi se odabrala najprikladnija.

Analiza glavnih komponenti (engl. *Principal Component Analysis* - PCA) metoda je u kojoj se skup podataka (varijabli) dijeli na manje skupove, odnosno glavne komponente. Cilj je utvrditi maksimalnu varijancu u podatcima podijeljenim u manje skupove, čime je olakšana analiza. Često se primjenjuje za prethodnu obradu (tzv. čišćenje) podataka. Smanjenjem velikog skupa podataka na manje komponente, minimizira se ili potpuno eliminira uobičajene probleme kao što su multikolinearnost. Multikolinearnost se javlja kada su dvije ili više neovisnih varijabli međusobno visoko korelirane (IBM, 2023).

Faktorska analiza (engl. *Factor analysis*): metoda koja se koristi za analizu odnosa između skupa promatranih podataka (varijabli) objašnjavajući korelacije između njih u smislu manjeg broja varijabli koje se nazivaju faktori (Statistics Solutions, 2024). Na taj način bilježi maksimalnu zajedničku varijancu među varijablama i sažima ih u jedinstvenu ocjenu, koja se kasnije može koristiti za daljnju analizu. Faktorska analiza djeluje pod nekoliko pretpostavki: linearnost u odnosima, odsutnost multikolinearnosti među varijablama, uključivanje relevantnih varijabli u analizu te prave korelacije između varijabli i čimbenika (Statistics Solutions, 2024).

Klaster analiza (engl. *Cluster analysis*): metoda je rudarenja podataka koja grupira slične objekte (varijable) unutar skupa podataka. Cilj klaster analize je podijeliti skup objekata u klastere tako da su u svakom klasteru grupirani slični objekti (varijable). Često se koristi za istraživačku analizu podataka, s obzirom da omogućava prepoznavanje obrazaca ili odnosa unutar podataka koji nisu odmah očiti primjenom preliminarne deskriptivne statističke analize. Klasteriranje se provodi primjenom metoda klasteriranja (hijerarhijsko i nehijerarhijsko klastreriranje), a odabir ovisi o specifičnim zahtjevima analize i obilježjima podataka koji se analiziraju (Statistics Solutions, 2024).

Višedimenzionalno skaliranje (engl. *Multidimensional scaling*) je statistička tehnika koja se koristi u vizualizaciji podataka kako bi se smanjila složenost velikog skupa podataka (varijabli). Skup se grafički prikazuje s dvjema dimenzijama (dvije osi) unutar kojih se varijable grupiraju po sličnosti ili različitosti, bez prikaza redoslijeda kojim su varijable grupirane. Obično se koristi u istraživanju tržišta, društvenim znanostima i drugim područjima koja zahtijevaju grafičku vizualizaciju podataka (Statgraphics, 2024).

S obzirom na značajke prikupljenih podataka, cilj prikupljanja i analize podataka te značajke prethodno analiziranih metoda, odabrana je metoda ***Klaster analiza.*** *Analiza glavnih komponenti* nije primjenjiva s obzirom da nije cilj razdvajanje skupa podataka na manje komponente, kako bi se potom utvrdila maksimalna varijanca te nije cilj niti predobrada podataka. *Faktorska analiza* nije primjenjiva s obzirom da cilj nije izdvajanje faktora-varijabli iz skupa promatranih varijabli te nije cilj dobivanje zajedničke ocjene

varijabli. *Višedimenzionalno skaliranje* nije primjenjivo s obzirom da se ne teži samo grafičkom prikazu već detaljnijem uvidu u grupiranje podataka (varijabli).

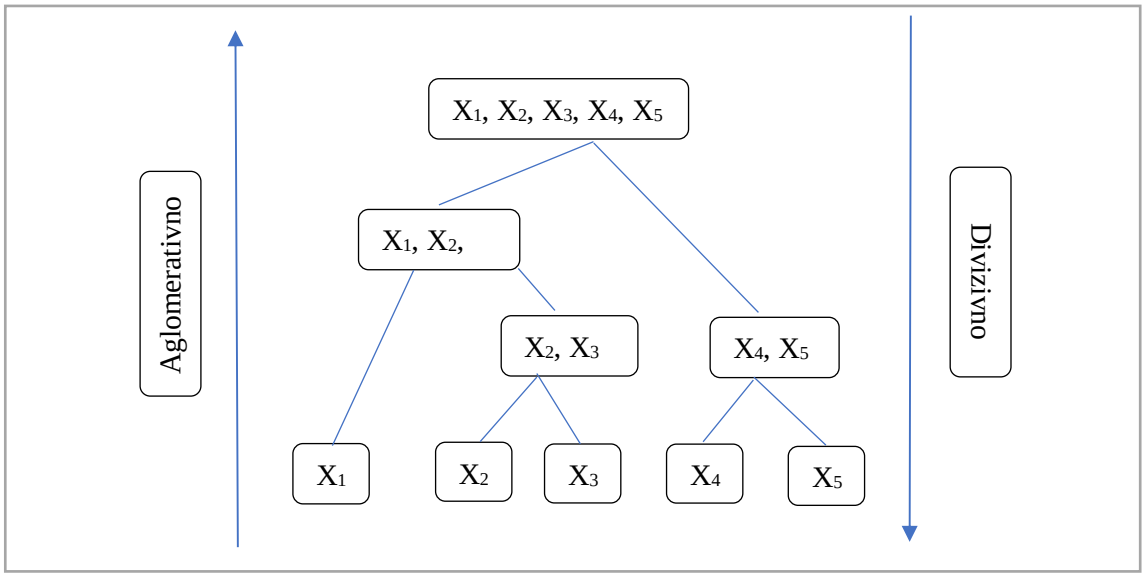
U nastavku slijedi najprije opis *Klaster analize*, a potom konkretna primjena u analizi tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih tehnologija.

S obzirom na specifičnosti u terminologiji *Klaster analize*, u nastavku se za varijable koristi termin *objekt*. Objekti *Klaster analize* u doktorskom radu su: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije* i kriteriji. *Klaster analiza* dijeli se na: *Hijerarhijske metode klasteriranja i Nehijerarhijske metode klasteriranja*. *Hijerarhijske metode klasteriranja* se izvode nizom uzastopnih spajanja ili dijeljenja objekata (podataka) te se stoga mogu podijeliti na *Aglomerativne*, odnosno zbirne ili *Divizivne* odnosno dijeleće (Roux, 2018).

U *Aglomerativnoj metodi* polazi se od pojedinog objekta, odnosno u prvom koraku svaki objekt čini jedan klaster. Nakon toga se dva najsličnija objekta grupiraju u jedan klaster. Zatim se svakom klasteru dodaje novi objekt ili se druga dva pojedina objekta grupiraju u novi klaster. Inicijalne grupe se tada dalje spajaju prema međusobnim sličnostima toliko dugo dok se sve podgrupe (svi objekti) ne sjedine u jedan klaster (Roux, 2018).

U *Divizivnoj metodi* postupak je drugačiji. Polazi se od svih objekata udruženih u jedan klaster, te ih zatim dijeli u dvije podgrupe, tako da su objekti u jednoj grupi što udaljeniji, odnosno različitiji od objekata u drugoj grupi. Dijeljenje se nastavlja sve dok svaki pojedini objekt ne čini zaseban klaster, odnosno dok broj klastera ne bude jednak broju objekata (Roux, 2018). Na shemi 4. prikazano je aglomerativno i divizivno klasteriranje.

Shema 4. Aglomerativno i divizivno hijerarhijsko klasteriranje



Izvor: Izradila doktorandica

Nehijerarhijske metode koriste se za grupiranje objekata u klasterima bez stvaranja hijerarhije klastera (Nakayama, 2020). Često se naziva "klasteriranje k-srednjih vrijednosti" (engl. *K-means clustering*) (Nakayama, 2020). Preduvjet provedbe *Nehijerahijskog klasteriranja* je podjela u klastere te određivanje centroida (glavne točke u svakom klasteru). Za svaki objekt u klasterima izračunava se udaljenost od definiranog centroida. Postupak se ponavlja dok ne postoje više značajne razlike udaljenosti. Konačan rezultat pokazuje grupiranje objekata u klastere. Dva glavna nedostatka *Nehijerarhijske metode* su broj klastera koji mora biti unaprijed specificiran i te proizvoljan izbor centara klastera. Rezultati klasteriranja mogu ovisiti o tome kako su centri odabrani. Nehijerarhijski proces brži je od hijerarhijskog procesa.

Za analizu odgovora stručnjaka primijenit će se ***Hijerarhijsko klasteriranje; Metoda aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja***. Za razliku od *Nehijerahijskog klasteriranja*, tijekom procesa klasteriranja nema utjecaja na broj klastera i na definiranje centroida, čime nema utjecaja na konačan rezultat klasteriranja. Iako je *Hijerarhijsko klasteriranje* računalno intenzivno za vrlo velike skupove podataka, prikladno je za male do srednje velike skupove podataka, kao što je i skup podataka koji se analizira u doktorskom radu (tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi, disruptivne digitalne tehnologije te kriteriji).

Kako bi se provelo *Aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje* potrebno je odabrati prikladnu *Metodu spajanja*, kojima se određuje način spajanja objekata u klasterima odnosno način formiranja klastera. Osnovne metode jesu (Medium, 2023):

- *Metode povezivanja* (engl. *Linkage methods*): jednostruko povezivanje potpuno povezivanje, prosječno povezivanje,
- *Centroidna metoda* (engl. *Centroid method*)
- *Wardova metoda* – metoda varijance (engl. *Ward method*).

U nastavku slijedi detaljnije pojašnjenje navedenih metoda. Navedene metode koriste se za određivanje načina na koji će se objekti u klasterima povezivati u svakom koraku aglomerativnog klasteriranja.

Metode povezivanja uključuju 3 načina povezivanja i formiranja klastera:

Jednostruko povezivanje (engl. *Single-linkage method ili Nearest-neighbor method*) je metoda minimalne udaljenosti u kojoj su prva dva grupirana objekta oni koji imaju najmanju međusobnu udaljenost. Identificira se sljedeća najkraća udaljenost. U svakoj fazi klasteriranja, udaljenost između dva klastera je udaljenost između dva najbliža objekta u svakom klasteru (Medium, 2023).

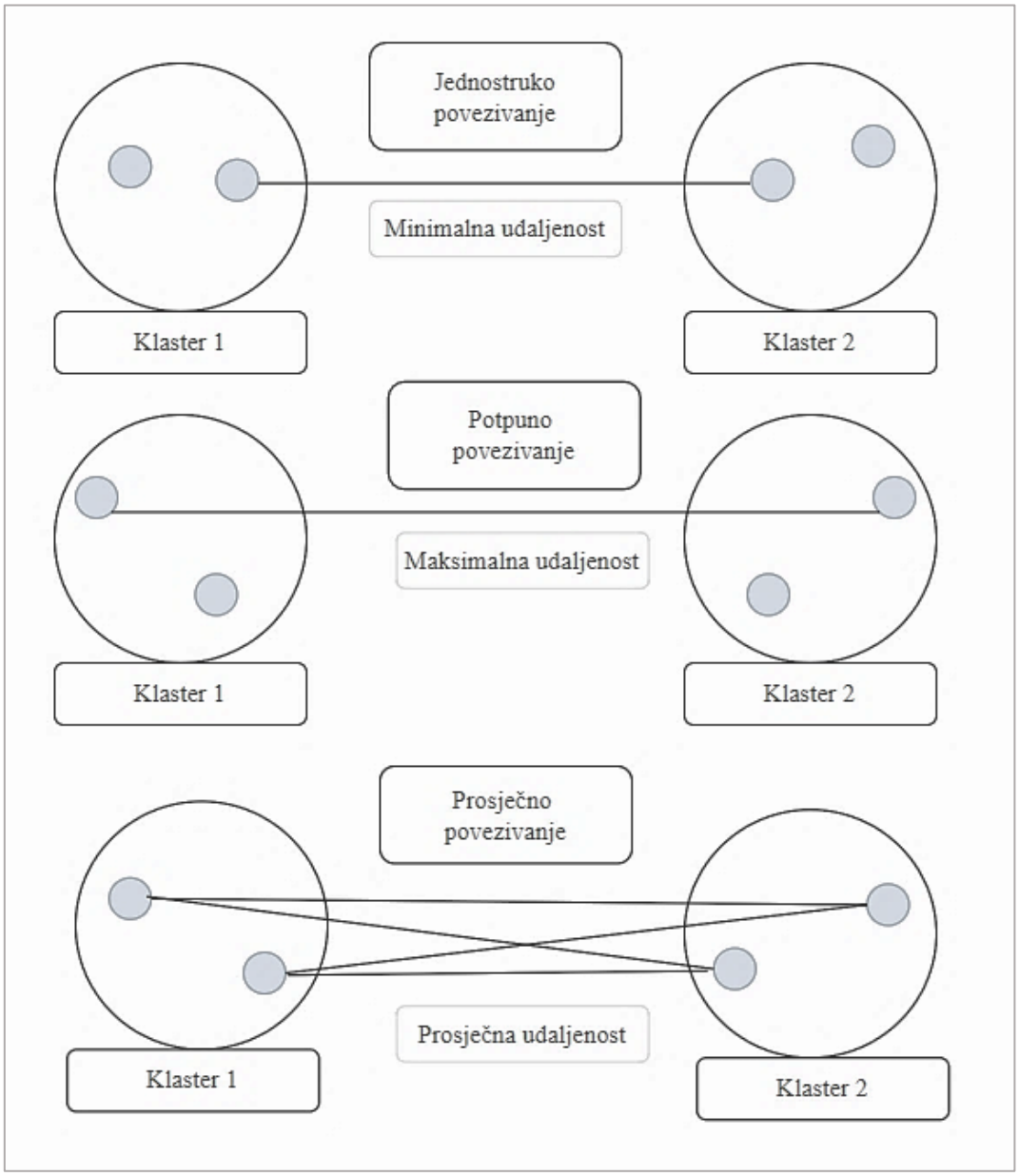
Potpuno povezivanje (engl. *Complete-linkage method ili Farthest-neighbor method*) je metoda maksimalne udaljenosti temelji se na najvećoj udaljenosti u kojoj su prva dva grupirana objekta oni koji imaju najveću međusobnu udaljenost. Identificira se

sljedeća najveća udaljenost. U svakoj fazi klasteriranja, udaljenost između dvaju klastera je udaljenost između dvaju najudaljenija objekta u svakom klasteru (Medium, 2023).

Prosječno povezivanje (engl. *Average linkage*): metoda prosječne udaljenosti. Udaljenost između dvaju klastera je definirana kao prosjek udaljenosti između svih parova objekata, gdje je jedan član iz svakog klastera. Metoda prosječnog povezivanja koristi informacije o svim parovima udaljenosti, a ne samo o minimalnu ili maksimalnu udaljenost (Medium, 2023).

Na shemi 5. u nastavku prikazane su 3 metode povezivanja.

Shema 5. *Metode povezivanja*



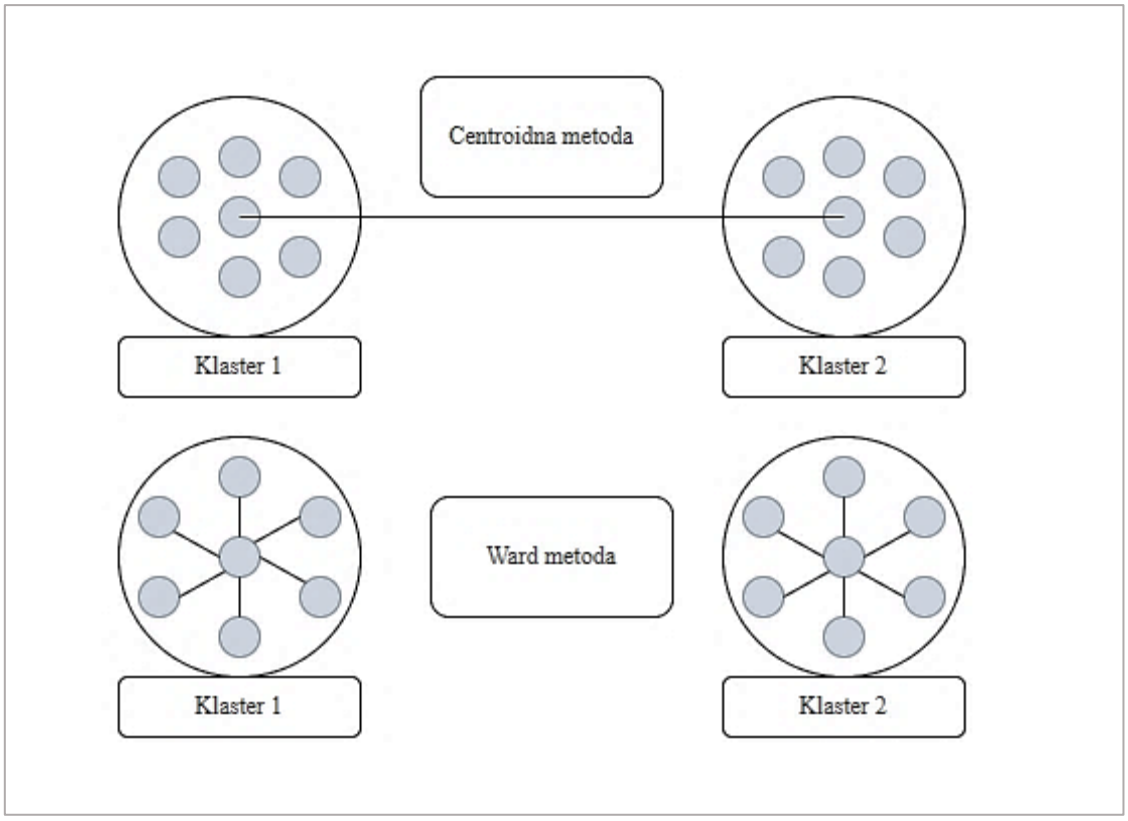
Izvor: Izradila doktorandica

Centroidna metoda mjeri udaljenost između dvaju klastera tako što mjeri udaljenost između njihovih težišta (srednje vrijednosti za sve objekte u klasteru). Dodavanjem novih objekata u procesu klasteriranja, mijenja se vrijednost centroida (Applied Singularity, 2024). (Shema 5.)

Wardova metoda - metoda varijance (PennState Eberly College of Science, 2024) za svaki klaster izračunavaju se srednje vrijednosti za sve objekte. Za svaki objekt izračunava se *Kvadrat euklidskih udaljenosti* (pojašnjeno u nastavku u mjerama udaljenosti) do klastera. U svakoj fazi, dva klastera s najmanjim povećanjem ukupnog

zbroja kvadrata unutar udaljenosti klastera se kombiniraju. *Wardova metoda* se razlikuje od prethodnih metoda po tome što pri spajanju klastera analizira varijancu između objekata te se stoga naziva još i metoda minimalne varijance. U svakom koraku se spajaju ona dva klastera za koja je porast ukupne sume kvadrata po svim objektima u svim klasterima minimalna. *Wardova metoda* se smatra efikasnom jer doprinosi kreiranju klastera s malim brojem objekata i s približno jednakim brojem objekata u svakom klasteru. (Shema 6.)

Shema 6. Prikaz *Centroidne* metode i *Ward* metode



Izvor: Izradila doktorandica

S obzirom na značajke prethodno opisanih metoda, u analizi će se primijeniti *Metoda aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*.

Nadalje, bitan element *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja* je *Mjera udaljenosti*, kojima se mjeri udaljenost među objektima koji su predmet klasteriranja**.** Mjere udaljenosti su zapravo mjere različitosti, jer veća vrijednost predstavlja manju sličnost (Datanovia, 2021). *Mjera udaljenosti* predstavljena je koeficijentom udaljenosti objekata u klasteru.

Euklidska udaljenost temelji se na *Pitagorinom teoremu* i mjeri udaljenost u ravnoj liniji između dvaju objekta (dviju podatkovnih točki) u višedimenzionalnom

prostoru. *Euklidska udaljenost* je prikladna za klaster analizu kada su objekti (podatkovne točke) ravnomjerno raspoređeni i imaju iste ili slične skale (Datanovia, 2021).

Manhattan udaljenost mjeri zbroj apsolutnih razlika između koordinata dviju podatkovnih točaka. *Manhattan udaljenost* korisna je za analizu klastera kada objekti (podatkovne točke) imaju različita mjerila ili mjerne jedinice (Datanovia, 2021).

Izbor metode klasteriranja i izbor mjere udaljenosti su međusobno povezani. Na primjer, kvadrat *Euklidskih udaljenosti* trebao bi se koristiti s *Wardovom* i *Centroidnom* metodom. S obzirom na značajke analiziranih metoda i mjera udaljenosti, u analizi će se primijeniti ***Wardova metoda aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja i Euklidska udaljenost***.

Vizualni prikaz udaljenosti na kojoj su klasteri kombinirani prikazan je grafikonom naziva "dendrogram", koji se može prikazati vodoravno ili okomito. U doktorskom radu prikazan je okomito te stoga os x predstavlja udaljenost u klasterima, a os y predstavlja objekte u klasterima. Linije prikazuju spojene klastere. Položaj linije na ljestvici označava udaljenost na kojoj su klasteri spojeni, iako se udaljenosti preračunavaju na odgovarajući raspon tako da se na dendrogramu ne vide stvarne udaljenosti. Iz računalnog programa SPSS dobiva se konačan raspored tehnologija i kriterija grupiranih u klastere, za što se iz programa generira posebna tablica. dendrogramu prethodi tzv. Plan aglomeracije u kojem se računalno primjenom *Wardove metode* i *Euklidske udaljenosti* objekti formiraju u klastere.

U nastavku slijedi analiza rezultata evaluacije digitalnih tehnologija iz kategorija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije*, primjenom *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*. Podatci su transformirani u kvadrat *Euklidskih udaljenosti*, koji su naknadno podvrgnuti *Wardovoj metodi* hijerarhijskog grupiranja. Wardov postupak je metoda varijance koja pokušava generirati klastere kako bi se smanjila varijanca unutar klastera. Za svaki klaster izračunavaju se srednje vrijednosti za sve objekte unutar kategorija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije*. Zatim se za svaki objekt izračunava kvadrat *Euklidske udaljenosti* do srednje vrijednosti klastera. Ove se udaljenosti zbrajaju za sve objekte. U svakoj fazi kombiniraju se dva klastera s najmanjim povećanjem ukupnog zbroja kvadrata unutar udaljenosti klastera.

Postupak klasteriranja tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava započet je sa 26 objekata (broj tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava uvrštenih u analizu). Klasteri su zatim spajani na temelju kriterija specifičnih za prethodno navedenu odabranu *Ward metodu* i *Euklidsku udaljenost*. U tablici 11. u nastavku prikazan je plan aglomeracije *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava*. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 11.

Kako bi se proveo postupak klasteriranja u SPSS računalnom programu, za *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* zadan je minimalan početni broj klastera, dva klastera. U svakom redu prikazane su kombinacije *Tradicionalnih digitalnih*

tehnologija i sustava iz dvaju klastera. Koeficijenti prikazani u tablici 11. predstavljaju udaljenost između objekata u dva klastera, u svakoj fazi klasteriranja.

Tablica 11. Plan aglomeracije tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava

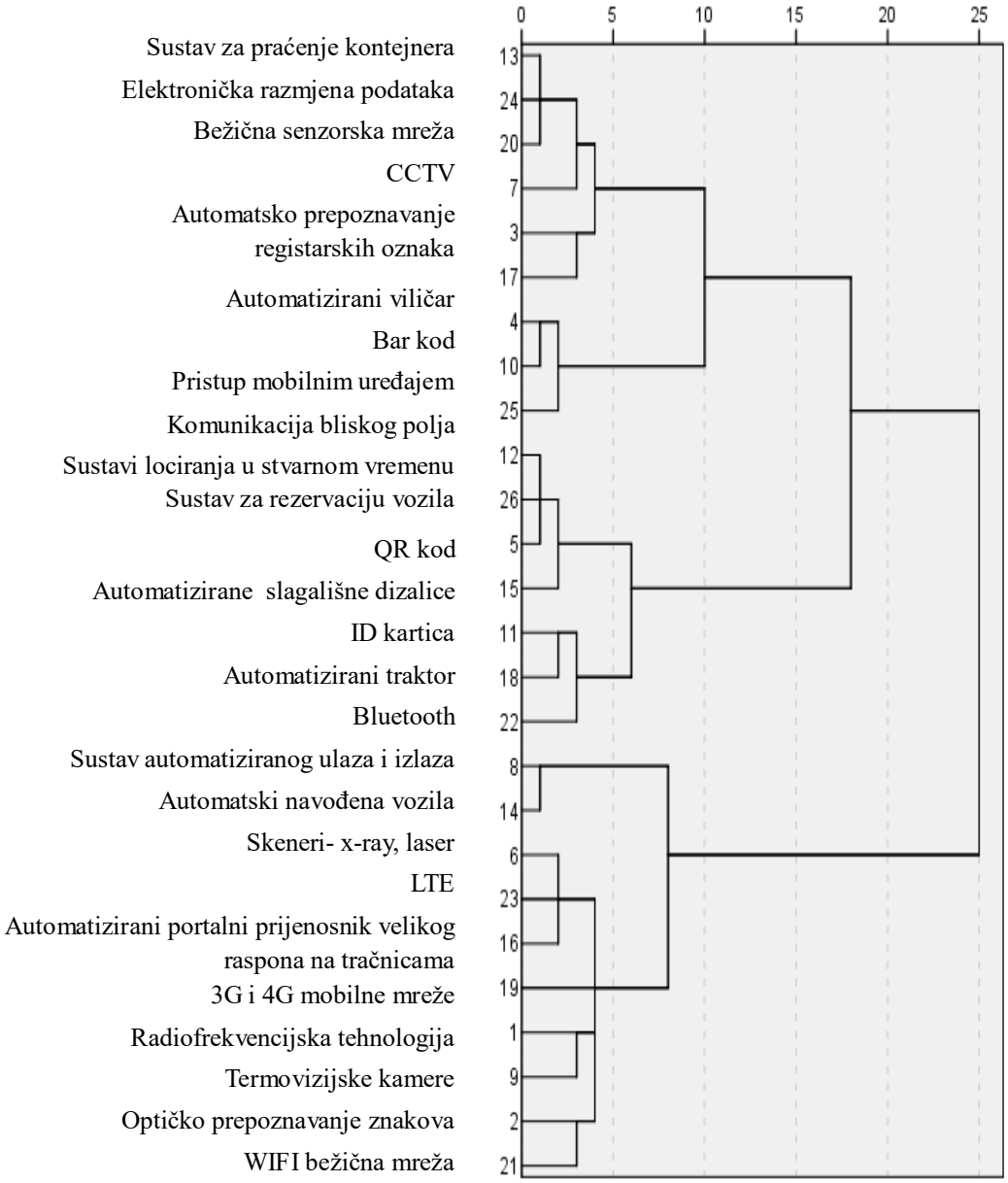
Kombinacije klastera				Prva faza klastera		
Faza	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Koeficijenti**	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Sljedeća Faza**
1	13	24	18,500	0	0	2
2	13	20	45,333	1	0	15
3	8	14	73,833	0	0	22
4	12	26	103,333	0	0	6
5	4	10	134,333	0	0	11
6	5	12	166,167	0	4	7
7	5	15	200,083	6	0	21
8	6	23	241,583	0	0	10
9	11	18	284,583	0	0	14
10	6	16	328,417	8	0	17
11	4	25	373,417	5	0	23
12	1	9	419,917	0	0	18
13	3	17	470,417	0	0	20
14	11	22	522,083	9	0	21
15	7	13	575,250	0	2	20
16	2	21	633,750	0	0	18
17	6	19	697,167	10	0	19
18	1	2	764,167	12	16	19
19	1	6	834,042	18	17	22
20	3	7	904,208	13	15	23
21	5	11	999,435	7	14	24
22	1	8	1121,510	19	3	25
23	3	4	1268,121	20	11	24
24	3	5	1524,387	23	21	25
25	1	3	1878,885	22	24	0

Izvor: Rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

U prvoj fazi klasteriranja grupirani su *Sustav za praćenje kontejnera* i *Elektronička razmjena podataka*, ali je već u drugoj fazi kombinirano s *Bežičnom senzorskom mrežom*. U trećoj fazi grupirani su *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* i *Automatski navođena vozila*. Nakon 3. faze došlo je do takozvanog *loma,* odnosno naglog povećanja vrijednosti koeficijenta na 103,33. Povećanje koeficijenta između dviju faza ukazuje da se dio *Tradicionalnih tehnologija i sustava* grupirao i izdvojio u zaseban klaster u odnosu na ostale tehnologije te da se nadalje formiraju drugi klasteri tehnologija.

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi koji su se grupirali prije naglog povećanja koeficijenta, uzimaju se kao najrelevantniji u analizi. Stoga, s aspekta statističke značajnosti te s obzirom da se proces klasteriranja provodi primjenom računalnog programa SPSS što u konačnici rezultira formiranjem klastera, ostala grupiranja tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava po fazama neće se zasebno razmatrati. Proces klasteriranja *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* prikazan je dendrogramom u nastavku (Grafikon 9.). Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 12.

Grafikon 9. Dendrogram procesa klasteriranja tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava



Izvor: Rezultat obrade korištenjem računalnog programa SPSS

Provedbom *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* grupirani su u klastere kako je prikazano u tablici 12. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 13.

Tablica 12. Grupiranje tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava u klastere

R.br.	Tehnologija	Klaster
1.	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	1
2.	Optičko prepoznavanje znakova	1
3.	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica	2
4.	Bar kod	3
5.	QR kod	4
6.	Skeneri (X ray, laser)	1
7.	CCTV sustav	2
8.	Sustav automatiziranog ulaza i izlaza	5
9.	Termovizijske kamere	1
10.	Pristup mobilnim uređajem	3
11.	ID kartica	4
12.	Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	4
13.	Sustav za praćenje kontejnera	2
14.	Automatski navođena vozila	5
15.	Automatizirane slagališne dizalice	4
16.	Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama	1
17.	Automatizirani viličar	2
18.	Automatizirani traktor	4
19.	3G i 4G mobilne mreže	1
20.	Bežična senzorska mreža	2
21.	WIFI bežična mreža	1
22.	Bluetooth	4
23.	LTE	1
24.	Elektronička razmjena podataka	2
25.	Komunikacija bliskog polja	3
26.	Sustav za rezervaciju vozila	4

Izvor: Rezultat obrade korištenjem računalnog programa SPSS

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi grupirani su u 5 klastera:

- Klaster 1: *Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija, Optičko prepoznavanje znakova*, *Skeneri (X ray, laser)*, *Termovizijske kamere*,

Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama, *3G i 4G mobilne mreže*, WIFI bežična mreža

- Klaster 2: *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica, CCTV sustav, Sustav za praćenje kontejnera, Automatizirani viličar, Bežična senzorska mreža, Elektronička razmjena podataka, LTE*
- Klaster 3: *Bar kod*, *Pristup mobilnim uređajem*, *Komunikacija bliskog polja*
- Klaster 4: *QR kod, ID kartica, Sustavi lociranja u stvarnom vremenu, Automatizirane slagališne dizalice, Automatizirani traktor, Bluetooth, Sustav za rezervaciju vozila*
- Klaster 5: *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza i Automatski navođena vozila*.

S obzirom na prosječne ocjene *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te s obzirom na njihovo grupiranje u istom klasteru (Klaster 5), potvrđuje se da stručnjaci *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* i *Automatski navođena vozila* smatraju najvažnijim za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Postupak klasteriranja *Disruptivnih digitalnih tehnologija* započet je sa 34 objekta (broj disruptivnih digitalnih tehnologija uvrštenih u analizu). Klasteri su zatim spajani na temelju kriterija specifičnih za prethodno odabranu *Wardovu metodu* i *Euklidsku udaljenost*. U tablici 13. u nastavku, prikazan je plan aglomeracije *Disruptivnih digitalnih tehnologija*. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 14.

Kako bi se proveo postupak klasteriranja u SPSS računalnom programu, za *Disruptivne digitalne tehnologije* zadan je minimalno potreban broj klastera, dva klastera. U svakom redu prikazane su kombinacije *Disruptivnih digitalnih tehnologija* iz dvaju klastera. Koeficijenti prikazani u tablici 13. predstavljaju udaljenost između dvaju klastera u svakoj fazi.

Tablica 13. Plan aglomeracije disruptivnih digitalnih tehnologija

Kombinacije klastera				Prva faza klastera		
Faza	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Koeficijenti**	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Sljedeća Faza**
1	7	10	18,500	0	0	7
2	8	9	40,000	0	0	7
3	3	5	63,500	0	0	8
4	2	4	87,000	0	0	8
5	14	16	113,000	0	0	14
6	1	6	139,500	0	0	9
7	7	8	168,000	1	2	9
8	2	3	198,500	4	3	13
9	1	7	230,000	6	7	13
10	22	23	262,000	0	0	16
11	29	31	296,000	0	0	21
12	25	26	330,500	0	0	16
13	1	2	366,000	9	8	33
14	11	14	402,667	0	5	20
15	21	24	441,667	0	0	18
16	22	25	480,917	10	12	19
17	15	17	522,917	0	0	20
18	19	21	567,250	0	15	22
19	20	22	612,300	0	16	21
20	11	15	661,633	14	17	22
21	20	29	713,976	19	11	26
22	11	19	769,518	20	18	25
23	27	28	827,518	0	0	26
24	12	13	888,018	0	0	27
25	11	18	949,365	22	0	27
26	20	27	1014,667	21	23	28
27	11	12	1083,944	25	24	31
28	20	32	1156,000	26	0	29
29	20	30	1238,227	28	0	31
30	33	34	1349,227	0	0	32
31	11	20	1477,545	27	29	32
32	11	33	1745,708	31	30	33
33	1	11	2265,353	13	32	0

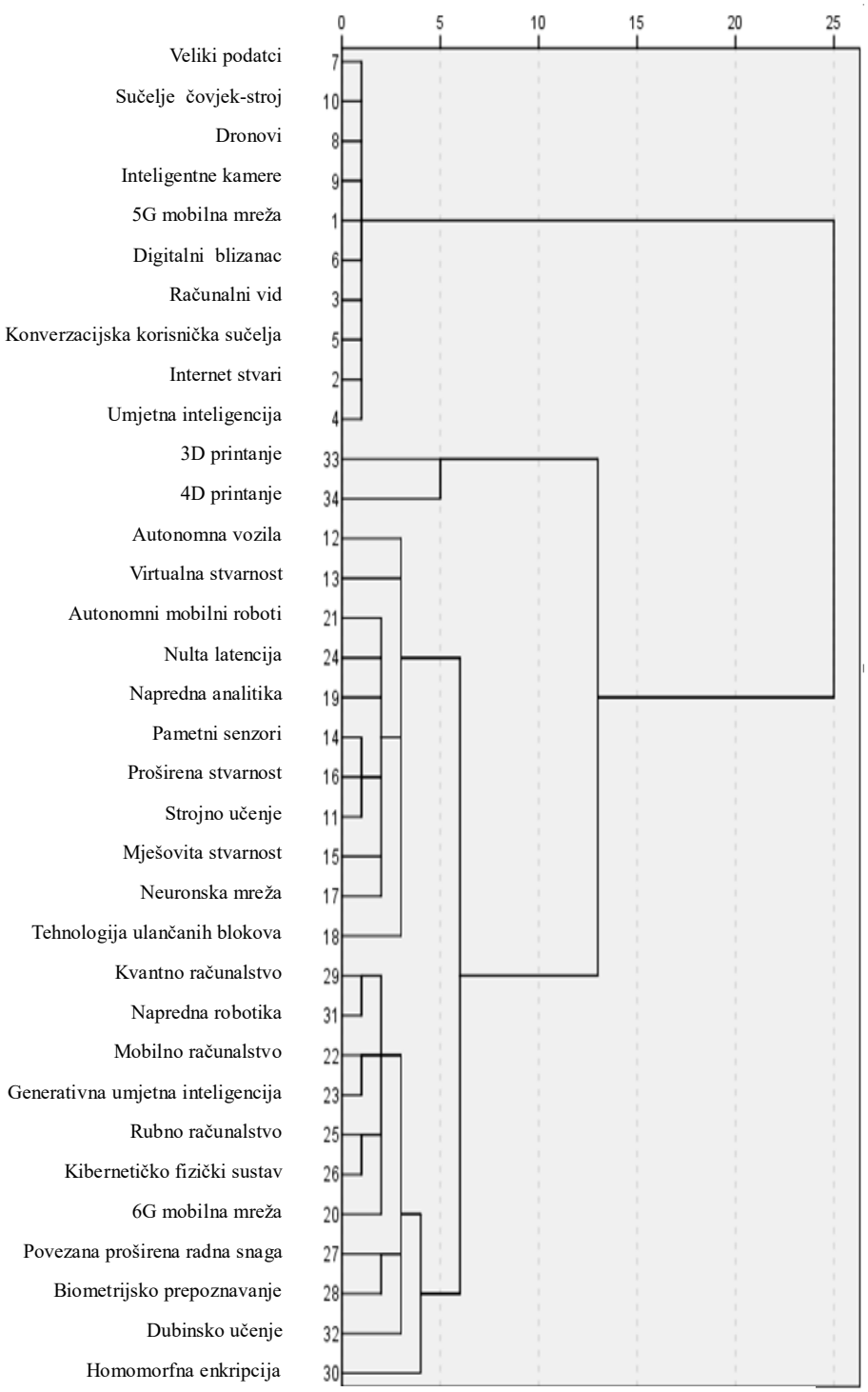
Izvor: Rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

U prvoj fazi klasteriranja grupirani su *Veliki podatci* i *Sučelje čovjek-stroj*. U drugoj fazi klasteriranja grupirani su *Dronovi* i *Inteligentne kamere*. U trećoj fazi

grupirani su *Računalni vid* i *Konverzacijska korisnička sučelja*, a u četvrtoj fazi *Internet stvari* i *Umjetna inteligencija*. Nakon 4. faze došlo je do takozvanog *loma,* odnosno naglog povećanja vrijednosti koeficijenta na 113,000. Povećanje koeficijenta između dviju faza ukazuje da se dio *Disruptivnih digitalnih tehnologija* grupirao i izdvojio u zaseban klaster u odnosu na ostale tehnologije. *Disruptivne digitalne tehnologije* koje su se grupirale prije naglog povećanja koeficijenta uzimaju se kao najrelevantnije u analizi. Stoga, s aspekta statističke značajnosti te s obzirom da se proces klasteriranja provodi primjenom računalnog programa SPSS što u konačnici rezultira formiranjem klastera, ostala grupiranja *Disruptivnih digitalnih tehnologija* po fazama neće se zasebno razmatrati.

Proces klasteriranja *Disruptivnih digitalnih tehnologija* prikazan je dendrogramom u nastavku (Grafikon 10.). Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 15.

Grafikon 10. Dendrogram procesa klasteriranja disruptivnih digitalnih tehnologija



Izvor: Rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Provedbom postupka *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, *Disruptivne digitalne tehnologije* grupirane su u klastere kako je prikazano u tablici 14. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 16.

Tablica 14. Grupiranje disruptivnih digitalnih tehnologija u klastere

R.br.	Tehnologija	Klaster
1.	5G mobilna mreža	1
2.	Internet stvari	1
3.	Računalni vid	1
4.	Umjetna inteligencija	1
5.	Konverzacijska korisnička sučelja	1
6.	Digitalni blizanac	1
7.	Veliki podatci	1
8.	Dronovi	1
9.	Inteligentne kamere	1
10.	Sučelje čovjek-stroj	1
11.	Proširena stvarnost	2
12.	Autonomna vozila	2
13.	Virtualna stvarnost	2
14.	Napredna analitika	2
15.	Strojno učenje	2
16.	Pametni senzori	2
17.	Mješovita stvarnost	2
18.	Neuronska mreža	2
19.	Nulta latencija	2
20.	6G mobilna mreža	2
21.	Autonomni mobilni roboti	2
22.	Mobilno računalstvo	2
23.	Generativna umjetna inteligencija	2
24.	Tehnologija ulančanih blokova	2
25.	Rubno računalstvo	2
26.	Kibernetičko fizički sustavi	2
27.	Proširena povezana radna snaga	2
28.	Biometrijsko prepoznavanje	2
29.	Kvantno računalstvo	2
30.	Homomorfna enkripcija	2
31.	Napredna robotika	2
32.	Dubinsko učenje	2
33.	3D printanje	2
34.	4D printanje	2

Izvor: Rezultat obrade korištenjem računalnog programa SPSS

Disruptivne digitalne tehnologije grupirane su u 2 klastera kako slijedi:

- Klaster 1: *Umjetna inteligencija*, *Internet stvari*, *Digitalni blizanac*, *Veliki podatci*, *dronovi*, *5G mobilna mreža*, *Inteligentne kamere*, *Računalni vid*, *Sučelje čovjek-stroj*, *Konverzacijska korisnička sučelja*.
- Klaster 2: *Tehnologija ulančanih blokova, Strojno učenje, Virtualna stvarnost, Proširena stvarnost, Mješovita stvarnost, Neuronska mreža, pametni senzori, 3D printanje, Biometrijsko prepoznavanje, Kibernetičko fizički sustav, Napredna analitika, Autonomni mobilni roboti, Rubno računalstvo, Kvantno računalstvo, Mobilno računalstvo, Dubinsko učenje, Generativna umjetna inteligencija, Homomorfna enkripcija, 6G mobilna mreža, Nulta latencija, 4D printanje, Napredna robotika, Proširena povezana radna snaga, Autonomna vozila.*

S obzirom na rezultate *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, *Disruptivne digitalne tehnologije* grupirane su u 2 klastera. Provedenim *Aglomerativnim hijerarhijskim klasteriranjem*, tehnologije *Proširena stvarnost* i *Autonomna vozila* grupirane su u drugi klaster, što upućuje da su dodatnom dubinskom analizom isključene iz tehnologija ocijenjenih od strane stručnjaka kao najvažnije za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Rezultati *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja* dali su detaljan uvid u digitalne tehnologije i sustave odabrane od strane stručnjaka. Pritom su, kako je prethodno navedeno u analizi rezultata, neke od digitalnih tehnologija i sustava identificirani osnovnom *Deskriptivnom statističkom analizom* isključeni iz odabranih za integriranje u scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Ukupni rezultati pokazuju da stručnjaci za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* najvažnijim smatraju sljedeće *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* te *Disruptivne digitalne tehnologije*: ***Sustav automatiziranog ulaza i izlaza***, ***Automatski navođena vozila***, ***5G mobilna mreža***, ***Internet stvari***, ***Računalni vid***, ***Umjetna inteligencija***, ***Konverzacijska korisnička sučelja***, ***Digitalni blizanac***, ***Veliki podatci***, ***Dronovi***, ***Inteligentne kamere***, ***Sučelje čovjek-stroj.*** Stoga se predmetne tehnologije uzimaju u obzir za kreiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Sve digitalne tehnologije i sustavi opisani su u nastavku pri opisu scenarija. U nastavku slijedi opis scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

5.2.2. Scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* su definirani sukladno prethodno utvrđenim aktivnostima (teretne aktivnosti, administrativne aktivnosti) i poslovnim procesima u lukama (pojašnjeno u poglavlju 5.2.):

- Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*
- Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*
- Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Definirane scenarije čine dvije komponente:

- *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* koji su neophodni za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* iz sljedećih razloga: obveza primjene određenih digitalnih tehnologija i sustava u lukama sukladno zakonima, propisima, regulativama, standardima; značajke i učinci primjene u lukama; integracija aktivnosti, odnosno poslovnih procesa u lukama. Uključuje sljedeće *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* (navedeno u bijelim poljima na shemi 6.): *Informacijski sustav lučke zajednice, Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu, Sustav pomorskog prometa, Sustav upravljanja pomorskim prometom, Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom, Računalstvo u oblaku, Sustav za upravljanje terminalom, Sustav upravljanja internim transportom, Sustav za upravljanje skladištem, Sustav za upravljanje resursima, Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima, Sustavi za potporu odlučivanju*.
- *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* koje su stručnjaci prethodno ocijenili kao ključne za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. Uključuje sljedeće *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustave* te *Disruptivne digitalne tehnologije* (navedeno u plavim poljima na shemi 6.): *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza*, *Automatski navođena vozila*, *5G mobilna mreža*, *Internet stvari*, *Računalni vid*, *Umjetna inteligencija, Konverzacijska korisnička sučelja*, *Digitalni blizanac*, *Veliki podatci*, *Dronovi*, *Inteligentne kamere*, *Sučelje čovjek-stroj*.

Iako su digitalne tehnologije i sustavi međusobno komplementarni u provedbi lučkih aktivnosti, bilo je potrebno rasporediti ih prema njihovoj primarnoj namjeni i u skladu s definiranim scenarijima tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Uključeni su u scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, uzimajući u obzir njihovu primjenjivost u glavnim analiziranim lučkim aktivnostima te poslovnim procesima, a što je pojašnjeno prethodno u poglavlju 5.2.

Važno je napomenuti da se tehnologije u lukama uvode postupno, najčešće pilot-projektima, na temelju kojih se odlučuje hoće li neka digitalna tehnologija biti dalje primijenjena ili će se obustaviti njena implementacija (Brunilla, Kunnala Hyrkki, Inkinen,

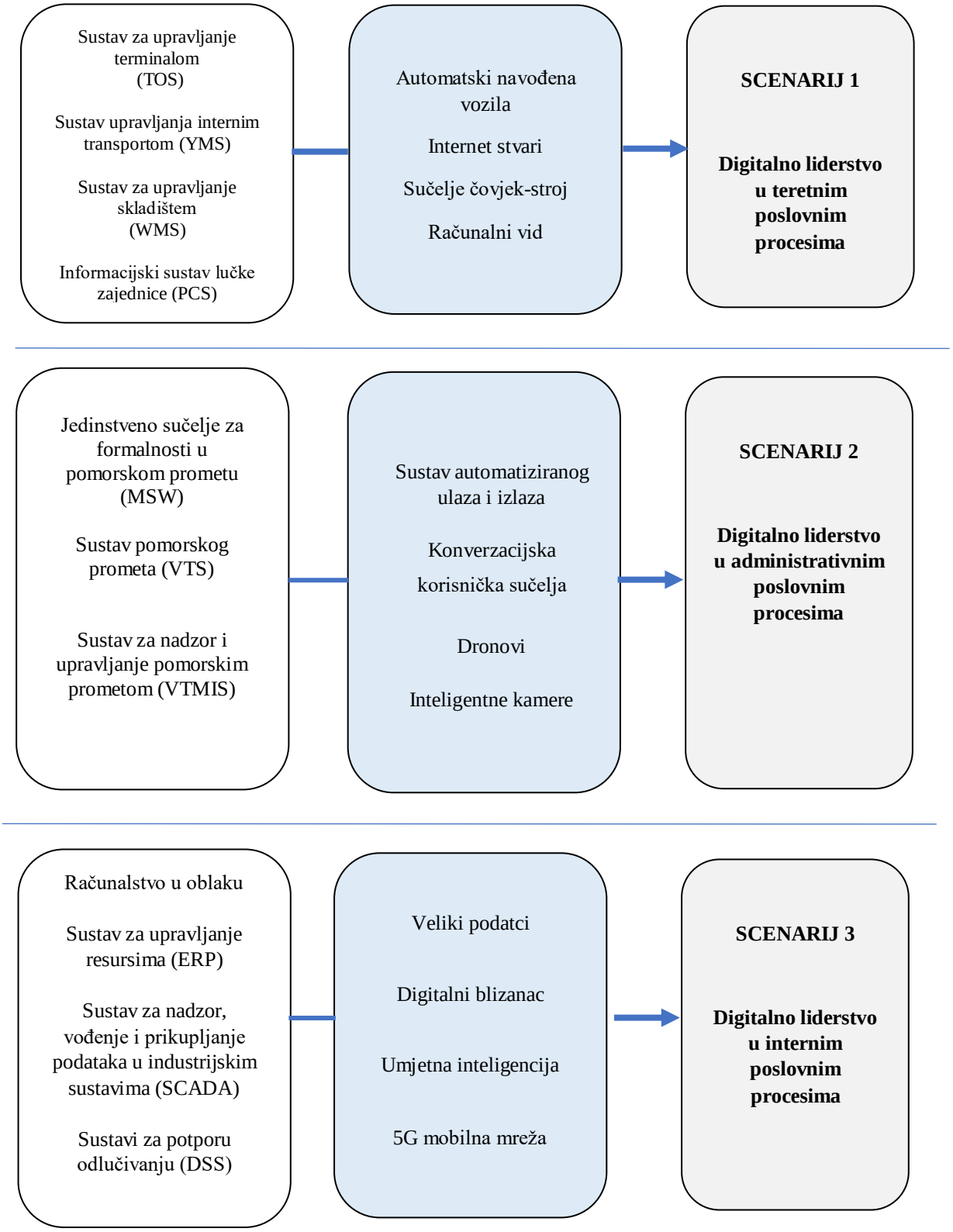
2021). Stoga je tranzicija u *pametnu luku* kreira promjene u poslovnim procesima luke te stvara novu vrijednost (Nofie, Muhammad Tafdhil, Jovita, 2022).

Stoga su u scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* uvrštene digitalne tehnologije i sustavi, kako slijedi:

- Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*: *Sustav za upravljanje terminalom*, *Sustav upravljanja internim transportom*, *Sustav za upravljanje skladištem*, *Informacijski sustav lučke zajednice*, *Automatski navođena vozila*, *Internet stvari*, *Sučelje čovjek-stroj*, *Računalni vid*.
- Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*: *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu*, *Sustav pomorskog prometa*, *Sustav upravljanja pomorskim prometom*, *Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom*, *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza*, *Konverzacijska korisnička sučelja*, *Dronovi*, *Inteligentne kamere*.
- Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*: *Računalstvo u oblaku*, *Sustav za upravljanje resursima*, *Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima*, *Sustav za potporu odlučivanju*, *Veliki podatci*, *Digitalni blizanac*, *Umjetna inteligencija*, *5G mobilna mreža.*

Na shemi 7. prikazani su scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. U bijelim poljima navedeni su tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi neophodni za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. U plavim poljima navedeni su *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* koje su stručnjaci prethodno ocijenili kao ključne za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. U daljnjim poglavljima scenariji su detaljno objašnjeni.

Shema 7. Scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*



Izvor: Izradila doktorandica

5.2.2.1. Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*

Scenarij tranzicije u *pametnu luku, Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* odnosi se na primjenu digitalnih tehnologija i sustava s ciljem digitalizacije, odnosno automatizacije teretnih procesa i aktivnosti u lukama.

Primjena digitalnih tehnologija i sustava u scenariju *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* obuhvaća sljedeće: automatizaciju manipulacije teretom što znači smanjenje vremena i troškova manipulacije teretom; automatizacija praćenja kretanja tereta i koordinacije teretom; prediktivno održavanje opreme; automatizacija skladišnih aktivnosti; automatizacija internog transporta; digitalizacija razmjene teretne dokumentacije čime se smanjuje korištenje klasične papirnate dokumentacije; sigurnost i olakšavanje rada zaposlenika; napredna analitika teretnih aktivnosti.

U scenarij tranzicije u *pametnu luku, Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* uključene su sljedeće digitalne tehnologije i sustavi: *Sustav za upravljanje terminalom, Sustav upravljanja internim transportom, Sustav za upravljanje skladištem, Informacijski sustav lučke zajednice, Automatski navođena vozila, Internet stvari, Sučelje čovjek-stroj i Računalni vid.*

U nastavku je pojašnjeno korištenje navedenih tehnologija u realizaciji scenarija tranzicije *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*.

Sustav za upravljanje terminalom neophodan je za koordinaciju manipulacije teretom, kako ne bi dolazilo do poteškoća i zastoja tijekom manipulacija teretom (Envision, 2022). *Sustav za upravljanje terminalom* omogućava lučkim operatorima donošenje informiranih odluka o manipulaciji teretom. Nadalje, *Sustav za upravljanje terminalom* generira obavijesti o statusu tereta, dostupnosti opreme i popunjenosti veza u stvarnom vremenu, čime doprinosi transparentnosti i praktičnosti. Posebno je zamjetna neophodnost korištenja na kontejnerskim terminalima, za planiranje rasporeda kontejnera na slagalištu te premještaja kontejnera. Osim navedenog, *Sustav za upravljanje terminalom* ima dodatne značajke kao što su portali za online rezervacije i praćenje tereta u stvarnom vremenu. *Sustav za upravljanje terminalom* povezan je s drugim sustavima kao što je *Informacijski sustav lučke zajednice* čime se omogućava vidljivost od kraja do kraja (engl. *end to end visibility*).

Sustav upravljanja internim transportom neophodan je za koordinaciju internih transportnih procesa u luci s obzirom na složenost i brojnost aktivnosti povezanih s manipulacijom tereta u lukama (Manhatan Associates, 2024). Jedan od prvih pokazatelja neizostavnosti primjene je smanjenje vremena čekanja za prijevozna sredstva, kroz točno određenu i na zahtjev dostupnu poziciju tereta. S obzirom da luke najčešće imaju velike skladišne površine, odnosno slagališta, *Sustav upravljanja internim transportom* pridonosi učinkovitom korištenju prostora kroz vidljivost dostupnih mjesta u stvarnom vremenu. Nadalje, vidljivost tereta u stvarnom vremenu omogućava poboljšanu sigurnost unutar lučkog područja. Koordinacija i komunikacija između lučkih operatora, brodara i pružatelja logističkih usluga, poboljšana je korištenjem *Sustava za upravljanje internim*

transportom. Kroz prethodno navedene aktivnosti, *Sustav upravljanja internim transportom* prikuplja velike količine podataka povezanih internim transportom u lukama te analizom prikupljenih podataka pridonosi boljoj organizaciji internog transporta.

Sustav za upravljanje skladištem omogućava automatizaciju skladišnih aktivnosti. S obzirom da se u lukama skladište različite vrste tereta, primjena *Sustav za upravljanje skladištem* pruža detaljan i ažuran uvid u vrstu tereta, količinu tereta, lokaciju tereta i promjene u stvarnom vremenu. Ukoliko se ne primjenjuje *Sustav za upravljanje skladištem*, nema automatizirane evidencije kretanja tereta i trenutnog stanja (Marine Digital, 2024). Primjena *Sustav za upravljanje skladištem* smanjuje pogreške u skladišnim aktivnostima i osigurava protočnost skladišta. Sagledavajući prethodne aktivnosti, primjena *Sustav za upravljanje skladištem* osigurava sljedivost, što je važno za točnost dokumentacije koja je dio provedbe skladišnih aktivnosti (Marine Digital, 2024). S obzirom na veliku količinu podataka koji proizlaze iz skladišnih aktivnosti, *Sustav za upravljanje skladištem* omogućava analitiku skladišnih aktivnosti. Nadalje, *Sustav za upravljanje skladištem* može se integrirati s drugim sustavima kojeg luka i dionici lučke zajednice koriste, kao što su *Sustav za planiranje resursa*, čime se olakšava vidljivost i koordinacija.

Informacijski sustav lučke zajednice predstavlja prekretnicu u olakšavanju pomorske trgovine. Omogućava razmjenu informacija i koordinaciju dionika lučke zajednice što je jedan od prvih koraka digitalizacije u lukama. Prema istraživanju Međunarodne udruge za Informacijske sustave lučke zajednice (*International Port Community Systems Assocciation* – IPCSA) prosječno oko 40 različitih dionika povezano je s procesom doziva brodova (International Port Community Systems Assocciation, 2024). Ukoliko se uzme u obzir procjena Europske komisije da će u Europskoj uniji količina prekrcanog tereta u lukama biti veća za 50 % do 2030. godine, primjena *Informacijskog sustava lučke zajednice* još se jednom potvrđuje kao neophodna (European Commission, 2024). Prednosti primjene *Informacijskog sustava lučke zajednice*, zbog kojih je isti neophodno primijeniti u teretnim aktivnostima, jesu (The World Bank Group, 2024; Bouklata, Bensfia, 2020):

- Automatizacija i pojednostavljenje procesa praćenja tereta, carinjenja i razmjene podataka u stvarnom vremenu između dionika lučke zajednice.
- Smanjenje troškova i vremena kroz automatizaciju i digitalizaciju trgovinskih postupaka te eliminiranje potrebe za papirnatom dokumentacijom, ručnim unosom podataka i fizičkim pregledom dokumentacije.
- Pojednostavljenje, standardizacija i digitalizacija lučkih logističkih procesa.
- Poboljšana suradnja između dionika lučke zajednice.

Na primjer, sve luke u Nizozemskoj koriste Portbase sustav koji osigurava više od 40 usluga za oko 3200 tvrtki iz sektora pomorskog prijevoza (Port of Rotterdam, 2023).

Automatski navođena vozila imaju neizostavnu ulogu u automatizaciji teretnih aktivnosti u lukama, čemu svakako ide u prilog korištenje u vodećim lukama koje odlikuje automatizacija teretnih aktivnosti i koje su primjer *pametnih luka*. *Automatski navođena vozila* pojednostavljuju manipulacije teretom radeći 24/7 bez pauza. Mogu se programirati da slijede unaprijed definirane rute i raspored, čime se troši manje resursa i smanjuju kašnjenja. Automatiziranjem manipulacija teretom, smanjuje se potreba za fizičkim radom čime se ujedno smanjuje i mogućnost pogrešaka. Automatiziranjem manipulacije tereta i optimizacijom iskorištenja prostora, luke mogu povećati kapacitet terminala bez potrebe za značajnim proširenjem infrastrukture. *Automatski navođena vozila* odlikuje skalabilnost i fleksibilnost, što znači da se mogu brojčano lako povećati ili smanjiti kako bi zadovoljili promjenjivu potražnju i operativne zahtjeve vezane za količinu tereta. Dodatno se mogu rasporediti prema potrebi za manipulacije teretom u vršnim razdobljima, pružajući fleksibilnost lučkim operatorima. Isto tako, *Automatski navođena vozila* pridonose ekološki održivim teretnim aktivnostima s obzirom da su uglavnom na električni pogon (ABB, 2023).

Korištenje digitalne tehnologije ***Internet stvari*** osigurava vidljivost u stvarnom vremenu, praćenje i kontrolu pomoću senzora i uređaja koji se mogu postaviti na opremu, teret i više različitih mjesta u lukama te samim time automatizaciju (Bouhlal, Aitabdelouahid, Marzak, 2022). Senzori postavljeni na opremi mogu nadzirati performanse dizalica i druge opreme koja se primjenjuje u manipulaciji teretom (Nguyen, 2023), a čime se omogućava prediktivno održavanje opreme. Na primjer, ukoliko se koristi *Internet stvari* u rukovanju kontejnerima, u lukama se pomoću senzora na kontejnerima može pratiti dolazak, odlazak, ukrcaj i iskrcaj, učinkovito raspodijeliti slagališni prostor na terminalu. Nadalje, korištenje *Interneta stvari* u integraciji s kamerama omogućava bolju sigurnost otkrivanjem neovlaštenog pristupa u stvarnom vremenu, a što može negativno utjecati na provedbu aktivnosti manipulacije teretom (NordVPN (2024). Podatci generirani senzorima *Interneta stvar* mogu se analizirati kako bi se dobili korisni uvidi u obrasce aktivnosti povezanih teretom za donošenje odluka u cilju kontinuiranog unaprjeđenja rukovanja teretom (Nguyen, 2023).

Sučelje čovjek-stroj jedna je od recentnijih digitalnih tehnologija koja sve više dolazi u fokus primjene u teretnim aktivnostima u lukama. Operatori u lukama mogu se povezati s tehnologijom *Sučelje čovjek-stroj* kako bi upravljali opremom i teretnim aktivnostima (Enjalbert et al. 2021). Nadalje, operatori mogu pristupiti podatcima u stvarnom vremenu i kontrolirati aktivnosti s jednog sučelja. *Sučelje čovjek-stroj* nudi mogućnost daljinskog upravljanja −upravljanje opremom i nadzor aktivnosti s udaljenih lokacija (Enjalbert et al., 2021). Operatori mogu postaviti parametre, konfigurirati pravila automatizacije i nadgledati aktivnosti primjenom tehnologije *Sučelje čovjek-stroj*. *Sučelje čovjek-stroj* može se koristiti u lukama za edukaciju i simulaciju aktivnosti povezanih teretom, na primjer za edukaciju korištenja opreme, operativne postupke i protokole u slučaju hitnih situacija. Vizualizacija i analiza podataka još je jedna mogućnost *Sučelja čovjek-stroj*, a olakšava praćenje i izvještavanje prikupljanjem i pohranom relevantnih

podataka vezanih uz teretne aktivnosti. Operatori mogu generirati izvješća, zapise i evidencije izravno sa *Sučelja čovjek stroj* (Enjalbert et al., 2021).

Korištenje ***Računalnog vida*** omogućava precizno prepoznavanje i identifikaciju različitih vrsta tereta, čime se olakšava manipulacije teretom te skladištenje tereta (Lee, Chatterjee, Cho, 2023). Analiza slika pomoću *Računalnog vida* pruža optimizaciju rasporeda tereta unutar terminala luke, bolje iskorištenje prostora i minimiziranje zastoja u manipulaciji teretom. Nadalje, korištenjem *Računalnog vida* mogu se otkriti oštećenja ili nepravilnosti na teretu, što osigurava brzu intervenciju i sprječava daljnje komplikacije ili gubitak tereta (Lee, Chatterjee, Cho, 2023). Korištenjem *Računalnog vida* može se nadgledati sigurnost luke identificirajući neuobičajene aktivnosti, neovlašteni pristup ili nepoželjne objekte, a kako bi se spriječilo ometanje teretnih aktivnosti. *Računalni vid* se može koristiti za automatizirano vođenje vozila unutar luke (Lee, Chatterjee, Cho, 2023). Na taj način smanjuje se potreba za ručnim upravljanjem vozilima. *Računalni vid* može analizirati obrasce kretanja tereta, vozila ili radnika. Kombinirajući napredne mogućnosti nadzora, analize i automatizacije, *Računalni vid* nadalje doprinosi učinkovitijim, sigurnijim i jednostavnijim aktivnostima.

5.2.2.2. Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*

Scenarij tranzicije u *pametnu luku Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* odnosi se na primjenu digitalnih tehnologija i sustava s ciljem digitalizacije odnosno automatizacije administrativnih aktivnosti u lukama.

Primjena digitalnih tehnologija i sustava u scenariju *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* obuhvaća sljedeće: automatizacija administrativnih aktivnosti ulaza u luku i izlaza iz luke: automatizacija procedura kretanja vozila i tereta unutar luke, automatizacija nadzora luke; automatizacija procedura nadzora i sigurnosti pomorskog prometa; automatizacija administrativnih procedura uplovljavanja i isplovljavanja brodova; administracija administrativnih postupaka provedbe inspekcijskog nadzora; automatizacija carinskih procedura; automatizacija procedura i koordinacije u slučaju hitnih i nepredviđenih situacija; automatizacija procedura za provedbu protokola zaštite luke od kibernetičkih prijetnji; automatizacija protokola zaštite okoliša.

U scenarij tranzicije u *pametnu luku Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* uključene su sljedeće digitalne tehnologije i sustavi: *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu, Sustav pomorskog prometa, Sustav upravljanja pomorskim prometom, Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom te Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, Dronovi, Konverzacijska korisnička sučelja i Inteligentne kamere*. U nastavku je pojašnjeno korištenje navedenih tehnologija u realizaciji scenarija *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*.

Prema odluci Međunarodne pomorske organizacije (engl. *International Maritime Organization* − IMO) implementacija odnosno primjena ***Jedinstvenog sučelja za formalnosti u pomorskom prometu*** (engl. *Maritime Single Window*) u lukama, obvezna je od 1. siječnja 2024. godine (International Maritime Organization, 2023). Sustav omogućava unos svih informacija samo jednom te na taj način postaju dostupne svim dionicima podatci o dolasku brodova u luku, boravku broda u luci i odlasku broda iz luke. Na primjer, u Republici Hrvatskoj kao *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu* trenutno se primjenjuje *Hrvatski integrirani pomorski informacijski sustav* (engl. *Croatian Integrated Maritime Information System* − CIMIS). Na primjer, u Finskoj je od strane Agencije za transport i komunikacije implementiran Portnet sustav koji je zapravo *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu* za sve finske luke, a od 2025. godine primjenjivat će se novi sustav za usluge obavješćivanja o pomorskom prometu (engl. *Maritime Traffic Notification Service* – NEMO). Usluga će biti "jedan nacionalni prozor" za obavijesti o pomorskom prometu i zamijenit će dosadašnji Portnet sustav. U Europskoj uniji pokrenuta je inicijativa implementacije *Europskog pomorskog jedinstvenog prozora* (engl. *European Maritime Single Window* − EMSW), s ciljem potpunog usklađivanja pomorskih sučelja dostupnih operatorima brodova na razini Europske unije. Svrha EMSW-a je standardizacija informacija potrebnih za upravljanje lukama tako da dostavljeni podatci mogu biti javno dostupni svim relevantnim dionicima. U cilju realizacije, Europski parlament i Vijeće, 2019. godine izdali su Uredbu (EU) 2019/1239 o uspostavi *Europskog pomorskog jedinstvenog prozora*. Uredbom su definirana pravila za pružanje informacija koje su potrebne za zaustavljanje u luci, posebno osiguravanjem da se isti skupovi podataka mogu prijaviti svakom *Pomorskom nacionalnom jedinstvenom prozoru* na isti način. Provedba Uredbe uzela je u obzir sustav SafeSeaNet uspostavljen na nacionalnoj razini i razini EU, koji bi trebao olakšati razmjenu informacija primljenih putem *Nacionalnog pomorskog jedinstvenog prozora* između država članica (European Maritime Safety Agency, 2024).

Sustav pomorskog prometa pruža jednostavne informacijske poruke plovilima, kao što su položaj drugog plovila ili upozorenja o meteorološkim opasnostima te informacije o upravljanju prometom unutar luke ili plovnog puta (International Maritime Organization, 2023). Prema SOLAS konvenciji (V/12 − Sigurnost i učinkovitost pomorskog prometa i zaštite morskog okoliša od onečišćenja s plovnih objekata), *Sustav pomorskog prometa* može se uspostaviti tamo gdje obujam pomorskog prometa ili stupanj rizika opravdava takve usluge (International Maritime Organization, 2023). Uspostava je determinirana Priručnikom *Međunarodnog udruženja uprava pomorske signalizacije i sredstava za pomorsku navigaciju*" (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* - IALA) (IALA, 2024). Na primjer, u Republici Hrvatskoj *Sustav pomorskog prometa* reguliran je *Pravilnikom o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske te načinu i uvjetima obavljanja nadzora i upravljanja pomorskim prometom* (NN 79/2013). *Sustav pomorskog prometa* razmjenjuje informacije s drugim sustavima: *Informacijski*

sustav lučke zajednice, Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom te Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu.

Uspostava ***Sustava za nadzor i upravljanje pomorskim prometom*** obveza je članica Europske unije. Tako je u Republici Hrvatskoj uspostava VTMIS službe bila obveza pri procesu pristupanja Europskoj uniji u Poglavlju 14. Prometna politika, a sukladno odredbama *Direktive Europskog parlamenta i Vijeća 2002/59/EZ od 27. lipnja 2002. o uspostavljanju sustava nadzora i upravljanja pomorskog prometa s pridruženim informacijskim sustavom Zajednice i o ukidanju Direktive Vijeća 93/75/EEZ* (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024). Nadalje, *Zakonom o izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika* (NN 146/2008), stvorene su pretpostavke za uspostavu cjelovite Službe nadzora i upravljanja pomorskim prometom u sastavu Ministarstva mora, prometa i infrastrukture s pridruženim sustavom. Na primjer, u Republici Hrvatskoj kao VTMIS sustav koristi se *Integrirani pomorski informacijski sustav – CIMIS*. Korištenjem CIMIS sustava, elektronički se razmjenjuju podatci o brodovima, teretu i putnicima u službenom postupku najave i prijave dolaska i odlaska, kao i s time povezanim službenim postupcima. Kako bi CIMIS sustav mogao biti u potpunosti povezan s vanjskim sustavima (PCS, MUP, Carina…) i razmjenjivati relevantne podatke i informacije uspostavljen je CIMISNet sustav razmjene podataka (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, 2024).

Sustav automatiziranog ulaza i izlaza omogućava automatizaciju provjere pristupa korištenjem identifikacijskih kartica, pristupnih kodova ili biometrijskih podataka. Korištenjem *Automatiziranog sustava za ulaz i izlaz* u lukama se smanjuje vrijeme čekanja vozila, s obzirom da se automatizira administrativni postupak provjere, prijave i odjave vozila (Envision 2022). Funkcije snimanja i pohranjivanja informacija o kretanju vozila omogućuju praćenje i izvještavanje. Korištenjem *Automatiziranog sustava za ulaz i izlaz* postiže se usklađenosti s regulatornim zahtjevima i sigurnosnim protokolima unutar luke. Nadalje, korištenje *Automatiziranog sustava za ulaz i izlaz* omogućava automatizaciju ponavljajućih administrativnih zadataka i minimiziranje potrebe za intervencijama zaposlenika luke (Envision 2022). Prednost korištenja *Automatiziranog sustava za ulaz i izlaz* je skalabilnost i prilagodljivost, što znači da se lako nadograđuje u slučaju povećanog obima prometa u luci ili novih protokola kontrole pristupa.

Konverzacijsko korisničko sučelje pridonosi digitalizaciji odnosno automatizaciji administrativnih aktivnosti u lukama tako što zaposlenicima omogućava korištenje sučelja za postavljanje upita, izdavanje naredbi i dobivanje odgovora u stvarnom vremenu (Zendesk, 2024). Na taj način, *Konverzacijsko korisničko sučelje* može automatizirati rutinske administrativne zadatke, poput provjere statusa tereta, rasporeda dolazaka i odlazaka brodova i sl. Samim time omogućena je brza prilagodba informacija na zahtjev korisnika. *Konverzacijsko korisničko sučelje* pruža personalizirane usluge administrativnom osoblju na temelju njihovih preferencija i potreba. Na primjer, sustav može prepoznati preferirani jezik korisnika ili njihove uobičajene zadatke i prilagoditi odgovore i funkcionalnosti sučelja prema tome. Nadalje, *Konverzacijsko korisničko*

sučelje može se integrirati s drugim sustavima i aplikacijama u luci kako bi omogućilo učinkovitu razmjenu podataka i koordinaciju administrativnih aktivnosti. Na primjer, sustav može automatski ažurirati informacije o teretima u skladištima na temelju zahtjeva. Nadalje, korištenjem *Konverzacijskog korisničkog sučelja* može se prikupljati podatke o interakcijama korisnika kako bi se analiziralo učinkovitost sučelja i identificiralo područja za poboljšanje (Zendesk, 2024). Na temelju analiza, administrativno osoblje može donositi informirane odluke za poboljšanje administrativnih aktivnosti. Kombinirajući jednostavnu komunikaciju, automatizaciju zadataka, brzu prilagodbu informacija, personalizirane usluge, integraciju s drugim sustavima te analitiku performansi, korištenje *Konverzacijskog korisničkog sučelja* pospješuje digitalizaciju administrativnih aktivnosti u lukama.

Korištenje ***Dronova*** u lukama može pružiti detaljne informacije o stanju infrastrukture, kretanju tereta u luci i sigurnosnim rizicima (PierNexT, 2024). *Dronovi* u lukama se primjenjuju za administrativne aktivnosti inspekcije tereta i brodova. Primjenom *Dronova* u lukama moguće je prikupiti podatke o stanju okoliša (onečišćenje zraka i vode, razina buke) čime luke mogu jednostavnije obaviti administrativne aktivnosti usklađenja s regulatornim zahtjevima za zaštitu okoliša. Nadalje, *Dronovi* u lukama osiguravaju brzu reakciju na hitne situacije kao što su nesreće, požari ili onečišćenja te u realno vrijeme pružaju vizualne informacije za koordinaciju rješavanja krizne situacije (PierNexT, 2024). Podatke prikupljene *Dronovima* moguće je integrirati s tehnologijama za upravljanje podatcima kako bi se olakšala analiza, izvještavanje i donošenje odluka. Kombinirajući napredne mogućnosti nadzora i prikupljanja podataka, *Dronovi* doprinose automatizaciji administrativnih aktivnosti u lukama kroz brze, ažurne i pouzdane informacije (PierNexT, 2024).

Inteligentne kamere koje se baziraju na *Umjetnoj inteligenciji*. *Inteligentne kamere* dio su sustava za prepoznavanje registarskih oznaka te automatski identificiraju i evidentiraju vozila koja ulaze i izlaze iz luke (Port Technology International, 2023). Primjenom *Inteligentnih kamera* može se otkriti neovlašteni pristup luci te automatski generirati upozorenja o potencijalnim prijetnjama i obavijestiti nadležne osobe, čime se uvelike olakšava administrativni protokol postupanja u takvim situacijama. *Inteligentne kamere* s termalnom slikovnom tehnologijom mogu otkriti toplinske točke i identificirati potencijalne izvore požara ili pregrijavanja opreme, čime se poboljšava sigurnost u luci (Port Technology International, 2023). Podatci prikupljeni *Inteligentnim kamerama* mogu se integrirati s analitičkim digitalnim tehnologijama i sustavima kako bi se omogućila detaljna analiza podataka i generiranje relevantnih izvještaja.

5.2.2.3. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*

Scenarij tranzicije u *pametnu luku, Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima,* odnosi se na primjenu digitalnih tehnologija i sustava s ciljem digitalizacije odnosno automatizacije poslovnih procesa u lukama.

Primjena digitalnih tehnologija i sustava u scenariju *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* obuhvaća sljedeće: povezivanje i koordinacija poslovnih procesa; automatizacija rada u poslovnim procesima luke; automatizacija kontrole provedbe poslovnih procesa; automatizacija upravljanja resursima luke u provedbi poslovnih procesa; automatizacija sustava odlučivanja u poslovnim procesima; automatizacija prikupljanja, pohrane i obrade podataka u poslovnim procesima; automatizacija razmjene informacija i dokumentacije između različitih poslovnih odjela luke; praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators* − KPI) poslovnih procesa i analitika poslovnih procesa; virtualizacija i simulacija poslovnih procesa.

U scenarij tranzicije u *pametnu luku Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* uključene su sljedeće digitalne tehnologije i sustavi:

Računalstvo u oblaku, Sustav za upravljanje resursima, Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima, Sustav za potporu odlučivanju te ostale digitalne tehnologije prema ocjeni stručnjaka: *Veliki podatci, Digitalni blizanac, Umjetna inteligencija i 5G mreža*. U nastavku je detaljno pojašnjenja primjena navedenih tehnologija u ostvarenju scenarija tranzicije *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Računalstvo u oblaku neophodno je primijeniti za digitalizaciju odnosno automatizaciju internih poslovnih procesa u lukama. Na primjer, *Međunarodna pomorska organizacija* uvela je *Koncept e-navigacije* koji podrazumijeva *usklađeno prikupljanje, integraciju, razmjenu, prezentaciju i analizu pomorskih informacija na brodu i kopnu elektroničkim sredstvima za poboljšanje navigacije i povezanih usluga za sigurnost, zaštitu na moru i zaštitu morskog okoliša* (International Maritime Organization, 2024). Kako bi luke ispunile potrebno u okviru *Koncepta e-navigacije*, *Računalstvo u oblaku* mogu koristiti na sljedeći način:

- Poboljšano upravljanje podatcima: *Računalstvo u oblaku* omogućava lukama jednostavno prikupljanje, pohranu i analizu velike količine podataka. Luke dobivaju uvid u aktivnosti u stvarnom vremenu te osiguravaju usklađenost sa zahtjevima IMO za centraliziranjem i organiziranjem podataka u računalnom oblaku.
- Praćenje i izvještavanje u stvarnom vremenu: *Računalstvo u oblaku* omogućava lukama kreirati bazu detaljnih informacija o manipulacijama teretom, stanju opreme i dr., dobivanjem informacija pomoću *Interneta stvari* odnosno senzora. Na taj način luke utvrđuju odstupanja od pravila IMO (na primjer odstupanja od sigurnosnih pravila) čim se pojave te poduzimaju potrebne korake za usklađenje.

- Učinkovita komunikacija dionika lučke zajednice: *Računalstvo u oblaku* pruža jednostavnu komunikaciju i koordinaciju između različitih dionika uključenih u lučke aktivnosti, čime dionici mogu brzo donositi usklađene odluke koje su u skladu sa zahtjevima IMO.
- Skalabilnost i fleksibilnost: *Računalstvo u oblaku* pruža lukama fleksibilnost u odnosu na potencijalne promjene zahtjeva IMO. Na primjer, luke mogu proširiti aktivnosti i infrastrukturu *u oblaku* ako se promijene pravila ili objave nove smjernice, bez potrebe za velikim početnim ulaganjima.
- Poboljšana kibernetička sigurnost: kibernetička sigurnost jedan je izazova za luke u tranziciji u *pametne luke*. *Računalstvo u oblaku* omogućava rješenja za zaštitu osjetljivih podataka i osiguranje usklađenosti s IMO-om. Kako bi zaštitili integritet podataka i spriječili neovlašteni pristup, pružatelji *usluga u oblaku* ulažu velika sredstva u sigurnosne postupke, enkripciju i kontrole pristupa. Luke tako poboljšavaju kibernetičku sigurnost.

Sustav za upravljanje resursima podupire integrirano upravljanje brojnim internim poslovnim procesima u lukama (manipulacije teretom, skladištenje, financije, ljudski resursi itd.). Centralizirano upravljanje podatcima jedan je od glavnih razloga zašto je neophodan u digitalizaciji internih poslovnih procesa u lukama. Podatci svih poslovnih procesa luke i s istima povezana dokumentacija nalaze se u bazi podataka jednog sustava. Time se osigurava dosljednost podataka, točnost i dostupnost (Centerpoiont, 2024). Nastavno, lukama omogućava vidljivost i analitiku u stvarnom vremenu. Upravitelji luka mogu nadzirati ključne pokazatelje uspješnosti (KPI) kako bi identificirali područja za poboljšanje i brzo donosili informirane odluke. S obzirom na uvid u sve interne poslovne procese, *Sustav za upravljanje resursima* olakšava optimalnu raspodjelu resursa, kao što su radna snaga, oprema, na temelju predviđanja potražnje, operativnih prioriteta i proračunskih ograničenja. Nadalje, omogućava lukama poboljšano financijsko upravljanje kroz financijska izvješća. *Sustav za upravljanje resursima* pruža lukama pravovremenu i točnu komunikaciju s dionicima, kao što su brodske kompanije, vlasnici tereta i pružatelji logističkih usluga. Usklađenost s regulatornim zahtjevima omogućena je kroz ugrađene kontrole i mehanizme izvještavanja (Centerpoiont, 2024).

Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima – SCADA koristi se u lukama za nadzor, kontrolu i optimizaciju različitih internih poslovnih procesa. *SCADA sustav* omogućava operatorima kontroliranje aktivnosti manipulacije teretom i rad opreme na daljinu (engl. *remote control*). (Applied Industrial Systems, 2024) Nadalje, *SCADA sustav* koristi se u lukama za kontrolu pristupa te odmah dostavlja upozorenje o neovlaštenom pristupu što omogućava odgovor u stvarnom vremenu (Applied Industrial Systems, 2024). Kroz integraciju s drugim sustavima kao što su *Sustav za planiranje resursa, Sustav za upravljanje skladištem* i *Sustav za upravljanje terminalom*, omogućava dijeljenje podataka i koordinirano donošenje odluka u različitim poslovnim odjelima luke. *SCADA sustav* podržava tzv. *oporavak od katastrofe* u lukama kroz sigurnosne kopije podataka. U slučaju kvara, *SCADA sustav*

omogućava brz oporavak i minimalne zastoje internih poslovnih procesa, ublažavajući potencijalne financijske gubitke (Applied Industrial Systems, 2024).

Sustav za potporu odlučivanju u lukama je neophodan za pružanje pravovremenih, točnih informacija koje pomažu u donošenju odluka za različite interne poslovne procese (Iwrm Action Hub, 2024). S obzirom na složenost internih poslovnih procesa u lukama i veliki broj kreiranih podataka, *Sustav za potporu odlučivanju* analizira složene skupove podataka, kako bi se donosile informirane odluke (Iwrm Action Hub, 2024). Nadalje, *Sustav za potporu odlučivanju* optimizira raspodjelu resursa luke predviđanjem potražnje i određivanjem prioriteta, pružanjem analize rizika za podršku odlučivanju kako bi se smanjio utjecaj nepovoljnih događaja na interne poslovne procese u lukama. Praćenjem i procjenom učinka (na primjer, vrijeme zadržavanja kontejnera, popunjenost vezova itd.) identificiraju se područja za poboljšanje. *Sustav za potporu odlučivanju* omogućava lukama poboljšati i prilagoditi poslovne procese za bolju uslugu korisnicima (Iwrm Action Hub, 2024).

Tehnologija ***Veliki podatci*** neophodna je u digitalizaciji internih poslovnih procesa u lukama, s obzirom da interni poslovni procesi u lukama generiraju velike količine podataka iz različitih izvora kroz brojne aktivnosti. Integrirani podatci pružaju sveobuhvatan pogled na interne poslovne procese u luci, omogućujući bolje donošenje odluka i poboljšanje procesa (Sedna, 2023). Uvidi dobiveni analizom *Velikih podataka* optimiziraju različite aspekte procesa radi poboljšanja učinkovitosti te smanjenja troškova i rada. Analizom *Velikih podataka* identificiraju se potencijalni rizici unutar internih poslovnih procesa luke, poput sigurnosnih prijetnji (Sedna, 2023). Proaktivnim prepoznavanjem i ublažavanjem rizika, luke mogu poboljšati sigurnost i smanjiti izvanredne zastoje u procesima. Primjenom analize *Velikih podataka* luke dobivaju uvid u preferencije i zadovoljstvo korisnika, kako bi se prilagodili interni poslovni procesi u cilju poboljšanja korisničkog iskustva (Sedna, 2023).

Tehnologija ***Digitalni blizanac*** jedna je od prominentnih tehnologija za digitalizaciju internih poslovnih procesa u lukama kroz stvaranje digitalnih replika stvarnih poslovnih procesa (Royal Haskoning DHV, 2023). Na taj način u lukama se može pratiti, analizirati i simulirati različite aspekte poslovnih procesa. Uz podatke prikupljene pomoću senzora, uređaja *Interneta stvari* i drugih izvora, luke mogu ažurirati digitalnu repliku poslovnog procesa, omogućujući operatorima praćenje i upravljanje procesima na temelju recentnih informacija. Analiza podataka dobivenih korištenjem tehnologije *Digitalni blizanac* omogućava lukama kontinuirano poboljšanje procesa (Neugebauer, Heilig, Voß, 2024). Korištenjem tehnologije *Digitalni blizanci*, luke mogu napraviti simulacije i predviđanja različitih scenarija internih poslovnih procesa. Na primjer, mogu simulirati utjecaj promjena u rasporedu brodova ili predvidjeti potrebu za resursima kao što su radna snaga ili oprema (Royal Haskoning DHV, 2023). Tehnologija *Digitalni blizanac* transformira način upravljanja internim poslovnim procesima u lukama, omogućujući donošenje informiranih odluka kroz integraciju stvarnog stanja i digitalne verzije poslovnih procesa (Zhou et al., 2024; Royal Haskoning DHV, 2023).

Umjetna inteligencija neizostavna je tehnologija za digitalizaciju internih poslovnih procesa u lukama. Korištenje *Umjetne inteligencije* lukama omogućava automatizaciju internih poslovnih procesa kroz analitiku u stvarnom vremenu iz različitih izvora i u različitim oblicima (slika, tekst, video, numerički podatci itd.). *Umjetna inteligencija* poboljšava interne procese u lukama kroz predviđanje budućih ishoda na temelju povijesnih podataka. Uvidom u tako analizirane podatke menadžment luka može planirati interne poslovne procese i bolje upravljati rizicima povezanim s procesima. Nadalje, korištenje *Umjetne inteligencije* može smanjiti ponavljajuće zadatke poput unosa podataka, obrade računa i upita korisničke podrške. Algoritmi *Umjetne inteligencije* potom mogu optimizirati interne poslovne procese kontinuiranim učenjem iz podataka i poboljšanjem procesa tijekom vremena (Farzadmehr, Carlan, Vanelslander, 2023).

Korištenje ***5G mobilne mreže*** olakšava prikupljanje, prijenos i analizu velikih količina podataka generiranih internim poslovnim procesima u lukama (Deloitte, 2024). *5G mobilna mreža* pruža brz prijenos podataka, omogućujući komunikaciju i razmjenu podataka u stvarnom vremenu (Deloitte, 2024). Upravo velika brzina povezanosti olakšava provedbu i prilagodbu procesa. Nadalje, *5G mobilna mreža* omogućava primjenu proširene stvarnosti i virtualne stvarnosti. Na primjer, osoblje luka može koristiti AR naočale ili VR naočale za vizualizaciju složenih zadataka, simulaciju operativnih scenarija i primanje uputa u stvarnom vremenu. *5G mobilna mreža* omogućava zaposlenicima pristup poslovnim aplikacijama i podatcima velikom brzinom bez obzira na njihovu lokaciju. Time se olakšava rad na daljinu i omogućava terenskim radnicima pristup informacijama u stvarnom vremenu i ažuriranje podataka u pokretu.

5.3. Kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

U nastavku su definirani i opisani kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Kriteriji su definirani sukladno pregledu literature u poglavlju 5.1. Izdvojeni su kriteriji koji su univerzalno primjenjivi za odabir, neovisno o vrsti digitalnih tehnologija i sustava, odnosno neovisno o području primjene digitalnih tehnologija i sustava.

Kriteriji su podijeljeni sukladno TOE okviru (engl. *Technology-Organization-Environment framework*). Okvir tehnologija-organizacija-okruženje (u nastavku TOE) razvijen je u području informacijskih sustava kako bi se objasnilo koliko na implementaciju i korištenje novih tehnologija utječu različiti čimbenici (kriteriji), uključujući karakteristike same digitalne tehnologije, organizacijski kontekst u kojem se koristi te vanjsko okruženje u kojem organizacija djeluje (Newcastle University, 2024).

Tehnologija se odnosi na karakteristike digitalnih tehnologija i sustava. *Organizacija* se odnosi na interni kontekst u kojem se digitalne tehnologije i sustavi koriste, uključujući faktore kao što su veličina organizacije, struktura, organizacijska kultura i ljudski resursi. *Okruženje* se odnosi na vanjski kontekst u kojem organizacija djeluje, uključujući čimbenike kao što su tržišni uvjeti, regulatorni i pravni aspekti (Newcastle University, 2024).

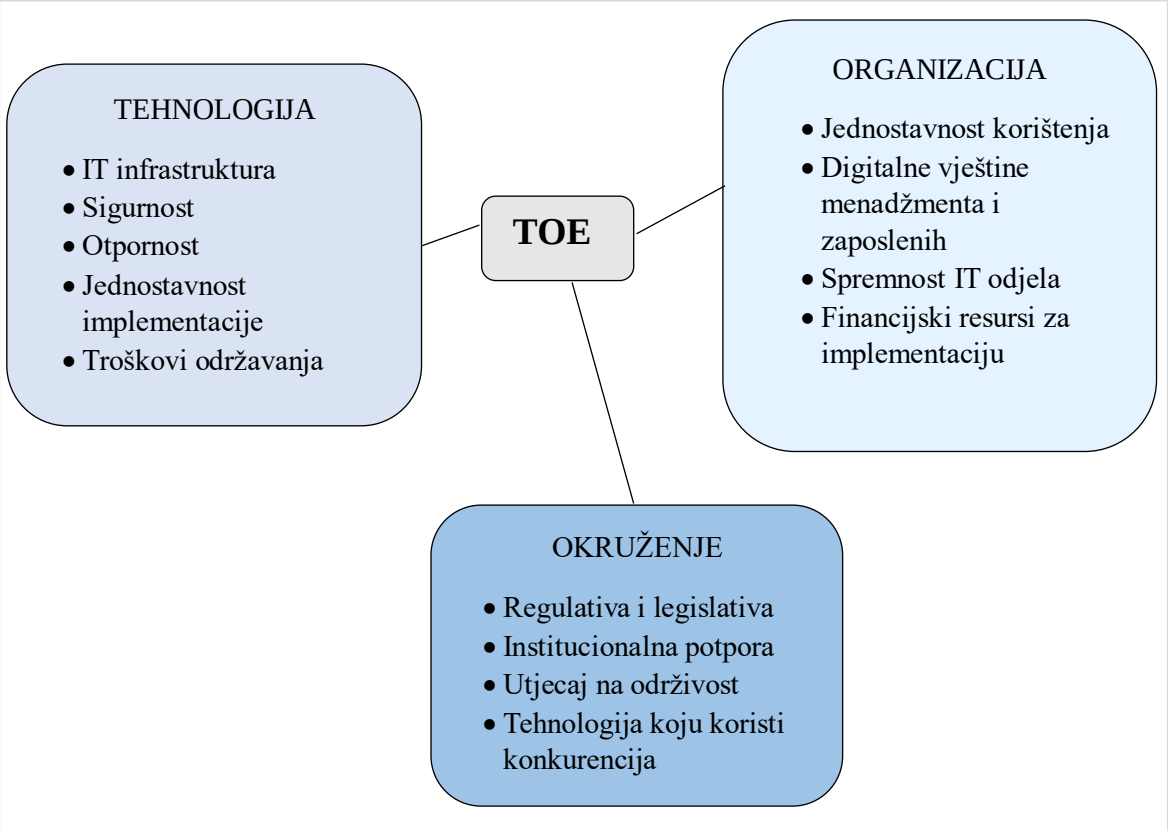
Jedna od prednosti TOE okvira je holistički pogled na implementaciju i korištenje digitalnih tehnologija i sustava. Stoga fokus nije samo na digitalnim tehnologijama i sustavima, već i na organizacijskom aspektu te vanjskim čimbenicima koji su važni pri odabiru i korištenju digitalnih tehnologija i sustava (Tijan, Jović, Aksentijević, Pucihar, 2021).

TOE okvir fleksibilan je za objašnjenje implementiranja i korištenja tehnologija u odnosu na tri vrste tehnoloških inovacija: inovacije za tehničke zadatke, inovacije za poslovnu administraciju i inovacije za poslovne procese organizacije (Information Systems Research Indicators, 2024).

TOE okvir može se primijeniti za više digitalnih tehnologija i sustava i organizacija, što ga čini korisnim alatom za istraživače u različitim područjima. (Information Systems Research Indicators, 2024) Osim toga, TOE okvir može se prilagoditi različitim metodama istraživanja, uključujući kvalitativne i kvantitativne metode (Newcastle University, 2024).

Stoga je za definiranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku* korišten TOE okvir, prikazan na shemi 8. u nastavku.

Shema 8. TOE okvir za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku*



Izvor: Izradila doktorandica

Sukladno TOE okviru, za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametne luke* definirani su sljedeći kriteriji:

- **Tehnološki kriteriji:** IT infrastruktura, sigurnost, otpornost, jednostavnost implementacije, troškovi održavanja.
- **Organizacijski kriteriji:** jednostavnost korištenja, digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, spremnost IT odjela, financijski resursi za implementaciju.
- **Kriteriji okruženja:** regulativa i legislativa, institucionalna potpora, utjecaj na održivost, tehnologija koju koristi konkurencija.

U poglavljima u nastavku detaljnije su pojašnjeni kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametne luke.*

5.3.1. Tehnološki kriteriji

Kriterij ***IT infrastruktura*** podrazumijeva odgovarajuću tehničku infrastrukturu za implementiranje i korištenje te kompatibilnost digitalnih tehnologija i sustava s postojećom tehničkom infrastrukturom luke (IBM, 2024). Nadalje, IT infrastruktura treba podržavati skalabilnost digitalnih tehnologija i sustava jer porast aktivnosti u lukama (na primjer, kroz povećan promet luke) može utjecati na potrebu promjene odnosno dogradnje digitalnih tehnologija i sustava. IT infrastruktura treba omogućiti zaštitu od kibernetičkih prijetnji (IBM, 2024). Nadalje, IT infrastruktura treba omogućiti brzinu, propusnost, latenciju. S obzirom da lučku zajednicu čini više različitih dionika koji koriste različite digitalne tehnologije i sustave, IT infrastruktura treba omogućiti interoperabilnost između različitih digitalnih tehnologija i sustava. IT infrastruktura treba omogućiti učinkovit proces upravljanja podatcima, uključujući prikupljanje podataka, pohranu, obradu, analizu i dijeljenje. S obzirom na regulativu kojom se propisuje korištenje digitalnih tehnologija i sustava u lukama, IT infrastruktura treba biti u skladu.

Kriterij ***Sigurnost*** obuhvaća nekoliko aspekata. Autori (Heikkila, Saarni, Saurama, 2022) razmatraju širi kontekst zaštite i sigurnosti. Navode da je potrebno osigurati zaštitu zaposlenika, opreme i infrastrukture luke te zaštitu ulaza i izlaza iz luke. Kao poseban izazov ističe se kibernetička sigurnost zbog povećanog broja kibernetičkih napada na luke, a koja će biti među najznačajnijim razvojnim područjima luka (Inkinen, Helminen, Saarikoski, 2019; Progoulakis, Nikitakos, Dimitrios, Yaacob, 2022). Kibernetička sigurnost u lukama ima veliki utjecaj na nesmetanu provedbu lučkih aktivnosti. Autori (Hora, Lima, Hora, Silva Neto, 2021) sigurnost i kibernetičke napade u lukama smatraju posebnim izazovom s obzirom da kibernetički napadi mogu uzrokovati velike financijske štete. Nadalje, autori napominju važnost koordinirane aktivnosti dionika u postizanju zaštite i sigurnosti. Prema (Abdelfattah, Ibrahim, 2021) s jedne strane digitalne tehnologije i sustavi mogu povećati sigurnost, s druge strane korištenje može ugroziti kibernetičku sigurnost luke. Autori navode da je posebno kritično korištenje zajedničkih platformi i autorizacija pristupa različitim dionicima. Autori (Raza, Woxenius, Altuntas, Vural, Lind, 2023) tvrde da automatizacija i povezanost među sustavima dovodi do povećane izloženosti kibernetičkim napadima. Prema (El Nahrawy, Aqqal, Dahbi, 2022) korištenje digitalnih tehnologija i sustava zahtijeva poboljšanu zaštitu za sigurniju, bržu i fleksibilniju razmjenu podataka. (Jović, Tijan, Aksentijević, Čišić, 2019) proveli su istraživanje o sigurnosnim izazovima implementiranja tehnologije Internet stvari u lukama. Pritom su utvrdili kako se izazovi sigurnosti i zaštite ogledaju u sljedećem: neslaganju uključenih dionika u pogledu autoriziranog pristupa i hakerskim napadima na uređaje Interneta stvari. Odabir digitalnih tehnologija i sustava treba uzeti u obzir stroge sigurnosne standarde kako bi se spriječile nesreće, ozljede i druge izvanredne situacije (npr. onečišćenja i slično).

S obzirom na brojnost i povezanost, aktivnosti u lukama se pokazuju iznimno reaktivnim na izvanredne okolnosti (na primjer, kibernetički napadi, kvarovi na opremi, vremenske nepogode, ekološki incidenti i sl). Stoga je potrebno razmotriti kriterij

Otpornost (engl. *Resilience*). Otporne digitalne tehnologije i sustavi omogućuju brz oporavak smanjujući vrijeme zastoja. Zastoji ili prekidi u aktivnostima i poslovnim procesima mogu generirati značajne troškove i gubitak vremena u lukama (UNCTAD, 2024). Nadalje, otporne digitalne tehnologije i sustavi su fleksibilni i prilagodljivi, omogućujući lukama učinkoviti odgovor na promjenjive uvjete i zahtjeve bez većih smetnji u provedbi aktivnosti. Provođenjem temeljite procjene rizika i integracijom značajki otpornosti u digitalne tehnologije i sustave, luke mogu proaktivno upravljati rizicima i smanjiti vjerojatnost nepovoljnih događaja koji utječu na aktivnosti. Otporne digitalne tehnologije i sustavi pridonose sigurnosti smanjenjem rizika povezanih s kibernetičkim prijetnjama.

Proces implementacije digitalnih tehnologija i sustava je složen, stoga može biti potrebno dosta vremena i resursa za provedbu. U tom dijelu je potrebno razmotriti ***Jednostavnost implementacije***. Za luke je jednostavnost implementacije digitalnih tehnologija i sustava važna kako bi se provela uz minimalne ili nikakve smetnje. Složena implementacija uključuje i rizike kao što su kašnjenje projekta, prekoračenja proračuna i tehničke pogreške. Digitalne tehnologije i sustavi koje se lako implementiraju jesu fleksibilniji i prilagodljiviji.

Zastoji zbog kvarova mogu poremetiti lučke aktivnosti, što dovodi do kašnjenja i povećanih troškova, te su stoga važan kriterij ***Troškovi održavanja*** (Faster Capital, 2024). U tom smislu važno je i potrebno procijeniti moguće troškove održavanja digitalnih tehnologija i sustava, te naposljetku mogućnost osiguravanja dovoljno financijskih sredstava za troškove održavanja. Ulaganjem u održavanje, smanjuje se vrijeme zastoja u lučkim aktivnostima uslijed eventualnih kvarova. Proaktivno upravljanje troškovima kroz prediktivno održavanje, rutinske preglede i pravovremene popravke pomaže u kontroli troškova i izbjegavanju skupih hitnih popravaka ili zamjena (Faster Capital, 2024). Održavanje produljuje životni vijek digitalnih tehnologija i sustava. Nadalje, luke podliježu regulativama i propisima kojima se regulira održavanje i sigurnost tehnologija.

5.3.2. Organizacijski kriteriji

Kriterij ***Jednostavnost korištenja*** digitalnih tehnologija i sustava podrazumijeva percepciju jednostavnosti korištenja od strane korisnika (Forbes, 2022). Digitalne tehnologije i sustavi prilagođeni korisniku smanjuju potrebu za puno dodatne edukacije, omogućujući brzu prilagodbu i učinkovito korištenje jer se aktivnosti i poslovni procesi mogu obavljati brže i točnije (Forbes, 2022). Ukoliko su digitalne tehnologije i sustavi jednostavni za korištenje minimizira se mogućnost pogrešaka, što je u lukama posebno važno u aktivnostima manipulacije teretom. Nadalje, jednostavno korištenje smanjuje vjerojatnost zastoja ili nepredviđenih situacija uzrokovanih ljudskom pogreškom, čime se utječe na sigurnost aktivnosti u lukama. Digitalne tehnologije i sustavi jednostavni za korištenje pridonose lakšem pružanju usluga korisnicima.

Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih omogućuju brzu prilagodbu novim digitalnim tehnologijama i sustavima te samim time uspješnu integraciju u aktivnosti luke

(Vaggelas, Leotta, 2019). Stoga je potrebno procijeniti trenutnu razinu digitalnih vještina za korištenje digitalnih tehnologija i sustava i slijedom toga povećati razinu digitalnih vještina i znanja (Osmundsen, Iden, Bygstad, 2018). Prema (Bartusevičienė, Valionienė, 2021), digitalne vještine uključuju: *digitalnu* pismenost za interpretaciju podataka, digitalne operacije s opremom i *programsko inženjerstvo*. Ukoliko u luci nema menadžmenta ni zaposlenih koji posjeduju dovoljno digitalnih vještina i znanja, potrebno je organizirati dodatne edukacije. Nadalje, digitalne vještine utječu na prepoznavanje specifičnosti odabranih digitalnih tehnologija i sustava te rješavanje tehničkih problema i obavljanje rutinskih zadataka održavanja, čime se osigurava kontinuitet lučkih aktivnosti. Prema (Battino, Munoz Leonisio, 2022) tranzicija u *pametnu luku* podrazumijeva osigurati ljudske resurse koji mogu pratiti tehnološki razvoj luke. Autori (Boullaouazan, Sys, Vanelslander, 2022) smatraju da su nedostatak digitalnih vještina i nedostatak edukacije prepreka implementiranju digitalnih tehnologija i sustava. Autori (Raza, Voxenius, Altuntas, Vural, Lind, 2023) nedovoljne digitalne vještine smatraju jednim od nedostataka u okviru upravljanja i organizacije. Nadalje, (Vaggelas, 2020) smatra da implementiranje digitalnih tehnologija i sustava u lukama dovodi do promjena u vještinama menadžmenta i zaposlenih. Potrebne su nove tzv. tvrde (engl. *hard skills*) i meke vještine (engl. *soft skills*). Tvrde vještine odnose se na tehničke vještine (upotreba opreme, podataka, softvera itd.), a meke vještine odnose se na komunikaciju, fleksibilnost, timski rad. Važnim aspektom autor smatra specijalizirane edukacije i certificiranje za korištenje digitalnih tehnologija i sustava.

Spremnost IT odjela luke za korištenje digitalnih tehnologija i sustava može doprinijeti učinkovitoj procijeni i odabiru digitalnih tehnologija i sustava. Nadalje, tehnička podrška IT odjela luke omogućava jednostavniju integraciju digitalnih tehnologija i sustava s postojećima u luci (Workast 2024). Time se pruža nesmetan prijelaz u radu tijekom faze implementacije. Tehnička podrška IT odjela potrebna je u slučaju iznenadnih tehničkih problema (Workast 2024). S obzirom da se u lukama obrađuju velike količine podataka, IT odjel osigurava zaštitu podataka i protokole za kibernetičku sigurnost. IT odjel može razviti programe obuke i pružiti stalnu podršku pri korištenju digitalnih tehnologija i sustava (Workast 2024). Proaktivan IT odjel može pratiti nove digitalne tehnologije i sustave te primjere drugih luka. Uz tehničko znanje, IT odjel može provesti analizu troškova i koristi te identificirati prilike za optimizaciju troškova pri odabiru digitalnih tehnologija i sustava (Workast 2024). Ocjenjujući čimbenike kao što su ukupni trošak vlasništva, povrat ulaganja i dugoročna održivost, mogu pridonijeti donošenju informiranih odluka o odabiru digitalnih tehnologija i sustava (Workast 2024).

Financijski resursi za implementaciju često su glavni izazov pri implementaciji digitalnih tehnologija i sustava u lukama, s obzirom da su potrebni značajni financijski resursi. Autori (Park, Kim, Paik, 2015) su proveli istraživanje o kriterijima koji utječu na implementiranje tehnologije Veliki podatci. U istraživanju su autori utvrdili da su financijski resursi za implementaciju među najvažnijim kriterijima te da su ujedno i kritična točka u organizacijskom aspektu implementiranja tehnologije *Veliki podatci*.

Autori navode kako financijski resursi imaju dva aspekta: učinkovito planiranje i korištenje proračuna organizacije te alociranje financijskih resursa. U istraživanju koje su proveli (Haddud, DeSouza, Khare, Lee, 2017) o potencijalnim prednostima i izazovima implementiranja tehnologije *Internet stvari*, autori su utvrdili sljedeće: implementacija tehnologije *Internet stvari* zahtijeva ulaganja u senzore, pohranu podataka, obradu podataka, rudarenje podataka i sigurnost podataka. Pored toga, zahtijeva kvalificirane stručnjake za razvoj i stalnu podršku, različite potrebne aplikacije. Dostatni financijski resursi *omogućuju* lukama odabir i implementiranje kvalitetnih i pouzdanih digitalnih tehnologija i sustava, koji su dugoročno rješenje s obzirom na brojne lučke aktivnosti i intenzitet korištenja tehnologija. Nadalje, dostatni financijski resursi za implementaciju digitalnih tehnologija i sustava u lukama važni su i za responzivnost na eventualne rizike u implementiranju, kao što su kašnjenje projekta, prekoračenje troškova ili nepredviđeni tehnički izazovi (Arkonet, 2024). Dugoročna perspektiva financijskih resursa za odabir digitalnih tehnologija u luci, treba uvažiti kontinuiran napredak digitalnih tehnologija i sustava. Ukoliko luke imaju dovoljno financijskih sredstava, mogu investirati u istraživanje novih digitalnih tehnologija i sustava, poboljšanje postojećih ili kreiranje specifičnih tehnoloških rješenja za njihove potrebe (kao što je slučaj u velikim svjetskim lukama).

5.3.3. Kriteriji okruženja

Luke moraju uskladiti odabir digitalnih tehnologija i sustava s ***Regulativom i legislativom*** odnosno s propisima, zakonima i standardima kojima se reguliraju lučke aktivnosti. Usklađenost s regulativom i legislativom važna je u odabiru digitalnih tehnologija i sustava za luke kako bi se ublažili pravni rizici, zaštitio okoliš, poboljšala sigurnost, zaštitila privatnost podataka, poštivali radni standardi, ispunile međunarodne norme i ispunila očekivanja dionika lučke zajednice. Previše legislative i regulative znači i veliko opterećenje brojnim zahtjevima koje trebaju ispuniti, dok nedovoljno opterećenje znači da luke nemaju jasan okvir za implementiranje digitalnih tehnologija i sustava. Odabir digitalnih tehnologija i sustava treba biti u skladu s relevantnim međunarodnim propisima, s obzirom da luke rade unutar međunarodnog okvira kojim se upravlja ugovorima, konvencijama i sporazumima koje su uspostavile organizacije kao što je *Međunarodna pomorska organizacija* (*Iternational Maritime Organization* − IMO). Upravo sukladno propisima organizacija, npr. Međunarodni kodeks o sigurnosti brodova i lučkih prostora (engl. *International Ship and Port Facility Security Code* −ISPS), standardi *Uprave za sigurnost i zdravlje na radu* (engl. *Occupational Safety and Health Administration* −OSHA) reguliraju zahtjeve za sigurno radno okruženje u lukama. Prema (Duran, Cordova, Palominos, 2019) potrebno je unaprijediti legislativu i regulativu za digitalne tehnologije i sustave. Autori (Klar, Fredriksson, Angelikas, 2022) su analizirali tehnologiju *Digitalni blizanac* te utvrdili nedostatak implementacije tehnologije *Digitalni blizanac*. Autori (Taglitseva et al., 2022) analizirali su korištenje *Tehnologije ulančanih*

blokova kao jednu od komponenti aplikacije za *pametno* ugovaranje te naveli kako nedostaje reguliranost *pametnih* ugovora.

Institucionalna potpora potrebna je za osiguravanje izvora financiranja i pružanje podrške u provedbi procesa implementiranja digitalnih tehnologija. Institucije donose strateške dokumente kao na primjer, *Strategija prometnog razvoja* ili specifično *Strategija razvoja luke* koji sadrže smjernice za digitalizaciju luka, čime se osigurava da je ulaganje u digitalne tehnologije prepoznato kao strateški cilj i tako lakše dobiva institucionalnu te financijsku potporu. Primjer institucionalne podrške jesu institucije Europske unije i definiranje TEN-T mreže prometnih koridora (European Commisson, 2024). Tako luke koje su uvrštene u osnovnu komponentu TEN-T mreže ostvaruju prvenstvo pri financiranju projekata iz programa i fondova EU. Osim strateškog i financijskog aspekta institucionalne potpore, treba razmotriti i zakonodavni te regulatorni aspekt. Institucionalna potpora u zakonodavnom aspektu povezana je s regulativom i legislativom. Institucijski aspekt obuhvaća ne samo zakonodavne institucije već i pomorske, trgovačke i standardizacijske organizacije koje donose pravila i standarde prema kojima luke provode aktivnosti i poslovne procese. Upravljanje rizicima olakšano je uz institucionalnu podršku jer se na razini institucije može donijeti strategija prevencije i ublažavanja rizika s jasnim pravilima i procedurama.

Luke se nalaze u ekološki osjetljivim područjima, a lučke aktivnosti mogu imati značajan utjecaj na okoliš, uključujući onečišćenje zraka i vode, uništavanje staništa i emisije stakleničkih plinova (Mudronja, Aksentijević, Jugović, 2022). Stoga je potrebno razmotriti ***Utjecaj na održivost***. Odabir održivih digitalnih tehnologija i sustava ima za cilj minimizirati te utjecaje smanjenjem potrošnje energije, emisija i stvaranja otpada, čime se ublažava utjecaj lučkih aktivnosti na okoliš. S obzirom da lučke aktivnosti utječu na okruženje luke, lučki grad i zajednicu, odabir održivih digitalnih tehnologija i sustava omogućava smanjenje negativnih utjecaja na okruženje luke.

Luke sagledavaju i ***Digitalne tehnologije i sustave koje koristi konkurencija***. Uvidom u digitalne tehnologije i sustave koje je primijenila konkurencija, luke mogu identificirati tehnološke snage i slabosti, procijeniti svoju konkurentsku poziciju i identificirati na koje digitalne tehnologije i sustave se trebaju usmjeriti. Uvid u digitalne tehnologije i sustave koje koristi konkurencija luke mogu dobiti kroz izvješća i analize relevantnih pomorskih i lučkih institucija, a mogu uključivati informacije o trendovima, novim tehnologijama, tržišnom udjelu i konkurentskoj poziciji. Postoje i platforme za *konkurentsku inteligenciju* koje su specijalizirane za praćenje i analizu korištenja tehnologije od strane konkurenata. Koriste se *web scraping* (ekstrakcija podataka s web stranica), rudarenje podataka i druge tehnike za prikupljanje informacija iz javnih izvora, uključujući web stranice, društvene medije, oglase za posao i objave za tisak.

Kako bi se analizirala važnost kriterija provedeno je istraživanje u suradnji sa stručnjacima iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Istraživanje je provedeno u okviru istog anketnog upitnika opisanog u poglavlju 5.2.1. doktorskog

rada. Stoga je u narednom poglavlju prikazana analiza odgovora stručnjaka o važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

5.3.4. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Analiza odgovora stručnjaka provedena je primjenom *Deskriptivne statističke analize* te primjenom *Metode aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*. Analiza je provedena primjenom SPSS računalnog programa. Cilj predmetne analize je utvrditi koji kriteriji se prema mišljenjima stručnjaka smatraju najvažnijima za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

U tablicama 15. i 16. prikazana je *Deskriptivna statistička analiza* kriterija (aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost, medijan, interkvartilni raspon). Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privicima 17. i 19.

Tablica 15. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
1.	**Financijski resursi za implementaciju**	4,67	0,474	-0,717	-1,515
2.	**Troškovi održavanja**	4,61	0,49	-0,456	-1,828
3.	**Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih**	4,44	0,536	-0,131	-1,188
4.	**Regulativa i legislativa**	4,35	0,519	0,2	-1,04
5.	Spremnost IT odjela	4,16	0,748	-0,274	-1,161
6.	Jednostavnost implementacije	4,13	0,748	-0,223	-1,17
7.	Jednostavnost korištenja	4,07	0,763	-0,113	-1,262
8.	Otpornost na tehničke poteškoće	3,79	0,716	-0,146	-0,184
9.	Institucijska potpora	3,78	1,028	-1,006	1,479

R.br.	Tehnologija	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Asimetrija	Zaobljenost
10.	Utjecaj na održivost	3,49	0,991	-0,503	-0,289
11.	IT infrastruktura	3,48	0,681	-0,565	-0,258
12.	Sigurnost	3,46	0,91	-0,574	-0,529
13.	Tehnologija koju koristi konkurencija	3,21	0,863	-0,147	-1,148

Izvor: Rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Analizirano je ukupno 13 kriterija. Nakon provedenog ocjenjivanja kriterija, stručnjaci su vrlo važnim ocijenili sljedeće kriterije za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*: *Financijski resursi za implementaciju* (4,67 ± 0,474), *Troškovi održavanja* (4,61 ± 0,490), *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* (4,44 ± 0,536), *Regulativa i legislativa* (4,35 ± 0,519), *Jednostavnost implementacije* (4,13 ± 0,748), *Spremnost IT odjela* (4,16 ± 0,748) i *Jednostavnost korištenja* (4,07 ± 0,763).

Unatoč maloj disperziji, podatci zbog izražene ljevostrane asimetričnosti i zaobljenosti razdiobe u odgovorima ne pokazuju karakteristike normalne razdiobe.

U konačnici *Kolmogorov-Smirnov* test pokazao značajno odstupanje od normalne razdiobe ($p < 0,001$) za kriterije. S obzirom na obim (grupiranje rezultata prema više kriterija), nisu prikazani pojedinačni rezultati *Kolmogorov-Smirnov* testa, već samo prethodno naveden ukupan rezultat proizašao iz SPSS računalnog programa. Izvadak *Kolmogorov-Smirnov* testa iz SPSS računalnog programa prikazan je u privitku 18.

Pristupilo se neparametrijskom testiranju, utvrđivanjem *Medijana* i *Interkvartilnog raspona*.

Tablica 16. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – medijan i interkvartilni raspon

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni Raspon
1.	**Financijski resursi za implementaciju**	5	1
2.	**Troškovi održavanja**	5	1
3.	**Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih**	4	1
4.	**Regulativa i legislativa**	4	1
5.	**Spremnost IT odjela**	4	1
6.	**Jednostavnost implementacije**	4	1
7.	Jednostavnost korištenja	4	2

R.br.	Tehnologija	Medijan	Interkvartilni Raspon
8.	Otpornost na tehničke poteškoće	4	1
9.	Institucijska potpora	4	1,5
10.	Utjecaj na održivost	4	1
11.	IT infrastruktura	4	1
12.	Sigurnost	4	1
13.	Tehnologija koju koristi konkurencija	3	2

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Iako *Interkvartilni raspon* ne pokazuje znatnija odstupanja, analiza kriterija putem medijana je prilično homogena. Najvišu vrijednost *Medijana* imaju kriteriji: *Financijski resursi za implementaciju* te *Troškovi održavanja*. Visoku vrijednost *Medijana* imaju i kriteriji: *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*, *Regulativa i legislativa*, *Spremnost IT odjela* te *Jednostavnost implementacije*. Minimalna vrijednost *Medijana* je 3 koju ima jedino kriterij *Tehnologija koju koristi konkurencija*. Međutim, veliko *Interkvartilno odstupanje* (2) u odnosu na medijalnu ocjenu čini ovaj kriterij statistički neupotrebljivim (Bock, Velleman, DeVeaux, 2007) ne unatoč niskoj vrijednosti, već nereprezentativnosti. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 19.

5.3.5. Multivarijatna analiza kriterija – metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje

U nastavku slijedi analiza rezultata evaluacije kriterija primjenom *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja* uz primjenu *Wardove metode* i mjere *Euklidske udaljenosti*.

Postupak klasteriranja kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, započet je sa 13 objekata (objekti su broj kriterija koji su uključeni u analizu). Klasteri su zatim spajani na temelju kriterija specifičnih za prethodno navedenu odabranu metodu.

U tablici 17. u nastavku prikazan je plan aglomeracije kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Kako bi se proveo postupak klasteriranja u SPSS računalnom programu, za kriterije je zadan minimalno potreban broj klastera, dva klastera. U svakom redu prikazane su kombinacije kriterija iz dva klastera. Koeficijenti prikazani u tablici predstavljaju udaljenost između dva klastera u svakoj fazi.

Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 20.

Tablica 17. Plan aglomeracije kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

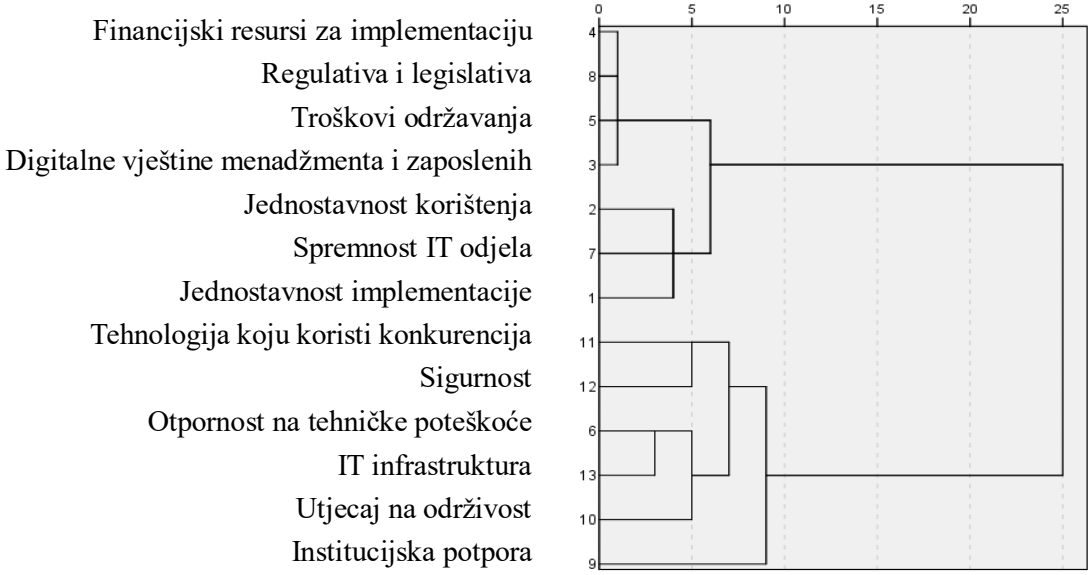
Kombinacije klastera				Prva faza klastera		
Faza	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Koeficijenti**	**Klaster 1**	**Klaster 2**	**Sljedeća Faza**
1	4	8	18,500	0	0	2
2	4	5	43,333	1	0	3
3	3	4	72,250	0	2	9
4	6	13	123,750	0	0	8
5	2	7	179,750	0	0	6
6	1	2	241,750	0	5	9
7	11	12	311,750	0	0	10
8	6	10	383,583	4	0	10
9	1	3	462,476	6	3	12
10	6	11	557,543	8	7	11
11	6	9	677,143	10	0	12
12	1	6	990,462	9	11	0

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Plan aglomeracije pokazao je da su prvo grupirani *Financijski resursi za implementaciju* i *Regulativa i legislativa*. U sljedećoj fazi su im pridodani *Troškovi održavanja*, te u 3. fazi *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*. Nakon toga se koeficijent počinje naglo povećavati (na 123,750), te se ostali kriteriji okupljaju u druge klastere. Povećanje koeficijenta između dviju faza ukazuje da se dio kriterija grupirao i izdvojio u zaseban klaster u odnosu na ostale kriterije. Kriteriji koji su se grupirali prije naglog povećanja koeficijenta uzimaju se kao najrelevantniji u analizi.

Proces klasteriranja kriterija prikazan je dendrogramom u nastavku (Grafikon 11.). Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 21. U tablici 18. u nastavku, prikazano je grupiranje kriterija u klastere. Originalni rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa nalazi se u privitku 22.

Grafikon 11. Dendrogram procesa klasteriranja kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*



Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Provedbom postupka *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, na kraju klasteriranja kriteriji su grupirani u klastere kako je prikazano u tablici 18.

Tablica 18. Klasteriranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

R.br.	Kriteriji	Klaster
1.	Jednostavnost implementacije	1
2.	Jednostavnost korištenja	1
3.	Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	2
4.	Financijski resursi za implementaciju	2
5.	Troškovi održavanja	2
6.	Otpornost na tehničke poteškoće	3
7.	Spremnost IT odjela	1
8.	Regulativa i legislativa	2
9.	Institucijska potpora	4
10.	Utjecaj na održivost	5
11.	Tehnologija koju koristi konkurencija	6
12.	Sigurnost	6
13.	IT infrastruktura	3

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem SPSS računalnog programa

Unatoč manjem broju kriterija, u odnosu na broj *Tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava* te *Disruptivnih digitalnih tehnologija*, kriteriji su grupirani u 6 klastera kako slijedi:

- Klaster 1: *Jednostavnost implementacije, Jednostavnost korištenja, Spremnost IT odjela*
- Klaster 2: *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, Financijski resursi za implementaciju, Troškovi održavanja, Regulativa i legislativa*
- Klaster 3: *Otpornost na tehničke poteškoće, IT infrastruktura*
- Klaster 4: *Institucijska potpora*
- Klaster 5: *Utjecaj na održivost*
- Klaster 6: *Tehnologija koju koristi konkurencija, sigurnost i zaštita.*

S obzirom na prosječne ocjene kriterija, a koje su utvrđene deskriptivnom statističkom analizom, sljedeći kriteriji dobili su visoku ocjenu od strane stručnjaka: *Financijski resursi za implementaciju*, *Troškovi održavanja*, *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*, *Regulativa i legislativa*, *Jednostavnost implementacije, Spremnost IT odjela i Jednostavnost korištenja*.

S obzirom na rezultate provedenog postupka *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, kriteriji su grupirani u 6 klastera. Provedenim grupiranjem u SPSS računalnom programu, kriteriji *Jednostavnost implementacije*, *Spremnost IT odjela* i *Jednostavnost korištenja* grupirani su u prvi klaster, što upućuje da su dodatnom analizom isključeni iz kriterija ocijenjenih od strane stručnjaka kao najvažnijih za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Ukupni rezultati deskriptivne statističke analize i *Aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja*, pokazuju da stručnjaci za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* najvažnijim smatraju kriterije: ***Financijski resursi za implementaciju, Troškovi održavanja, Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*** *i* ***Regulativa i legislativa.***

Stoga se predmetni kriteriji uzimaju u obzir za evaluiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

U nastavku slijedi primjena AHP metode za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

5.4. Analiza metoda i odabir optimalne metode za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Temeljem analize prethodnih istraživanja u poglavlju 5.1., proizlazi da je za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* primjenjiva višekriterijska analiza odnosno višekriterijsko odlučivanje. Stoga je potrebno analizirati metode višekriterijskog odlučivanja te naposljetku odabrati najprikladniju za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Višekriterijsko odlučivanje uključuje brojne metode koje se mogu primijeniti u različitim područjima, a odabir i primjena metode zavisi od teme evaluacije i podataka koji se obrađuju (Taherdoost, Madanchian, 2023).

U nastavku su pojašnjene najčešće korištene kvantitativne i kombinirane metode višekriterijskog odlučivanja, a kako bi se odabrala metoda za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Metoda AHP −analitički hijerarhijski proces (engl. *Analytic Hierarchy Process*) koristi se pri donošenju odluka u kojima je potrebno napraviti odabir između više alternativa, prema više kriterija. U odabiru alternativa moguće je uključiti jednog ili više dionika odnosno stručnjaka. Kako bi se provela AHP analiza potrebno je najprije definirati cilj, kriterije, potkriterije (ukoliko se primjenjuju) te alternative-ovisno o tematici problema odlučivanja. Potom slijedi uspoređivanje kriterija te uspoređivanje alternativa prema definiranim kriterijima. Usporedba se provodi primjenom Saatyjeve skale. Faza određivanja najznačajnije alternative je faza u kojoj se pomoću matrica dobivaju prioriteti. Konačno rješenje je alternativa koja ima najveću vrijednost u vektoru prioriteta cilja (Stofkova et al., 2022) *AHP metoda* je specifična jer može kombinirati kvalitativnu i kvantitativnu komponentu te omogućava evaluaciju od strane jednog ili više ispitanika (Ning, Jiahne, 2017).

Metoda Fuzzy AHP primjenjuje se pri donošenju odluka kod kojih postoji određena nesigurnost u odlučivanju, iz razloga nepotpunih ili nedostupnih informacija. Slično klasičnom AHP-u, problem donošenja odluke strukturiran je hijerarhijski, s glavnim ciljem na vrhu, a kriteriji, potkriteriji i alternative na nižim razinama. *Fuzzy AHP* koristi fuzzy aritmetiku za agregiranje sudova o usporedbi parova i izračun fuzzy težina za svaki kriterij i alternativu. Slično klasičnoj *AHP metodi*, provjeravaju se dosljednosti kako bi se osigurala pouzdanost usporedbe parova. U Fuzzy AHP metodi, dosljednost se procjenjuje na temelju principa neizrazitih logičkih zaključaka. Fuzzy težine dobivene iz usporedbe parova agregiraju se kako bi se odredili ukupni prioriteti kriterija i alternativa (Ciardiello, Genovese, 2023).

Metoda ANP − Analitički mrežni proces (engl. *Analytic Network Process*) je metoda nastala na osnovi *AHP metode*. Za razliku od *AHP metode* u kojoj se problem odlučivanja svodi na 3 razine (cilj, kriteriji, alternative), *ANP metoda* problem rastavlja na klastere i čvorove unutar tih klastera. *Metoda AHP* bazira se na hijerarhijskoj strukturi, dok se metoda ANP bazira na mrežnoj strukturi. Najprije se problem sistematizira na glavne komponente, a potom se formiraju klasteri za evaluaciju. Zatim se provodi

usporedba parova elemenata odlučivanja. Na kraju se radi analiza osjetljivosti rješenja-način na koji promjena nekog kriterija utječe na konačno rješenje (ISAHP, 2024).

Metoda TOPSIS (engl. *Tehnique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) je tehnika preferencije prema idealnom rješenju. Temelji na tome da je rješenje alternativa najbliža idealnoj alternativi, a najdalje od neželjene alternative. Najprije se definira idealno rješenje i negativno rješenje, a potom se provodi analiza kroz matricu odlučivanja. Na kraju se rezultati iz matrice odlučivanja podvrgavaju izračunu euklidskih udaljenosti alternativa, a najbolja je alternativa najmanje udaljena od idealnog rješenja (Ciardiello, Genovese, 2023).

Metoda PROMETHEE, odnosno metoda organizacije rangiranja preferencija za obogaćivanje procjene (engl. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*) omogućava usporedbu i rangiranje različitih alternativa koje se istovremeno ocjenjuju na temelju više kvantitativnih i kvalitativnih kriterija. *Metoda PROMETHEE* omogućava pretvorbu kvalitativnih podataka u numeričke, odnosno prikupljene kvalitativne informacije rangiraju su prema svome značaju i važnosti kako bi donositelj odluke mogao uvidjeti koliko je određeni kriterij važan pri donošenju odluke te svoju pozornosti obratio na one najvažnije kao ključne elemente donošenja odluke. Temelj funkcionalnosti *PROMETHEE metode* upravo je usporedna alternativa kroz više kriterija poredanih po važnosti, odnosno pokušava se uvidjeti snaga preferencije alternative 1 u odnosu s alternativom 2 na način da se svaka alternativa stavi u odnos s rangiranim kriterijima kako bi se uvidjelo koliku važnost određeni kriterij ima u određenoj alternativi u svrhe donošenja optimalnog izbora i odluke. *Metoda PROMETHEE* uključuje nekoliko tehnika: PROMETHEE I, II, III, PROMETHEE IV, V, VI. Najnovije verzije, PROMETHEE TRI i CLUSTER su namijenjene za probleme sortiranja i nominalne klasifikacije. Tehnike PROMETHEE VI, GDSS i GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) mogu se koristiti za predstavljanje mentalnih mapa, grupno odlučivanje i grafički prikaz. GAIA je vizualni interaktivni modul koji se može koristiti se kada je problem odlučivanja vrlo kompliciran (Taherdoost, Madanchian, 2023).

Metoda SMART jednostavna je tehnika ocjenjivanja s više značajki (engl. *Simple Multi Attribute Rating Technique*) razvijena u okviru višekriterijske teorije korisnosti. Glavna razlika između *SMART metode* i *AHP metode*, je da *AHP metoda* koristi usporedbu u parovima dok *SMART metoda* koristi izravno rangiranje alternativa. Glavnom kriteriju se dodjeljuje vrijednost 100, dok se ostalim kriterijima dodjeljuju vrijednosti u rasponu od 0 do 100. Isto tako kako se vrijednosti dodjeljuju kriterijima, na isti način se dodjeljuju i alternativama. Nakon toga, kako se završio proces dodjeljivanja vrijednosti kriterijima i alternativama prelazi se na konačni proces, a on je isti kao i kod AHP metode te se na taj način dobiva konačno rješenje (Apriana, Fauziah, 2022).

Metoda VIKOR (engl. *Multicriteria Optimization and Compromise Solution*) koristi se u svrhu višekriterijske optimizacije složenih odluka. Donošenje odluke temelji se na odabiru iz skupa alternativnih rješenja koje se rangira pomoću kriterija. Metoda se bazira na kompromisnom programiranju, a što znači pronalazak kompromisnog rješenja

uz pomoć indeksa kojim se određuje koliko je alternativa blizu optimalnom rješenju. *Metoda VIKOR* omogućava rangiranje alternativa različitih vrijednosti težina kriterija, čime se analizira njihov utjecaj na dobiveno kompromisno, odnosno optimalno rješenje (Arif, Suseno, Isnanto, 2020).

Metoda DEMATEL (engl. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) se koristi kako bi se analizirale i formirale veze uzroka i posljedica između kriterija (Kadoić, 2018). Kao glavni rezultat, *DEMATEL metoda* pretvara odnose između kriterija u strukturni model koji se prikazuje pomoću grafikona. Kriteriji su rangirani prema važnosti odnosa i ocjenjuju se prema stupnju i intenzitetu utjecaja među kriterijima, sukladno skali od 0 do 4: 0 – nema utjecaja, 1 – mali utjecaj, 2 – srednji utjecaj, 3 – veliki utjecaj, 4 – vrlo veliki utjecaj (Tsai, Shyr, 2022).

Temeljem značajki prethodno analiziranih metoda višekriterijskog odlučivanja, kao najpogodnija metoda za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* pokazuje se ***AHP – metoda analitičkog hijerarhijskog procesa***.

Metoda AHP odabrana je s obzirom da se problem odlučivanja (u ovom slučaju evaluacija scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*) može prikazati u hijerarhijskom obliku počevši od cilja kao najviše hijerarhijske razine, preko kriterija do scenarija kao najniže razine. Nadalje, *AHP metoda* ocjenjuje preferencije i omogućava individualnu evaluaciju ili evaluaciju od strane više sudionika evaluacije. S obzirom da je potrebno odabrati između nekoliko scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te scenarije ocijeniti prema kriterijima, *AHP metoda* omogućava detaljnu usporedbu parova kriterija temeljem Saatyeve skale u intervalu od jedan do devet. Pri analizi alternativa (u ovom slučaju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*), provodi se *Postoptimalna analiza* alternativa što osigurava pravilan odabir scenarija, pogotovo ukoliko su u konačnom poretku rangirani s manjom razlikom.

Za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, primjenom *AHP metode*, primijenjen je DecernsMCDA računalni program zbog jednostavnosti i korištenja bez naknade. DecernsMCDA računalni program za višekriterijsku analizu, odnosno višekriterijsko odlučivanje, razvijen kao samostalna/desktop računalna aplikacija, koja ima više alata za strukturiranje i modeliranje višekriterijskih problema (stablo vrijednosti i tablica performansi), kriterije ponderiranja, analizu osjetljivosti. Pri rješavanju specifičnog višekriterijskog problema, korisnik DecernsMCDA ima mogućnost odabrati odgovarajuće metode te može usporediti rezultate i uz primjenu nekoliko metoda višekriterijskog odlučivanja. Primijenjen je i 123AHP računalni program (bez naknade za korištenje) za pojedine pokazatelje u AHP analizi.

5.5. Evaluacija scenarija tranzicije odabrane teretne morske luke u *pametnu luku* i interpretacija rezultata

Kako bi se primjenom *AHP metode* evaluirali scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, a koji su predloženi u poglavlju 5.4., potrebno je odabrati luku na primjeru koje će se provesti evaluacija.

Odabir luke uvjetovan je rezultatima evaluacije *digitalne zrelosti* luka, koja je analizirana u prethodnom poglavlju. Odabrana je luka Rijeka, s obzirom da ukupno gledajući pokazuje nedovoljnu razinu *digitalne zrelosti* (evaluirano u prethodnom 4. poglavlju) u kontekstu sva tri definirana scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Nadalje, razlog odabira luke Rijeka je mogućnost pristupa informacijama i provedba evaluacije scenarija tranzicije u *pametnu luke* direktnim kontaktom i intervjuom, čime se osigurava ispravnost provedbe evaluacije i prikupljanje relevantnih informacija. Isto tako treba uvažiti i činjenicu da svaka luka ima individualne ciljeve digitalizacije, samim time i preferirani scenarij tranzicije različit je za svaku luku, a što je već elaborirano prethodno u poglavlju. Primjerak anketnog upitnika nalazi se u privitku 23.

Luka Rijeka tijekom proteklog razdoblja postupno je razvijana ponajviše kroz Rijeka Gateway projekt, razvoj kontejnerskog terminala Brajdica i razvoj naftnog terminala na Omišlju. Lučka uprava Rijeka te veći operatori terminala (Luka Rijeka d.d., Jadranska vrata d.d., Janaf) bili su aktivni sudionici u razvoju luke Rijeka. Luka Rijeka održava kontinuitet razvoja kroz nove projekte kao što je izgradnja Zagrebačke obale za koju je već izabran operater terminala APM i Ena Logic, čime se s obzirom na najave operatora terminala otvara mogućnost za projekte digitalizacije i postupnu tranziciju luke Rijeka u *pametnu luku*.

U svojstvu evaluatora scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* sudjelovala je osoba iz redova menadžmenta u hijerarhiji Luka Rijeka d.d. (u svrhu zaštite privatnosti podataka ne objavljuje se ime niti točan naziv pozicije na kojoj je evaluator zaposlen). Time je osigurano dobivanje prihvatljivih odgovora, s obzirom da je evaluator upoznat s preferencijama digitalizacije u okviru povezanih društava Luka Rijeka d.d. i Jadranska vrata d.d.

Prije daljnjih razmatranja i evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*, potrebno je istaknuti kako je proces tranzicije u *pametnu luku* postupan proces u kojem se digitaliziraju korak po korak aktivnosti luke. Isto je svakako vidljivo na primjerima velikih svjetskih luka, a koje su analizirane u poglavlju 3.4. Pritom je više primjera koji ukazuju na važnost privatnih investicija od strane velikih operatora terminala. Na luke sve veći utjecaj imaju velike brodarske tvrtke i veliki privatni operatori terminala koji su aktivni u njima, nego na primjer lučke uprave. Stoga je došlo do porasta sudjelovanja privatnog sektora u lukama diljem svijeta.

Recentan primjer involviranja privatne tvrtke u luku je sporazum koji je tvrtka MSC Mediterranean Shipping Company (MSC) potpisala s lukom Hamburg na 40 godina

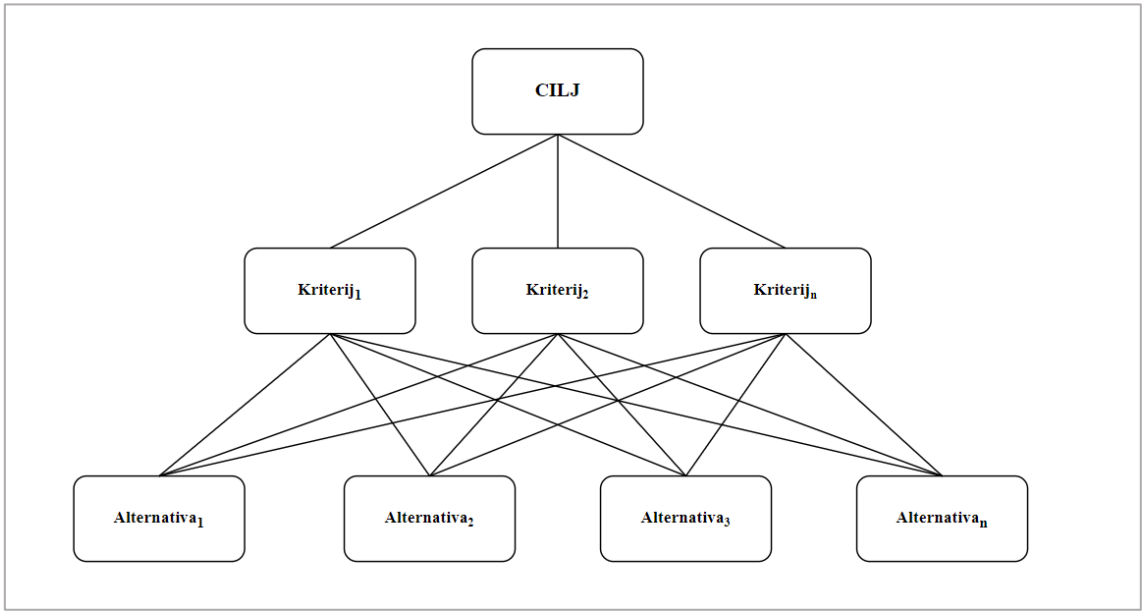
i u kojem se obvezuje između ostalog investirati i u digitalizaciju luke Hamburg s ciljem jačanja konkurentske pozicije luke (MSC, 2023).

U luci Rotterdam djeluje Hutchison Ports ECT Rotterdam (ECT) jedan od vodećih i najnaprednijih operatora kontejnerskih terminala u Europi. ECT upravlja ECT Delta terminalom i ECT Euromax terminalom. ECT je također pionir u polju automatizacije te je 1993. godine upravo ECT je otvorio prvi automatizirani kontejnerski terminal na svijetu (ECT Rotterdam, 2024).

Prije evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku,* u nastavku će se ukratko pojasniti značajke *AHP metode* (u odnosu na opis u dijelu analize metoda višekriterijskog odlučivanja).

Višekriterijski problem odlučivanja u *AHP metodi* je hijerarhijski strukturiran (Esen, 2023). Na samom vrhu hijerarhije postavljen je cilj, zatim kriteriji te se na dnu nalaze alternative (u kontekstu doktorskog rada alternative su scenariji tranzicije). Takva hijerarhija s tri nivoa predstavlja osnovnu strukturu analitičkog hijerarhijskog procesa koja je prikazana na shemi 9.

Shema 9. Struktura analitičkog hijerarhijskog procesa – AHP



Izvor: Izradila doktorandica

AHP metoda, temelji se na trima osnovnim principima (Esen, 2023):

- Dekompozicija: stvaranje hijerarhijskih vrijednosti uz korištenje stabla vrijednosti
- Usporedna prosudba: usporedbe parova kriterija i alternativa prema svakom kriteriju

- Sinteza prioriteta: određivanje težine na temelju usporedbe parova kriterija.

Sukladno spoznajama iz literature pregledane pri razmatranju metoda višekriterijskog odlučivanja, *AHP metoda* više je primijenjena u odnosu na druge metode zbog fleksibilnosti i jednostavnosti korištenja te dostupnosti računalnih alata bez naknade za korištenje.

Postupak primjene *AHP metode* sastoji se od nekoliko koraka (MindTool, 2024):

1. Korak: definira se cilj koji se želi postići primjenom *AHP metode*, a potom određuje alternative te kriteriji, odnosno potkriteriji (ukoliko su definirani). Točnije, postavlja se hijerarhijski model problema, na vrhu se nalazi cilj dok se silazno nalaze kriteriji i alternative.
2. Korak: nakon što je definirana hijerarhijska struktura, pomoću Saatyeve skale i definiranih vrijednosti potrebno je usporediti kriterije i alternative, u parovima na svim razinama hijerarhijske strukture koja je postavljena.
3. Korak: koristeći matematički model izračunavaju se prioriteti na određenoj razini hijerarhijske strukture. Računa se težina kriterija, potkriterija (ukoliko su definirani) i alternativa koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa. Rezultat je najbolje rangirana alternativa.
4. Korak: na kraju se provodi *Postoptimalna analiza* osjetljivosti u svrhu vidljivosti koliko promjene ulaznih podataka utječu na promjene ukupnih prioriteta alternativa odnosno rezultata.

Temeljni matematički alat koji se koristi u *AHP metodi* su matrice (Math.*e*, 2024).

Elemente matrice A koja ima m redaka i n stupaca, tj. elemente matrice tipa m$\times n$, označava se a s α_{ij} (element polja F pridružen paru (i,j) koji se u tabličnom zapisu nalazi na presjeku i−tog retka i j−tog stupca), a matricu $A = (\alpha_{ij})$ tablično se zapisuje u obliku (Math.*e*, 2024):

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix}$$

U *AHP metodi* pozitivne recipročne matrice se pojavljuju kao matrice usporedbi kriterija i alternativa u parovima (Math.*e*, 2024).

Kvadratna matrica A reda n je pozitivna recipročna matrica ako za sve $i,j \in 1,\ldots..n$ vrijedi:

(i) $\alpha_{ij}>0$

(ii) $\alpha_{ii} = 1$

(iii) $\alpha_{ij} = \frac{1}{\alpha_{ji}}$, $i \neq j$.

Pozitivna recipročna matrica A reda n je konzistentna, u Saaty-jevom smislu, ako vrijedi:

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ik} \cdot \alpha_{kj}$$

za sve i, j, k$\in$1,…,n$_{i,j}$,$k\in$1,…, n.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \alpha_{12} & \ldots & \alpha_{1n} \\ \frac{1}{\alpha_{12}} & 1 & \ldots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\alpha_{1n}} & \frac{1}{\alpha_{2n}} & \ldots & 1 \end{pmatrix}$$

Uz uvjet da se precizno odrede vrijednosti težinskih koeficijenata svih elemenata koji se međusobno uspoređuju na nekom od nivoa hijerarhije, vrijednosti matrice bile bi potpuno konzistentne. Međutim, u praksi nije tako te se stoga provodi procjena konzistentnosti odlučivanja. Da bi se procijenila konzistentnost odlučivanja potrebno je izračunati *Mjeru konzistencije* tj. *Indeks konzistencije CI*, a računa se prema sljedećem izrazu (Math.*e*, 2024):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

gdje je:
λ_{max} – najveća svojstvena vrijednost
n – broj kriterija.

Slučajni indeks konzistentnosti RI ovisi o redu matrice, a dobiven je tako što je prema Saatyu za svaku matricu veličine n generirana nasumična matrica te izračunana njihova srednja vrijednost *CI* i nazvana *Slučajni indeks konzistencije RI*. Omjer konzistencije *CR* je omjer indeksa *CI* i indeksa *RI* (Math.*e*, 2024).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Ukoliko je stupanj konzistentnosti CR manji od 0.10, rezultat se smatra dovoljno točan i nema potrebe korigirati usporedbe i ponavljati proračun. Međutim, vrijednost stupnja konzistentnosti CR veći od 0.10, ukazuje da rezultat analize nije prihvatljiv te da bi trebalo ponovo provesti analizu primjenom AHP metode (Math.*e*, 2024).

Dakle, unutar *AHP metode* koristi se sustavna usporedba dviju alternativa s obzirom na svaki kriterij na temelju posebne ljestvice omjera: za dani kriterij, alternativa *i* ima prednost u odnosu na alternativu *j* sa snagom prioriteta iz $a_{ij} = s$, $1 \leq s \leq 9$, pa je prema tome, $a_{ji} = 1/s$. Zatim se isti postupak provodi za $\frac{m(m-1)}{2}$ usporedbi parova u istom omjeru za *m* kriterija. Dobivene matrice se procesuiraju izdvajanjem svojstvenog vektora koji odgovara maksimalnoj svojstvenoj vrijednosti matrice uparene usporedbe i daju vrijednosti $V_{i,a}$ i težine w_i za kasniju upotrebu s modelom, kada se preferencije agregiraju prema različitim kriterijima (Math.*e*, 2024).

U nastavku slijedi evaluacija scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku.*

U svrhu evaluacije scenarija tranzicije teretne morske luke (luka Rijeka) u *pametnu luku*, napravljen je **AHP model** koji čine sljedeći kriteriji i scenariji prikazani na shemi 10.):

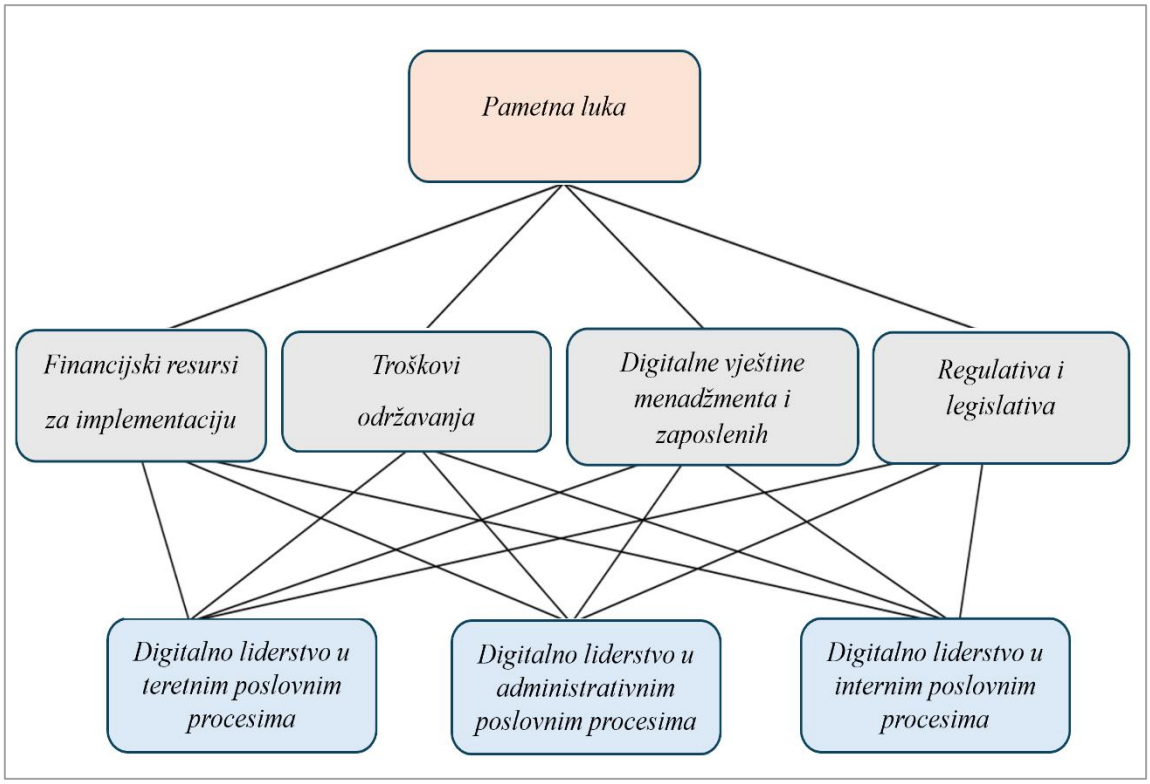
Kriteriji:

- Financijski resursi za implementaciju
- Troškovi održavanja
- Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih
- Regulativa i legislativa.

Scenariji (alternative):

- **Scenarij 1** – ***Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima***
- **Scenarij 2** – ***Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima***
- **Scenarij 3** – ***Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima.***

Shema 10. AHP model evaluacije scenarija tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku*



Izvor: Izradila doktorandica

Za evaluaciju scenarija tranzicije odabrane teretne morske luke u *pametnu luku,* osmišljen je jednostavan AHP model, s obzirom da je cilj utvrđivanje preferencija scenarija tranzicije u *pametnu luku*.

U primjeni *AHP metode* za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* korištena je *Metoda usporedbe parova* (engl. *Pairwise comparison method*) kao mehanizam ponderiranja i bodovanja temeljem matrice relativnih rezultata za svaki par elemenata pomoću Saatyeve skale prikazane u nastavku. Saatyeva skala omogućava izražavanje preferencije donositelja odluke.

Tablica 19. Saatyeva skala za evaluaciju scenarija tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku*

Intenzitet važnosti	Definicija	Opis
1	Jednako važan	Dva scenarija podjednako su važni
3	Umjereno važniji	Mala prednost daje se jednom scenariju
5	Važniji	Veća prednost daje se jednom scenariju
7	Znatno važniji	Jedan se scenarij favorizira u odnosu na drugi scenarij
9	Ekstremno važniji	Jedan scenarij ima najveću moguću važnost u odnosu na drugi scenarij
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti	Kompromisni opis važnosti među scenarijima, u odnosu na definirani intenzitet važnosti

Izvor: Prilagođeno prema Abldelalim, Nawawy, Bassiony (2016), a prema (Saaty, 1982). Decision Supporting System for Risk Assessment in Construction Projects: AHP-Simulation Based Technique. *International Journal of Computer Science (IIJCS),* Vol 4 (5) str. 27.

U postupku *AHP metode*, usporedba parova temelji se upravo na Saatyevoj skali, pri čemu veći broj vrijednosti skale daje veću vrijednost alternativi ili kriteriju. Rezultat uspoređivanja elemenata (kriteriji, alternative) na nekoj hijerarhijskoj razini formira se u određene matrice usporedbe.

Najprije su evaluirani odnosi pariteta grupe kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku* te odnosi pariteta scenarija tranzicije u *pametnu luku* u odnosu na kriterije za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku*, primjenom usporedba parova kao mehanizma ponderiranja i bodovanja. Napravljen je rezultat obrade korištenjem računalnog programa DecernsMCDA te *Omjer konzistentnosti* (engl. *Consistency ratio*). Originalni rezultati evaluacije nalaze se u privitku 24. Sve analize napravljene su sa 95 % pouzdanosti.

Tablica 20. Odnos pariteta grupe kriterija – usporedba međusobne važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*

	Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	Regulativa i legislativa
Financijski resursi za implementaciju	1	1	4	1
Troškovi održavanja	1	1	3	1
Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	1/4	1/3	1	1
Regulativa i legislativa	1	1	1	1
Omjer konzistentnosti	0,078			

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Kriterij *Financijski resursi za implementaciju* ocijenjen između "umjereno važnijeg" i "važnijeg" u usporedbi s kriterijem *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih*, dok su *Troškovi održavanja* umjereno važniji kriterij u odnosu na kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*.

Ostali odnosi kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* imaju iste paritete, pa su tako *Troškovi održavanja* te *Regulativa i legislativa* jednako važni, kao i *Financijski resursi za implementaciju* te kriterij *Regulativa i legislativa.*

Omjer konzistentnosti je odgovarajući CR = 0,078 < 0,1, sukladno Saatyevoj metodologiji.

U tablici 21. prikazan je odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju.*

Tablica 21. Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*

	Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	1	8	7
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	1/8	1	2
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	1/7	½	1
Omjer konzistentnosti	0,073		

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je ocijenjen između "znatno važnijeg" i "ekstremno važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* te "znatno važniji" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima.* Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* je ocijenjen između "jednako važnog" i "umjereno važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima.*

Omjer konzistentnosti je odgovarajući CR = 0,073 < 0,1, sukladno Saatyevoj metodologiji.

U tablici 22. prikazan je odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Troškovi održavanja.*

Tablica 22. Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Troškovi održavanja*

	Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	1	8	6
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	1/8	1	½
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	1/6	2	1
Omjer konzistentnosti	0,018		

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Unutar kriterija *Troškovi održavanja*, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ocijenjen je između "znatno važnijeg" i "ekstremno važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* ocijenjen između "jednako važnog" i "umjereno važnijeg". Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je ocijenjen između "važnijeg" i "znatno važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima.*

Omjer konzistentnosti je odgovarajući CR=0,018<0,1, sukladno Saatyevoj metodologiji.

U tablici 23. prikazan je odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih*.

Tablica 23. Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih*

	Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	1	7	4
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	1/7	1	1/3
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	1/4	3	1
Omjer konzistentnosti	0,031		

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Unutar kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* kao najbitniji se pokazao scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* kao znatno važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima,* te je ocijenjen između "umjereno važnijeg" i "važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima.* Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je umjereno važniji od scenarija *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* .

Omjer konzistentnosti je odgovarajući CR = 0,031 < 0,1, sukladno Saatyevoj metodologiji.

U tablici 24. prikazan je odnos pariteta tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Regulativa i legislativa.*

Tablica 24. Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Regulativa i legislativa*

	Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	1	8	5
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	1/8	1	1/3
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	1/5	3	1
Omjer konzistentnosti	0,042		

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Unutar kriterija *Regulativa i legislativa,* scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je ocijenjen je između "znatno važnijeg" i "ekstremno važnijeg" u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* te je važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je umjereno važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*.

Omjer konzistentnosti je odgovarajući CR = 0,042 < 0,1, sukladno Saatyevoj metodologiji.

U tablici 25. u nastavku prikazana je važnost kriterija prema rezultatima AHP evaluacije.

Tablica 25. Važnost kriterija – AHP evaluacija

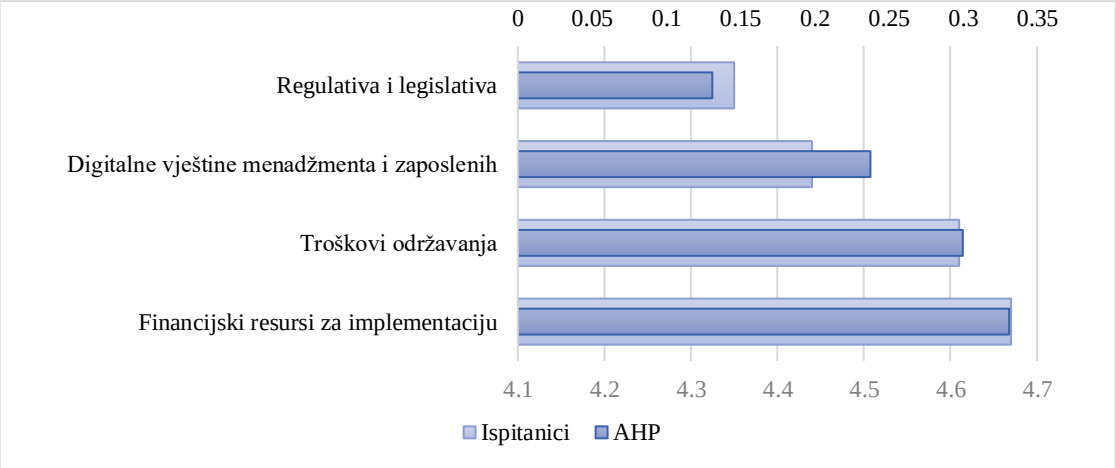
Financijski resursi za implementaciju	**(0,3312)**
Troškovi održavanja	(0,3000)
Regulativa i legislativa	(0,2377)
Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	(0,1311)

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem 123AHP računalnog programa

Odnos pariteta kriterija prema težinskoj vrijednosti koja se može izraziti apsolutno ili relativno (postotak) pokazuje je da je najbitniji kriterij *Financijski resursi za implementaciju* (w = 0,3312). Potom slijedi kriterij *Troškovi održavanja* (w = 0,3000). Kriterij *Regulativa i legislativa* rangiran je kao treći po važnosti (w = 0,2377). Najmanje važan je kriterij je *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* koji ima tri puta manju težinu od navedenih kriterija (w = 0,1311).

Nastavno, napravljena je analiza preferencija kriterija od strane evaluatora scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* u odnosu na preferencije stručnjaka (ispitanika) koji su evaluirali važnost kriterija. Preferencije su se pokazale sličnima. *Financijskim resursima za implementaciju* dodijeljen je najveći broj bodova ($\bar{x} = 4{,}67$). Zatim su važnima ocijenjeni *Troškovi održavanja* ($\bar{x} = 4{,}61$), *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* ($\bar{x}$ =4,44), a najmanje bitnim se pokazao kriterij *Regulativa i legislativa* ($\bar{x} = 4{,}35$) (Grafikon 12.).

Grafikon 12. Komparacija preferencija kriterija – AHP postupak i preferencije ispitanika



Izvor: Izradila doktorandica

Usporedi li se važnost kriterija dobivenih AHP-om i odabira stručnjaka, vidljivo je da se važnost kriterija *Financijski resursi za implementaciju* i *Trošak održavanja* poklapaju i kod ispitanika i kod AHP metode. Od strane stručnjaka, nešto veća vrijednost

dodijeljena je kriteriju *Regulativa i legislativa*, a manja kriteriju *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*.

U tablici 26. prikazan je odnos kriterija i pojedinih scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*, odnosno zastupljenost pojedinog scenarija unutar pojedinog kriterija.

Tablica 26. Odnos kriterija i pojedinih scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* – zastupljenost pojedinog scenarija unutar pojedinog kriterija

	Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	Regulativa i legislativa
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	0,7855	0,7692	0,7049	0,7418
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	0,1293	0,0840	0,0841	0,0752
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	0,0852	0,1468	0,2109	0,1830

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem 123AHP računalnog programa

Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* najbitnija je komponenta svakog kriterija i njegova zastupljenost kreće se od 70,49 % u kriteriju *Digitalno znanje i vještine*, do 78,55 % u kriteriju *Financijski resursi za implementaciju*.

Udjeli scenarija *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* i scenarija *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* variraju po kriterijima.

Tako je scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* najmanje zastupljen unutar kriterija *Regulativa i legislativa* (7,52 %) te kriterija *Troškovi održavanja* (8,40 %) i *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* (8,41 %) dok je najviše zastupljen unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju* (12,93 %). Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* najviše je zastupljen u kriteriju *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* (21,09 %), a najmanje zastupljen u kriteriju *Financijski resursi za implementaciju* (8,52 %).

U tablici 27. u nastavku, prikazane su težinske vrijednosti AHP faktora i njihov utjecaj na scenarije tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku.*

Tablica 27. Težinske vrijednosti AHP faktora i njihov utjecaj na scenarije tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*

	Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	Regulativa i legislativa	Kumulativ težinskih faktora
Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima	0,2602	0,2308	0,0924	0,1763	0,7597
Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima	0,0428	0,0252	0,0110	0,0179	0,0969
Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima	0,0282	0,0440	0,0276	0,0435	0,1434

Izvor: Izradila doktorandica, rezultat obrade korištenjem 123AHP računalnog programa

Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ima težinsku ocjenu w = 0,7597 Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* ima težinsku vrijednost w = 0,0969, dok scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* ima težinsku ocjenu w = 0,1434.

Ukupan rezultat pokazuje da se scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* s udjelom od 75,97 % (preko tri četvrtine) ističe među ostalim scenarijima.

Unutar scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*, podjednako su zastupljeni kriteriji *Financijski resursi za implementaciju* (w = 0,2602) i *Troškovi održavanja* (w = 0,2308), a najmanje kriterij *Regulativa i legislativa* (w = 0,0924). U scenariju *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* najzastupljeniji kriterij su *Financijski resursi za implementaciju* (w = 0,0428), ali sa znatno manjim udjelom nego kod scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*. Najmanji je udio kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* (w = 0,0179). U Scenariju *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* najmanje je zastupljen

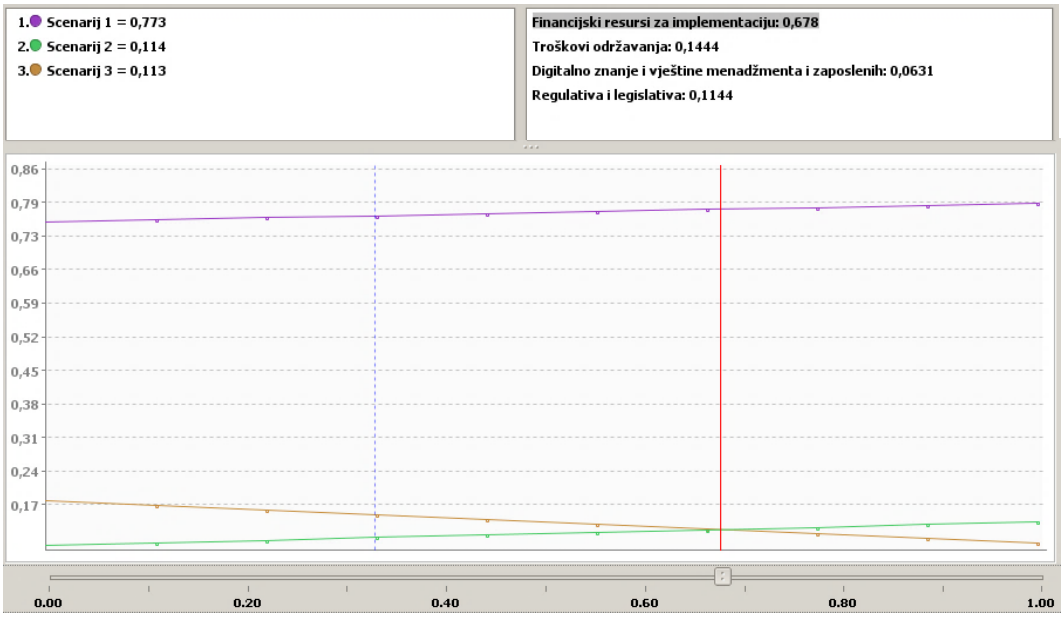
kriterij *Financijski resursi za implementaciju* (w = 0,0282), a najviše kriterij *Regulativa i legislativa* (w = 0,0435).

Zadnji korak u provedbi AHP metode te sukladno tome evaluaciji scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, je *Postoptimalna analiza*, kojom se utvrđuje koliko promjena ulaznih podataka utječe na promjenu ukupnih prioriteta alternativa (scenarija). Točnije, *Postoptimalnom analizom* utvrđuje se koliko se smanjuje ili povećava važnost svakog kriterija i prioriteta alternativa ako dođe do promjene težina na razini kriterija.

Konkretno, u evaluaciji scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, *Postoptimalna analiza* pokazala je da je scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* toliko dominantan da čak i promjena strukture kriterija ne bi promijenila odabir od strane stručnjaka. U nastavku, na grafikonima 13., 14., 15. i 16., prikazane su promjene u težinama kriterija i njihov utjecaj na odabir scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*.

Ukoliko se težina (vrijednost) kriterija *Financijski resursi za implementaciju* poveća sa w = 0,3312 na w = 0,678, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* i dalje će biti primaran, ali će scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* imati veću važnost od scenarija *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

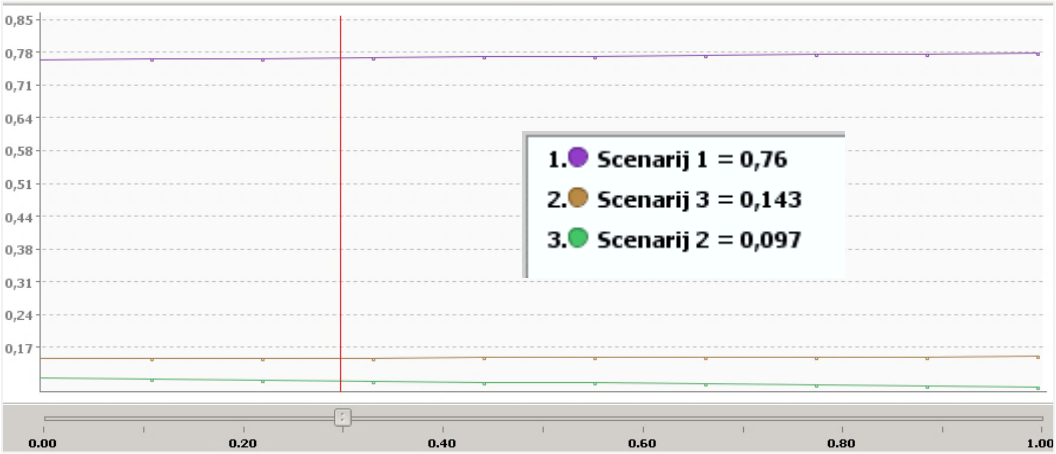
Grafikon 13. Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Financijski resursi za implementaciju*



Izvor: Rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Smanjenje ili povećanje udjela *Troškova održavanja* sa w = 0,300 na w = 0,678, ne bi utjecalo na poredak scenarija. Nadalje, najdominantniji bio bi scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima,* zatim scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* pa scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima.*

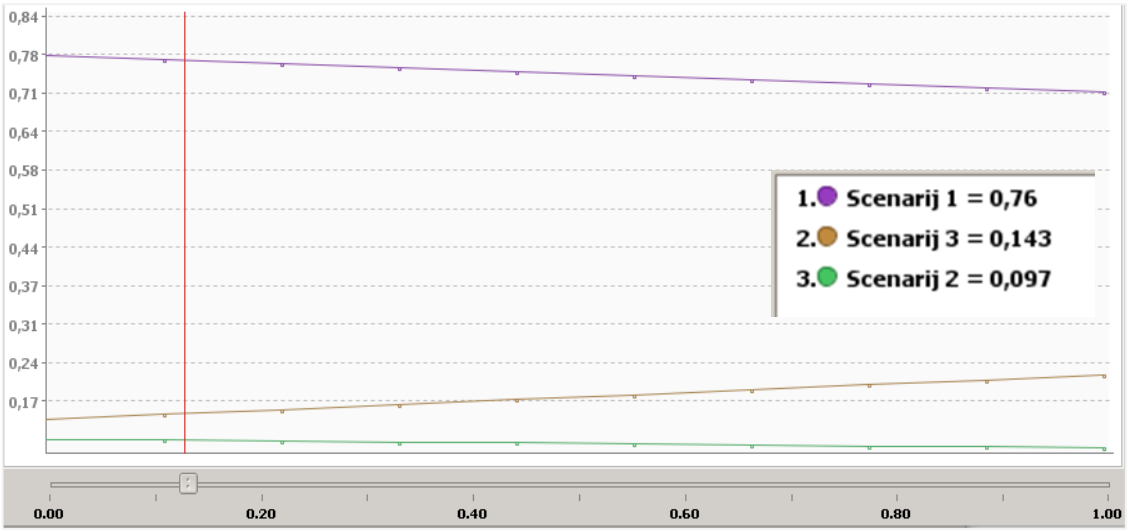
Grafikon 14. Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Troškovi održavanja*



Izvor: Rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

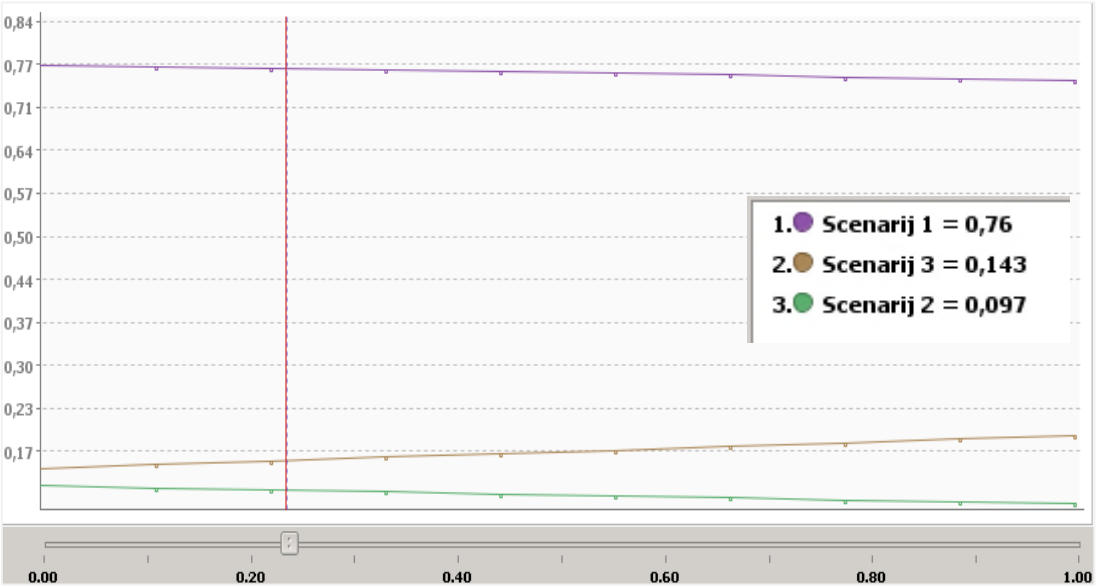
Do promjena dominantnosti scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ne bi došlo niti s promjenama u kriterijima *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih* te *Regulativa i legislativa.* Prikazano na grafikonima u nastavku.

Grafikon 15. Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*



Izvor: Rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Grafikon 16. Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Regulativa i legislativa*



Izvor: Rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Testirane su različite promjene kriterija, no nema promjene u dominantnosti scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*, u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* i scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Nakon provedene evaluacije scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* primjenom AHP metode, ukupan rezultat evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* pokazuje sljedeće:

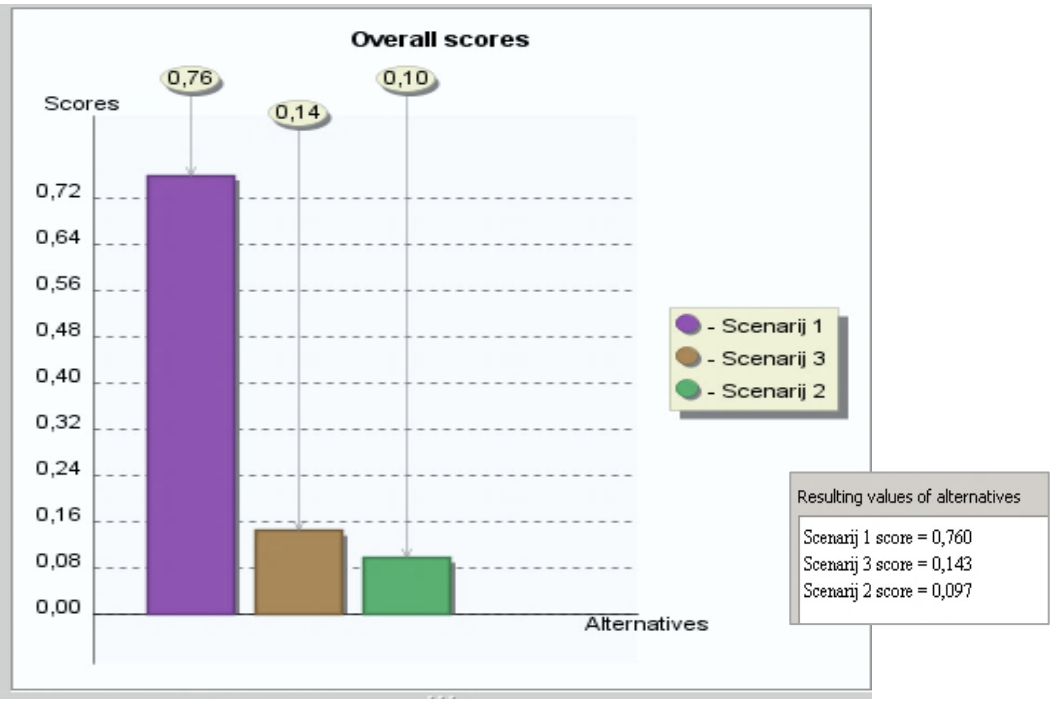
Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ima najvišu ocjenu 0,760 te je kao takav od evaluatora izabran kao najbolje ocijenjen, preferirani scenarij za tranziciju luke Rijeka u pametnu luku.

Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* dobio je srednju ocjenu 0,143, preferencije scenarija u ukupnom poretku.

Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* dobio je najmanju ocjenu 0,097 u ukupnom poretku čime je ocijenjen kao najmanje važan, preferiran scenarij.

Na grafikonu 17. u nastavku, prikazan je ukupan rezultat evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku.*

Grafikon 17. Ukupan rezultat evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*



Izvor: Rezultat obrade korištenjem DecernsMCDA računalnog programa

Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ocijenjen je za luku Rijeka kao najbolji scenarij za tranziciju u *pametnu luku*, odnosno scenarij koji je najviše preferiran.

Odabir scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* nije iznenađujući s obzirom na činjenicu da su upravo teretne aktivnosti osnovna djelatnost luke te kao takve predstavljaju suštinu poslovanja luka, odnosno većih privatnih operatora koji su u operativnoj funkciji u lukama. U veliki svjetskim lukama kontinuirano se ulaže upravo najviše u digitalizaciju odnosno automatizaciju teretnih aktivnosti. U nastavku je prezentirano nekoliko istraživanja od digitalizaciji teretnih aktivnosti u lukama.

Digitalizacija odnosno automatizacija teretnih aktivnosti je nužna da se izbjegnu zagušenja u lukama. Uz korištenje digitalnih tehnologija i sustava kao što su automatizirane dizalice, automatski navođena vozila, automatizirani sustav ulaza i izlaza, najviše se povećava produktivnost u lukama. Prema istraživanju ABI Researcha, implementacija automatski navođenih vozila u lukama diljem svijeta imat će složenu godišnju stopu rasta (*Compound annual growth rate* − CAGR) od preko 26 % do 2030. godine (u odnosu na 2022. godinu) i premašit će 370.000 vozila korištenih do 2027. godine (Logistics Manager, 2023).

Ukoliko se na primjer razmatraju teretne aktivnosti na kontejnerskim terminalima, 53% kontejnerskih terminala je automatizirano ili poluatomatizirano (Identec Solutions, 2023). Većina automatiziranih kontejnerskih terminala su u Aziji (32 %), Europi (28 %),

Oceaniji (13 %) i Sjedinjenim Državama (11 %) (Identec Solutions, 2024). Prvi automatizirani kontejnerski terminal bio je ECT Delta terminal u luci Rotterdam, koji je započeo s radom 1993. godine. Korištene su automatizirane dizalice za slaganje kontejnera i automatski navođena vozila, postavljajući tad standard za naknadne automatizacije kontejnerskih terminala. Još jedna prekretnica u povijesti automatiziranih kontejnerskih terminala bila je automatizacija terminala Altenwerder u Hamburgu 2001. godine. Na terminalima Maasvlakte 2 (APMT-MV2 i Rotterdam Gateway) u Rotterdamu 2015. primijenjeno je upravljanje dizalicama na daljinu (Port of Rotterdam, 2023). Prema posljednjim podatcima, u Kini trenutno ima 18 automatiziranih kontejnerskih terminala u funkciji te dodatnih 27 u izgradnji ili nadogradnji (CGTN, 2024). Posebno se ističe luka Qingdao kao prva na svijetu koja ima inteligentni transportni sustav što omogućava prekrcaj 1,5 milijuna TEU godišnje. Primjerice, kad se u luci Qingdao primjenjivao prethodni sustav, brzina ažuriranja podataka bila je u sekundama, što je uzrokovalo kašnjenja prijenosa i smanjenje učinkovitosti teretnih aktivnosti. Novi kontrolni sustav koji je primijenjen, omogućava ažuriranje na razini milisekunde, značajno povećavajući učinkovitost teretnih aktivnosti (procijenjeno za četiri puta više) (CGTN, 2024). Xiamen Yuanhai kontejnerski terminal jedan je od prvih automatiziranih terminala četvrte generacije u svijetu. Upravo korištenjem digitalnih tehnologija i sustava, manualni procesi u teretnim aktivnostima čine manje od pet posto pa se tako skraćuje vrijeme izrade plana slaganja kontejnera za brod od 1000 TEU od jednog sata na samo pet minuta (CGTN, 2024).

Zaključno, svakako treba dati osvrt na glavnu motivaciju tranzicije u *pametnu luku*, a to je smanjenje vremena i troškova te konkurentnost. O tome je provedeno više istraživanja koja su elaborirana u nastavku.

Autori (Barasti et al., 2022) izradili su prototipove *pametnih lučkih usluga* u luci Livorno. Prvi prototip odnosi se na vrijeme ostajanja broda u luci (engl. *ship stay time*) kojim se mjeri vrijeme koje brod provede u luci, a poboljšanjem istog procesa kroz bržu manipulaciju teretom moguće je minimizirati vrijeme i troškove. Drugi prototip je vrijeme obrta kamiona (engl. *truck turnaroud time*) − vrijeme koje kamion provede na području luke. Korištenjem tehnologija moguće je minimizirati vrijeme koje kamion provede na ulazu u luku i u luci, čime se postižu uštede. Prema (El Nahrawy, 2020) ulaganje u tranziciju u *pametnu luku* je kapitalno intenzivno, ali gledano dugoročno jamči velike uštede. Autor (Min, 2022) navodi kako tranzicija u *pametnu luku* u početku iziskuje veće troškove implementiranja i održavanja, no donosi značajne uštede u troškovima rada i transporta u odnosu na tradicionalne luke. Autori (Nguyen, Khoa Pam, Duc Bui, 2022) navode da tranzicija u *pametnu luku* utječe na reduciranje troškova ljudskih resursa. Autori (Paulauskas, Filina Dawidowicz, Paulauskas, 2021) smatraju da je implementiranje digitalnih tehnologija ključno za smanjenje troškova i vremena potrebnog za aktivnosti u lukama. Nadalje, (Raza, Woxenius, Altuntas Vural, Lind, 2023) navode kako manualni procesi dovode do loše koordinacije, dužeg tranzitnog vremena, odgoda i većih troškova. Autori navode da se implementiranjem digitalnih tehnologija može postići minimiziranje vremena u odnosu na manualne procese.

Konkurentnost potiče luke na tranziciju u *pametnu luku*. Autori (Boullouazan, Sys, Vanelslander, 2022) navode kako je očekivano da će digitalizacija povećati konkurentnost luka. Autori smatraju da implementiranje digitalnih tehnologija, može utjecati na konkurentnost luke kroz poboljšanje fleksibilnosti, pouzdanosti i smanjenje troškova lučkih aktivnosti. Prema (Dalaklis et al., 2022) dio luka u svijetu već ima implementirane digitalne tehnologije te kontinuirano implementiraju nove s ciljem zadržavanja i/ili povećanja konkurentnosti.

Uvidom u analizirane primjere luka, odnosno terminala, vidljiva je u praksi dominacija digitalizacije odnosno automatizacije teretnih aktivnosti. Slijedom toga odabrani scenarij tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima,* sukladan je trenutačnom stanju, odnosno praksi u drugim analiziranim lukama.

5.6. Prijedlog budućih istraživanja

Nekoliko je mogućih smjerova budućih istraživanja teme *pametna luka*, koji se odnose na teretne morske luke, ali i na luke nautičkog turizma, odnosno marine te na luke unutarnjih voda. Prijedlog budućih istraživanja uzima u obzir ograničenja u ovom istraživanju i nove potencijalne smjerove istraživanja izvan obuhvata teretnih morskih luka.

U kontekstu teretnih morskih luka, ukoliko se govori konkretno o samim digitalnim tehnologijama i sustavima, buduća istraživanja moguće je usmjeriti i na neke od digitalnih tehnologija i sustava koje će se tek primjenjivati, odnosno koje će se značajnije primjenjivati u budućnosti u lukama, detaljnije analizirati njihovu primjenu u kontekstu *pametnih luka*. Stoga je potrebno obuhvatiti istraživanje aktivnosti teretnih morskih u kojima se nadolazeće digitalne tehnologije i sustave može primijeniti te na koji način se može primijeniti. Nadalje, usmjerenjem na nadolazeće digitalne tehnologije i sustave, istraživanje može obuhvatiti potencijalne promjene u pristupu i evaluaciji *digitalne zrelosti* luke te potencijalne promjene u pogledu tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

U okviru teretnih morskih luka buduća istraživanja se mogu usmjeriti na detaljno istraživanje netehnoloških čimbenika koji utječu na tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke.* Pritom se misli na sljedeće čimbenike: informacijska sigurnost, digitalne vještine i znanje, upravljanje lukom, dostupnost izvora financiranja, geoprometni položaj luke, legislativa i regulativa, razvoj novih poslovnih modela, kulturološka spremnost na promjene, itd. Iako su neki od ovih čimbenika uzeti u obzir u doktorskom radu, na primjer u kontekstu kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, nisu razmatrani detaljno čemu je potrebno pristupiti u zasebnim istraživanjem. Na primjer, legislativa i regulativa uzeti su obzir kao kriterij za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametnu luku* (uvršteno pregledom prethodnih istraživanja i

evaluacijom stručnjaka). No, u provedbi nekog zasebnog istraživanja može se analizirati legislativa i regulativa na konkretnim primjerima, napraviti komparacija legislative i regulative u pojedinim državama i implikacije koje ima na tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. Nadalje, na primjer konkurentnost se može razmotriti provedbom istraživanja iz područja ekonomije, primjenom ekonomskih kriterija i metoda analize kako bi se utvrdili konkretni učinci konkurentnosti kroz tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke.* Nadalje, buduće istraživanje može se usmjeriti na definiranje i analizu ključnih pokazatelja uspješnosti (*Key Performance Indicators* − KPI) primjene koncepta *pametna luka*, na konkretnim primjerima luka i uz primjenu odgovarajućih metoda.

U kontekstu morskih luka, kao nešto manje zastupljeno područje istraživanja za razmatranje tranzicije u *pametnu luku,* pokazuju se luke nautičkog turizma odnosno marine. Dosadašnja istraživanja bavila su se pojedinačnim razmatranjem koncepta *pametna marina,* odnosno razmatranjem digitalnih tehnologija i sustava koje se mogu primijeniti u marinama, održivost. No, nedostaje sveobuhvatan pristup istraživanju u kontekstu tranzicije marina u *pametne marine*. Potrebu istraživanja potvrđuje i inicijativa od strane *International Council of Marine Industry Associations* −ICOMIA. Riječ je o neprofitnoj međunarodnoj trgovačkoj udruzi koja okuplja nacionalne rekreacijske udruge pomorske industrije i predstavlja ih na međunarodnoj razini (ICOMIA, 2024). Od strane ICOMIA, 2023. godine objavljen je *Vodič za pametne marine*. Marine su složen sustav u kojima se istovremeno mora upravljati s više aktivnosti i više dionika kako bi se realizirala usluga koju marine pružaju. Primjena koncepta *pametna marina* može omogućiti marinama generiranje, analizu i korištenje podataka za automatizaciju procesa, uz buduće previđanje potreba tržišta i lakše donošenje odluka (ICOMIA, 2024). Elementi na kojima se može graditi koncept *pametna marina* su: usklađivanje svih usluga i dionika usmjereno na korisnika, harmonizacija kao sredstvo integracije, prikupljanje i upravljanje podatcima, digitalizacija vođena održivošću (ICOMIA, 2024).

Stoga bi bila opravdana buduća istraživanja kojima će se obuhvatiti sljedeće: analiza trenutnog stanja primjene digitalnih tehnologija i sustava u marinama, analiza trenutne razine *digitalne zrelosti* odnosno primjene digitalnih tehnologija u marinama na konkretnim primjerima, čimbenici koju utječu na implementiranje digitalnih tehnologija i sustava u marinama, smjernice budućeg razvoja prema primjeni koncepta *pametna luka (marina),* scenarij tranzicije u *pametnu luku* na konkretnom primjeru marine.

Specifično područje za buduća istraživanja u kontekstu primjene koncepta *pametna luka,* jesu luke unutarnjih voda. Unatoč nastojanjima za digitalizacijom luka unutarnjih voda te unutarnjih plovnih putova, još uvijek nema značajnijih pomaka. U znanstvenim istraživanjima tematika digitalizacije u lukama unutarnjih voda, slabo je zastupljena u odnosu na teretne morske luke. Stoga je opravdano u budućim istraživanjima detaljnije razraditi tematiku digitalizacije odnosno primjene koncepta *pametna luka* u lukama unutarnjih voda.

Kako bi se shvatio kontekst budućih istraživanja primjene koncepta *pametna luka* u lukama unutarnjih voda u nastavku su opisane značajke trenutnog stanja i perspektiva potencijalne digitalizacije.

Naime, počeci digitalizacije na europskoj razini prvi put su artikulirani Direktivom 2005/44/EZ (RIS Direktiva) u kojoj je konstatirana potreba za harmonizacijom informacija unutarnje plovidbe odnosno usklađenjem Riječnih informacijskih sustava (engl. *River Information System* − RIS) na razini Europske Unije U. Kao rezultat usvajanja Direktive od država članica zahtijevana je implementacija niza informacijskih tehnologija koji podržavaju upravljanje prometom i prijevozom, uključujući sučelja s drugim načinima prijevoza. U suštini *Riječni informacijski sustav* namijenjen je poboljšanju sigurnosti, učinkovitosti i održivosti unutarnje plovidbe. RIS Direktivom definirane su četiri ključne digitalne tehnologije koje podliježu zajedničkim i kontinuiranim specifikacijama: praćenje i traženje plovila, nautičke obavijesti, međunarodno elektroničko izvješćivanje, elektronički prikaz karata i informacijski sustav − ECDIS (Marine Insight (2021), EUR Lex, RIS Directive, 2024).

Iako primjena RIS-a pruža zajednički okvir za digitalne informacijske usluge, zamijećeno je da trenutne funkcionalnosti RIS sustava ne omogućuju puno iskorištavanje potencijala digitalizacije. Glavni nedostaci jesu: neučinkovita navigacija i upravljanje prometom, neučinkovita integracija u logističke procese, veliko administrativno opterećenje za usklađivanje sa zakonodavstvom. Nastavno, nekoliko je izazova za razvoj novih digitalnih alata i rješenja odnosno primjenu koncepta *pametna luka* u lukama unutarnjih voda (European Inland Waterway Transport Platform, 2024), obrazloženih u nastavku.

RIS sustav nedovoljno je razvijen za kontinuiranu i kontroliranu razmjenu podataka što zapravo predstavlja jedan od temelja za primjenu digitalnih tehnologija.
Pravne regulative često su uska grla za dijeljenje podataka i samim time utječu na primjenu digitalnih tehnologija.

Operatori teglenica nemaju IT infrastrukturu koja može podržati kontinuiranu interakciju s trećim stranama, čime je ograničena primjena digitalnih tehnologija.
Sektor unutarnje plovidbe je ograničen po veličini (u odnosnu na plovne putove) te fragmentiran, čime je otežano postizanje ekonomije opsega za ulaganja u digitalne tehnologije.

Europska komisija odnosno Glavna uprava za mobilnost i promet (*Directorate-General Mobility and Transport* MOVE), 2016. godine provela je istraživanje potencijala za digitalizaciju prometa unutarnjim vodama, a kako bi se definirao okvir za *Digital Inland Waterway Area* - DINA. DINA je koncept za međusobno povezivanje informacija o infrastrukturi, ljudima, operacijama, floti i teretu u prometu unutarnjim plovnim putovima te u širem kontekstu povezivanje informacija s drugim načinima prometa. Prema DINA okviru, digitalizacija je ključna za buduću konkurentnost prometa unutarnjim plovnim putovima. DINA se nadovezuje na Riječni informacijski sustav. Stoga DINA arhitekturu čini sljedeće (European Inland Waterway Transport Platform, 2024):

- Proširenje RIS-a s podatcima u stvarnom vremenu: dodatni podatci (u stvarnom vremenu), koji će biti upotrebljiviji za operatere teglenica pomoću novih alata i aplikacija za e-IWT na brodu.
- Podatkovna platforma za operatere teglenica: omogućava kontrolu vlastitih podataka i operacija. Time se može omogućiti operatorima teglenica da kontrolirano dijele podatke s drugim dionicima kao što su javna tijela (za potrebe izvješćivanja), (unutarnje) luke i terminali.
- Integracija s platformama za rezervaciju i upravljanje prijevozom pošiljatelja i pružateljima logističkih usluga: omogućit će se bolja vidljivost i bolja integracija u cijeli logistički lanac koji pokriva više modaliteta.

Kad je riječ o konkretnoj digitalizaciji, definirano je kako se novi tehnološki razvoj treba temeljiti na primjeni digitalnih tehnologija kao što su *Internet stvari*, senzori, *Umjetna inteligencija*, *Veliki podatci* (European Inland Waterway Transport Platform, 2024).

S obzirom na problematiku u lukama unutarnjih voda, buduća istraživanja mogu obuhvatiti neke od sljedećih smjerova: utvrđivanje "uskih grla" za primjenu koncepta *pametna luka*; analiza potencijalnih prepreka odnosno izazova za primjenu digitalnih tehnologija i sustava: kibernetička sigurnost, privatnost, pravni i regulatorni okvir, standardizacija; utvrđivanje razine *digitalne zrelosti*; smjernice budućeg razvoja.

6. ZAKLJUČAK

Detaljnim pregledom prethodnih istraživanja na temu *pametna luka* evidentiran je nedostatak istraživanja o izradi modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija, s obzirom da je većina istraživanja usmjerena na opis koncepta *pametna luka* te na opis pojedinačnih digitalnih tehnologija i sustava koji se primjenjuju u teretnim morskim lukama. Zamjetan je i nedostatak znanstvenih istraživanja u kojima se predlažu smjernice budućih istraživanja.

Uzimajući u obzir uočene praznine u prethodnim istraživanjima, provedeno istraživanje u doktorskom radu obuhvaća detaljnu analizu i definiranje kategorija digitalnih tehnologija i sustava koji se koriste u teretnim morskim lukama; analizu *digitalne zrelosti* luka u teorijskom smislu i analizu metoda primjenjivih za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka; analizu *digitalne zrelosti* luka praktičnom smislu na primjerima odabranih luka; definiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*; analiza metoda primjenjivih za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*; analizu i definiranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* na konkretnim primjerima luka; prijedlog budućih istraživanja.

Evidentno je kako promjene u pomorskom transportu utječu na luke, prvenstveno kroz povećan obim teretnog prometa te kontinuiran razvoj digitalnih tehnologija i sustava. Digitalizacija utječe i na promjenu vlasničke strukture luka. U procesu digitalizacije u lukama sudjeluju dionici lučke zajednice: institucionalni dionici (ministarstva, financijske institucije, trgovačke organizacije, osiguravajuća društva, lokalna i regionalna samouprava, sindikati) koordinatori i regulatori (lučka uprava, lučka kapetanija, carina, pomorska policija, inspektorat) komercijalni dionici (veći operatori terminala – koncesionari, prijevoznici, brodari, logistički operatori, pomorski agenti, špediteri, peljari, tegljači) i lokalna zajednica (lokalno stanovništvo, ekološke organizacije). Svaki u svojoj domeni, dionici lučke zajednice utječu na provedbu poslovnih procesa odnosno aktivnosti u teretnim morskim lukama.

Digitalizacija mijenja način na koji se provode poslovni procesi i pripadajuće aktivnosti u teretnim morskim lukama, dolazi do transformacije tradicionalnog načina provođenja poslovnih procesa u lukama. U luke se uvodi automatizacija poslovnih procesa. Luke prelaze s tradicionalnog načina razmjene informacija i dokumentacije na automatizirani način razmjene dokumentacije. Nadalje, luke implementiraju digitalne tehnologije i sustave za manipulaciju teretom, održavanje opreme, naprednu analitiku procesa, provedbu procedura, inspekcijski nadzor, zaštita okoliša itd.

Međutim, uočava se nejednakost u digitalizaciji teretnih morskih luka. Dominantna je digitalizacija u azijskim lukama, koje su ujedno i vodeće u svijetu po ukupnom prometu tereta. Upravo je u azijskim lukama primijenjeno najviše digitalnih tehnologija i sustava te se u njima nalazi najviše potpuno automatiziranih terminala. U Europi je nekoliko luka koje se ističu u digitalizaciji odnosno automatizaciji: Rotterdam,

Hamburg, Antwerp-Bruges, Valencia. Luke u SAD-u karakterizira sporija digitalizacija s obzirom na velika regulatorna ograničenja i otpor sindikata prema digitalizaciji koja može ugroziti radna mjesta.

Kako bi se identificirale najčešće korištene digitalne tehnologije i sustavi koji se koriste u teretnim morskim lukama, provedena je detaljna analiza prethodnih istraživanja (ukupno 120 znanstvenih radova). Ujedno je provedena dodatna analiza relevantnih web stranica kako bi se dobile sveobuhvatne spoznaje o recentnim digitalnim tehnologijama. S obzirom na kontinuiran razvoj digitalnih tehnologija trebalo je istražiti te uvrstiti nadolazeće disruptivne digitalne tehnologije koje će se tek primjenjivati u lukama i koje će zasigurno donijeti dodatne promjene u lučkim aktivnostima kroz daljnju digitalizaciju odnosno automatizaciju. Temeljem analize, digitalne tehnologije i sustavi, u istraživanju su podijeljeni u dvije kategorije: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*.

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi koriste se u lukama već izvjesno vrijeme, stoga dio njih predstavlja osnovu i standard bez kojeg je nemoguća tranzicija teretnih morskih luka u *pametne luke*. Unatoč tome što je riječ o digitalnim tehnologijama i sustavima od kojih se neki primjenjuju već desetljećima u lukama, uvidom u istraživanja evidentno je kako se u dijelu luka još uvijek ne koriste.

Pregledom prethodnih istraživanja, u kategoriju ***Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*** uvršteni su: *Informacijski sustav lučke zajednice*, *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu*, *Sustav pomorskog prometa*, *Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom, Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija, Optičko prepoznavanje znakova, Bar kod tehnologija, QR tehnologija, skeneri, Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka, Sustav videonadzora – CCTV, Termovizijske kamere, Kontrola pristupa mobilnim uređajem, ID kartice*, *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, Sustav za rezervaciju vozila, Automatski navođena vozila, Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama ili kotačima, Automatizirani terminalski traktori, Automatizirani viličari, Sustav za upravljanje terminalom, Sustav za upravljanje skladištem, Sustav upravljanja internim transportom, Sustavi lociranja u stvarnom vremenu, Sustav za praćenje kontejnera*, *Sustav za planiranje resursa, Sustav za potporu odlučivanju, Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima, mobilne mreže (3G, 4G), Bežične senzorske mreže, Bluetooth, WIFI bežična mreža, Elektronička razmjena podataka, Komunikacija bliskog polja, LTE*.

Disruptivne digitalne tehnologije napravile su prekretnicu u aktivnostima teretnih morskih luka ubrzavajući digitalizaciju i tranziciju u *pametne luke*. Uvidom u prethodna istraživanja, evidentno je da mali broj luka koristi *Disruptivne digitalne tehnologije*.

Pregledom prethodnih istraživanja, u kategoriju ***Disruptivne digitalne tehnologije*** uvrštene su: *Internet stvari*, *Tehnologija ulančanih blokova, Umjetna inteligencija, Strojno učenje, Digitalni blizanac, Veliki podatci, Računalstvo u oblaku, Virtualna stvarnost/Proširena stvarnost/Mješovita stvarnost, Dronovi, 5G mobilna mreža, Neuronska mreža, Pametni senzori, 3D printanje, Biometrijsko prepoznavanje lica,*

Inteligentne kamere, Kibernetičko fizički sustav, Napredna analitika, Rubno računalstvo, Kvantno računalstvo, Mobilno računalstvo, Računalni vid, Dubinsko učenje, Generativna umjetna inteligencija, Homomorfna enkripcija, 6G mobilna mreža, Nulta latencija, 4D printanje, Sučelje čovjek-stroj, Proširena povezna radna snaga, Konverzacijska korisnička sučelja, Nosiva tehnologija.

Analizirane *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*, ukratko su pojašnjene te je navedena njihova primjena u lukama. Nadalje, analizirane *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* ulazni su podatci za analizu digitalne zrelosti luka te kreiranje i evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Identificiranjem digitalnih tehnologija i sustava koji se koriste u teretnim morskim lukama potvrđena je pomoćna hipoteza **PH 1: Analizom prethodnih istraživanja o *pametnim lukama* i primjera *pametnih luka* moguće je utvrditi i kategorizirati digitalne tehnologije i sustave koji se primjenjuju u teretnim morskim lukama.**

Prva elektronička razmjena podataka u lukama datira u osamdesete godine prošlog stoljeća (treća generacija luka), a implementacija prvih Informacijskih sustava lučke zajednice vezuje se uz četvrtu generaciju luka, od 1990. godine.

Uvidom u prethodna istraživanja uočava se da nema jedinstvene definicije *pametne luke,* no u istraživanjima dominiraju digitalizacija, automatizacija i primjena digitalnih tehnologija i sustava. Komponente *pametne luke* isto tako nisu eksplicitno definirane, no osnovu čini primjena digitalnih tehnologija i sustava, što se potvrđuje i u analiziranim primjerima *pametnih luka* (Rotterdam, Hamburg, Valencia, Singapur, Shanghai, Qingdao) koje pokazuju potencijal i rezultate primjene koncepta *pametna luka*. Unatoč pozitivnim primjerima analiziranih luka, tranzicija teretnih morskih luka u *pametne luke* je spor proces i sve luke prolaze kroz faze digitalizacije.

Stoga je jedan od prvih koraka istraživanja tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* bila **evaluacija i utvrđivanje razine *digitalne zrelosti* luka**. U doktorskom radu pristupilo se pregledu relevantne literature o *digitalnoj zrelosti* općenito te o *digitalnoj zrelosti* luka. Pritom je utvrđeno koji kriteriji i metode se primjenjuju u evaluaciji *digitalne zrelosti*.

Za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka, u istraživanju su kao kriteriji primijenjene dvije kategorije digitalnih tehnologija i sustava: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi te Disruptivne digitalne tehnologije*, s obzirom da su se u pregledu relevantnih istraživanja vezanih za *digitalnu zrelost* te analizom primjera *pametnih luka* pokazali kao krucijalni. Nekoliko je razloga tome. Digitalne tehnologije i sustavi pružaju temeljnu infrastrukturu i alate potrebne za provedbu digitalizacije i tranziciju luke u *pametnu luku*. Primjena digitalnih tehnologija i sustava omogućuje optimizaciju tijeka aktivnosti u lukama, kroz automatizaciju, analitiku podataka i sustave upravljanja aktivnostima u lukama što dovodi do poboljšane učinkovitosti, uštede troškova i boljeg korištenja resursa luke. Nadalje, digitalne tehnologije i sustavi omogućuju lukama donošenje odluka temeljenih na podatcima. Digitalne tehnologije i sustavi olakšavaju prikupljanje, obradu, analizu i vizualizaciju podataka te jamče lukama

agilnost s obzirom na promjenjivu dinamiku tržišta pomorskog transporta, preferencije korisnika i konkurentsko okruženje luka. Omogućuju lukama kontinuirano poboljšanje pružanjem alata za praćenje performansi i prikupljanje povratnih informacija o svim aktivnostima.

Nadalje, sukladno relevantnim istraživanjima, kao metode za evaluaciju *digitalne zrelosti* luka, najpogodnije su se pokazale metode višekriterijskog odlučivanja. Stoga se pristupilo analizi nekoliko metoda u skladu s podatcima koje je potrebno prikupiti: *Verbalna analiza odluka, Macbeth metoda, DRSA metoda*, *DEX metoda*. S obzirom na karakteristike metoda te cilj istraživanja: evaluacija *digitalne zrelosti* luka, odlučeno je da se primijeni ***DEX metoda* višekriterijskog odlučivanja** i **DEXi računalni program**.

DEX metoda odabrana je s obzirom da pruža mogućnost smislenog strukturiranja velikog broja digitalnih tehnologija i sustava koji se primjenjuju u lukama, čime je omogućena jednostavna evaluacija. U *DEX metodi* slijede se jasna pravila strukturiranja, hijerarhije i agregiranja. *DEX metoda* omogućava strukturiranje višeatributnog modela, što je primjenjivo iz razloga analize više digitalnih tehnologija i sustava. U *DEX metodi*, atributi (kriteriji) su hijerarhijski strukturirani te omogućava strukturiranje kriterija i potkriterija za evaluaciju. Uz opisno izražavanje atributa (kriterija), što odgovara strukturiranju digitalnih tehnologija i sustava s nazivima i opisima u okviru DEX modela, *DEX metoda* omogućava dodjelu vrijednosti (težina) atributima (kriterijima). Evaluacija i odlučivanje u *DEX metodi* temelji se na definiranju pravila odlučivanja koja se nazivaju *Funkcije korisnosti*. *DEX metoda* je dobro prihvaćena od strane korisnika, s obzirom na broj različitih istraživanja, odnosno područja primjene. Isto tako, *DEX metoda* je dobro prihvaćena od strane ispitanika, s obzirom da se omogućava kreiranje kratkog i razumljivog anketnog upitnika, jednostavnog za ispunjavanje. Naposljetku, *DEX metoda* omogućava jasnu i razumljivu interpretaciju rezultata istraživanja te korištenje analitičkih opcija, ukoliko je potrebno. K tome, DEXi računalni program dostupan je bez naknade za korištenje.

Detaljno su analizirane značajke *DEX metode* i DEXi računalnog programa te se u skladu s tim pristupilo pripremi za provedbu anketnog istraživanja. Kreirano je DEX stablo atributa: tehnologije su posložene u stablo atributa (kriterija) za evaluaciju *digitalne zrelosti* luke, sukladno DEX metodologiji. **Stablo atributa sadrži ukupno 36 atributa, od čega 23 osnovna i 13 agregiranih atributa. Strukturu stabla atributa čine sljedeće digitalne tehnologije i sustavi, podijeljene u dvije kategorije**.

Kriterij (agregirani atribut) ***Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*** čine: *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije; Razmjena podataka (Informacijski sustav lučke zajednice, Sustav za upravljanje terminalom, Standardi razmjene informacija); Tehnologije digitalne potpore poslovanju (Tehnologije za upravljanje procesima, Napredne bežične mrežne tehnologije); Tehnologije planiranja i upravljanja teretom (Tehnologije upravljanja skladištem, Tehnologije koordiniranja teretom, Tehnologije identifikacije i označavanja tereta): Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu (Tehnologije horizontalnog transporta i Tehnologije vertikalnog*

transporta); Tehnologije za sigurnost i nadzor (Upravljanje pomorskim prometom, kontrola ulaza u lučko područje, kontrola lučkog područja/terminala).

Kriterij (agregirani atribut) ***Disruptivne digitalne tehnologije*** čine: *Povezivost i mrežna tehnologija (5G mreža, Internet stvari); Računalstvo i obrada podataka (Računalstvo u oblaku, Veliki podatci); Robotika i autonomija (Dronovi, Napredna robotika, Autonomne tehnologije); Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije (Umjetna inteligencija, Imerzivna mješovita stvarnost, Simulacijske tehnologije).*

Osnovnim atributima (kriterijima) dodijeljene su skale za evaluaciju, a na razini agregiranih atributa definirane su funkcije korisnosti kao pravila odlučivanja kojima se određuje: **niska razina *digitalne zrelosti* luke**, **srednja razina *digitalne zrelosti* luke** i **visoka razina *digitalne zrelosti* luke**. Dodijeljene skale za evaluaciju te funkcije korisnosti detaljno su elaborirani u doktorskom radu.

Kako bi se evaluirala *digitalna zrelost*, odabrane su jadranske teretne morske luke, iz razloga dostupnosti podataka. Da bi se prikupili podatci, kontaktirani su vodeći IT menadžeri u lukama. Od ukupnog broja kontaktiranih luka, zaprimljeni su podatci od sedam luka (Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena).

Prije provedbe evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka, napravljeno je preliminarno istraživanje (pregled relevantnih informacija o lukama). Uočeno je kako u odabranim lukama dominiraju *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*. Stoga je *Tradicionalnim digitalnim tehnologijama i sustavima* dodijeljena vrijednost (težina) od 60 %, dok je *Disruptivnim digitalnim tehnologijama* dodijeljena vrijednost (težina) od 40 %. U cilju provedbe evaluacije *digitalne zrelosti* luke, pri izradi stabla atributa te pri dodjeljivanju težina kriterijima konzultiran je stručnjak za DEX metodu. Konačan rezultat obrade podataka o *digitalnoj zrelosti* evaluiranih luka pokazao je vrijednost (težinu) kako slijedi: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* (57 %), *Disruptivne digitalne tehnologije* (43 %).

Za provedbu evaluacije izrađen je anketni upitnik, koji je upućen IT menadžerima u lukama, kako bi se prikupili ispravni podatci. Pri prikupljanju podataka kontaktirani su veći operatori terminala u lukama, u svrhu dobivanja sveobuhvatnih podataka o korištenim *Tradicionalnim digitalnim tehnologijama i sustavima* te *Disruptivnim digitalnim tehnologijama*.

Bilo je potrebno odrediti opseg istraživanja što je učinjeno isključenjem većih operatora terminala za tekući teret, kao na primjer JANAF-a u luci Rijeka, s obzirom da je riječ o djelatnosti u kojoj se odvijaju digitalizirani procesi u potpunosti. Digitalne tehnologije i sustavi koje se primjenjuju za aktivnosti vezane za tekući teret bitno su različiti od onih koji se primjenjuju na primjer na kontejnerskim terminalima. Ukoliko se ne bi primijenio obrazloženi opseg istraživanja, došlo bi do značajnih nesrazmjera u rezultatima istraživanja čime bi postali neupotrebljivi u analizi rezultata. Luke su interpretativno promatrane kao integrirana cjelina, ne uzimajući u obzir vlasničku strukturu pojedinih analiziranih većih operatora terminala.

Prije same evaluacije *digitalne zrelosti* luka, najprije su definirane razne digitalne zrelosti luke sukladno prethodnim istraživanjima te sukladno digitalnim i disruptivnim tehnologijama i sustavima analiziranim u poglavlju 3.1. kao i primjerima luka analiziranih u poglavlju 3.4. Stoga su utvrđene sljedeće **razine *digitalne zrelosti* luke**: **Tradicionalna luka** (luke na ovoj razini imaju minimalnu integraciju digitalnih tehnologija i sustava u provedbi teretnih i administrativnih poslovnih procesa te internih poslovnih procesa); **Inicijalno digitalizirana luka (**luke u ovoj fazi započinju inicijalnu digitalizaciju integracijom izoliranih i nepovezanih informacijskih sustava dionika lučke zajednice); **Digitalno integrirana luka** (luke u ovoj fazi nastavljaju s digitalizacijom koordinacije aktivnosti i dionika; dodatno se uvode novi sustavi ili poboljšavaju inačice postojećih kroz nove module, a u cilju daljnje minimizacije manualnih procesa i većeg zamaha prema automatizaciji procesa); **Napredno digitalizirana luka** (na ovoj su razini digitalne zrelosti luke ostvarile veći iskorak prema digitalizaciji poslovnih procesa; luke koriste digitalne tehnologije i sustave u različitim procesima); ***Pametna luka*** (luke su u potpunosti prihvatile i implementirale recentne *pametne* digitalne tehnologije kao što su *Umjetna inteligencija*, *Internet stvari* i sl.; u *pametnim lukama* digitalne tehnologije se koriste za potpunu automatizaciju poslovnih procesa).

S obzirom na specifičnosti i ograničenja *DEX metode* odnosno DEXi računalnog programa, koji se u prvom redu odnose na definiranje i primjenu funkcije korisnosti, bilo je potrebno pristupiti agregiranju razina *digitalne zrelosti* luka. Stoga su za analizu rezultata evaluacije digitalne zrelosti odabranih luka, definirane **razine *digitalne zrelosti*,** odnosno **vrijednosti funkcije korisnosti, kako slijedi.**

Niska *digitalna zrelost* luke (tradicionalna luka i inicijalno digitalizirana luka) znači minimalnu primjenu digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Prisutni su uglavnom manualni poslovni procesi, a automatizacija je ograničena, što dovodi do neefikasnosti, pogrešaka i kašnjenja u poslovnim procesima luke. Nadalje, nedostaje ili je minimalna integracija među digitalnim tehnologijama koje se koriste unutar luke, odnosno koje koriste dionici lučke zajednice. Ne primjenjuju se alati za analizu podataka. Niska razina *digitalne zrelosti* luke ukazuje na značajnu razliku između trenutne razine *digitalne zrelosti* i potencijalnih koristi koje bi se mogle postići kroz primjenu digitalnih tehnologija i sustava.

Srednja *digitalna zrelost* luke (digitalno integrirana luka i napredno digitalizirana luka) znači određen pomak prema digitalizaciji, no još uvijek se u lukama provode dijelom i manualni poslovni procesi. Primjenjuje se i poluatomatizacija poslovnih procesa. U lukama su napravljeni koraci prema integraciji digitalnih tehnologija i sustava koje koriste luke i dionici lučke zajednice, čime je dijelom olakšana razmjena podataka i dokumentacije. U tu svrhu implementirane su platforme za suradnju dionika lučke zajednice. Srednja razina *digitalne zrelosti* ukazuje na manju razliku između trenutne razine *digitalne zrelosti* luke i potencijalnih koristi koje bi se mogle postići kroz primjenu digitalnih tehnologija i sustava. Stoga je potrebno poduzeti daljnje korake u primjeni digitalnih tehnologija i sustava.

Visoka digitalna zrelost luke (*pametna luka*) znači naprednu razinu u kojoj su digitalne tehnologije i sustavi u potpunosti integrirane u poslovne procese luke. Luke koriste recentne digitalne tehnologije i sustave, a dionici lučke zajednice međusobno su povezani na potpuno integriranoj digitalnoj osnovi te se primjenjuje prediktivna analitika. Nadalje, luke na visokoj razini *digitalne zrelosti* pokazuju otpornost na izvanredne situacije. Luke na visokoj razini *digitalne zrelosti* (*pametne luke*) često istražuju i implementiraju među prvima nove tehnologije unutar pomorske industrije. Visoka razina *digitalne zrelosti* znači sveobuhvatnu digitalizaciju poslovnih procesa luke.

Prije analize rezultata evaluacije, provedeno je testiranje osjetljivosti definiranih funkcija korisnosti i definiranih skala za osnovne atribute, a u odnosu na rezultate evaluacije u različitim lukama.

U *DEX metodi* može se provesti analiza jedne ili više "test" alternativa, kako bi se utvrdila osjetljivosti na promjene rezultata evaluacije (promjene se odnose na odabrane vrijednosti osnovnih atributa) odnosno hoće li promjena vrijednosti osnovnih atributa rezultirati promjenom vrijednosti agregiranih atributa sukladno definiranoj funkciji korisnosti. U kontekstu evaluacije *digitalne zrelosti* luka, uveden je *Sintetički test slučaj* odnosno *Test luka*, s proizvoljno odabranim rezultatima evaluacije *digitalne zrelosti* luka. Napravljena je komparacija *Test luke* s lukom Ploče, kako bi se usporedile promjene rezultata evaluacije sukladno definiranim vrijednostima (skalama) osnovnih atributa te funkcijama korisnosti. Pritom je korištena opcija *Usporedba* (engl. *Comparison option*) analitička opcija u DEXi računalnom programu. Odabir stvarno evaluirane luke za komparaciju, unos rezultata te odabir agregiranih atributa i osnovnih atributa za komparaciju, slobodan je i neovisnom. Za testiranje osjetljivosti odabrani su sljedeći agregirani atributi i osnovni atributi: *Tehnologije digitalne potpore poslovanju* (agregirani atribut) te osnovni atributi: *Tehnologije za upravljanje procesima* i *Napredne bežične mrežne tehnologije*; *Povezivost i mrežna tehnologija* (agregirani atribut) te osnovni atributi: *5G mobilna mreža i Internet stvari.* Testiranje osjetljivosti potvrdilo je da su promjene sukladne definiranim vrijednostima osnovnih atributa (skala) te funkcijama korisnosti za evaluaciju *digitalne zrelosti* luke.

Rezultati evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka: Ploče, Split, Rijeka, Bar, Port of Adria, Kopar, Ravena, pokazuju da su većina evaluiranih luka srednje *digitalne zrelosti,* osim luka Split i Bar koje su niske razine *digitalne zrelosti*. *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* u evaluiranim lukama pokazuju srednju razinu *digitalne zrelosti,* osim u lukama Split i Bar kad pokazuju nisku razinu *digitalne zrelosti*.

Rezultati evaluacije pokazuju da se od kategorije *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* u evaluiranim lukama koriste kako slijedi: *Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije* (koriste se *Informacijski sustav lučke zajednice*, *Sustav za upravljanje terminalom*), *Tehnologije upravljanja skladištem* (koriste se poluautomatizirani ili automatizirani *Sustav za upravljanje skladištem*), *Tehnologije koordiniranja teretom* (koriste se poluatomatizirani ili automatizirani *Sustav upravljanja internim transportom*). *Tehnologije za upravljanje procesima* u evaluiranim lukama

primjenjuju se uglavnom za pojedine poslovne procese, a od *Naprednih bežičnih mrežnih tehnologija* primjenjuju se *Bluetooth 4.0*., *LTE* za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava. *Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* uglavnom su niske razine *digitalne zrelosti* s obzirom da se u evaluiranim lukama koriste najjednostavnije tehnologije i sustavi. Za nadzor pomorskog prometa u evaluiranim lukama koriste se uglavnom pojedinačni moduli VTMIS sustava.

Rezultati evaluacije pokazuju da se od kategorije *Disruptivne digitalne tehnologije i sustavi* u evaluiranim lukama koriste kako slijedi: *Računalstvo u oblaku* za aplikacije i baznu pohranu podataka te *Dronovi* za inspekciju lučkog područja.

Luka Kopar izdvaja se od ostalih evaluiranih luka u primjeni disruptivnih digitalnih tehnologija, s obzirom da se primjenjuje *Računalstvo u oblaku* za virtualizaciju pojedinih elemenata poslovne arhitekture, a *Veliki podatci* primjenjuju se za pojedine poslovne procese. *Umjetna inteligencija* primjenjuje se za pojedine module komercijalnih rješenja, te se koriste napredni modeli simulacija. Luka Ravena jedina je u kojoj se za simulacije koristi tehnologija *Digitalni blizanac*.

Sukladno rezultatima, vidljivo je kako niti jedna evaluirana luka nije primijenila dovoljan broj tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te osobito disruptivnih digitalnih tehnologija, da bi mogla tranzitirati u *pametnu luku*. Luka Kopar se izdvaja kao najbliža tranziciji u *pametnu luku*.

Primjenom analitičke opcije *Selektivna eksplanacija*, u odnosu na rezultate evaluacije *digitalne zrelosti* odabranih luka, utvrđene su slabe i jake točke svake pojedine luke, čime je dobiven uvid u potrebne aktivnosti, odnosno koje bi digitalne tehnologije i sustave evaluirane luke trebale implementirati kako bi tranzitirale u *pametnu luku*. Rezultati *Selektivne eksplanacije* evaluiranih luka pokazuju da je svim lukama zajednička potreba implementacije i korištenja *Tehnologija za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu* te svih *Disruptivnih tehnologija* (osim luka Ravena u pogledu simulacijskih tehnologija s obzirom da se primjenjuje tehnologija *Digitalni blizanci*).

Evaluacijom *digitalne zrelosti* luka i analizom rezultata potvrđuje se druga pomoćna hipoteza **PH 2. Analizom postojećeg stanja digitaliziranosti odabranih teretnih morskih luka, tj. primjene digitalnih tehnologija i sustava, moguće je kategorizirati teretne morske luke prema razini *digitalne zrelosti* i omogućiti uvid u digitalnu spremnost za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke.***

Nastavno na evaluaciju *digitalne zrelosti* pristupilo se kreiranju i evaluaciji scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Jednako kao i kod evaluacije digitalne zrelosti luke, digitalne tehnologije i sustavi (*Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*) sastavnice su scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Napravljen je detaljan pregled prethodnih istraživanja kako bi se utvrdilo zašto je potrebno da se scenariji tranzicije u *pametnu luku* baziraju na digitalnim tehnologijama i sustavima. Nadalje, pregledom prethodnih istraživanja utvrđene su značajke scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije

teretnih morskih luka u *pametne luke*, metode za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Nakon pregleda prethodnih istraživanja pristupilo se definiranju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*. Luke se međusobno razlikuju primarno po veličini, kapacitetu, vrsti tereta kojom se manipulira u luci, što utječe na implementiranje digitalnih tehnologija i sustava u teretnim morskim lukama. Luke provode poslovne procese odnosno aktivnosti sukladno regulativi i legislativi, što dodatno utječe na tranziciju u pametnu luku. Veće luke koje imaju veća financijska sredstva imaju veće mogućnosti investiranja u digitalne tehnologije i sustave.

Osnova za definiranje scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* jesu aktivnosti i poslovni procesi u teretnim morskim lukama, a identificirani su procesi kako slijedi.

Teretni poslovni procesi jesu osnovni procesi u lukama, s obzirom da su luke glavne točke međunarodne trgovine te logistička središta za manipulacije s različitim vrstama tereta. Manipulacija teretom primaran je izvor prihoda luka: kroz naknade za utovar, istovar, skladištenje i druge usluge povezane teretom. Teretne poslovni procesi u lukama uključuju: manipulacije teretom; praćenje kretanja tereta; koordinaciju tereta; prediktivno održavanje opreme; automatizaciju skladišnih aktivnosti; automatizaciju internog transporta; razmjenu teretne dokumentacije; sigurnost; pojednostavljenje rada zaposlenika; analitiku teretnih aktivnosti.

Administrativni poslovni procesi uključuju provedbu aktivnosti proizašlih iz zakona, propisa, standarda, procedura. Administrativni poslovni procesi u lukama uključuju: aktivnosti ulaza u luku i izlaza iz luke: procedura kretanja vozila i tereta unutar luke, nadzor luke; nadzor i sigurnost pomorskog prometa; administrativne procedure uplovljavanja i isplovljavanja brodova; inspekcijski nadzor; carinske procedure; koordinacija u slučaju hitnih i nepredviđenih situacija; protokoli zaštite luke od kibernetičkih prijetnji; protokoli zaštite okoliša.

Interni poslovni procesi u lukama odnose se na internu organizaciju rada vezanu uz provedbu teretnih i administrativnih aktivnosti, zaposlenike u lukama te pružanje usluga korisnicima. Interni poslovni procesi u lukama uključuju: koordinaciju poslovnih procesa; kontrolu poslovnih procesa; upravljanje resursima luke; sustav odlučivanja u poslovnim procesima; prikupljanje, pohranu i obradu podataka u poslovnim procesima; razmjenu informacija i dokumentacije među poslovnim odjelima luke; praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators* − KPI); analitiku poslovnih procesa; simulaciju poslovnih procesa.

Kako bi se utvrdilo koje su krucijalne *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije* za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* te kako bi se utvrdilo koji kriteriji su najvažniji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke,* provedeno je istraživanje involviranjem stručnjaka iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. U istraživanje su uključene sljedeće skupine stručnjaka: većih operatora terminala, lučke uprave, lučke organizacije

i institucije, pomorske obrazovne institucije. Prikupljeno je 107 važećih odgovora stručnjaka.

U evaluaciju od strane stručnjaka uključene su sljedeće digitalne tehnologije i sustavi iz obje kategorije: *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*: *Automatski navođena vozila, Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, LTE, Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija, Skener (X ray, laser), Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama, Termovizijske kamere, 3G i 4G mobilne mreže, WIFI bežična mreža, Optičko prepoznavanje znakova, Sustavi lociranja u stvarnom vremenu, Automatizirane slagališne dizalice, Sustav za praćenje kontejnera, Sustav za upravljanje transportom, Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka, CCTV sustav, Elektronička razmjena podataka, QR kod, Bežična senzorska mreža, Bar kod, Automatizirani traktor, Komunikacija bliskog polja, Bluetooth, Pristup mobilnim uređajem, Automatizirani viličar, ID kartica, 5G mreža, Internet stvari, Računalni vid, Umjetna inteligencija, Konverzacijska korisnička sučelja, Digitalni blizanac, Veliki podatci, Dronovi, Inteligentne kamere, Sučelje čovjek-stroj, Proširena stvarnost, Autonomna vozila, Virtualna stvarnost, Napredna analitika, Strojno učenje, Pametni senzori, Mješovita stvarnost, Neuronska mreža, Nulta latencija, 6G mobilna mreža, Autonomni mobilni roboti, Mobilno računalstvo, Generativna umjetna inteligencija, Tehnologija ulančanih blokova, Rubno računalstvo, Kibernetičko fizički sustavi, Proširena povezana radna snaga, Biometrijsko prepoznavanje, Kvantno računalstvo, Homomorfna enkripcija, Napredna robotika, Dubinsko učenje, 3D printanje, 4D printanje.*

Iz istraživanja su isključene sljedeće digitalne tehnologije i sustavi iz kategorije *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*, s obzirom da su neophodni za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* (po zakonima, regulativama, propisima te po učincima primjene u lukama) i kao takvi predstavljaju osnovni komponentu scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*: *Informacijski sustav lučke zajednice, Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu, Sustav pomorskog prometa, Sustav upravljanja pomorskim prometom, Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom, Računalstvo u oblaku, Sustav za upravljanje terminalom, Sustav upravljanja internim transportom, Sustav za upravljanje skladištem, Sustav za upravljanje resursima, Računalni sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima, Sustavi za potporu odlučivanju*.

Nadalje, u cilju evaluacije i odabira scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, pregledom prethodnih istraživanja utvrđeni su kriteriji za evaluaciju scenarija, a koje je isto tako bilo potrebno uputiti na ocjenu stručnjacima iz područja primjene digitalnih tehnologija i sustava u lukama. Utvrđeni **kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*** razvrstani su sukladno TOE okviru kako slijedi:

- **Tehnološki kriteriji:** IT infrastruktura, sigurnost, otpornost, jednostavnost implementacije, troškovi održavanja;

- **Organizacijski kriteriji:** jednostavnost korištenja, digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, spremnost IT odjela, financijski resursi za implementaciju;
- **Kriteriji okruženja:** regulativa i legislativa, institucionalna potpora, utjecaj na održivost, tehnologija koju koristi konkurencija.

Rezultati istraživanja analizirani su **primjenom *Deskriptivne statističke analize* te primjenom *Multivarijatne statističke analize −metoda aglomerativno- hijerarhijsko klasteriranje*, uz primjenu SPSS računalnog programa.**

U okviru **Deskriptivne statističke analize** provedena je analiza razdiobe prikupljenih odgovora stručnjaka. Stoga su primijenjeni sljedeći pokazatelji: *Aritmetička sredina, Standardna devijacija, Mjere asimetrije, Mjere zaobljenosti*.

Rezultati analize digitalnih tehnologija i sustava iz kategorije *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* pokazali su kako se prosječne ocjene koje su stručnjaci dodijelili *Automatski navođenim vozilima* i *Sustavu automatiziranog ulaza*. Nadalje, *Automatski navođena vozila* i *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza* ujedno imaju i malu disperziju, simetrični su, pokazuju blagu zaobljenost te nemaju karakteristike normalne razdiobe. Ostale tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi dobili su prosječne ocjene niže od 4, što upućuje da stručnjaci ostale tehnologije smatraju većinom umjereno važnima do važnima.

Rezultati analize digitalnih tehnologija iz kategorije *Disruptivne digitalne tehnologije* pokazali su kako su najveće prosječne ocjene stručnjaci dodijelili sljedećim disruptivnim digitalnim tehnologijama: *5G mobilna mreža*, *Internet stvari*, *Računalni vid*, *Umjetna inteligencija*, *Konverzacijska korisnička sučelja, Digitalni blizanac*, *Veliki podatci, Dronovi, Inteligentne kamere, Sučelje čovjek stroj, Proširena stvarnost, Autonomna vozila.* Za tehnologije *3D printanje i 4D printanje* pokazuje se značajnije odstupanje od prosjeka (mjerom standardne devijacije).

Stručnjaci su vrlo važnim ocijenili sljedeće kriterije za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*: *Financijski resursi za implementaciju*, *Troškovi održavanja, Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, Regulativa i legislativa* i *Jednostavnost implementacije, Spremnost IT odjela* i *Jednostavnost korištenja*.

Analizirani podatci nisu pokazali normalnu razdiobu te je napravljen i *Kolmogorov-Smirnov* test, koji je potvrdio da podatci nemaju normalnu razdiobu. Stoga se pristupilo utvrđivanju neparametrijskih mjera: *Medijan* i *Interkvartilni raspon*.

Najviše vrijednosti *Medijana* imaju sljedeće *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*: *Automatski navođena vozila, Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, LTE, Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija, Skeneri (X ray, laser), Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama, Termovizijske kamere, 3G i 4G mreže, WIFI, Optičko prepoznavanje znakova*.

Najviše vrijednosti *Medijana* imaju sljedeće *Disruptivne digitalne tehnologije: 5G mobilna mreža, Internet stvari* i *Računalni vid*. Tehnologije *Umjetna inteligencija* i *Konverzacijska korisnička sučelja* za polovicu stručnjaka su iznimno važne.

Najviše vrijednosti *Medijana* imaju kriteriji: *Financijski resursi za implementaciju* te *Troškovi održavanja* te potom kriteriji *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, Regulativa i legislativa, Spremnost IT odjela* te *Jednostavnost implementacije*.

Nakon provedene preliminarne statističke analize, valjalo je pristupiti detaljnoj analizi odgovora prikupljenih od stručnjaka, kako bi se konačno identificirale digitalne tehnologije i sustavi krucijalni za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* te najvažniji kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke.*

S obzirom da su analizirani digitalne tehnologije i sustavi iz kategorija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* i *Disruptivne digitalne tehnologije* te su analizirani kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije, pristupljeno je *Multivarijatnoj statističkoj analizi*. Od metoda *Multivarijatne statističke analize* (zavisne i međuzavisne metode) odabrane su međuzavisne metode koje se koriste za razumijevanje strukture unutar skupa podataka, a ne traže se uzročno-posljedične veze između pojedinačnih podataka. Od nekoliko analiziranih metoda (*Analiza glavnih komponenti, Faktorska analiza, Klaster analiza, Višedimenzionalno skaliranje*) odabrana je *Klaster analiza* jer omogućava raspodjelu podataka u klastere kako bi se utvrdilo koje će se *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi*, *Disruptivne digitalne tehnologije* te kriteriji pokazati kao najrelevantniji. U okviru *Klaster analize*, odabrana je *Metoda aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje.* Za razliku od nehijerahijskog klasteriranja, tijekom procesa klasteriranja nema utjecaja na broj klastera i na definiranje centroida, čime nema utjecaja na konačan rezultat klasteriranja. Nadalje, hijerarhijsko klasteriranje računalno intenzivno za vrlo velike skupove podataka, prikladno je za male do srednje velike skupove podataka, kao što je i skup podataka koji se analizira. Kako bi se provelo aglomerativno hijerarhijsko klasteriranje odabrana je *Wradova metoda* za povezivanje objekata u klasteru i *Euklidska udaljenost. Wardova metoda* se smatra efikasnom jer doprinosi kreiranju klastera s malim brojem objekata i s približno jednakim brojem objekata u svakom klasteru, a uz *Wardovu metodu* koristi se *Euklidska udaljenost*.

Nakon provedbe postupka aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja, dobiveni su rezultati kako slijedi.

Stručnjaci **najvažnijim tehnologijama za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke* smatraju sljedeće digitalne tehnologije i sustavi iz kategorija *Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi* te *Disruptivne digitalne tehnologije*:** *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, Automatski navođena vozila, 5G mobilna mreža, Internet stvari, Računalni vid, Umjetna inteligencija, Konverzacijska korisnička sučelja, Digitalni blizanac, Veliki podatci, Dronovi, Inteligentne kamere, Sučelje čovjek-stroj.*

Primjena deskriptivne statističke analize i metode aglomerativnog hijerarhijskog klasteriranja pokazala je da **stručnjaci najvažnijim kriterijima za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* smatraju sljedeće kriterije:** *Financijski resursi za implementaciju, Troškovi održavanja, Digitalne vještine*

menadžmenta i zaposlenih te *Regulativa i legislativa*. Pritom se kao dominantan kriterij pokazao *Financijski resursi za implementaciju*.

S obzirom na definirane aktivnosti i poslovne procese u lukama te s obzirom na rezultate istraživanja provedenog u suradnji sa stručnjacima iz područja primjene digitalnih tehnologija u lukama, kreirani su scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke.* **Kreirana su tri scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*: Scenarij 1. *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*; Scenarij 2. *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*; Scenarij 3. *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.**

Scenarij 1. *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* podrazumijeva primjenu digitalnih tehnologija za digitalizaciju odnosno automatizaciju teretnih poslovnih procesa. Scenarij obuhvaća sljedeće: automatizaciju manipulacije teretom što znači smanjenje vremena i troškova manipulacije teretom; automatizacija praćenja kretanja tereta i koordinacije teretom; prediktivno održavanje opreme; automatizacija skladišnih aktivnosti; automatizacija internog transporta; digitalizacija razmjene teretne dokumentacije čime se smanjuje korištenje klasične papirnate dokumentacije; sigurnost i olakšavanje rada zaposlenika; napredna analitika teretnih aktivnosti.

Scenarij 2. *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* podrazumijeva primjenu digitalnih tehnologija za digitalizaciju odnosno automatizaciju administrativnih poslovnih procesa u lukama te obuhvaća sljedeće: automatizacija administrativnih aktivnosti ulaza u luku i izlaza iz luke: automatizacija procedura kretanja vozila i tereta unutar luke, automatizacija nadzora luke; automatizacija procedura nadzora i sigurnosti pomorskog prometa; automatizacija administrativnih procedura uplovljavanja i isplovljavanja brodova; administracija administrativnih postupaka provedbe inspekcijskog nadzora; automatizacija carinskih procedura; automatizacija procedura i koordinacije u slučaju hitnih i nepredviđenih situacija; automatizacija procedura za provedbu protokola zaštite luke od kibernetičkih prijetnji; automatizacija protokola zaštite okoliša.

Scenarij 3. *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* podrazumijeva primjenu digitalnih tehnologija za digitalizaciju odnosno automatizaciju internih poslovnih procesa u lukama te obuhvaća sljedeće: povezivanje i koordinacija poslovnih procesa; automatizacija rada u poslovnim procesima luke; automatizacija kontrole provedbe poslovnih procesa; automatizacija upravljanja resursima luke u provedbi poslovnih procesa; automatizacija sustava odlučivanja u poslovnim procesima; automatizacija prikupljanja, pohrane i obrade podataka u poslovnim procesima; automatizacija razmjene informacija i dokumentacije između različitih poslovnih odjela luke; praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators* –KPI) poslovnih procesa i analitika poslovnih procesa; virtualizacija i simulacija poslovnih procesa.

Scenariji se sastoje od dviju komponenti, što je bilo potrebno s obzirom na osnovne, bazne digitalne tehnologije koje su obvezne po zakonima i regulativama te po

neophodnosti primjene u lukama te dodatne digitalne tehnologije i sustavi identificirani od strane stručnjaka. Iako su digitalne tehnologije i sustavi međusobno komplementarni, bilo je uputno digitalne tehnologije i sustave evaluirane od strane stručnjaka uvrstiti u određeni scenarij sukladno njihovoj primjeni u kontekstu definiranog scenarija.

U scenarij tranzicije u *pametnu luku* ***Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*** uvrštene su osnovne digitalne tehnologije i sustavi: *Sustav za upravljanje terminalom, Sustav upravljanja internim transportom, Sustav za upravljanje skladištem, Informacijski sustav lučke zajednice* te ostale digitalne tehnologije i sustavi prema ocjeni stručnjaka: *Automatski navođena vozila, Internet stvari, Sučelje čovjek-stroj, Računalni vid.*

U scenarij tranzicije u *pametnu luku* ***Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*** uključene su osnovne digitalne tehnologije i sustavi: *Jedinstveno sučelje za formalnosti u pomorskom prometu, Sustav pomorskog prometa, Sustav upravljanja pomorskim prometom, Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom* te ostale digitalne tehnologije i sustavi prema ocjeni stručnjaka: *Sustav automatiziranog ulaza i izlaza, Dronovi, Konverzacijska korisnička sučelja i Inteligentne kamere.*

U scenarij tranzicije u *pametnu luku* ***Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*** uključene su osnovne digitalne tehnologije i sustavi: *Računalstvo u oblaku, Sustav za upravljanje resursima, Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima, Sustav za potporu odlučivanju te ostale digitalne tehnologije i sustavi prema ocjeni stručnjaka: Veliki podatci, Digitalni blizanac, Umjetna inteligencija i 5G mobilna mreža.* Svaka od navedenih tehnologija detaljno je elaborirana u doktorskom radu u kontekstu scenarija i primjene u teretnim morskim lukama.

Analizirane su metode prikladne za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* (*AHP, Fuzzy AHP, ANP, TOPIS, PROMETHEE, SMART, VIKOR, DEMATEL*) te je odabrana ***AHP metoda*** s obzirom da se problem odlučivanja (evaluacija scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*) može prikazati u hijerarhijskom obliku počevši od cilja kao najviše hijerarhijske razine, preko kriterija do scenarija kao najniže razine. Primjena *AHP metode* omogućava ocjenjivanje preferencija te individualnu evaluaciju ili evaluaciju više sudionika evaluacije. S obzirom da je bilo potrebno odabrati između nekoliko scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te scenarije ocijeniti prema kriterijima, *AHP metoda* pokazala se pogodnom jer omogućuje detaljnu usporedbu parova kriterija temeljem Saatyeve skale u intervalu od jedan do devet. Dodatno, *AHP metoda* omogućava *Postoptimalnu analizu*, čime je osiguran pravilan odabir scenarija. Za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*, primjenom *AHP metode*, korišteni su DecernsMCDA računalni program te 123AHP računalni program zbog jednostavnosti i korištenja bez naknade.

Kako bi se provela evaluacija scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke,* bilo je potrebno odabrati luku na kojoj će se evaluacija provesti. Odabrana je **luka Rijeka** za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku*, zbog dostupnosti podataka. U cilju prikupljanja relevantnih odgovora i ispravnih rezultata evaluacije, istraživanje je provedeno uz pomoć većeg privatnog operatora Luka Rijeka d.d. te je u svojstvu

ispitanika, stručnjaka sudjelovala osoba iz menadžmenta Luka Rijeka d.d. koja ima uvid i u poslovanje povezanog društva Jadranska vrata d.d.

Naposljetku se pristupilo evaluaciji scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku.* Kreiran je AHP model s ciljem evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*, a kako bi se utvrdile preferencije i prioritet digitalizacije u kontekstu definiranih scenarija, a kojeg čine sljedeći kriteriji: *Financijski resursi za implementaciju, Troškovi održavanja, Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* te *Regulativa i legislativa* te **scenariji (alternative): Scenarij 1. *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima***; **Scenarij 2. *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima***; **Scenarij 3. *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima***.

Za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* primijenjena je **Saatyeva skala** sa sljedećim vrijednostima: 1. Jednako važan (dva scenarija podjednako su važni); 3. Umjereno važniji (mala prednost daje se jednom scenariju); 5. Važniji (veća prednost daje se jednom scenariju); 7. Znatno važniji (jedan se scenarij favorizira u odnosu na drugi scenarij); 9. Ekstremno važniji (jedan scenarij ima najveću moguću važnost u odnosu na drugi scenarij). Međuvrijednosti 2, 4, 6 i 8 su kompromisni opis važnosti među scenarijima, u odnosu na definirani intenzitet važnosti.

Najprije su evaluirani **odnosi pariteta grupe kriterija,** odnosno napravljena je **usporedba međusobne važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku***.

Kriterij *Financijski resursi za implementaciju* ocijenjeni su između *umjereno važnijeg* i *važnijeg* u usporedbi s kriterijem *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*, dok su *Troškovi održavanja* umjereno važniji kriterij u odnosu na kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*. Ostali odnosi kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* imaju iste paritete, pa su tako *Troškovi održavanja* te *Regulativa i legislativa* jednako važni, kao i *Financijski resursi za implementaciju* te kriterij *Regulativa i legislativa*. Kriterij *Financijski resursi za implementaciju* pokazao se kao najvažniji u usporedbi s ostalim kriterijima.

Nadalje je **svaki scenarij je razmatran u odnosu na definirane kriterije.**

Unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je ocijenjen između *znatno važnijeg* i *ekstremno važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* te znatno važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* je ocijenjen između *jednako važnog* i *umjereno važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Unutar kriterija troškovi održavanja, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ocijenjen je između *znatno važnijeg* i *ekstremno važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* ocijenjen između *jednako važnog* i *umjereno važnijeg*. Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je

ocijenjen između *važnijeg* i *znatno važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*.

Unutar kriterija *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih* kao najbitniji se pokazao scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* kao znatno važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*, te je ocijenjen između *umjereno važnijeg* i *važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je umjereno važniji od scenarija *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*.

Unutar kriterija regulativa i legislativa, scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* je ocijenjen je između *znatno važnijeg* i *ekstremno važnijeg* u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* te je važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* je umjereno važniji u odnosu na scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*.

U okviru svih kriterija Scenarij 1. *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ocijenjen je kao najbitniji, odnosno preferirani scenarij tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*.

Potom je napravljeno **rangiranje kriterija prema rezultatima AHP evaluacije**.

Odnos pariteta kriterija prema težinskoj vrijednosti koja se može izraziti apsolutno ili relativno (u postocima) pokazuje sljedeće rangiranje kriterija: najbitniji kriterij je *Financijski resursi za implementaciju,* zatim slijede *Troškovi održavanja, Regulativa i legislativa, Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*.

Nadalje, napravljena je **analiza preferencija kriterija evaluatora scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* u odnosu na preferencije stručnjaka (ispitanika) koji su evaluirali važnost kriterija**.

Analiza je pokazala sličnost u preferencijama. Kriteriju *Financijski resursi za implementaciju* dodijeljen je najveći broj bodova, zatim kriteriju *Troškovi održavanja*, kriteriju *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*, a najmanje bitnim im se pokazao kriterij *Regulativa i legislativa*. Kriteriji *Financijski resursi za implementaciju* i *Trošak održavanja* poklapaju i kod ispitanika i kod AHP metode. Međutim, stručnjaci su nešto veću vrijednost dodijelili kriteriju *Regulativa i legislativa*, a manju kriteriju *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*.

U daljnjem postupku evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*, napravljena je **analiza odnosa kriterija i pojedinih scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* – zastupljenost pojedinog scenarija unutar pojedinog kriterija.**

Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ima najveću zastupljenost unutar svih kriterija, u odnosu na ostale scenarije. Najviše je zastupljen unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*, a najmanje unutar kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih.* Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* najmanje je zastupljen unutar kriterija *Regulativa i legislativa* dok je najviše zastupljen unutar kriterija *Financijski resursi za*

implementaciju. Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* najviše je zastupljen u kriteriju *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*, a najmanje zastupljen u kriteriju *Financijski resursi za implementaciju*.

Zatim su analizirane **težinske vrijednosti AHP faktora i njihov utjecaj na scenarije tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*.**

Rezultati su pokazali da scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ima najveću težinsku vrijednost. Potom slijedi scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*, dok scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* ima najmanju težinsku vrijednost. Ukupan rezultat pokazuje da se scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ističe među ostalim scenarijima.

Unutar scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*, podjednako su zastupljeni kriteriji *Financijski resursi za implementaciju* i *Troškovi održavanja*, a najmanje kriterij *Regulativa i legislativa*. U scenariju *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* najzastupljeniji kriterij su *Financijski resursi za implementaciju*, ali sa znatno manjim udjelom nego kod scenarija *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*. Najmanji je udio kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*. U scenariju *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* najmanje je zastupljen kriterij *Financijski resursi za implementaciju*, a najviše kriterij *Regulativa i legislativa*.

Kao zadnji korak u provedbi AHP metode te sukladno tome evaluaciji scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*, napravljena je *Postoptimalna analiza*, kojom je utvrđeno koliko promjena ulaznih podataka utječe na promjenu ukupnih prioriteta alternativa (scenarija). Ispitano je povećanje vrijednosti (težine) kriterija *Financijski resursi za implementaciju* pri čemu scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* i dalje ostaje najviše preferiran, ali scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* ima veću važnost od scenarija *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima*. Ukoliko se napravi smanjenje ili povećanje vrijednosti (težine) kriterija *Troškova održavanja*, neće biti utjecaja na poredak scenarija. Nadalje je dominantan scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima*, zatim scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* pa scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima*.

Evaluacija scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* rezultirala je sljedećim odabirom scenarija.

Scenarij 1. *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima* ima najvišu ocjenu te je kao takav od evaluatora izabran kao najbolje ocijenjen, preferirani scenarij za tranziciju luke Rijeka u *pametnu luku*.

Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima* dobio je srednju ocjenu preferencije scenarija, a scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima* dobio je najmanju ocjenu u ukupnom poretku čime je ocijenjen kao najmanje važan, preferiran scenarij.

Definiranjem scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke,* definiranjem kriterija za evaluaciju te provedbom evaluacije scenarija tranzicije u pametnu luku na primjeru odabrane luke Rijeka, potvrđuje se treća pomoćna hipoteza: **PH 3. Na temelju analize razine *digitalne zrelosti* i analize najvažnijih digitalnih tehnologija i sustava, moguće je definirati scenarije tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke,* a definiranjem kriterija za evaluaciju scenarija, moguće je odabrati optimalan scenarij tranzicije pojedine teretne morske luke u *pametnu luku*.**

Istraživanje provedeno u doktorskom radu rezultiralo je sljedećim: identifikacija tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava te disruptivnih tehnologija koje se koriste u teretnim morskim lukama; identifikacija kriterija i metoda za evaluaciju digitalne zrelosti luka; utvrđena digitalna zrelost odabranih teretnih morskih luka; definirani scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*; definirani kriteriji i metode za evaluaciju scenarija tranzicije u *pametnu luku;* utvrđen preferirani scenarij tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku.*

Navedeni rezultati istraživanja predstavljaju originalni znanstveni doprinos doktorskog rada.

Rezultati provedenog istraživanja potvrđuju glavnu hipotezu doktorskog rada H: Analizom digitalnih tehnologija i sustava, analizom *digitalne zrelosti* luka, definiranjem scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* i kriterija za evaluaciju scenarija moguće je izraditi model tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*.

Rezultati istraživanja provedenog u doktorskom radu doprinose popunjavanju uočenih praznina u dosadašnjim istraživanjima u stranoj literaturi, a osobito u domaćoj literaturi u kojoj je tema *pametnih luka* rubno zastupljena. Doprinos doktorskog rada je spoznaja o metodologiji evaluacije *digitalne zrelosti* luka (kriteriji, metode, razine digitalne zrelosti luka). Doprinos doktorskog rada očituje se u razvoju znanstvenih spoznaja o izradi modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* s identifikacijom tranzicijskih scenarija. K tome, doktorski rad doprinosi znanstvenim spoznajama o izradi scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te kriterijima za evaluaciju tih scenarija. Konačno, doktorski rad doprinosi poticanju i razvoju daljnjih istraživanja o implementiranju koncepta *pametna luka* u teretnim morskim lukama.

Rezultati istraživanja u doktorskom radu mogu poslužiti znanstvenicima i široj akademskoj zajednici u svrhu stjecanja novih spoznaja te kao poticaj za daljnja istraživanja o tranziciji teretnih morskih luka u *pametne luke*. Rezultati istraživanja primjenjivi su i relevantnim dionicima lučke zajednice te stručnjacima u svrhu kreiranja strategija i planova za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*. Nadalje, rezultati istraživanja u doktorskom radu korisni su za poduzeća, odnosno institucije koje se izravno bave lukama, a to su lučke uprave, koncesionari, odnosno operatori terminala, ali i za ostale dionike lučke zajednice (brodari, agenti, špediteri, lučka kapetanija, carinska ispostava). Rezultati istraživanja korisni su i za informiranost svekolike zainteresirane

javnosti o temi *pametna luka*. Rezultate istraživanja mogu koristiti institucije koje sudjeluju u kreiranju strategija razvoja luka i donošenju zakonodavnih okvira, regulativa, propisa, standarda kojima se uređuje aktivnosti u lukama te primjena digitalnih tehnologija i sustava. Rezultate istraživanja mogu koristiti fakulteti i poslovne obrazovne institucije.

Buduća istraživanja važna su za kontinuitet znanstvenih spoznaja o temi *pametne luke.* Segment teretnih morskih luka dominantan je u znanstvenim istraživanjima teme *pametna luka*. S druge strane, putnički aspekt pomorskog prometa i luke unutarnjih voda pokazuju neznatnu zastupljenost u znanstvenim istraživanjima. Iako postoje studije i strategije relevantnih organizacija iz područja putničkih morskih luka, odnosno marina, broj istraživanja nešto je manje zastupljen u odnosu na teretne morske luke. Broj istraživanja za luke unutarnjih voda je najmanji. Stoga je potrebno provesti istraživanja koja će obuhvatiti sljedeće: utvrđivanje *uskih grla* za primjenu koncepta *pametna luka*; analiza potencijalnih prepreka, odnosno izazova za primjenu digitalnih tehnologija: kibernetička sigurnost, privatnost, pravni i regulatorni okvir, standardizacija; utvrđivanje razine digitalne zrelosti na konkretnim primjerima marina i luka unutarnjih voda; kreiranje scenarija tranzicije putničkih pomorskih luka, odnosno marina i luka unutarnjih voda u *pametne luke*. Pritom buduća znanstvena istraživanja mogu uključivati više područja znanosti: tehničke i društvene, s obzirom da se neki smjerovi istraživanja odnose više na tehnički aspekt, dok drugi obuhvaćaju više društveni aspekt. Na primjer, s aspekta ekonomije mogu se razmatrati financijska sredstva za implementaciju i korištenje digitalnih tehnologija i sustava, dok se s pravnog aspekta može analizirati pravni okvir s obzirom da je isti često manjkav u području digitalnih tehnologija i sustava, posebno u dijelu autonomnih digitalnih tehnologija i sustava.

POPIS LITERATURE

Poglavlja knjiga

1. Alinezhad, A., Khalili, J. (2019). MACBETH Method. *International series in operations Research & Management Science,* in: *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM).* Vol 277, str. 109-114, Springer Edition, Preuzeto 13.03.2024. s http://livre21.com/LIVREF/F34/F034242.pdf
2. Bock, D. E., Velleman, P. F., DeVeaux, R. D. (2007). *Stats: Data and Model. 4th edition*. str. 81. Boston Pearson Edition, Preuzeto 13.03.2024. s https://dl.icdst.org/pdfs/files3/509f1f470f215300832daeabe327020a.pdf
3. Tsvetkova A., Gustafsson, M., WikstrÃom, K. (2021). Digitalizing maritime transport: digital innovation as a catalyzer of sustainable transformation. *Chapters, in: Juan Monteroand Matthias Finger (ed.), A Modern Guide to the Digitalization of Infrastructure, Chapter 5*, str. 123-148, Edward Elgar Publishing, doi: https://ideas.repec.org/h/elg/eechap/19712_5.html

Članci u časopisima, članci u zbornicima radova, članci iz drugih izvora

1. Abdelfattah, M., Ibrahim, A. (2021). Role of Digitalization and Internet of Things (IoT) in Fostering Ports Security. *Conference: the International Maritime Transport and Logistics Conference "Marlog 10*" Digitalization in Ports & Maritime Industry, 13 – 15 June 2021., Alexandria, Egypt,
2. Abldelalim, Nawawy, Bassiony (2016), a prema Saaty, (1982). Decision Supporting System for Risk Assessment in Construction Projects: AHP-Simulation Based Technique, International Journal of Computer Science (IIJCS). *International Journal of Computer Science* (IIJCS), Vol 4 (5), str. 27, Preuzeto 22.04.2024. s https://www.researchgate.net/publication/370653882_Decision_Supporting_System_for_Risk_Assessment_in_Construction_Projects_AHP-Simulation_Based_Technique
3. Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *J Cloud Comp* 11. 40., doi: https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5
4. Agatić, A., Čišić, D., Tijan, E. (2011). Upravljanje informacijama u lučkim klasterima. *Pomorstvo, 25* (2), 371-386, Preuzeto 23.10.2023. s https://hrcak.srce.hr/75335
5. Agatić, A., Kolanović, I. (2020). Improving the seaport service quality by implementing digital technologies. *Pomorstvo -journal of maritime studies*, Vol. 34 No. 1. str. 93-101 doi: https://doi.org/10.31217/p.34.1.11
6. Agatić, A., Poletan Jugović, T., Tijan, E., Kolanović, I. (2021). European Union policies and funding for Smart Port model implementation. *Naše more 2021. Conference Proceedings* / Mišković, Darijo; Hasanspahić, Nermin (ur.)., Dubrovnik: University of Dubrovnik, Maritime Department, 2021. str. 1-9 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni), Preuzeto 23.01.2024. s https://www.nasemore.com/wp-content/uploads/2024/04/NASE%20MORE%202021_Conference%20proceedings.pdf

7. Ahmed, A., Arya, S., Gupta, V., Furukawa, H., Khosla, A. (2021). 4D printing: Fundamentals, materials, applications and challenges. *Polymer*. Volume 228, doi: https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123926
8. Alahmadi, D. i sur. (2021). Comparative analysis of blockchain technology to support digital transformation in ports and shipping. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), str. 55-69, doi: https://doi.org/10.1515/jisys-2021-0131
9. Al-Fatlawi, H. A., Motlak, H, J. (2023). Smart ports: towards a high performance, increased productivity and a better environment. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*. Vol 13, Issue 2, str. 1472 1482., doi: 10.11591/ijece.v13i2.pp1472-1482
10. Alzate, P. i sur. (2024). Operational efficiency and sustainability in smart ports: a comprehensive review. *Mar Syst Ocean Technol*, doi: https://doi.org/10.1007/s40868-024-00142-z
11. Apriana, V., Fauziah, S. (2022). Applying Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) Method for Employee Performance Assessment. *Journal Mantik*, *6*(3) str. 3633-3643., doi: https://doi.org/10.35335/mantik.v6i3.3199
12. Arif, M. Endro Suseno, J., Rizal Isnanto R. (2020). Multi-Criteria Decision Making with the VIKOR and SMARTER Methods for Optimal Seller Selection from Several E-Marketplaces. *E3S Web Conf.*, doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020214002
13. Aslanova, I.V., Kulichkina, A.I. (2020) Digital Maturity: Definition and Model. *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth"* (MTDE 2020), *Advances in Economics, Business and Management Research*, doi: https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200502.073
14. Balkan, D., Akyüz, G. A. (2023). Technological maturity of the OECD countries: A multi-criteria decision-making approach using PROMETHEE. *Cogent Engineering*, 10(1). doi: https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2219097
15. Barasti, D., Troscia, M., Lattuca, D., Tardo, A., Barsanti, I., Pagano, P. (2022). An ICT Prototyping Framework for the "Port of the Future. *Sensors* 22 (1) 246., doi: https://doi.org/10.3390/s22010246
16. Bartusevičienė, I., Valionienė, E. (2021). An Integrative Approach for Digitalization Challenges of the Future Maritime Specialists: A Case Study of the Lithuanian Maritime Academy. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 15 (2)., doi: 10.12716/1001.15.02.11
17. Battino, S., Muñoz Leonisio, M. M. (2022). Port authorities and smartness: the training policies of Spain's smart ports. *Journal of research and didactics in geography*. 2, str. 195-208, doi: https://iris.uniss.it/handle/11388/300185
18. Bauer, C., Dunger, T., Graf, N., Warmann, C. (2022). Virtual Intelligent Port "VIPort" – a Holistic Energy Approach. *Proceedings of REAL CORP- 27th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society*. str. 1017-1023, Preuzeto 22.09.2023. s CORP2022_21.pdf
19. Behdani, B., Port 4.0 (2023). A conceptual model for smart port digitalization. *Transportation Research Procedia*. Vol 74 str. 346-353, doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.154
20. Belmoukari, B., Audy, J.F., Forget, P. (2023). Smart port: a systematic literature review. *European Transport Research Review* 15 (4), doi: https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6

21. Bielińska - Dusza, E. (2013). Concepts of Scenario Methods in Improvement of an Enterprise. *Business, Management and Economics Engineering*, 11(1) str. 137-152, Preuzeto 13.11.2023. s http://dx.doi.org/10.3846/bme.2013.08
22. Bohanec, M, (2022). DEX (Decision EXpert): A Qualitative Hierarchical Multi-criteria Method., *Springer*, doi:10.1007/978-981-16-7414-3_3
23. Bojic, F., Bošnjak, R., Gudelj, A. (2020). Review of smart ports in the European Union. *ICTSI Conference*, Portorož, Preuzeto 22.09.2023. s https://www.researchgate.net/publication/348564344_REVIEW_OF_SMART_PORTS_IN_THE_EUROPEAN_UNION
24. Botti, A., Monda, A., Pellicano, M., Torre, C. (2017). The Re-Conceptualization of the Port Supply Chain as a Smart Port Service System: The Case of the Port of Salerno. *Systems 5* (35)., doi: https://doi.org/10.3390/systems5020035
25. Bouhlal, A., Aitabdelouahid, R., Marzak, A. (2022). The internet of Things for smart ports, *Procedia Computer Science*. str. 819-824, doi: 10.1016/j.procs.2022.07.123
26. Bouklata, A., Bensfia, C. (2020). Digitalization of port passage procedures: focus on the transit time of Goods. *2IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, Fez, Morocco, str. 1-6, doi: 10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353931
27. Boullauazan, Y., Sys, C., Vanelslander, T. (2023). Developing and demonstrating a maturity model for smart ports. *Maritime Policy & Management* 50 (4). str. 447-465, doi: https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2074161
28. Bracke V. i sur. (2021). Design and evaluation of a scalable Internet of Things backend for smart ports. *Softw Pract Exper*. 51. str. 1557–1579, doi: https://doi.org/10.1002/spe.2973
29. Brodny J., Tutak M. (2021). Assessing the level of digital maturity of enterprises in the Central and Eastern European countries using the MCDM and Shannon's entropy methods. *PLoS ONE* 16(7), doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253965
30. Brunila, O.P., Kunnaala-Hyrkki, V., Inkinen, T. (2021). Hindrances in port digitalization? Identifying problems in adoption and implementation. *European Transport Research Review* 13:62, doi: https://doi.org/10.1186/s12544-021-00523-0
31. Campisi, T.(2022) Locally integrated partnership as a tool to implement a Smart Port Management Strategy: The case of the port of Ravena (Italy). *Ocean & Coastal Management*, Vol 224, doi: https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106179
32. Castellano, R. i sur. (2019). Do Digital and Communication Technologies Improve Smart Ports? A Fuzzy DEA Approach. *Transactions on Industrial Informatics*. 15 (10). str. 5674-5681, doi: 10.1109/TII.2019.2927749
33. Chang i sur. (2020). Implementation of Cargo Image System Via QR Code for Export Containers: Case Study of the Keelung Port. *Marine Technology Society Journal* 54 (1). str. 97-109, doi: https://doi.org/10.4031/MTSJ.54.1.5
34. Chang, S.C., Chang, H., H., Lu, M. T. (2021). Evaluating Industry 4.0 Technology Application in SMEs: Using a Hybrid MCDM Approach. *Mathematics* 9 (4)., doi: 10.3390/math9040414
35. Chansa-Ngavej, C.,Srijuntub, A. (2010). Using Analytic Hierarchy Process for innovative technology selection: A case study. *International Journal of Innovation and Learning*. str. 279-295, doi: 10.1504/IJIL.2010.035031
36. Charlampowicz, J. (2019). Management and ownership of the maritime container terminal as an enhancer of competitiveness – selected issues for research and applications. *Economic*

and Social Development: Book of Proceedings; Varazdin, Preuzeto 22.09.2023. s https://www.proquest.com/conference-papers-proceedings/management-ownership-maritime-container-terminal/docview/2322336735/se-2

37. Chen, J. i sur. (2019). Simplified Neutrosophic Exponential Similarity Measures for Evaluation of Smart Port Development. *Symmetry 11(4)*, doi: https://doi.org/10.3390/sym11040485
38. Chen, J., Huang T., Xie X., Lee PT-W., Hua C. (2019). Constructing Governance Framework of a Green and Smart Port. *Journal of Marine Science and Engineering* 7(4). doi: https://doi.org/10.3390/jmse7040083
39. Cheng Z., Wu, H., Ni. P. (2020). Study on the Constructing and Developing Mode of the Smart Port in the Beibu Gulf of Guangxi. *Journal of Physics: Conference Series, Computer Modeling and Simulation Technology*. Vol 1624., doi: 10.1088/1742-6596/1624/2/022052,
40. Chiang, C.H., i sur. (2022). Evaluation of Supply Chain Management on Green Performance in Taichung Smart Port of Taiwan, *Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Osaka, Japan, 2022, pp. 549-550, doi: 10.1109/GCCE56475.2022.10014316
41. Chuprina, E., Zahorodnia, Y., Petrenko, O., Britchenko, I., Goretskyi, O. (2022). Specific characteristics of seaports development in the context of digitalization: international experience and conclusions. *International Journal of Agricultural Extension*. *Special Issue* 10 (1). str. 105-117, doi: https://ssrn.com/abstract=4010218
42. Ciardiello, F., Genovese, A. (2023). A comparison between TOPSIS and SAW methods. *Annals of Operations Research*, Springer, vol. 325(2), str. 967-994, doi: http://dx.doi.org/10.1007/s10479-023-05339-w
43. Constante, J., de Langen, P.W., Pruñonosa, (2023). Innovation ecosystems in ports: a comparative analysis of Rotterdam and Valencia. *J. shipp. trd.* 8 (18), str. 15. doi: https://doi.org/10.1186/s41072-023-00145-w
44. Dalaklis, D. i sur. (2022). The port of Gothenburg under the influence of the fourth stage of the industrial revolution: Implementing a wide portfolio of digital tools to optimize the conduct of operations. *Maritime Technology and Research* 4(3), doi: https://doi.org/10.33175/mtr.2022.253844
45. Douaioui, K., Fri, M., Mabrouki, C., Semma, E.A. (2018). Smart port: Design and perspectives, 4th International Conference on Logistics Operations Management. str. 1-6, doi: https://doi.org/10.1109/GOL.2018.8378099
46. Durán, C.A. i sur. (2021). Boosting the Decision-Making in Smart Ports by Using Blockchain. *IEEE Access* Vol. 9, str. 128055-128068, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3112899
47. Durán, C.A., Córdova, F.M., Palominos, F.E. (2019). A conceptual model for a cyber-social-technological-cognitive smart medium-size port, Procedia Computer Science, Vol 162, str. 94-101, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.263
48. Durao, Carvalho, Cauchick, Zancul (2018). Internet of Things process selection: AHP selection method. *Int J Adv Manuf Technol.* (99) str. 2623–2634, doi: https://doi.org/10.1007/s00170-018-2617-2
49. Đurek, Begičević Ređeš i Kadoić (2019). Methodology for Developing Digital Maturity Model of Higher Education Institutions. *Journal of Computers, Volume.* 14 (4) str. 247-256, doi: http://dx.doi.org/10.17706/jcp.14.4.247-256
50. El Idrissi, A., Haidine, A., Aqqal, A, Dahbi, A.(2022). Deployment Strategies of Mobile Networks for Internet-of-Things in Smart Maritime Ports. *11th International Symposium*

on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC), El Jadida, Morocco, 2022, str. 1-6, doi: 10.1109/ISIVC54825.2022.9800728

51. El Mekkaoui S, Benabbou L, Caron S, Berrado A. (2023). Deep Learning-Based Ship Speed Prediction for Intelligent Maritime Traffic Management. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023; 11(1), doi: https://doi.org/10.3390/jmse11010191
52. El Nahrawy, A. (2020). Fourth industrial revolution (4ir) and its impacts on world seaports and logistic centers. *The International Maritime and Logistics Conference -Marlog 9*, 2020, Preuzeto 20.12.2023. s https://www.researchgate.net/publication/346426462_FOURTH_INDUSTRIAL_REVOLUTION_4IR_AND_ITS_IMPACTS_ON_WORLD_SEAPORTS_AND_LOGISTIC_CENTERS_althwrt_alsnayt_alrabt_wathrha_ly_almwany_albhryt_walmwany_allwjystyt_fy_alalm
53. El Sakty, K. (2016). Logistics Road map for Smart SeaPorts. *Renewable Energy and Sustainable Development*. Vol 2. str. 91-95, doi: 10.21622/resd.2016.02.2.091
54. Enjalbert S, Gandini LM, Pereda Baños A, Ricci S, Vanderhaegen F. (2021). Human–Machine Interface in Transport Systems: An Industrial Overview for More Extended Rail Applications. *Machines*. 9 (2) :36., doi: https://doi.org/10.3390/machines9020036
55. Esen, H. (2023). Analytical hierarchy process problem solution. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1001072
56. Farzadmehr, M., Carlan, V., Vanelslander, T. (2023). Designing a survey framework to collect port stakeholders' insight regarding AI implementation: results from the Flemish context. *Journal of Shipping and Trade* 8 (23), doi: https://doi.org/10.1186/s41072-023-00152-x
57. Ferris, T. L. J.; Barker, S. G.; Adcock, R. D. (2016). Scenario selection method for system scenario analysis. *INCOSE UK Annual Systems Engineering Conference, 15-16 November 2016*, Warwick, UK, Preuzeto 10.02.2024. s http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/12023
58. Garrido Salsas, J., Saurí, S., Rúa, C., Torrent, J. (2022). Conceptualisation of the Port of the Future based on the Business Canvas Model: Case study of the Vision 2040 for Barcelona. *Case Studies on Transport Policy* 10 (2) str. 1427-1437, https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.05.002
59. González Cancelas, N., Molina Serrano, B., Soler Flores, F. (2021). Federated Learning for Spanish Ports as an Aid to Digitization. *Journal of KONBiN* 51(2) str 1-17, str.5., doi: https://doi.org/10.2478/jok-2021-0018
60. González-Cancelas, N.; Molina Serrano, B.; Soler-Flores, F.; Camarero-Orive, A. (2020). Using the SWOT Methodology to Know the Scope of the Digitalization of the Spanish Ports. *Logistics* 4 (20), doi: https://doi.org/10.3390/logistics4030020
61. Grover, B., Damle, M. (2020). Comparison of select digital maturity models for digital transformation dynamics. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology,* 17(6). str. 4836 - 4856. Preuzeto 24.11.2024. s https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/1728
62. Haidine, A., Aqqal, A., Dahbi, A. (2021). Communications backbone for environment monitoring applications in smart maritime ports— sase study of a Moroccan port. *Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, Jakarta Pusat, Indonesia, str. 136-140, doi: 10.1109/AGERS53903.2021.9617440

63. Halicka, K. (2020). Technology Selection Using the TOPSIS Method, Foresight and STI Governance (Foresight-Russia till No. 3/2015). *National Research University Higher School of Economics* 14(1) str. 85-96., Preuzeto 20.11.2023 s https://ideas.repec.org/a/hig/fsight/v14y2020i1p85-96.html
64. Hartweina, Rimbecka, Reilb, Stumpf-Wollersheim, Leyerc (2022). Scenario-based solutions for implementing an internet of things system at the organizational level in small- and medium-sized enterprises. *Work*, 72(4) str. 1611-1627, doi: https://doi.org/10.3233/wor-211242
65. Haryanti, T., Rakhmawati, N. A., Subriadi, A. P. (2023). A Comparative Analysis Review of Digital Transformation Stage in Developing Countries. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *16*(1), str. 150-167., doi: https://doi.org/10.3926/jiem.4576
66. Heikkilä, M., Saarni, J., & Saurama, A. (2022). Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (12), doi: https://doi.org/10.3390/jmse10121925
67. Heilig, L., Voß, S. (2017). Information systems in seaports: a categorization and overview. *Information Technology and Management*, Springer, vol. 18(3), str. 179-201, doi: 10.1007/s10799-016-0269-1
68. Hein-Pensel, F. i sur. (2023). Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol 66, str. 200-210, doi: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.009
69. Henríquez, R., Martínez de Osés, F., Martínez Marín, J.E. (2022). Technological drivers of seaports' business model innovation: An exploratory case study on the port of Barcelon*a, Research in Transportation Business & Management* Vol 43, doi: 10.1016/j.rtbm.2022.100803
70. Heuermann, H. Duin, C. Gorldt, Thoben, K. D. (2017). Service ideation and design for process innovations in future seaports, *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Madeira, Portugal, 2017, str. 894-901, doi: 10.1109/ICE.2017.8279978
71. Hora, Lima, Hora, Silva Neto (2021). Port digitalization and its aspects in Acu port, in northern Rio de Janeiro – Brazil. *Encontro Nacional de Modelagem Computacional e XII ECTM – Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais*. doi: 10.29327/154013.24-20
72. Hussain, M., E. Tapinos, Knight, L. (2017). Scenario-driven roadmapping for technology foresight. *Technological Forecasting and Social Change* Vol 124, doi: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.005
73. Inkinen, T., Helminen, R., Saarikoski, J. (2019). Port Digitalization with Open Data: Challenges, Opportunities, and Integrations. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex* 5 (30), doi: https://doi.org/10.3390/joitmc5020030
74. Inkinen, T., Helminen, R., Saarikoski, J. (2021). Technological trajectories and scenarios in seaport digitalization. *Research in Transportation Business & Management* Vol 41., doi: https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100633
75. Issa Zadeh SB, Esteban Perez MD, López-Gutiérrez J-S, Fernández-Sánchez G. (2023). Optimizing Smart Energy Infrastructure in Smart Ports: A Systematic Scoping Review of Carbon Footprint Reduction. *Journal of Marine Science and Engineering* 11(10), doi: https://doi.org/10.3390/jmse11101921

76. Jović, M., Filipović, M., Tijan, E., Jardas, M. (2019). A Review of Blockchain Technology Implementation in Shipping Industry. *Scientific Journal of Maritime Research* 33, str. 140-148, doi: https://doi.org/10.31217/p.33.2.3
77. Jović, M., Kavran, N., Aksentijević S., Tijan, E. (2019). The Transition of Croatian Seaports into Smart Ports. *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2019, str. 1386-1390, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757111
78. Jović, M., Tijan, E., Aksentijevic, S., Cisic, D. (2019). An Overview Of Security Challenges Of Seaport IoT Systems. *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2019, str. 1349-1354. doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757206
79. Jović, M.; Tijan, E.; Brčić, D.; Pucihar, A. (2022). Digitalization in Maritime Transport and Seaports: Bibliometric, Content and Thematic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering* 10(4), doi: https://doi.org/10.3390/jmse10040486
80. Jukić, T, Pluchinotta, I., Hržica, R., Vrbek, S. (2022). Organizational maturity for co-creation: Towards a multi-attribute decision support model for public organizations. *Government Information Quarterly*. Volume 39, Issue 1, str. 1-20, doi: https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101623
81. Kantaros, A., Ganetsos, T., Piromalis, D. (2023). 4D Printing: Technology Overview and Smart Materials Utilized. *Journal of Mechatronics and Robotics*, 7(1), 1-14. doi: https://doi.org/10.3844/jmrsp.2023.1.14
82. Karas, A. (2020). Smart Port as a Key to the Future Development of Modern Ports. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 14 (1), doi: 10.12716/1001.14.01.01
83. Karas, A. (2022). Conceptualization of Smart Ports. *European Research Studies Journal*, vol. 0 (3) str. 517-525, doi: https://ideas.repec.org/a/ers/journl/vxxvy2022i3p517-525.html
84. Kargas A., Gialeris E., Komisopoulos F., Lymperiou A., Salmon I. (2023). Digital Maturity and Digital Transformation Strategy among Greek Small and Medium Enterprises. *Administrative Sciences* 13(11), doi: https://doi.org/10.3390/admsci13110236
85. Klar, R., Fredriksson, A., Angelakis, V. (2022). *Assessing the Maturity of Digital Twinning Solutions for Ports. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, Atlanta, GA, USA, 2023, pp. 552-557, doi: 10.1109/PerComWorkshops56833.2023.10150378.
86. Kljajić Borštnar M., Pucihar A. (2021). Multi-Attribute Assessment of Digital Maturity of SMEs. *Electronics*10(8), doi: https://doi.org/10.3390/electronics10080885
87. Kozłowska, J. (2022). Methods of Multi-Criteria Analysis in Technology Selection and Technology Assessment: A Systematic Literature Review. *Engineering Management in Production and Services* 14(2) str. 116-137, doi: https://doi.org/10.2478/emj-2022-0021
88. Kuo, S. Y., Huang, X. R., Chen, L. B. (2022). Smart ports: Sustainable smart business port operation schemes based on the Artificial Intelligence of Things and blockchain technologies, *Potentials* 41 (6) str. 32-37, doi: 10.1109/MPOT.2022.3198808
89. Lee H., Chatterjee I., Cho G. (2023). AI-Powered Intelligent Seaport Mobility: Enhancing Container Drayage Efficiency through Computer Vision and Deep Learning. *Applied Sciences* 13(22), doi: https://doi.org/10.3390/app132212214

90. Lee H., Chatterjee I., Cho G. A. (2023). Systematic Review of Computer Vision and AI in Parking Space Allocation in a Seaport. *Applied Sciences*. 13(18), doi:https://doi.org/10.3390/app131810254
91. Li, K., A. G., J.Y. Lee (2023) Smart technologies and port operations: Optimal adoption strategy with network externality consideration, *Computers & Industrial Engineering*, Vol 184109557, doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109557
92. Li, K. X., Li, M., Zhu, Y, Yuen, F.K.,Tong, H., Zhou, H. (2023) Smart port: A bibliometric review and future research directions, Transportation Research Part E. *Logistics and Transportation Review* Vol 174, doi: https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103098
93. Li, Y.; Li, S.; Zhang, Q.; Xiao, B. (2022). Sun, Y. Application of Big Data Technology in Ship-to-Shore Quay Cranes at Smart Port. *Infrastructures 7*(5) doi: https://doi.org/10.3390/infrastructures7050073
94. Liang Chao, S. (2017). Efficient port gate automation a value-added perspective for terminal operators. *Port Technology International*, Preuzeto 04.11.2023. s https://www.porttechnology.org/wp-content/uploads/2019/05/CHAO.pdf
95. Liao, H.-T.; Lo, T.-M.; Pan, C.-L. (2023). Knowledge Mapping Analysis of Intelligent Ports: Research Facing Global Value Chain Challenges. *Systems* Vol 11 (2)., doi: https://doi.org/10.3390/systems11020088
96. Lin, S.-C.; Chang, H.-K.; Chung, Y.-F. (2022). Exploring the Impact of Different Port Governances on Smart Port Development Strategy in Taiwan and Spain. *Sustainability* 14 (15), doi: https://doi.org/10.3390/su14159158
97. Lněnička, M. (2015). AHP Model for the Big Data Analytics Platform Selection. *Acta Informatica Pragensia*, Prague University of Economics and Business, vol. 2015(2), p. 108-121., doi: 10.18267/j.aip.64
98. Makkawan, K., Muangpan, T. (2021). A Conceptual Model of Smart Port Performance and Smart Port Indicators in Thailand. *Journal of International Logistics and Trade*, 19 (3) str. 133-146, doi: https://doi.org/10.24006/jilt.2021.19.3.133
99. Makkawan, K., Muangpan, T. (2023). Developing Smart Port with Crucial Domains and Indicators in the Thai Port Case: A Confirmatory Factor Analysis. *Transactions on Maritime Science* 12(1)., doi: 10.7225/toms.v12.n01.w03
100. Malik, M., Efendi, S. Zarlis (2018). Data Envelopment Analysis (DEA) Model in Operation Management. *Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, doi: 300 012008DOI 10.1088/1757-899X/300/1/012008
101. Manthey, S. Herr, H., Henn, R. (2023). Analysis of Evaluation Criteria for Selecting Applications of New Technologies. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation* (ICE/ITMC). str. 1-8, doi: 10.1109/ICE/ITMC58018.2023.10332267
102. Min, H. (2022). Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0. *Maritime Economics & Logistics*, Vol 24., str. 189–207, doi: https://doi.org/10.1057/s41278-022-00211-3
103. Mohd Salleh N.H., Selvaduray M., Jeevan J., Ngah A.H., Zailani S. (2021). Adaptation of Industrial Revolution 4.0 in a Seaport System. *Sustainability* 13(19), doi: https://doi.org/10.3390/su131910667
104. Molavi, A., Lim, G., Race, B. (2020). A Framework for Building a Smart Port and Smart Port Indeks. *International Journal of Sustainable Transportation*, str. 686-700, doi: 10.1080/15568318.2019.1610919

105. Molavi, A., Shi, J., Wu, Y., Lim, G., J. (2020). Enabling smart ports through the integration of microgrids: A two-stage stochastic programming approach. *Applied Energy* Vol 258, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114022
106. Moshkovich, H., Mechitov, A., Olson, D. (2016). *Verbal Decision Analysis*. str. 609-637. doi: 10.1007/978-1-4939-3094-4_15.
107. Mudronja, G., Aksentijević, D., Jugović, A. (2022). An Overview of Innovations and Technology for Sustainable Development of Seaports. *Proceedings of 9th International Conference on Maritime Transport*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya, 2022. str. 1-15. doi: 10.5821/mt.10928
108. Nakayama, A., Shinji, D. (2020). Non-hierarchical Clustering for Large Data Without Recalculating Cluster Center. *In: Imaizumi, T., Okada, A., Miyamoto, S., Sakaori, F., Yamamoto, Y., Vichi, M. (eds) Advanced Studies in Classification and Data Science. Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization*., str. 71-78 Springer, Singapore. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3311-2_6
109. Nascimento Dominguez, G., Gorges, S.C., Macowski Durski Silva, V. (2022). Roadmap for implementing smart practices at seaports and terminals, *v. 15 Edição Especial CIDESPORT*, doi: https://doi.org/10.59306/reen.v15e202273-96
110. Neugebauer, J., Heilig, L., Voß, S. (2024). Digital Twins in the Context of Seaports and Terminal Facilities. *Flex Serv Manuf J*, doi: https://doi.org/10.1007/s10696-023-09515-9
111. Nguyen, H. P., Pham, N. D. K., Bui, V. D. (2022). Technical-Environmental Assessment of Energy Management Systems in Smart Ports. *International Journal of Renewable Energy Development, 11*(4), str. 889-901, doi: https://doi.org/10.14710/ijred.2022.46300
112. Ning M., Jianhe G. (2017). Research on AHP decision algorithms based on BP algorithm. *AIP Conf. Proc.* 5 October 2017; 1890 (1): 040086., doi: https://doi.org/10.1063/1.5005288
113. Nofie, I., Muhammad Tafdhil, A., Jovita, A. (2022). Digital transformation for maritime logistics capabilities improvement: cases in Indonesia. *Marine Economics and Management* 5 (2) str. 188-212., doi: https://doi.org/10.1108/MAEM-01-2022-0002
114. Nouri, S., Sohrabi, T. (2021). Investigating and Prioritizing Factors Affecting Technology Selection Using Multi Criteria Decision Making Methods in the National Iranian Petrochemical Company. *Tehnički glasnik*. 15, str. 449-454., doi: 10.31803/tg-20200919194215
115. Ortiz, G., Boubeta-Puig, J., Criado, J., Corral-Plaza, D., Garcia-de-Prado, A., Medina-Bulo, I., Iribarne, I. (2022). A microservice architecture for real-time IoT data processing, A reusable Web of things approach for smart ports. *Computer Standards & Interfaces* Vol 81, doi: https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103604
116. Osmundsen, K., Iden, J. Bygstad, B. (2018). Digital Transformation: Drivers, Success Factors, and Implications. *MCIS 2018 Proceedings*, 37, doi: https://aisel.aisnet.org/mcis2018/37
117. Othman, A. El Gazzar, S. Knez, M. (2022). Investigating the Influences of Smart Port Practices and Technology Employment on Port Sustainable Performance: The Egypt Case. *Sustainability* Vol 14, doi: https://doi.org/10.3390/su142114014
118. Othman, A., El-Gazzar, S., Knez, M. (2022). A Framework for Adopting a Sustainable Smart Sea Port Index. *Sustainability* Vol 14, doi: https://doi.org/10.3390/su14084551

119. Özkanli, A., Denizhan, B. (2020). Digitalization Roadmap for Turkish Seaports, *European Journal of Science and Technology, Special Issue*, str. 358-363, doi: 10.31590/ejosat.araconf46
120. Özkanlısoy, Ö., Akkartal, E. (2021). Digital Transformation in Supply Chains: Current Applications, Contributions and Challenges. *Business And Management Studies, International Journal* Vol 9, str. 32-55, doi:10.15295/bmij.v9i1.1673
121. Paraskevas A., Madas M., Zeimpekis V., Fouskas K. (2024). Smart Ports in Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Logistics*. 8(1):28., doi: https://doi.org/10.3390/logistics8010028
122. Parham, P., Aser, A., Nazzal, M., Darras, B., (2023). An Industry 4.0 Technology Selection Framework for Manufacturing Systems and Firms Using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Systems*. 11 (4), doi: 10.3390/systems11040192
123. Park, J. H., Kim, M. K., Paik, J. H., (2015). The Factors of Technology, Organization and Environment Influencing the Adoption and Usage of Big Data in Korean Firms. *26th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "What Next for European Telecommunications?"*, Madrid, Spain, 24th-27th June, 2015, International Telecommunications Society (ITS), Calgary, Preuzeto 12.04.2024. s https://www.econstor.eu/handle/10419/127173
124. Parola, F., Satta, G., Buratti, N., Vitellaro, F. (2021). Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains, *Maritime Policy & Management* Vol 48. str. 461-477, doi: 10.1080/03088839.2020.1802784
125. Paulauskas, V. i sur.. (2021). Smart Ports' Influence on Coastal Sustainability. *Transport Means 2021 - 25th International Scientific Conference*, Kaunas, Lithuania, preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/356749788_Smart_Ports'_Influence_on_Coastal_
126. Paulauskas, V., Filina-Dawidowicz, L., Paulauskas, D. (2021). Ports Digitalization Level Evaluation. *Sensors* Vol 21, doi: https://doi.org/10.3390/s21186134
127. Pavlić Skender, H., Ribarić, E., Jović, M. (2020). An Overview of Modern Technologies in Leading Global Seaports, *Pomorski zbornik* 59 (1), str. 35-49, doi: https://doi.org/18048/2020.59.02
128. Pham, T., J. A. (2023). Smart port development; Systematic literature and bibliometric analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. 39 (3), str. 57-62, doi: https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2023.06.005
129. Philipp, R. (2020). Digital readiness index assessment towards smart port development. *Nachhaltigkeits Management Forum*. 28, str. 49–60, doi: https://doi.org/10.1007/s00550-020-00501-5
130. Philipp, R. , Prause, G., Olaniyi, E., Lemke, F. (2022). Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations, *Environmental and Climate Technologies*. 25(1) str. 650-665, doi: https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0049
131. Progoulakis, I, Nikitakos, N., Dimitrios, D., Yaacob, R. (2022). Cyber-physical Security for Ports Infrastructure. *The International Maritime and Logistics Conference "Marlog 11" Towards a Sustainable Blue Economy*. 20-22 March 2022, Preuzeto 20.12.2023. s https://www.researchgate.net/publication/359742317_Cyberphysical_Security_for_Ports_Infrastructure
132. Rajabi, A., Khodadad Saryazdi, A., Belfkih, A., Duvallet, C. (2018). Towards Smart Port: An Application of AIS Data. *IEEE 20th International Conference on High Performance*

Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), str. 1414-1421, doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00234

133. Raza, Z., Woxenius, J., Altuntas Vural, C., Lind, M. (2023). Digital transformation of maritime logistics: Exploring trends in the liner shipping segment, *Computers in Industry* Vol 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103811
134. Rista, A., Llaha, O. (2021). The Integration of Albanian Seaports Towards Smart Ports. *Proccedings of RTA-CSIT*, May 2021, Tirana, Albania, Preuzeto 22.10.2023. s https://www.researchgate.net/publication/359384445_The_Integration_of_Albanian_Seaports_Towards_Smart_Ports
135. Rodríguez Estévez D, González-Cancelas N, Camarero Orive A, Vaca Cabrero J. (2023). Development of a "Smart Dry Port" Indicator and Ranking Calculation for Spanish Dry Ports. *Future Transportation* 3(4):1272-1291., doi: https://doi.org/10.3390/futuretransp3040070
136. Rossmann, A. (2018). Digital Maturity: Conceptualization and Measurement Model. *ICIS 2018 Proceedings* ,Preuzeto 13.12.2023. s https://aisel.aisnet.org/icis2018/governance/Presentations/8
137. Roux, M. A. (2018). Comparative Study of Divisive and Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithms. *J Classif.* 35, str. 345–366, doi: https://doi.org/10.1007/s00357-018-9259-9
138. Sadeghi Gargari, N., Panahi, R., Akbari, H., & Ng, A. K. Y. (2022). Long-Term Traffic Forecast Using Neural Network and Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: Case of a Container Port. *Transportation Research Record*, 2676(8), 236-252. doi: https://doi.org/10.1177/03611981221083311
139. Saha, G., Nazrul, I. (2016). Modeling Information Systems for Technology Strategy Formulation. *SSRN Electronic Journal*, doi: 10.2139/ssrn.2856249
140. Sahoo, S. K., Goswami, S. S. (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances* 1(1), 25–48. doi: https://doi.org/10.31181/dma1120237
141. Sanchez-Gonzalez, P.L.; Díaz-Gutiérrez, D.; Leo, T.J.; Núñez-Rivas, L.R. (2019). Toward Digitalization of Maritime Transport, *Sensors*, 2019, 19, 926, doi: https://doi.org/10.3390/s19040926
142. Sankla, W., Thanyaphat M. (2022). Smart and Sustainable Port Performance in Thailand: A Conceptual Model. *Journal of Sustainable Development* 15 (4) doi: https://doi.org/10.5539/jsd.v15n4p1
143. Santos, K. Rocha L. E. Piechnicki, F. Canciglieri J.O. (2017). Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11. str. 1358-1365. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.265
144. Senna, P., Barros, C.A., Bonnin Roca, J., Azevedo, A. (2023). Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework, *Computers & Industrial Engineering*, Vol 185, doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109645
145. Shuo, C, Jian W., Ruoxi, Z. (2016). The Analysis of the Necessity of Constructing the Huizhou "Smart Port" and Overall Framework. *2016 International Conference on Intelligent*

Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Changsha, China, 2016, str. 159-162, doi: 10.1109/ICITBS.2016.15.

146. Soares Silva, J.C.S., de Lima Silva, D.F., Ferreira, L. (2022). A dominance-based rough set approach applied to evaluate the credit risk of sovereign bonds. *4OR-Q J Oper Res (*20) str. 139–164, doi: https://doi.org/10.1007/s10288-020-00471-w
147. Sohaib, R.M.; Onireti, O.; Sambo, Y.; Imran, M.A. (2021). Network Slicing for Beyond 5G Systems: An Overview of the Smart Port Use Case. *Electronics* 10 (9), doi: https://doi.org/10.3390/electronics10091090
148. Stofkova J., Krejnus M., Stofkova KR., Malega P., Binasova V. (2022). Use of the Analytic Hierarchy Process and Selected Methods in the Managerial Decision-Making Process in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*. 2022; 14(18) doi: https://doi.org/10.3390/su141811546
149. Tagiltseva, J.A., Kuzina, E.L., Vasilenko, M.A., Babloyan, N.V., Vasilchenko, A.V., Prokopova, A.M. (2022). The Modeling Digital Transformation of the Regional Container Transportation Organization. 2022 *International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*, str. 112-116., doi: https://doi.org/10.1109/ITQMIS56172.2022.9976712
150. Taherdoost, H., Madanchian, M. (2023) Using PROMETHEE Method for Multi-Criteria Decision Making: Applications and Procedures, *Iris Journal of Economics & Business Management*, Volume 1-Issue 1, Preuzeto 12.04.2024. s https://ssrn.com/abstract=4464669
151. Taherdoost, H.; Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia 2023*, 3, 77-87., doi: https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006
152. Tardo, A., Pagano, P., Antonelli, S., Rao, S. (2022). Addressing digitalization though out a prototyping framework for agile smart services development: the case of Livorno Port. Journal of Physics: Conference Series. *The International Maritime and Port Technology and Development Conference (MTEC) & The 4th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships (ICMASS)*, Singapore, doi: 10.1088/1742-6596/2311/1/012007
153. Tavana, M., Ghasrikhouzani, M., Abtahi, A. R. (2022). A technology development framework for scenario planning and futures studies using causal modeling. *Technology Analysis & Strategic Management* 34(8) str. 859–875, doi: https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1931672
154. Thordsen, T. Bick, M. (2020). Towards a holistic digital maturity model, ICIS 2020 *Proceedings* 5, *ICIS 2020 Proceedings*. 5. doi: https://aisel.aisnet.org/icis2020/governance_is/governance_is/5
155. Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S., Pucihar, A. (2021). Digital transformation in the maritime transport sector, *Technological Forecasting and Social Change* Volume 170, doi: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879
156. Tsai C.J, Shyr W-J. (2022). Key Factors for Evaluating Visual Perception Responses to Social Media Video Communication. *Sustainability*. 14(20), doi: https://doi.org/10.3390/su142013019
157. Tsiulin, S., Hegner Reinau, K. (2021). The Role of Port Authority in New Blockchain Scenarios for Maritime Port Management: The Case of Denmark. *Transportation Research Procedia*. Volume 52, 2021, Pages 388-395, doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.045

158. Vaca-Recalde i sur. (2023). Spanish approach for the Smart Digital Ports through highly automated logistics. *Transportation Research Procedia*, Vol 72, str. 155-162, doi: https://laccei.org/LEIRD2023-VirtualEdition/meta/fp369.html
159. Vaggelas, K. G. (2020). Port labour challenges and opportunities in the era of port automation and digitalization. *The International Maritime and Logistics Conference "Marlog 9", Impacts of the Fourth Industrial Revolution on Port-City Integration, "World Port Sustainability Program Aspects"*, 10 – 12 October 2020, doi: http://dx.doi.org/10.15167/1824-3576/IPEJM2019.3.1232
160. Vujić, S., Gudelj, M., Miljanović, I. (2013). Results of the Promethee method application in selecting the technologicalsystem at the Majdan III open pit mine. *Arch. Min. Sci*., Vol. 58 (2013), No 4, p. 1229–1240, doi: 10.2478/amsc-2013-0084
161. Wang, K., Hu, Q., Zhou, M., Zun, Z., Qian, X. (2021). Multi-aspect applications and development challenges of Digital Twin-driven management in global smart ports. *Case Studies on Transport Policy* 9 (3), doi: https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.014
162. Xiaohu, You et al. (2021). Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. *Science China Information Sciences*, 64, 110301 doi: 10.1007/s11432-020-2955-6
163. Yang, Y. i sur.. (2018). Internet of Things for smart ports: Technologies and challenges. *Instrumentation & Measurement Magazine*. 21 (1) str. 34-43 doi: 10.1109/MIM.2018.8278808
164. Yau, K. -L. A., Peng, S., Qadir, J., Y., Low, J.C., Ling, M. H. (2020). Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications. Technology. *Access*, vol. 8, str. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990961
165. Yigit, Y., O. K. Kinaci, T. Q. Duong and B. Canberk (2023). TwinPot: Digital Twin-assisted Honeypot for Cyber-Secure Smart Seaports, *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, Rome, Italy, 2023, str. 740-745, doi: 10.1109/ICCWorkshops57953.2023.10283756
166. Zhao, D., Wang, T., Han, H. (2020). Approach towards Sustainable and Smart Coal Port Development: The Case of Huanghua Port in China, *Sustainability* 2020, 12, 3924. doi: https://doi.org/10.3390/su12093924
167. Zhou, D., Zhang, L., Zhou Y., Li, C., Liu C. (2022). Operational Indicators of Smart Container Ports, *Hydraulic and Civil Engineering Technology VII*, 2022, doi: 10.3233/ATDE221006
168. Zhou, F., K. Yu, W. Xie, J. Lyu, Z. Zheng and S. Zhou (2024). Digital Twin-Enabled Smart Maritime Logistics Management in the Context of Industry 5.0. *Access*, vol. 12, str. 10920-10931, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3354838

Doktorska disertacija

1. Maglić, L. (2016) Optimizacija raspodjele kontejnera na slagalištu lučkoga kontejnerskog terminala, doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Preuzeto 20.02.2024. s https://dr.nsk.hr/islandora/object/pfri:221

Internet izvori

1. 2M Technology (2023). *5 Improvements Container Ports Can Make with Automatic Number Plate Recognition (ANPR)*. Preuzeto 30.10.2023. s https://www.2mtechnology.net/5-improvements-container-ports-can-make-with-automatic-number-plate-recognition-anpr/
2. ABB (2023). *Advantages of Automated Guided Vehicles and Autonomous Mobile Robots*. Preuzeto 10.04.2024. s https://new.abb.com/news/detail/101944/advantages-of-automated-guided-vehicles-and-autonomous-mobile-robots
3. Adriatic Gate Container Terminal (2023). *Navis.* Preuzeto 13.10.2023. s https://www.ictsi.hr/
4. Altexsoft (2021). *Yard Management System: How Technology Helps Increase Yard Efficiency*. Preuzeto 03.12. 2023. s https://www.altexsoft.com/blog/yard-management-system/
5. APM Research Lab (2022). *Why does the u.s. lag other nations so badly in the automation of its ports? (and is that good or bad?).* Preuzeto 30.10.2023. s https://www.apmresearchlab.org/10x-port-automation
6. APM Terminals (2023). *Qingdao New Qianwan Container Terminal*. Preuzeto 03.11.2023. s https://www.apmterminals.com/en/qingdao/about/qingdao-new-qianwan-container-terminal
7. Applied Industrial Systems (2024). *Integrated SCADA at Port of Dover for remote berth monitoring*. Preuzeto 03.01.2024. s https://applied.co.uk/projects/integrated-scada-at-port-of-dover-for-remote-berth-monitoring/
8. Applied Singularity (2024). *Clustering in ML – Part 2: Centroids Based Clustering*. Preuzeto 10.04.2024. s https://appliedsingularity.com/2021/07/13/clustering-in-ml-part-2-centroids-based-clustering/
9. AR Genie (2023). *Transforming Maintenance & Operations with AR Smart Glasses*. Preuzeto 25.11.2023. s https://www.argenie.ai/post/ar-smart-glasses-for-maintenance-operations
10. Arkonet (2023). *The Importance of IT Financial Management in Today's Business Landscape*. Preuzeto 03.01.2024. s https://www.linkedin.com/pulse/importance-financial-management-todays-business-landscape
11. Biometric (2023). *Face biometrics from NineID deployed for access control at Belgian port*. Preuzeto 03.12.2023. s https://www.biometricupdate.com/202311/face-biometrics-from-nineid-deployed-for-access-control-at-belgian-port
12. Cargo X (2018). *A day to remember: The first ever blockchain-based CargoX Smart B/L™ has successfully completed its historic mission during a trial shipment, from China to Europe*. Preuzeto 03.12.2023. s https://cargox.io/content-hub/first-ever-blockchain-based-cargox-smart-bl-has-successfully-completed-its-historic-mission
13. Centerpoint (2024). *Is your current ERP system hindering your growth potential?*. Preuzeto 27.03.2024. s https://www.centerpoint.pro/
14. CF (2023). *An Introduction to Multivariate Analysis*. Preuzeto 16.03.2024. s https://careerfoundry.com/en/blog/data-analytics/multivariate-analysis/

15. CGTN (2024). *China leads world's automated container terminals amid smart technology boom*. Preuzeto 02.02.2024. s https://news.cgtn.com/news/2024-01-29/China-leads-world-s-automated-container-terminals-amid-smart-tech-boom-1qLvtCara0g/p.html
16. Cisco Hyperconverged Infrastructure (2019). *The World's Busiest Shipping Port Just Got Smarter*. Preuzeto 25.09.2023. s https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/case-studies-customer-success-stories/port-of-shanghai-case-study.pdf
17. Compañía Sud Americana de Vapores (2023). *New port operations room with virtual reality simulators will benefit more than 200 inco students*. Preuzeto 25.09.2023. s https://csav.com/sustainability/new-port-operations-room-with-virtual-reality-simulators-will-benefit-more-than-200-inco-students/
18. Corporate Finance Institute (2023). *Decision Support System (DSS)*. Preuzeto 26.10.2023. s https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/decision-support-system-dss/
19. Corporate Finance Institute (2024). *Arithmetic Mean*. Preuzeto 26.03.2024. s https://corporatefinanceinstitute.com/resources/data-science/arithmetic-mean/
20. Corporate Finance Institute (2024). *Dashboarding*. Preuzeto 26.03.2024. s https://corporatefinanceinstitute.com/resources/business-intelligence/dashboarding/
21. Corporate Finance Institute (2024). *Descriptive Statistics*, Preuzeto 26.04.2024. s https://corporatefinanceinstitute.com/resources/data-science/descriptive-statistics/
22. C-point (2023). *Barge Traffic System (BTS)*. Preuzeto 25.10.2023. s https://www.c-point.be/en/services/barge-traffic-system-bts
23. Data Science Central (2021). *Top 5 Examples of Conversational User Interfaces*. Preuzeto 25.10.2023. s https://www.datasciencecentral.com/top-5-examples-of-conversational-user-interface/
24. Dempsey, M. (2011). *RFID in ports and terminals, Port Equipment Manufacturers Association,* Preuzeto 26.10.2023. s https://www.pema.org/wp-content/uploads/2022/09/PEMA-IP1-RFID-in-Ports-and-Terminals.pdf
25. Datanovia (2021). *Clustering Distance Measures*. Preuzeto 25.03.2024. s https://www.datanovia.com/en/lessons/clustering-distance-measures/
26. Deloitte (2023). *Impact of 5G Technology*. Preuzeto 25.10.2023. s https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology-media-and-telecommunications/topics/5g-technology.html
27. Digital Oceans (2023). *digitalOCEANS™*. Preuzeto 26.10.2023. s https://digitaloceans.mpa.gov.sg/
28. Eclipse CCTV (2023). *CCTV Security Cameras for Maritime Ports*. Preuzeto 26.10.2023. s https://www.eclipsecctv.com/cctv-security-cameras-for-maritime-ports
29. ECT Rotterdam (2024.) Part of ECT. Preuzeto 12.05.2024. s https://www.hutchisonportseuropeintermodal.com/en/about-us/part-ect
30. Edgeir Industry Review (2022). *Drones - 5G help detect floating debris in the Port of Antwerp*. Preuzeto 25.10.2023. s https://www.edgeir.com/drones-5g-help-detect-floating-debris-in-the-port-of-antwerp-20220224
31. EMSA (2023). *European Maritime Single Window environment (EMSWe)*. Preuzeto 27.10.2023. s https://www.emsa.europa.eu/emsw.html
32. Envision (2022). *How Envision Gate Management System Works*. Preuzeto 04.04.2024. s https://www.envisionesl.com/blog/how-envision-gate-management-system-works
33. Envision (2024). *Envision's CTOS, Increased visibility, reduced cost of operation*. Preuzeto 04.04.2024. s https://www.envisionesl.com/solutions/container-cargo-tos

34. Ericsson (2024). *What is 6G?*. Preuzeto 04.04.2024. s https://www.ericsson.com/en/6g
35. Etteplan (2023). *Yard management and scheduling system for Port of Gdańsk*. Preuzeto 12.01.2024. s https://www.etteplan.com/references/yard-management-and-scheduling-system-port-gdansk/
36. European Commission (2024). *Enhancing public services of Ploce Port Authority via implementing 5G connectivity*. Preuzeto 04.04.2024 s https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43251567/101133835/CEF?programmePeriod=2021-2027&programId=43251567&topicAbbreviation=CEF-DIG-2022-5GSMARTCOM-WORKS&order=DESC&page=1&pageSize=10
37. European Inland Waterway Transport Platform (2024). *RIS*. Preuzeto 12.05.2024. s https://www.inlandwaterwaytransport.eu/
38. European Maritime Safety Agency (2023). *VTMIS*. Preuzeto 12.01.2024. s https://www.emsa.europa.eu/we-do/assistance/visits-and-inspections/136-vtmis.html
39. European Seaports Organisation (2024). *Trends in EU ports' Governance 2022*. Preuzeto 12.01.2024. s https://www.espo.be/fact-and-figures
40. Faster Capital (2024). *Cost of Maintenance: How to Calculate and Reduce the Cost of Maintenance for Your Business*. Preuzeto 10.04.2024. s https://fastercapital.com/content/Cost-of-Maintenance--How-to-Calculate-and-Reduce-the-Cost-of-Maintenance-for-Your-Business.html
41. FlexSim (2024). *3D Simulation Modeling and Analysis Software*. Preuzeto 12.01.2024. s https://www.flexsim.com/
42. Forbes (2022). *The Art of Tech Simplicity*. Preuzeto 31.03.2024. s https://www.linkedin.com/pulse/art-tech-simplicity-marina-roukalova
43. Fundacion Valencia Port (2018). *Innovation plan for the Valenciaport cluster*. Preuzeto 14.11.2023. s https://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/innovation-plan-for-the-valenciaport-cluster/
44. Fundacion Valencia Port (2019). *E2RM – empty equipment repository management*. Preuzeto 14.11.2023. s https://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/e2rm-empty-equipment-repository-management-2/
45. Fundacion Valencia Port (2020). *MOSES – automated vessels and supply chain optimisation for sustainable short sea shipping*. Preuzeto 14.11.2023. shttps://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/moses-automated-vessels-and-supply-chain-optimisation-for-sustainable-short-sea-shipping/?reload=153072
46. Fundacion Valencia Port (2021). *PORTWIN*. Preuzeto 14.11.2023. s https://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/portwin-modelling-a-5g-digital-twin-in-a-port-logistics-environment/
47. Fundacion Valencia Port (2021). VIGIA – surveillance through artificial vision and intelligence in port areas. Preuzeto 14.11.2023. shttps://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/vigia-surveillance-through-artificial-vision-and-intelligence-in-port-areas/
48. Fundacion Valencia Port (2023). 5*G Radar for Smart Transport*. Preuzeto 14.11.2023. s https://www.fundacion.valenciaport.com/en/project/5g-radar-for-smart-transport/
49. Future Network Services (2024). *Future Network Services: 6G for and by the Netherlands*. Preuzeto 31.01.2024. s https://futurenetworkservices.nl/en/

50. Futuria (2023). *Singapore: port of the future*. Preuzeto 15.11.2023. s https://www.futuria.io/post/singapore-the-port-of-the-future
51. Gartner (2024). *How the Augmented Connected Workforce Will Drive Productivity.* Preuzeto 15.01.2024. s https://www.gartner.com/en/experts/top-tech-trends-unpacked-series/augmented-connected-workforce-will-drive-productivity
52. Gartner (2023). *Zero latency.* Preuzeto 12.11.2023. s https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/zle-zero-latency-enterprise
53. Global Infrastructure Hub (2020). *Autonomous Machines for Efficient Ports.* Preuzeto 15.01.2024. s https://www.gihub.org/infrastructure-technology-use-cases/case-studies/autonomous-machines-for-efficient-ports/
54. Global Infrastructure Hub (2020). *Automated Robot Cranes for Safer Ports.* Preuzeto 15.01.2024. s https://www.gihub.org/infrastructure-technology-use-cases/case-studies/automated-robot-cranes-for-safer-ports/
55. GraphPad (2024). *Interpreting results: Kolmogorov-Smirnov test.* Preuzeto 13.04.2024. s https://www.graphpad.com/guides/prism/latest/statistics/interpreting_results_kolmogorov-smirnov_test.htm
56. GraphPad (2024). *Skewness.* Preuzeto 13.04.2024. s https://www.graphpad.com/support/faqid/1577/
57. GraphPad (2024). *Kurtosis.* Preuzeto 13.04.2024. s https://www.graphpad.com/support/faq/what-does-kurtosis-measure-not-the-shape-of-the-distribution/
58. Haropa Port (2024). *Drones at port service.* Preuzeto 25.01.2024. s https://www.haropaport.com/en/news/drones-at-haropa-port-service
59. Hellenic Shipping News (2021). *Port of Antwerp installs smart bollards with sensors.* Preuzeto 16.11.2023. s https://www.hellenicshippingnews.com/port-of-antwerp-installs-smart-bollards-with-sensors/
60. Hrvatska enciklopedija (2024). *Medijan.* Preuzeto 13.04.2024. s https://www.enciklopedija.hr/clanak/medijan
61. Huawei (2023). *Shanghai's fiber-networked smart port lets dock hands move cargo, from a city office.* Preuzeto 16.11.2023. s https://www.huawei.com/en/media-center/our-value/shanghai-yangshan-port
62. Huawei (2023). *World's Largest Automated Container Port Uses 5.8 GHz LTE.* Preuzeto 17.11.2023. s https://e.huawei.com/es/ict-insights/global/ict_insights/201810190908/transportation/201901191354
63. IBM (2024). *Multivariate analysis of variance (MANOVA).* Preuzeto 16.03.2024. s https://www.ibm.com/docs/en/spss-statistics/beta?topic=statistics-multivariate-analysis-variance-manova
64. IBM (2024). *What is IT infrastructure?*. Preuzeto 01.05.2024. s https://www.ibm.com/topics/infrastructure
65. IBM (2024). *What is cloud computing?*. Preuzeto 16.01.2024. s https://www.ibm.com/topics/cloud-computing
66. IBM (2024). *What is computer vision?*. Preuzeto 16.01.2024. s https://www.ibm.com/think/topics/computer-vision
67. IBM (2023). *What is edge computing?*. Preuzeto 17.11.2023. s https://www.ibm.com/topics/edge-computing
68. IBM (2023). *What Is Optical Character Recognition (OCR)*. Preuzeto 17.11.2023. s

https://www.ibm.com/blog/optical-character-recognition/
69. IBM (2023). *XML introduction.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.ibm.com/docs/en/i/7.4?topic=toolkit-xml-introduction
70. IBM (2023). *What is electronic data interchange (EDI)?.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.ibm.com/topics/edi-electronic-data-interchange
71. IBM (2023). *What is generative AI?.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.ibm.com/topics/generative-ai
72. IBM (2023). *What is ML?.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.ibm.com/topics/machine-learning
73. IBM (2023). *What is a neural network?.* Preuzeto 01.12.2023. s https://www.ibm.com/topics/neural-networks
74. IBM (2023). *What is principal component analysis?.* Preuzeto 01.03.2024. s https://www.ibm.com/topics/principal-component-analysis
75. ICOMIA (2024). Smart Marinas: *Navigating the Digital Transformation*. Preuzeto 12.05.2024. s https://www.icomia.org/product/smart-marinas-navigating-the-digital-transformation/
76. Identec Solutions (2023). *Terminal Automation and what to look for.* Preuzeto 12.05.2024. s https://www.identecsolutions.com/news/terminal-automation-challenges
77. Inductive automation (2018). *Human-Machine Interface.* Preuzeto 01.12.2023. s https://www.ibm.com/topics/neural-networks
78. Infiniti Electro Optics (2024). *Port & Harbor Surveillance Solutions.* Preuzeto 01.04.2024. s https://www.infinitioptics.com/solutions/critical-infrastructure/port-harbor-surveillance
79. Information Systems Research Indicators (2024). *Theory/Model: TOE.* Preuzeto 01.03.2024. s https://isri.sciencesphere.org/index.php?o=model&m=TOE
80. Institute Jožef Štefan (2023). *DEXi Development.* Preuzeto 02.11.2023. s https://kt.ijs.si/MarkoBohanec/DEXi/html/DEXiHist.htm
81. Internatinal Maritime Organization (2023), *Single window, SOLAS.* Preuzeto 12.04.2024. s https://www.imo.org/en
82. International Port Community Systems Assocciation (2024). Port community systems in sea ports and inland ports – From punch card to PCS. Preuzeto 01.03.2024. s https://ipcsa.international/pcs/pcs-maritime/
83. ISAHP (2024). *About the Analytic Network Process (ANP).* Preuzeto 01.03.2024. s https://www.isahp.org/about/?About-the-Analytic-Network-Process-ANP-2
84. IWRM Action Hub (2024). *Decision Support Systems.* Preuzeto 17.03.2024. s https://iwrmactionhub.org/learn/iwrm-tools/decision-support-systems
85. Konotron (2019). *A practical use case of homomorphic encryption.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.kontron.com/download/download?filename=/downloads/white_papers/usecase_homomorphic_encryption-web.pdf&type=collateral
86. LCS (2024). *Differences between an automatic warehouse and a semi-automatic warehouse.* Preuzeto 13.01.2024. s https://lcsgroup.it/en/differences-between-an-automatic-warehouse-and-a-semi-automatic-warehouse/
87. Logistics Manager (2023). *Seaports to Deploy Over 370,000 Autonomous Guided Vehicles by 2030 to Alleviate Congestion.* 18.04.2024. s https://logistics-manager.com/seaports-to-deploy-over-370000-autonomous-guided-vehicles-by-2030-to-alleviate-congestion/
88. Lučka uprava Rijeka (2024). *Lučke djelatnosti, lučka zajednica.* Preuzeto 02.01.2024. s https://www.portauthority.hr/

89. Manhatan Associates (2024). *What is a Yard Management System?*. Preuzeto 16.03.2024. s https://www.manh.com/our-insights/resources/articles/what-is-yard-management
90. Marine Digital (2024). *Warehouse Management System.* Preuzeto 17.03.2024. s https://marine-digital.com/warehousemanagementsystem
91. Marine Insight (2021). *What is Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)?*. Preuzeto 14.01.2024. s https://www.marineinsight.com/marine-navigation/what-is-electronic-chart-display-and-information-system-ecdis/
92. Maritime and Port Authority of Singapore (2023). *Developing and Implementing the Sea Transport Industry Transformation Map*. Preuzeto 15.11.2023. s https://www.mpa.gov.sg/maritime-singapore/industry-transformation
93. Maritime and Port Authority of Singapore (2023). *Single Window Port Clearance.* Preuzeto 15.11.2023. s https://www.mpa.gov.sg/finance-e-services/digitalport@sg
94. Maritime and Port Authority of Singapore (2023). *Strengthening Singapore's Competitiveness as a Hub Port and International Maritime Centre*. Preuzeto 15.11.2023. s https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/strenghtening-singapore-s-competitveness-as-a-hub-port-and-international-maritime-centre
95. Maritime and Port Authority of Singapore (2023). *Tuas Port – A Smarter and Greener Port*. Preuzeto 16.11.2023. s https://www.mpa.gov.sg/maritime-singapore/port-of-the-future
96. Math.e (2024). *Hrvatski matematički elektronički časopis*. Preuzeto 20.04.2024. s http://e.math.hr/
97. Medium (2023). *Automation and Robotics in Maritime Supply Chains: A Smart Port Perspective*. Preuzeto 16.11.2023. s https://medium.com/@niko_81857/automation-and-robotics-in-maritime-supply-chains-a-smart-port-perspective-123352bcdf8f
98. Medium (2023). *Different Linkage Methods used in Hierarchical Clustering.* Preuzeto 20.04.2023. s https://medium.com/@iqra.bismi/different-linkage-methods-used-in-hierarchical-clustering-627bde3787e8
99. Microsoft (2023). *What is augmented reality or AR?*. Preuzeto 02.10.2023. s https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/topics/augmented-reality/what-is-augmented-reality
100. MindTool (2024). *The Analytic Hierarchy Process.* Preuzeto 20.04.2024. s https://www.mindtools.com/a7y139c/the-analytic-hierarchy-process-ahp
101. Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, VTS Croatia, https://mmpi.gov.hr/more/vts-croatia/12861
102. Mobile Industrial Robots (2023). *AGV vs AMR - What's the difference?*. Preuzeto 16.10.2023. s https://mobile-industrial-robots.com/blog/agv-vs-amr-whats-the-difference
103. MSC (2023). *City of Hamburg and MSC Mediterranean Shipping Company Establish Long-term Strategic Partnership – Hamburg-controlled HHLA Port Terminal and Logistics Group to be Operated as a Joint Venture*. Preuzeto 12.05.2024. s https://www.msc.com/en/newsroom/press-releases/2023/joint-press-statement-by-msc-and-the-free-and-hanseatic-city-of-hamburg
104. National Institute of standards and technology (2024). *Measures of Skewness and Kurtosis*. Preuzeto 20.04.2024. s https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35b.htm
105. National Library of Medicine (2024). *Standard Deviation*. Preuzeto 20.04.2024. s https://www.nlm.nih.gov/oet/ed/stats/02-900.html

106. Newcastle University (2024). *Technology-Organization-Environment Framework*. Preuzeto 19.04.2024. s https://open.ncl.ac.uk/academic-theories/23/technology-organization-environment-framework/
107. NordVPN (2024). *The main benefits of the Internet of Things (IoT).* Preuzeto 20.04.2024. s https://nordvpn.com/blog/benefits-of-iot/
108. Oxford Brookes University (2024). *Measures of spread.* Preuzeto 20.04.2024. s https://www.brookes.ac.uk/students/academic-development/maths-and-stats/statistics/descriptive-statistics/measures-of-spread
109. Paro (2023). *The Data Imperative: Conquering Predictive and Prescriptive Analytics in 2023.* Preuzeto 02.12.2023. s https://paro.ai/blog/predictive-and-prescriptive-analytics/
110. PennState Eberly College of Science (2024). *Ward's Method.* Preuzeto 20.04.2024. s https://online.stat.psu.edu/stat505/lesson/14/14.7
111. PierNext (2021). *Drones and ports: what will be the next innovation?.* Preuzeto 03.11.2023. s https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/drones-and-ports-what-will-be-the-next-innovation/
112. PierNexT (2022). *ChainPORT: how digitalization boosts port sustainability.* Preuzeto 03.11.2023. s https://piernext.portdebarcelona.cat/en/governance/chainport-digitalization-sustainability-ports/
113. PierNexT (2024). *The arrival of drones in ports: safety, immediacy and efficiency.* Preuzeto 08.04.2024. s https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/the-arrival-of-drones-in-ports-safety-immediacy-and-efficiency/
114. PierNexT (2021). *Quantum Computing: The first port application of the next great tech disruptor.* Preuzeto 03.11.2023. s https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/quantum-computing-the-first-port-application-of-the-next-great-tech-disruptor/
115. Port of Antwerp Bruges (2023). *Smart port.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/our-port/port-future/smart-port
116. Port of Antwerp-Bruges (2023). *Air quality and odour.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/business/transport/rail-transport
117. Port of Antwerp-Bruges (2023). *Certified Pick up.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/shipping/safety-and-security/certified-pick
118. Port of Antwerp-Bruges (2023). *Mobile port.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/our-port/port-future/mobile-port
119. Port of Antwerp-Bruges (2023). *Rail transport.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/business/transport/rail-transport
120. Port of Antwerp-Bruges (2023). *What is APICS/APCS?.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/faq/what-zedis
121. Port of Antwerp-Bruges (2023). *What is Zedis?.* Preuzeto 08.11.2023. s https://www.portofantwerpbruges.com/en/faq/what-zedis
122. Port of Felixstowe (2023). *Vehicle Booking System.* Preuzeto 31.10.2023. s https://vbs.portoffelixstowe.co.uk/
123. Port of Hamburg (2022). *smartBRIDGE Hamburg: The communicative bridge of tomorrow.* Preuzeto 15.11.2023. s https://www.hafen-hamburg.de/en/port-of-hamburg-magazine/the-digital-transformation/auf-dass-die-vitalwerte-stimmen/
124. Port of Hamburg Authority (2019). *Starting signal for the project 'giganetwork 5g monarch'.* https://www.hamburg-port-authority.de/en/themenseiten/monarch-5g

125. Port of Hamburg Authority (2021). *ITS projects.* Preuzeto 09.11.2023. s https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/its-projects
126. Port of Koper (2022). *OCR support for rail operations.* Preuzeto 17.10.2023. s https://www.luka-kp.si/en/news/ocr-support-for-rail-operations/
127. Port of Rotterdam (2021). *White paper: Drone Port of Rotterdam: onward to a hybrid port*. Preuzeto 06.11.2023. s https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-09/drone-port-of-rotterdam-en.pdf
128. Port of Rotterdam (2021). *World premiere: first series of 3D-printed bollards in Rotterdam harbour.* Preuzeto 17.10.2023. s https://www.luka-kp.si/en/news/ocr-support-for-rail-operations/ https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/world-premiere-first-series-of-3d-printed-bollards-in-rotterdam-harbour
129. Port of Rotterdam (2023). *Optimization of logistics procesess.* Preuzeto 06.11.2023. s https://www.portofrotterdam.com/en/to-do-port/futureland/optimization-of-logistic-processes
130. Port of Rotterdam (2023). *Port Community System.* Preuzeto 06.11.2023. s https://www.portofrotterdam.com/en/services/online-tools/port-community-system
131. Port of Rotterdam (2023). *Smart Infrastructure.* Preuzeto 06.11.2023. s https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/smart-infrastructure
132. Port of Rotterdam (2023). *Smart shipping process; digitization of core activities.* Preuzeto 06.11.2023. s https://www.portofrotterdam.com/en/to-do-port/futureland/smart-shipping-process
133. Port Pass (2024). *Port Pass.* Preuzeto 08.04.2024. s https://www.portpass.co.nz/
134. Port Technology International (2021). *Huawei, Shanghai International Port Group launch centralised remote control smart port project.* Preuzeto 25.09.2023. s https://www.porttechnology.org/news/huawei-shanghai-international-port-group-launch-centralised-remote-control-smart-port-project/
135. Port Technology International (2021). *Port of Rotterdam introduces Quay Connect blockchain technology.* Preuzeto 08.04.2024. s https://www.porttechnology.org/news/port-of-rotterdam-introduces-quay-connect blockchain-technology/
136. Port Technology International (2022). *Port of Rotterdam the new base for quantum technology project.* Preuzeto 08.04.2024. s https://www.Port of Rotterdam the new base for quantum technology projectporttechnology.org/news/port-of-rotterdam-the-new-base-for-quantum-technology-project/
137. Port Technology International (2023). *China's Yangshan Port leads container port performance index.* Preuzeto 09.04.2024. s https://www.porttechnology.org/news/chinas-yangshan-port-leads-container-port-performance-index/
138. Port Technology International (2023). *Top 5 Automated Ports in Europe.* Preuzeto 25.09.2023. s https://www.porttechnology.org/news/top-5-automated-ports-in-europe/
139. Qiushi Journal (2022). *The Chinese Technology Powering Yangshan Port.* Preuzeto 25.09.2023. s http://en.qstheory.cn/2022-07/12/c_786580.html
140. River Systems (2023). *What are automated guided vehicles?.* Preuzeto 26.03.2024. s https://6river.com/what-are-automated-guided-vehicles/
141. Riviera (2023). *The digital transformation of Tianjin Port.* Preuzeto 26.03.2024. s

https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/the-digital-transformation-of-tianjin-port-76675
142. Robotnik (2024). *What is advanced robotics?,* Preuzeto 26.03.2024. s https://robotnik.eu/what-is-advanced-robotics-advanced-industrial-robotics/
143. Royal Haskoning DHV (2023). *Role of a digital twin to improve the design and operations of ports.* Preuzeto 20.03.2024. s https://www.royalhaskoningdhv.com/en/newsroom/blogs/2023/the-role-of-a-digital-twin-in-ports
144. SAP (2024). *What is warehouse automation today?.* Preuzeto 26.03.2024. s https://www.sap.com/products/scm/extended-warehouse-management/warehouse-automation.html
145. SAP (2023). *ERP definition in detail.* Preuzeto 26.10.2023. s https://www.sap.com/products/erp/what-is-erp.html
146. Sedna (2023). *Top maritime industry trends to watch for in 2024.* Preuzeto 12.11.2023. s https://sedna.com/resources/top-maritime-industry-trends-to-watch-for-in-2024
147. Sedna (2022). *Big data in the maritime industry: Use cases and challenges.* Preuzeto 12.11.2023. s https://sedna.com/resources/big-data-in-the-maritime-industry-use-cases-and-challenges
148. Shanghaiist (2024). *Qingdao's Automated Container Terminal Commences Operations.* Preuzeto 27.03.2024. s https://shanghaiist.com/qingdaos-automated-container-terminal-commences-operations/
149. Siapartners (2016). *The Internet of Things in transportation - Port of Hamburg case study.* Preuzeto 17.11.2023. s https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/internet-things-transportation-port-hamburg-case-study
150. Sick Sensor Intelligence (2021). *Quay cranes at the container terminal of Valencia: One more step in Industry 4.0 thanks to the Monitoring Box.* Preuzeto 08.12.2023. s https://www.sick.com/sk/cs/sick-sensor-blog/quay-cranes-at-the-container-terminal-of-valencia-one-more-step-in-industry-40-thanks-to-the-monitoring-box/w/blog-msc-valencia-condition-monitoring/
151. Simocrane (2023). *SIMOCRANE Container Number Recognition System (CNRS).* Preuzeto 08.12.2023. s https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/cranes/harbor-cranes/cnrs.html
152. Singapore Government Agency Website (2023) Digital Oceans. Preuzeto 17.11.2023. s https://digitaloceans.mpa.gov.sg/about/
153. Singapore Land Authority (2024). *10-YEAR Singapore geospatial master plan outlines key land and maritime initiatives for geospatial enabled outcomes to improve lives and enable solutions to complex urban challenges.* Preuzeto 02.03.2024. s https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2024/10-year-singapore-geospatial-master-plan-outlines-key-land-and-maritime-initiatives-for-geospatial-enabled-outcomes-to-improve-lives-and-enable-solutions-to-complex-urban-challenges
154. Smart Maritime Network (2022). *First eBL transaction under new Singapore law completed.* Preuzeto 17.11.2023. s https://smartmaritimenetwork.com/2022/07/29/first-ebl-transaction-under-new-singapore-law-completed/
155. Smart Maritime Network (2023). *Greywing launches SeaGPT chatbot to assist in crew changes.* https://smartmaritimenetwork.com/2023/04/25/greywing-launches-seagpt-chatbot-to-assist-in-crew-changes/

156. Supply Chain Digital (2020). *MPA Singapore and IBM to push ahead with new maritime and ports analytics and data scheme.* Preuzeto 17.11.2023. s, https://supplychaindigital.com/logistics/mpa-singapore-and-ibm-push-ahead-new-maritime-and-ports-analytics-and-data-scheme
157. Statistics Solutions (2024). *Comprehensive Guide to Factor Analysis.* Preuzeto 15.04.2024. s https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/factor-analysis/
158. Statistics Solutions (2024). *Conduct and Interpret a Cluster Analysis.* Preuzeto 15.04.2024. s https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/cluster-analysis/
159. Soracom (2023). *What is Zigbee?*. Preuzeto 17.11.2023. s, https://www.soracom.io/iot-definitions/what-is-zigbee/
160. Statgraphics (2024). *Multivariate Methods.* Preuzeto 15.04.2024. s https://www.statgraphics.com/multivariate-methods
161. Stedy (2024). *Kvartil i interkvartilni raspon.* Preuzeto 15.04.2024. s https://stedy.hr/opisivanje-podataka/kvartili-i-interkvartilni-raspon
162. Sogelink (2024). *Digital Twin explained.* Preuzeto 02.05.2024. s https://www.sogelink.com/en/innovation-2/digital-twin-explained/
163. SCADA International (2023). *SCADA systems explained.* Preuzeto 27.10.2023. s https://scada-international.com/what-is-scada/
164. Sinay (2022). *What are the Main Port Operations?.* Preuzeto 17.11.2023. s https://sinay.ai/en/what-are-the-main-port-operations/
165. TechTarget (2024). *RFID (radio frequency identification).* Preuzeto 07.01.2024. s https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/RFID-radio-frequency-identification
166. TechTarget (2020). *What is a warehouse management system?.* Preuzeto 07.10.2023. s https://www.techtarget.com/searcherp/definition/warehouse-management-system-WMS
167. Teledyne Flir (2017). *Thermal Imaging and Port Security.* Preuzeto 03.10.2023. s https://www.flir.com/discover/security/thermal/thermal-imaging-and-port-security/
168. The Maritime Executive (2021). *Valencia Launches Real-Time Analysis of Port Environment.* Preuzeto 14.11.2023. s https://maritime-executive.com/article/valencia-launches-real-time-analysis-of-port-environment
169. The World Bank, IAPH (2023). *Port Community Systems, Lessons from Global Experience.* Preuzeto 18.03.2024. s https://thedocs.worldbank.org/en/doc/68e8007a36a64995a1d299069ffd7852-0430012023/original/Port-Community-System-Conference-Edition.pdf
170. Transport Security International (2021). *How X-Rays Are Fighting Smuggling By Sea.* Preuzeto 07.01.2024. s https://www.tsi-mag.com/how-x-rays-are-fighting-smuggling-by-sea/
171. TWI (2023). *What is industry 5.0?, Top 5 things you need to know.* Preuzeto 05.11.2023. s https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/industry-5-0
172. TechTarget (2022). *Homomorphic encryption.* Preuzeto 07.10.2023. s https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/homomorphic-encryption
173. TechTarget (2022). *Mobile computing.* Preuzeto 07.10.2023. s https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/nomadic-computing
174. The Port of Los Angeles (2023). *TraPac.* Preuzeto 05.11.2023. s https://losangeles.trapac.com/

175. Tanger Med (2024). *Gate in Gate out.* Preuzeto 15.04.2024. s https://www.tangermedpcs.com/en/service/gate-gate-out
176. TechTarget (2023). *LTE, LTE (Long-Term Evolution).* Preuzeto 03.10.2023. s https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Long-Term-Evolution-LTE
177. TechTarget (2022). *Near-field communication (NFC).* Preuzeto 17.10.2023. s https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Long-Term-Evolution-LTE
178. UNCTAD (2024). *Resilient maritime logistics: Understand risks, respond and adapt.* Preuzeto 12.04.2024. s https://resilientmaritimelogistics.unctad.org/
179. University of West Georgia (2024). *Multivariate Analyses.* Preuzeto 25.04.2024. s https://www.westga.edu/academics/research/vrc/multivariate-analyses.php
180. Virginia Economic Development Partnership (2023). *Transportation & Quantum: A Major Leap in Optimization.* Preuzeto 05.10.2023. s https://www.vedp.org/news/transportation-quantum-major-leap-optimization
181. Visio (2024). *Automatic Number Plate Recognition (ANPR) – 2024 Guide.* Preuzeto 05.01.2024. s https://viso.ai/computer-vision/automatic-number-plate-recognition-anpr/
182. Workast (2024). *7 Reasons Why An IT Department Is Essential For Excellent Business Results.* Preuzeto 05.04.2024. s https://www.workast.com/blog/7-reasons-why-an-it-department-is-essential-for-excellent-business-results/
183. Yalantis software engineering (2023). *How a yard management system can boost yard and warehouse efficiency.* Preuzeto 16.10.2023. s https://yalantis.com/blog/improving-yard-management-with-a-yms/
184. Zendesk (2024). *What is a conversational interface?.* Preuzeto 25.03.2024. s https://www.zendesk.com/blog/conversational-interface/

POPIS TABLICA

R. br.	Naziv	Stranica
1.	Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi te disruptivne digitalne tehnologije u lukama	24
2.	Funkcija korisnosti – *ako - onda* pravila odlučivanja za ukupnu digitalnu zrelost luke i dodijeljene vrijednosti (težine)	83
3.	Funkcija korisnosti – *ako - onda* pravila odlučivanja za agregirani atribut Tehnologije digitalne potpore poslovanju	85
4.	Funkcija korisnosti – *ako - onda* pravila odlučivanja za agregirani atribut Povezivost i mrežna tehnologija	86
5.	Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luka: Ploče, Split i Rijeka	91
6.	Rezultati evaluacije digitalne zrelosti luka: Bar, Port of Adria, Kopar i Ravena	93
7.	Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava − aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost	125
8.	Deskriptivna statistička analiza disruptivnih digitalnih tehnologija − aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost	127
9.	Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava– medijan i interkvartilni raspon	129
10.	Deskriptivna statistička analiza disruptivnih tehnologija – medijan i interkvartilni raspon	131
11.	Plan aglomeracije tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava	141
12.	Grupiranje tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava u klastere	143
13.	Plan aglomeracije disruptivnih digitalnih tehnologija	145
14.	Grupiranje disruptivnih digitalnih tehnologija u klastere	148
15.	Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost	171
16.	Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – medijan i interkvartilni raspon	172
17.	Plan aglomeracije kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	174
18.	Klasteriranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	175
19.	Saatyeva skala za evaluaciju scenarija tranzicije teretne morske luka u *pametne luke*	186
20.	Odnos pariteta grupe kriterija – usporedba međusobne važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*	187
21.	Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*	188

22.	Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Troškovi održavanja*	189
23.	Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Digitalno znanje i vještine menadžmenta i zaposlenih*	190
24.	Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Regulativa i legislativa*	191
25.	Važnost kriterija – AHP evaluacija	192
26.	Odnos kriterija i pojedinih scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* – zastupljenost pojedinog scenarija unutar pojedinog kriterija	193
27.	Težinske vrijednosti AHP faktora i njihov utjecaj na scenarije tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*	194

POPIS GRAFIKONA

R. br.	Naziv	Stranica
1.	Ukupni rezultati evaluacije digitalne zrelosti odabranih luka	87
2.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Ploče (razina agregiranih atributa)	97
3.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Split (razina agregiranih atributa)	98
4.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Rijeka (razina agregiranih atributa)	100
5.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Bar (razina agregiranih atributa)	102
6.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Port of Adria Bar (razina agregiranih atributa)	103
7.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Kopar (razina agregiranih atributa)	104
8.	Polarni dijagram: evaluacija digitalne zrelosti luke Ravena (razina agregiranih atributa)	105
9.	Dendrogram procesa klasteriranja tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava	142
10.	Dendrogram procesa klasteriranja disruptivnih digitalnih tehnologija	147
11.	Dendrogram procesa klasteriranja kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	175
12.	Komparacija preferencija kriterija – AHP postupak i preferencije ispitanika	192
13.	Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Financijski resursi za implementaciju*	195
14.	Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Troškovi održavanja*	196
15.	Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*	196

16.	Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Regulativa i legislativa*	197
17.	Ukupan rezultat evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*	198

POPIS SHEMA

R. br.	Naziv	Stranica
1.	Hodogram provedene analize prethodnih istraživanja	5
2.	Stablo atributa za evaluaciju digitalne zrelosti odabranih luka	62
3.	Hodogram izrade modela tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	119
4.	Aglomerativno i divizivno hijerarhijsko klasteriranje	135
5.	Metode povezivanja	138
6.	Prikaz Centroidne metode i Ward metode	139
7.	Scenariji tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	152
8.	TOE okvir za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*	165
9.	Struktura analitičkog hijerarhijskog procesa – AHP	181
10.	AHP model evaluacije scenarija tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku*	185

POPIS SLIKA

R. br.	Naziv	Stranica
1.	Prikaz definiranih skala osnovnih atributa za evaluaciju digitalne zrelosti luka	77
2.	Usporedba digitalne zrelosti luke Ploče i Test luke	89
3.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Ploče	106
4.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije luke Split	107
5.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Rijeka	108
6.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Bar	109
7.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Port of Adria	110
8.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Kopar	111
9.	Selektivna eksplanacija rezultata evaluacije digitalne zrelosti luke Ravena	111

PRIVITCI

Privitak 1. Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi i disruptivne digitalne tehnologije uključene u kriterije za evaluaciju digitalne zrelosti odabranih luka

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi	
Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije	
Razmjena podataka	
Informacijski sustav lučke zajednice	Informacijski sustav lučke zajednice (*Port Community System* – PCS)
Sustav za upravljanje terminalom	Sustav za upravljanje terminalom (*Terminal Operating System* – TOS)
Standardi razmjene informacija	Elektronička razmjena podataka (*Electronic Data Interchange* – EDI), XML *(EXtensible Markup Language)* poruke
Tehnologije digitalne potpore poslovanju	
Tehnologije za upravljanje procesima	Sustav za planiranje resursa (*Enterprise Resource Planning)*, Sustav za nadzor, vođenje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima (*Supervisory control and data acquisition* – SCADA) Sustav za potporu odlučivanju (*Decision Support System* – DSS)
Napredne bežične mrežne tehnologije	Bluetooth, LTE, WIFI, WSN
Tehnologije planiranja i upravljanja teretom	
Tehnologije upravljanja skladištem	Sustav upravljanja skladištem (*Warehouse Management System* – WMS)
Tehnologije koordiniranja teretom	Sustav upravljanja internim transportom (*Yard Mangement System* –YMS)
Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija (*Radio-frequency Indentification* – RFID), Bar kod tehnologija (*Barcode technology*), QR tehnologija (*QR techhnology*), Optičko prepoznavanje znakova (*Optical Character Recognition* –OCR), skeneri (Scanners), Sustav za prepoznavanje broja kontejnera (*Container Number Recognition System* – CNRS)
Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu	
Tehnologije horizontalnog transporta	Automatski navođena vozila, Automatizirani viličari, Automatizirani terminalski traktori
Tehnologije vertikalnog transporta	Automatizirane slagališne dizalice (*Automated Stacking Cranes*- ASC), Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama ili kotačima (RMG dizalice) (*Automated Rail-Mounted Gantry Crane* – ARMG) (*Rubber tyerd gantry crane* – RMG)
Tehnologije za sigurnost i nadzor	
Upravljanje pomorskim prometom	Sustav pomorskog prometa (*Vessel Traffic System*-VTS), Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom (*Vessel Traffic Monitoring & Information Systems* – VTMIS)
Kontrola ulaza u lučko područje	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica (*Automated Number Plate Recognition* – ANPR)

	Kontrola pristupa mobilnim uređajem (*Mobile Access Control*) ID kartice, (ID card), Sustav za rezervaciju vozila (*Vehicle Booking System*), Sustav automatiziranog ulaza (*Automated Gate System*), Komunikacija bliskog polja (*Near Field Communication*)
Nadzor lučkog područja/terminala	Sustavi video nadzora – CCTV (*Video Suverillance System)/ Closed-circuit Television*), Termovizijske kamere (*Thermal cameras*), Inteligentne kamere (*Intelligent cameras*)
Disruptivne digitalne tehnologije	
Povezivost i mrežna tehnologija	
5G mreža	5G mobilna mreža (*5G mobile network*)
Internet stvari	Internet stvari (Internet of Things – IoT)
Računalstvo i obrada podataka	
Računalstvo u oblaku	Računalstvo u oblaku (*Cloud Computing*)
Veliki podatci	Veliki podatci (*Big Data*), Napredna analitika (*Advanced Analytics*)
Robotika i autonomija	
Dronovi	Dronovi (*Drones*)
Napredna robotika	Napredna robotika (*Advanced Robotics*), Pametni senzori (*Smart sensors*), Autonomni mobilni roboti (*Autonomous Mobile Robots*), Automatizirane robotske dizalice (*Automated Robotics Cranes*)
Autonomne tehnologije	Autonomna vozila i oprema, Autonomni terminalski traktori
Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije	
Umjetna inteligencija	Umjetna inteligencija (*Artificial Intelligence*), Biometrijsko prepoznavanje (*Biometric Recognition*), Računalni vid (*Computer Vision*), Dubinsko učenje (*Deep Learning*), Generativna umjetna inteligencija (*Generative AI*)
Imerzivna mještovita stvarnost	Virtualna stvarnost/Proširena stvarnost/Mješovita stvarnost (*Virtual Reality/Augmented Reality/Mixed Reality*)
Simulacijske tehnologije	Digitalni blizanac (*Digital Twin*)

Privitak 2. Anketni upitnik za evaluaciju digitalne zrelosti luka

Anketni upitnik je sastavni dio doktorskog rada *Model tranzicije teretnih morskih luka u pametne luke* pod mentorstvom prof. dr. sc. Edvarda Tijana i komentorstvom izv. prof. dr. sc. Saše Aksentijevića, prijavljene na Pomorskom fakultetu u Rijeci.

Istraživanje se provodi u svrhu evaluacije digitalne zrelosti luka.

Vaše sudjelovanje bit će od velikog značaja u istraživanju teme *pametnih luka* te pomoć u izradi doktorskog rada.

Sudjelovanje u istraživanju je dobrovoljno, a Vaši odgovori su anonimnog karaktera i koristit će se isključivo za potrebe znanstvenog istraživanja.

Upitnik je kratak i jednostavan te Vas ljubazno molim da ispunite upitnik.

Upute za ispunjavanje:

Za svako pitanje potrebno je odabrati samo jedan odgovor.

Odabire se odgovor koji predstavlja najvišu razinu.

Na kraju upitnika ostavljen je prostor za: dodatno pojašnjenje o nekom pitanju, navođenje neke tehnologije koju koristite te za komentare ili sugestije.

Molim navedite naziv luke u kojoj ste zaposleni.

_____

_____

Koristite li i u kojem opsegu *Informacijski sustav lučke zajednice* (engl. *Port Community System* – PCS)?

☐	Razmjena administrativnih dokumenata broda se obavlja e-mailom, dokumentima u Wordu Excelu i PDF formatu
☐	Koristi se osnovni modul za administrativne postupke (dolazak i odlazak brodova)
☐	Koriste se dodatni moduli (npr. carinski model, gate in gate out procedure, itd.…)
☐	Koriste se svi moduli

Koristite li tehnologije planiranja i upravljanja teretom (*Sustav za upravljanje terminalom*, engl. *Terminal Operating System* -TOS)?

☐	Ne koristi se digitalni *Sustav za upravljanje teretom*
☐	Koristi se djelomična rješenja u okviru drugog sustava (na primjer *Informacijskog sustava lučke zajednice*)
☐	Koristi se *Sustav za upravljanje terminalom*

Primjenjujete li standarde razmjene podataka?

☐	Nestandardizirano (Word, Excel i PDF datoteke te elektronička pošta)
☐	Dio sustava može razmjenjivati podatke (direktno ili posredstvom XML poruka)

☐	Neki sustavi koriste i EDIFACT poruke za razmjenu dokumenata i podataka
☐	EDIFACT poruke su implementirane u sustavu u svom punom opsegu (npr., PCS, TOS, MSW)

Koristite li i u kojem opsegu tehnologije za potporu poslovanju (npr. SCADA, ERP, DSS…..)?

☐	Ne koriste se
☐	Koriste se za pojedine poslovne procese
☐	Integrirano rješenje za sve poslovne procese, za strateško odlučivanje (engl. *dashboarding*)
☐	Integrirano rješenje se koristi za poslovno predviđanje

Da li i za koju namjenu koristite napredne bežične mrežne tehnologije?

☐	Ne koriste se
☐	Koriste se tehnologije kao Bluetooth 4.0, LTE i slične za povezivanje senzora pojedinih izoliranih sustava
☐	Koriste se tehnologije naprednih bežičnih mreža u sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom

Koristite li i u kojem opsegu tehnologije upravljanja skladištem?

☐	Pretežno manualno upravljanje bez digitalne potpore uz klasične evidencije skladišnih aktivnosti
☐	Koristi se poluautomatizirani sustav pojedinih procesa (dio procesa je automatiziran, a dio obavljaju zaposlenici skladišta)
☐	Koristi se automatiziran *Sustav za upravljanje skladištem* (engl. *Warehouse Management System*- WMS)

Koristite li i u kojem opsegu tehnologije koordiniranja tereta odnosno upravljanja internim transportom?

☐	Pretežno manualno bez digitalne potpore
☐	Koristi se poluautomatizirani sustav (pojedini moduli *Sustava za upravljanje internim transportom* (engl. *Yard Mangement System* – YMS) (moduli: planiranje i vođenje termina za dostavu i/ili preuzimanje robe, koordinacija prijave i odjave zaliha, sinkronizacija područja za utovar i istovar, parkirališta i pristupnih točaka, itd.)
☐	Koristi se cjeloviti *Sustav upravljanja internim transportom*

Koristite li i koje digitalne tehnologije identifikacije i označavanja tereta?

☐	Manualna identifikacija i označavanje
☐	Koriste se bar kod i/ili QR kod i/ili RFID
☐	Koriste se automatizirani sustavi identifikacije i označavanja

Koristite li i koje digitalne tehnologije za potporu horizontalnom transportu?

☐	Koriste se viličari, tegljači, kamioni, traktori
☐	Koriste se *Automatski navođena vozila* – AGV navođena šinom-trakom-laserom
☐	Koristi se autonomni AGV

Koristite li i koje digitalne tehnologije za potporu vertikalnom transportu?

☐	Koriste se jednostavni sustavi (klasične dizalice uz kontrolu lučkih radnika)
☐	Koriste se poluatomatizirani sustavi (automatiziran neki od procesa vertikalnog transporta ili opreme vertikalnog transporta, daljinska kontrola pojedinih procesa)
☐	Koristi se potpuno automatizirani sustavi s daljinskim navođenjem

Koristite li i u kojem opsegu tehnologije upravljanja pomorskim prometom?

☐	Koristi se Sustav pomorskog prometa (engl. Vessel Traffic System – VTS)
☐	Koriste se pojedinačni moduli Informacijskog sustava za nadzor i upravljanje pomorskim prometom (engl. *Vessel Traffic Monitoring & Information System* – VTMIS) (moduli: prikupljanje podataka o pomorskim objektima, organizacija plovidbe, itd.…)
☐	Koristi se integrirani VTMIS sustav

Koje tehnologije koristite za kontrolu ulaza u lučko područje?

☐	Zaštitarska služba (ljudski resursi u službi kontrole ulaza)
☐	Koriste se mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice (identifikacijske kartice)
☐	Koristi se *Automatsko prepoznavanje registarskih pločica* (engl. *Automatic Plate Number Recognition* – APNR)
☐	Koristi se integrirani digitalizirani *Sustav ulaza i izlaza* (*Gate in/Gate out*)

Koje tehnologije koristite za nadzor lučkog područja?

☐	Koristi se videonadzor
☐	Koristi se napredni video nadzor (npr., termovizijske kamere, kamere za noćni nadzor))
☐	Koriste se *Inteligentne kamere* s automatizacijom prepoznavanja i reagiranja

Koristite li *5G mobilnu mrežu*?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se za automatizaciju pojedinih procesa i senzoriku
☐	Koristi se kao cjelovito rješenje

Koristite li tehnologiju *Internet stvari*?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se za pojedine procese (npr. senzori broda, senzori tereta i sl.)
☐	Koristi se kao cjeloviti sustav povezanih uređaja

Za koje namjene koristite tehnologiju *Računalstvo u oblaku*?

☐	Koristi se za aplikacije i pohranu podataka
☐	Koristi se za virtualizaciju pojedinih elemenata arhitekture
☐	Koristi se za potpunu virtualizaciju IT infrastrukture

Koristite li i u kojem opsegu tehnologiju *Veliki podatci*?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se za analitiku unutar pojedinih poslovnih procesa
☐	Koristi se za analitiku za sve poslovne procese

Koristite li i za koju namjenu dronove?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se za inspekciju broda i tereta
☐	Koristi se za inspekciju lučkog područja
☐	Koristi se u okviru naprednog sustava upravljanja izvanrednim situacijama

Koristite li u luci i za koju namjenu naprednu robotiku?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se poneka robotizirana oprema
☐	Koristi se robotizirana oprema

Koristite li u luci i za koju namjenu autonomne tehnologije?

☐	Ne koriste se
☐	Koriste se djelomično (pojedinačna autonomna vozila i oprema)
☐	Koriste se u potpunosti autonomna vozila i oprema

Koristite li i za koju namjenu umjetnu inteligenciju?

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se pojedini moduli u okviru komercijalnih rješenja (npr. B*iometrijsko prepoznavanje lica*, *Računalni vid*)
☐	Koristi se dubinsko učenje iz *data lakea* luke (Modeli dubinskog učenja mogu prepoznati složene obrasce u slikama, tekstu, zvukovima i drugim podatcima kako bi proizveli točne uvide i predviđanja. Oslanjaju se na veliku količinu podataka. *Data lake* predstavlja sustav ili repozitorij pohranjenih podataka (izvornih, sirovih) prikupljenih iz različitih izvora) podataka.
☐	Koristi se *Generativna umjetna inteligencija* u nekoj od ključnih aplikacija za poslovanje

Koristite li i za koju namjenu Imerzivnu mješovitu stvarnost? (tehnologija proširene stvarnosti-AR, tehnologija mješovite stvarnosti – MR, AR-tehnologija produžene stvarnosti, VR-tehnologija virtualne stvarnosti)

☐	Ne koristi se
☐	Koristi se AR za pojedine operativne svrhe (npr. upravljanje imovinom, operacije na terminalu)
☐	Koristi se AR u okviru integriranih rješenja za MR (npr. rješenje za upravljanje imovinom energetike u luci gdje tehničar s VR naočalama hodajući ka razvodnoj ploči može virtualno kliknuti na komponentu koju gleda, a da mu se otvore korisničke upute i povijest servisiranja je primjer AR rješenja u okviru integriranog MR rješenja za upravljanje imovinom- engl. *asset management*.)

Koristite li i u kojem opsegu digitalizacijske i simulacijske tehnologije?

☐	Ne koriste se
☐	Koriste se statički modeli kao dio modula statističkih i matematičkih softvera (klasično prognoziranje trenda)
☐	Koriste se napredni modeli simulacije kroz specijalizirane softvere (npr. Flexim softver)
☐	Koristi se *Digitalni blizanac* za cjelovitu digitalnu repliku stvarnih procesa i sustava

Ukoliko želite unijeti dodatno pojašnjenje o nekom pitanju, navesti neku tehnologiju koju koristite te komentare ili sugestije, molim Vas upišite.

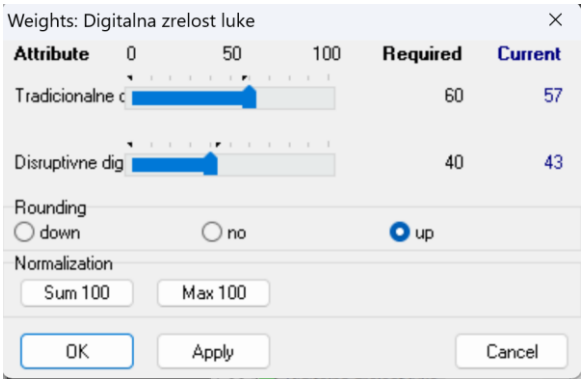
_____

_____

_____

Privitak 3. Funkcije korisnosti: ukupna digitalna zrelost luke; agregirani atribut *Tehnologije digitalne potpore poslovanju*; agregirani atribut *Povezivost i mrežna tehnologija*

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi	Disruptivne digitalne tehnologije	Digitalna zrelost luke
Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska razina digitalne zrelosti luke
Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Niska razina digitalne zrelosti luke
Niska digitalna zrelost	Visoka digitalna zrelost	Srednja razina digitalne zrelosti luke
Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja razina digitalne zrelosti luke
Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Srednja razina digitalne zrelosti luke
Srednja digitalna zrelost	Visoka digitalna zrelost	Visoka razina digitalne zrelosti luke
Visoka digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja razina digitalne zrelosti luke
Visoka digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Visoka razina digitalne zrelosti luke
Visoka digitalna zrelost	Visoka digitalna zrelost	Visoka razina digitalne zrelosti luke



Tehnologije za upravljanje procesima	Napredne bežične mrežne tehnologije	Tehnologije digitalne potpore poslovanju
Ne koristi se	Ne koriste se	Niska digitalna zrelost
Ne koristi se	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Niska digitalna zrelost
Ne koristi se	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Srednja digitalna zrelost
Za pojedine poslovne procese	Ne koriste se	Niska digitalna zrelost
Za pojedine poslovne procese	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Srednja digitalna zrelost
Za pojedine poslovne procese	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding	Ne koriste se	Srednja digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Srednja digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	Ne koriste se	Srednja digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Visoka digitalna zrelost
Integrirano rješenje za poslovno predviđanje	U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja terminalom	Visoka digitalna zrelost

5G mreža	Internet stvari	Povezivost i mrežna tehnologija
Ne koristi se	Ne koristi se	Niska digitalna zrelost
Ne koristi se	Pojedini procesi	Niska digitalna zrelost
Ne koristi se	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Srednja digitalna zrelost
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Ne koristi se	Niska digitalna zrelost
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Pojedini procesi	Srednja digitalna zrelost
Automatizacija pojedinih procesa i senzorika	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Visoka digitalna zrelost
Cjelovito rješenje	Ne koristi se	Srednja digitalna zrelost
Cjelovito rješenje	Pojedini procesi	Visoka digitalna zrelost
Cjelovito rješenje	Cjeloviti sustav povezanih uređaja	Visoka digitalna zrelost

Privitak 4. Ukupni rezultati evaluacije digitalne zrelosti odabranih luka

Evaluation results

Attribute	Luka Ploče	Luka Split	Luka Rijeka
Digitalna zrelost luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke	Niska razina digitalne zrelosti luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ │ ├─**Razmjena podataka**	Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	Osnovni moduli PCS-a	Razmjena (Office paket i PDF)	Osnovni moduli PCS-a
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*	Ne koristi se digitalni sustav	*Sustav za upravljanje terminalom*
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	Djelomično XML	Nestandardizirano	Djelomično (EDIFACT poruke)
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese	Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav	*Potpuno automatiziran sustav-WMS*
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Pretežno manualan rad bez digitalne potpore	*Cjeloviti sustav - YMS*
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje	Manualna identifikacija i označavanje	Bar kod, QR kod i RFID tehnologije
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost	Niska digtalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi	Poluautomatizirani sustavi
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	Srednja digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	VTS sustav	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice	Zaštitarska služba	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica-ANPR
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Napredni video nadzor	Video nadzor	Napredni video nadzor
└─**Disruptivne digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
│ └─Internet stvari	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
│ ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka
│ └─Veliki podatci	Koristi se za pojedine poslovne procese	Koristi se za pojedine poslovne procese	Koristi se za pojedine poslovne procese
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
│ ├─Dronovi	Ne koristi se	Za inspekciju lučkog područja	Za inspekciju lučkog područja
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se	Ne koriste se	Ne koriste se
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
├─Imerzivna mještovita stvarnost	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se

Evaluation results

Attribute	Luka Bar	Port of Adria	Luka Kopar
Digitalna zrelost luke	Niska razina digitalne zrelosti luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke
├─Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije	Niska digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Razmjena podataka	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	Dodatni moduli PCS-a	*Svi moduli PCS-a*	Dodatni moduli PCS-a
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*	*Sustav za upravljanje terminalom*	*Sustav za upravljanje terminalom*
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	Djelomično (EDIFACT poruke)	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*
│ │ └─Tehnologije digitalne potpore poslovanju	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese	Za pojedine poslovne procese
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	Ne koriste se	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora	*U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja*
│ ├─Tehnologije planiranja i upravljanja teretom	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav	Poluautomatizirani sustav
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Manualna identifikacija i označavanje	Manualna identifikacija i označavanje	*Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja*
│ ├─Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu	Niska digtalna zrelost	Niska digtalna zrelost	Niska digtalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	Viličari, tegljači, kamioni, traktori
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi	Jednostavni sustavi
│ └─Tehnologije za sigurnost i nadzor	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	Pojedinačni moduli VTMIS sustava
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica-ANPR	Mobilni uređaji s vjerodajnicama ili ID kartice	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Napredni video nadzor	Video nadzor	Napredni video nadzor
└─Disruptivne digitalne tehnologije	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
├─Povezivost i mrežna tehnologija	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se	Ne koristi se	Automatizacija pojedinih procesa i senzorika
│ └─Internet stvari	Ne koristi se	Ne koristi se	Pojedini procesi
├─Računalstvo i obrada podataka	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
│ ├─Računalstvo u oblaku	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Aplikacije i bazna pohrana podataka	Virtualizacija pojedinih elemenata poslovne arhitekture
│ └─Skup velikih podataka	Ne koristi se	Ne koristi se	Koristi se za pojedine poslovne procese
├─Robotika i autonomija	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
│ ├─Dronovi	Za inspekciju lučkog područja	Ne koristi se	Za inspekciju lučkog područja
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se	Ne koriste se	Ne koriste se
└─Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost	Srednja digitalna zrelost
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se	Ne koristi se	Pojedini moduli komercijalnih rješenja
├─Imerzivna mješovita stvarnost	Ne koristi se	Ne koristi se	Ne koristi se
└─Simulacijske tehnologije	Ne koristi se	Ne koristi se	Napredni modeli simulacija

Evaluation results

Attribute	Luka Ravena	Test luka
Digitalna zrelost luke	Srednja razina digitalne zrelosti luke	*Visoka razina digitalne zrelosti luke*
├─**Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─**Tehnologije razmjene informacija i dokumentacije**	*Visoka digitalna zrelost*	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─**Razmjena podataka**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ │ ├─Informacijski sustav lučke zajednice	Dodatni moduli PCS-a	*Svi moduli PCS-a*
│ │ │ ├─Sustav za upravljanje terminalom	*Sustav za upravljanje terminalom*	*Sustav za upravljanje terminalom*
│ │ │ └─Standardi razmjene informacija	Djelomično XML	*Razmjena punog opsega EDIFACT poruka*
│ │ └─**Tehnologije digitalne potpore poslovanju**	*Visoka digitalna zrelost*	Srednja digitalna zrelost
│ │ ├─Tehnologije za upravljanje procesima	Za pojedine poslovne procese	Integrirano rješenje za poslovne procese i dashboarding
│ │ └─Napredne bežične mrežne tehnologije	*U sklopu automatiziranih sustava integriranog upravljanja*	Bluetooth 4.0, LTE,...za povezivanje senzora
│ ├─**Tehnologije planiranja i upravljanja teretom**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije upravljanja skladištem	Pretežno manulano upravljanje	*Potpuno automatiziran sustav- WMS*
│ │ ├─Tehnologije koordiniranja teretom	Poluautomatiziran sustav (pojedini moduli)	*Cjeloviti sustav - YMS*
│ │ └─Tehnologije identifikacije i označavanja tereta	Bar kod, QR kod i RFID tehnologije	*Automatizirani sustavi identifikacije i označavanja*
│ ├─**Tehnologije za potporu horizontalnom i vertikalnom transportu**	Niska digtalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ │ ├─Tehnologije horizontalnog transporta	Viličari, tegljači, kamioni, traktori	*Autonomni AGV*
│ │ └─Tehnologije vertikalnog transporta	Jednostavni sustavi	*Potpuno automatiziran sustav s daljinskim navođenjem*
│ └─**Tehnologije za sigurnost i nadzor**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Upravljanje pomorskim prometom	Pojedinačni moduli VTMIS sustava	*Integrirani VTMIS sustav*
│ ├─Kontrola ulaza u lučko područje	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*	*Integrirani sustav (gate in/gate out)*
│ └─Nadzor lučkog područja/terminala	Video nadzor	*Inteligetne kamere*
└─**Disruptive digitalne tehnologije**	Niska digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
├─**Povezivost i mrežna tehnologija**	Niska digitalna zrelost	Niska digitalna zrelost
│ ├─5G mreža	Ne koristi se	Ne koristi se
│ └─Internet stvari	Pojedini procesi	Pojedini procesi
├─**Računalstvo i obrada podataka**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Računalstvo u oblaku	Virtualizacija pojedinih elemenata poslovne arhitekture	*Potpuna virtualizacija IT infrastrukture*
│ └─Skup velikih podataka	Ne koristi se	*Koristi se za sve poslovne procese*
├─**Robotika i autonomija**	Niska digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
│ ├─Dronovi	Ne koristi se	*Napredan sustav upravljanja izvanrednim situacijama*
│ ├─Napredna robotika	Ne koristi se	*Koristi se*
│ └─Autonomne tehnologije	Ne koriste se	*Potpuno autonomna vozila i oprema*
└─**Umjetna inteligencija, imerzivne i simulacijske tehnologije**	Srednja digitalna zrelost	*Visoka digitalna zrelost*
├─Umjetna inteligencija	Ne koristi se	*Generativna umjetna inteligencija*
├─Imerzivna mješovita stvarnost	Ne koristi se	*XR u okviru integriranih rješenja za MR*
└─Simulacijske tehnologije	*Digitalni blizanac*	*Digitalni blizanac*

Privitak 5. Anketni upitnik za evaluaciju važnosti digitalnih tehnologija i sustava, disruptivnih digitalnih tehnologija i evaluaciju važnosti kriterija

Anketni upitnik je sastavni dio doktorskog rada *Model tranzicije teretnih morskih luka u pametne luke* pod mentorstvom prof. dr. sc. Edvarda Tijana i komentorstvom izv. prof. dr. sc. Saše Aksentijevića, prijavljene na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci.

Svrha istraživanja je sljedeća:

- Evaluacija važnosti tehnologija za tranziciju teretnih morskih luka u *pametne luke*
- Evaluacija važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke.*

Tehnologije su podijeljene u dvije kategorije:

1. Tradicionalne tehnologije i sustavi
2. Disruptivne digitalne tehnologije.

Sudjelovanje u istraživanju je dobrovoljno, a Vaši odgovori su anonimnog karaktera i koristit će se isključivo za potrebe znanstvenog istraživanja. Ispunjavanje upitnika oduzet će Vam petnaestak minuta vremena te bi Vam bila zahvalna da ispunite upitnik.

UPUTE ZA POPUNJAVANJE ANKETNOG UPITNIKA

Anketni upitnik potrebno je ispuniti na način da se za pojedinu tehnologiju odnosno sustav odabere SAMO JEDAN od sljedećih mogućih odgovora:

1. Nevažno
2. Manje važno
3. Umjereno važno
4. Važno
5. Iznimno važno

ANKETNI UPITNIK

Ukoliko želite dobiti uvid u rezultate istraživanja, molim upišite Vašu email adresu.	_____
Molim, unesite naziv Vaše organizacije	_____
Molim, odaberite Vašu poziciju	☐ Direktor ☐ Voditelj IT odjela ☐ IT stručnjak ☐ Zaposlenik sveučilišta - profesor, asistent ☐ Konzultant

	☐ Ostalo

Tradicionalne digitalne tehnologije i sustavi					
Elektronička razmjena podataka (EDI)	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Optičko prepoznavanje znakova	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Bar kod	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
QR kod	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Skeneri – X ray, laser	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
CCTV sustav videonadzora	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sustav automatiziranog ulaza i izlaza	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Termovizijske kamere	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Pristup mobilnim uređajem	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
ID kartica za evidentiranje	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sustav za praćenje kontejnera	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatski navođena vozila	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatizirane slagališne dizalice	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatizirani viličari	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Automatizirani traktori	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
3G i 4G mobilne mreže	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Bežična senzorska mreža	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Bežična mreža	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Bluetooth	1	2	3	4	5

	☐	☐	☐	☐	☐
LTE	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
Komunikacija bliskog polja	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sustav za rezervaciju vozila	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Disruptivne digitalne tehnologije					
Računalstvo u oblaku	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
5G mobilna mreža	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Dronovi	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Internet stvari	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Biometrijsko prepoznavanje lica	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
3D printanje	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Pametni senzori	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Inteligentne kamere	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Autonomni mobilni roboti	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Veliki podatci	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Umjetna inteligencija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Strojno učenje	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Tehnologija ulančanih blokova	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Digitalni blizanci	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Virtualna stvarnost	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Proširena stvarnost	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Miješana stvarnost	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Neuronska mreža	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Kibernetičko-fizički sustav	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Rubno računalstvo	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Kvantno računalstvo	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Mobilno računalstvo	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐

Računalni vid	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Dubinsko učenje	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Generativna umjetna inteligencija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Homomorfna enkripcija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
6G mobilna mreža	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Nulta latencija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
4D printanje	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Napredna robotika	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sučelje čovjek-stroj	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Proširena-povezana radna snaga	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Konverzacijska korisnička sučelja	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Kriteriji za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*					
Jednostavnost implementacije	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Jednostavnost korištenja	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Financijski resursi za implementaciju	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Troškovi održavanja	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Otpornost na tehničke poteškoće	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Spremnost IT odjela	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sukladnost s regulativom i legislativom	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Institucijska potpora	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Utjecaj na održivost	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Tehnologija koju koristi konkurencija	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
Sigurnost	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐
IT infrastruktura	**1** ☐	**2** ☐	**3** ☐	**4** ☐	**5** ☐

Privitak 6. Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

Red. br.		Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
1	**Automatski navođena vozila**	**4,49**	**0,502**	**0,058**	**-2,036**
2	**Sustav automatiziranog ulaza i izlaza**	**4,38**	**0,507**	**0,271**	**-1,399**
3	LTE	3,85	0,568	-0,336	0,769
4	Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	3,81	0,695	-0,602	0,727
5	Skeneri (X ray, laser.....)	3,76	0,658	-0,736	0,981
6	Automatizirane portalne dizalice	3,67	0,805	-0,899	3,743
7	Termovizijske kamere	3,65	0,72	-0,927	0,519
8	3G i 4G mobilne mreže	3,61	0,814	-0,362	-0,304
9	WIFI bežična mreža	3,6	0,792	-0,218	-0,314
10	Optičko prepoznavanje znakova	3,59	0,805	-0,244	-0,348
11	Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	3,53	0,773	-0,368	0,406
12	Automatizirane slagališne dizalice	3,51	0,637	-0,509	-0,167
13	Sustav za praćenje kontejnera	3,39	0,612	0,302	-0,056
14	Sustav za rezervaciju vozila	3,39	0,753	-0,238	-0,468
15	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica	3,38	0,712	-0,383	-0,503
16	CCTV sustav	3,34	0,757	-1,074	0,928
17	Elektronička razmjena podataka	3,27	0,697	-0,244	-0,634
18	QR kod	3,23	0,869	-0,285	-0,862
19	Bežična senzorska mreža	3,22	0,759	-0,258	-0,956
20	Bar kod	3,18	0,841	-0,553	-0,834
21	Automatizirani traktor	3,14	0,994	-0,233	-1,113
22	Komunikacija bliskog polja	3,14	0,893	-0,783	-0,211
23	Bluetooth	3,13	1,029	-0,596	-0,331
24	Pristup mobilnim uređajem	3,1	0,876	-0,12	-1,098
25	Automatizirani viličar	3,01	0,658	-0,01	-0,64
26	ID Card	2,84	1,194	-0,337	-1,255

Privitak 7. Deskriptivna statistička analiza disruptivnih digitalnih tehnologija – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

Red. br.		Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
1.	5G mobilna mreža	4,56	0,517	-0,465	-1,306
2.	Internet stvari	4,53	0,52	-0,344	-1,413
3.	Računalni vid	4,51	0,502	-0,058	-2,036
4.	Umjetna inteligencija	4,47	0,501	0,136	-2,02
5.	Konverzacijska korisnička sučelja	4,47	0,52	-0,074	-1,525
6.	Digitalni blizanac	4,46	0,501	0,175	-2,008
7.	Big Data	4,44	0,499	0,253	-1,974
8.	Dronovi	4,39	0,49	0,456	-1,828
9.	Inteligentne kamere	4,38	0,488	0,497	-1,787
10.	Sučelje čovjek - stroj	4,37	0,486	0,54	-1,742
11.	Proširena stvarnost	4,17	0,612	-0,366	0,761
12.	Autonomna vozila	4,12	0,756	-0,21	-1,211
13.	Virtualna stvarnost	3,98	0,808	-0,856	0,736
14.	Napredna analitika	3,95	0,544	-0,767	2,987
15.	Strojno učenje	3,9	0,643	0,088	-0,558
16.	Pametni senzori	3,9	0,517	-0,15	0,643
17.	Računalstvo u oblaku	3,82	0,676	0,236	-0,803
18.	Mješovita stvarnost	3,79	0,675	-0,103	-0,116
19.	Neuralna mreža	3,78	0,759	-0,145	-0,337
20.	Nulta latencija	3,78	0,665	0,277	-0,752
21.	6G mobilna mreža	3,76	0,673	0,323	-0,789
22.	Autonomni mobilni roboti	3,75	0,662	-0,087	-0,1
23.	Mobilno računalstvo	3,74	0,636	-0,639	0,811
24.	Generativna umjetna inteligencija	3,65	0,554	0,08	-0,768
25.	Tehnologija ulančanih blokova	3,62	0,656	-0,036	-0,161
25.	Rubno računalstvo	3,62	0,595	-0,475	0,031
26.	Kibernetičko fizički sustavi	3,61	0,596	0,119	-0,451
27.	Proširena povezana radna snaga	3,58	0,794	-0,506	-0,209
28.	Biometrijsko prepoznavanje	3,54	0,772	-0,401	0,434
29.	Kvantno računalstvo	3,49	0,59	-0,087	-0,452
30.	Homomorfna enkripcija	3,44	0,887	-0,904	0,608
31.	Napredna robotika	3,43	0,618	-0,595	-0,556
32.	Dubinsko učenje	3,36	0,856	-0,871	1,934
33.	3D printanje	2,93	0,933	-0,662	-0,32
34.	4D printanje	2,61	1,042	-0,194	-1,119

Privitak 8. Rezultati Kolmogorov-Smirnov testa za tradicionalne digitalne tehnologije i sustave te disruptivne digitalne tehnologije

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Radiofrekvencijska identifikacijska tehnologija	Optičko prepoznavanje znakova	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,81	3,59	3,38
	Std. Deviation	,695	,805	,712
Most Extreme Differences	Absolute	,351	,275	,284
	Positive	,278	,201	,227
	Negative	-,351	-,275	-,284
Test Statistic		,351	,275	,284
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Bar kod	QR kod	Skener i (X ray, laser.....)	CCTV sustav
N		105	105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,18	3,23	3,76	3,34
	Std. Deviation	,841	,869	,658	,757
Most Extreme Differences	Absolute	,273	,260	,375	,293
	Positive	,165	,159	,283	,193
	Negative	-,273	-,260	-,375	-,293
Test Statistic		,273	,260	,375	,293
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Sustav automatiziranog ulaza	Termovizijske kamere	Pristup mobilnim uređajem	ID Card
N		105	105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,38	3,65	3,10	2,84
	Std. Deviation	,507	,720	,876	1,194
Most Extreme Differences	Absolute	,383	,383	,237	,235
	Positive	,383	,265	,192	,146
	Negative	-,279	-,383	-,237	-,235

Test Statistic	,383	,383	,237	,235
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	Sustav za praćenje kontejnera	Automatski navođena vozila
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,53	3,39	4,49
	Std. Deviation	,773	,612	,502
Most Extreme Differences	Absolute	,270	,338	,348
	Positive	,212	,338	,348
	Negative	-,270	-,240	-,333
Test Statistic		,270	,338	,348
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Automatizirane slagališne dizalice	Automatizirani portalni prijenosnik velikog raspona na tračnicama	Automatizirani viličar
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,51	3,67	3,01
	Std. Deviation	,637	,805	,658
Most Extreme Differences	Absolute	,329	,251	,287
	Positive	,238	,216	,287
	Negative	-,329	-,251	-,285
Test Statistic		,329	,251	,287
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Automatizirani traktor	3G i 4G mobilne mreže	Bežična senzorska mreža
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,14	3,61	3,22
	Std. Deviation	,994	,814	,759
Most Extreme Differences	Absolute	,272	,294	,248
	Positive	,208	,211	,214

	Negative	-,272	-,294	-,248
Test Statistic		,272	,294	,248
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		WIFI	Bluetooth	LTE	Elektronička razmjena podataka	Komunikacija bliskog polja
N		105	105	105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,60	3,13	3,85	3,27	3,14
	Std. Deviation	,792	1,029	,568	,697	,893
Most Extreme Differences	Absolute	,274	,267	,377	,258	,251
	Positive	,202	,171	,309	,258	,168
	Negative	-,274	-,267	-,377	-,244	-,251
Test Statistic		,274	,267	,377	,258	,251
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		5G mobilna mreža	Internet stvari	Računalni vid
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,56	4,53	4,51
	Std. Deviation	,517	,520	,502
Most Extreme Differences	Absolute	,373	,358	,348
	Positive	,290	,305	,333
	Negative	-,373	-,358	-,348
Test Statistic		,373	,358	,348
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Umjetna inteligencija	Konverzacijska korisnička sučelja	Digitalni blizanac
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,47	4,47	4,46
	Std. Deviation	,501	,520	,501
Most Extreme Differences	Absolute	,357	,339	,362
	Positive	,357	,339	,362

	Negative	-,323	-,324	-,318
Test Statistic		,357	,339	,362
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Big Data	Dronovi	Inteligentne kamere	Sučelje čovjek-stroj
N		105	105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,44	4,39	4,38	4,32
	Std. Deviation	,499	,490	,488	,470
Most Extreme Differences	Absolute	,372	,397	,402	,431
	Positive	,372	,397	,402	,431
	Negative	-,308	-,284	-,279	-,249
Test Statistic		,372	,397	,402	,431
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Proširena stvarnost	Autonomna vozila	Virtualna stvarnost
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,17	4,12	3,98
	Std. Deviation	,612	,756	,808
Most Extreme Differences	Absolute	,334	,229	,328
	Positive	,334	,213	,253
	Negative	-,294	-,229	-,328
Test Statistic		,334	,229	,328
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Napredna analitika	Strojno učenje	Pametni senzori
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,95	3,90	3,90
	Std. Deviation	,544	,643	,517
Most Extreme Differences	Absolute	,402	,302	,390
	Positive	,360	,279	,334
	Negative	-,402	-,302	-,390
Test Statistic		,402	,302	,390
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Računalstvo u oblaku	Mješovita stvarnost	Neuronska mreža
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,82	3,79	3,78
	Std. Deviation	,676	,675	,759
Most Extreme Differences	Absolute	,272	,308	,271
	Positive	,242	,254	,225
	Negative	-,272	-,308	-,271
Test Statistic		,272	,308	,271
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Nulta latencija	6G mobilna mreža	Autonomni mobilni roboti
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,78	3,76	3,75
	Std. Deviation	,665	,673	,662
Most Extreme Differences	Absolute	,277	,267	,313
	Positive	,238	,243	,249
	Negative	-,277	-,267	-,313
Test Statistic		,277	,267	,313
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Mobilno računalstvo	Generativna Umjetna inteligencija	Tehnologija ulančanih blokova
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,74	3,65	3,62
	Std. Deviation	,636	,554	,656
Most Extreme Differences	Absolute	,371	,347	,300
	Positive	,276	,269	,246
	Negative	-,371	-,347	-,300
Test Statistic		,371	,347	,300
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Rubno računalstvo	Kibernetičko fizički sustavi	Proširena povezana radna snaga
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,62	3,61	3,58
	Std. Deviation	,595	,596	,794
Most Extreme Differences	Absolute	,358	,315	,320
	Positive	,232	,275	,223
	Negative	-,358	-,315	-,320
Test Statistic		,358	,315	,320
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Biometrijsko prepoznavanje	Kvantno računalstvo	Homomorfna enkripcija
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,54	3,49	3,44
	Std. Deviation	,772	,590	,887
Most Extreme Differences	Absolute	,275	,303	,308
	Positive	,207	,299	,216
	Negative	-,275	-,303	-,308
Test Statistic		,275	,303	,308
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Napredna robotika	Dubinsko učenje	3D printanje
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,43	3,36	2,93
	Std. Deviation	,618	,856	,933
Most Extreme Differences	Absolute	,318	,239	,271
	Positive	,261	,197	,176
	Negative	-,318	-,239	-,271
Test Statistic		,318	,239	,271
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		4D printanje
N		105
Normal Parameters[a,b]	Mean	2,61
	Std. Deviation	1,042
Most Extreme Differences	Absolute	,217
	Positive	,149
	Negative	-,217
Test Statistic		,217
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]

Privitak 9. Deskriptivna statistička analiza tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava – medijan i interkvartilni raspon

Statistics

		Radiofrekvencija identifikacijska tehnologija	Optičko prepoznavanje znakova	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica	Bar kod	QR kod
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		3,81	3,59	3,38	3,18	3,23
Percentiles	25	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	50	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Skeneri (X ray, laser.....)	CCTV sustav	Sustav automatiziranog ulaza	Termovizijske kamere	Pristup mobilnim uređajem
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		3,76	3,34	4,38	3,65	3,10
Percentiles	25	3,00	3,00	4,00	3,00	2,00
	50	4,00	3,00	4,00	4,00	3,00
	75	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00

Statistics

		ID Card	Sustav pozicioniranja u stvarnom vremenu	Sustav za praćenje kontejnera	Automatski navođena vozila	Automatizirane slagališne dizalice
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		2,84	3,53	3,39	4,49	3,51
Percentiles	25	2,00	3,00	3,00	4,00	3,00
	50	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00

Statistics

		Automatizirane portalne dizalice	Automatizirani viličar	Automatizirani traktor	3G i 4G mobilne mreže
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		3,67	3,01	3,14	3,61
Percentiles	25	3,00	3,00	2,00	3,00
	50	4,00	3,00	3,00	4,00
	75	4,00	3,00	4,00	4,00

Statistics

		Bežična senzorska mreža	WIFI bežična mreža	Bluetooth	LTE	Elektronička razmjena podataka	Komunikacija bliskog polja
N	Valid	105	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0	0
Mean		3,22	3,60	3,13	3,85	3,27	3,14
Percentiles	25	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00	3,00
	50	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Sustav za rezervaciju vozila
N	Valid	105
	Missing	0
Mean		3,39
Percentiles	25	3,00
	50	3,00
	75	4,00

Privitak 10. Deskriptivna statistička analiza disruptivnih tehnologija – medijan i interkvartilni raspon

Statistics

		5G mobilna mreža	Internet stvari	Računalni vid	Umjetna inteligencija	Konverzacijska korisnička sučelja
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		4,56	4,53	4,51	4,47	4,47
Median		5,00	5,00	5,00	4,00	4,00
Percentiles	25	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	50	5,00	5,00	5,00	4,00	4,00
	75	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Statistics

		Digitalni blizanac	Big Data	Dronovi	Inteligentne kamere	Sučelje čovjek-stroj
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		4,46	4,44	4,39	4,38	4,32
Median		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	50	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Statistics

		Proširena stvarnost	Autonomna vozila	Virtualna stvarnost	Napredna analitika
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		4,17	4,12	3,98	3,95
Median		4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	4,00	4,00	4,00	4,00
	50	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	5,00	5,00	4,00	4,00

Statistics

		Strojno učenje	Pametni senzori	Računalstvo u oblaku	Mješovita stvarnost
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		3,90	3,90	3,82	3,79
Median		4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	3,00	4,00	3,00	3,00
	50	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Neuralna mreža	Nulta latencija	6G mobilna mreža	Autonomni mobilni roboti
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		3,78	3,78	3,76	3,75
Median		4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	3,00	3,00	3,00	3,00
	50	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Mobilno računalstvo	Generativna umjetna inteligencija	Tehnologija ulančanih blokova	Rubno računalstvo
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		3,74	3,65	3,62	3,62
Median		4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	3,00	3,00	3,00	3,00
	50	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Kibernetičko fizički sustavi	Proširena povezana radna snaga	Biometrijsko prepoznavanje	Kvantno računalstvo
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0

Mean		3,61	3,58	3,54	3,49
Median		4,00	4,00	4,00	3,00
Percentiles	25	3,00	3,00	3,00	3,00
	50	4,00	4,00	4,00	3,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

Statistics

		Homomorfna enkripcija	Napredna robotika	Dubinsko učenje	3D printanje
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	0	0	0	0
Mean		3,44	3,43	3,36	2,93
Median		4,00	3,00	3,00	3,00
Percentiles	25	3,00	3,00	3,00	2,00
	50	4,00	3,00	3,00	3,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

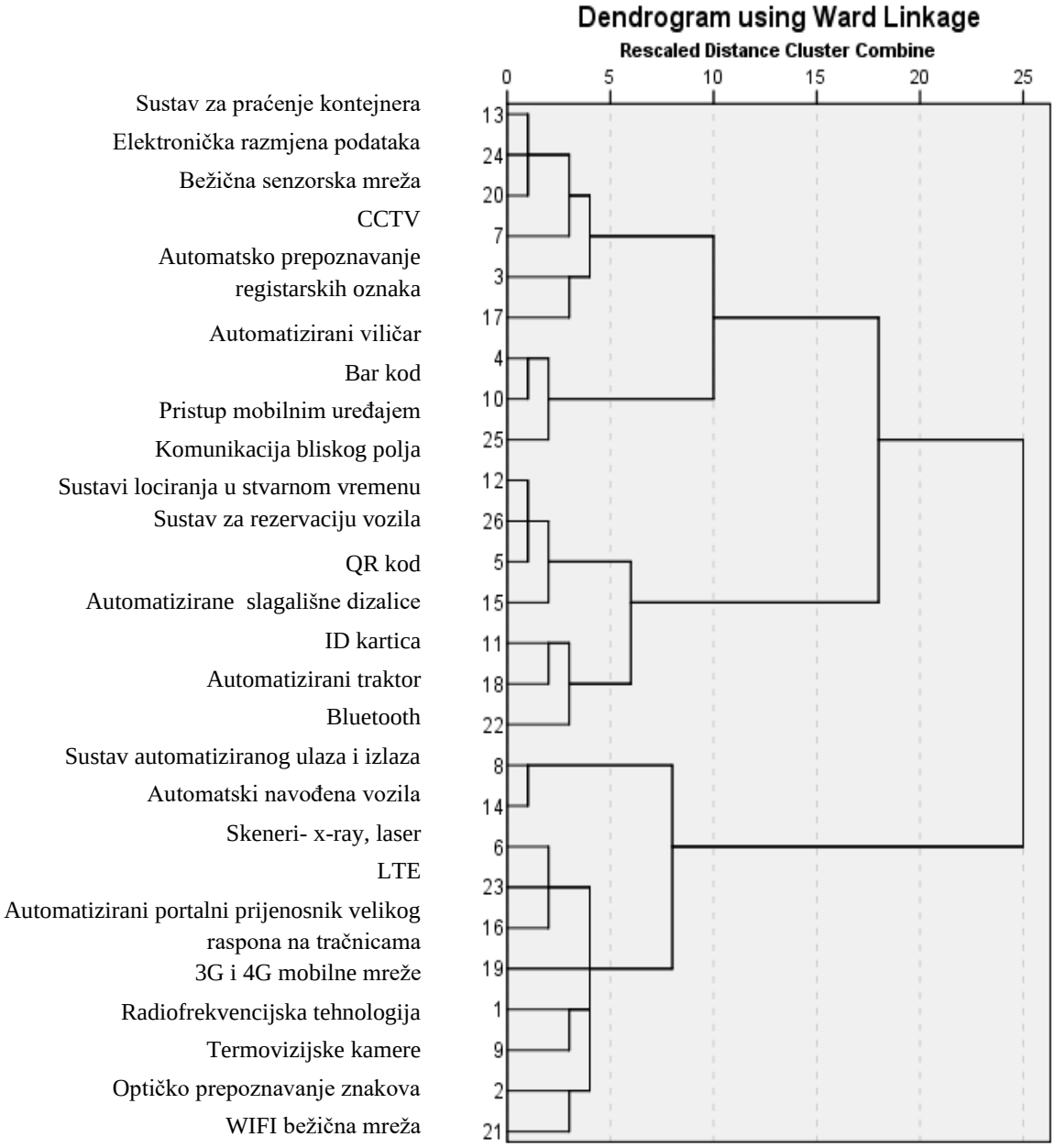
Statistics

		4D printanje
N	Valid	105
	Missing	0
Mean		2,61
Median		3,00
Percentiles	25	2,00
	50	3,00
	75	3,00

Privitak 11. Plan aglomeracije tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava

	Cluster Combined			Stage Cluster First Appears		
Stage	Cluster 1	Cluster 2	Coefficients	Cluster 1	Cluster 2	Next Stage
1	13	24	18,500	0	0	2
2	13	20	45,333	1	0	15
3	8	14	73,833	0	0	22
4	12	26	103,333	0	0	6
5	4	10	134,333	0	0	11
6	5	12	166,167	0	4	7
7	5	15	200,083	6	0	21
8	6	23	241,583	0	0	10
9	11	18	284,583	0	0	14
10	6	16	328,417	8	0	17
11	4	25	373,417	5	0	23
12	1	9	419,917	0	0	18
13	3	17	470,417	0	0	20
14	11	22	522,083	9	0	21
15	7	13	575,250	0	2	20
16	2	21	633,750	0	0	18
17	6	19	697,167	10	0	19
18	1	2	764,167	12	16	19
19	1	6	834,042	18	17	22
20	3	7	904,208	13	15	23
21	5	11	999,435	7	14	24
22	1	8	1121,510	19	3	25
23	3	4	1268,121	20	11	24
24	3	5	1524,387	23	21	25
25	1	3	1878,885	22	24	0

Privitak 12. Dendrogram procesa klasteriranja tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava



Privitak 13. Grupiranje tradicionalnih digitalnih tehnologija i sustava u klastere

No	Case	Clusters
1.	Radiofrekvencija identifikacijska tehnologija	1
2.	Optičko prepoznavanje znakova	1
3.	Automatsko prepoznavanje registarskih pločica	2
4.	Bar kod	3
5.	QR kod	4
6.	Skeneri (X ray, laser.....)	1
7.	CCTV sustav	2
8.	**Sustav automatiziranog ulaza i izlaza**	**5**
9.	Termovizijske kamere	1
10.	Pristup mobilnim uređajem	3
11.	ID Card	4
12.	Sustavi lociranja u stvarnom vremenu	4
13.	Sustav za praćenje kontejnera	2
14.	**AGV- automatski navođena vozila**	**5**
15.	Automatizirane slagališne dizalice	4
16.	Automatizirane portalne dizalice	1
17.	Automatizirani viličar	2
18.	Automatizirani traktor	4
19.	3G i 4G mobilne mreže	1
20.	Bežična senzorska mreža	2
21.	WIFI bežična mreža	1
22.	Bluetooth	4
23.	LTE	1
24.	Elektronička razmjena podataka	2
25.	Komunikacija bliskog polja	3
26.	Sustav za rezervaciju vozila	4

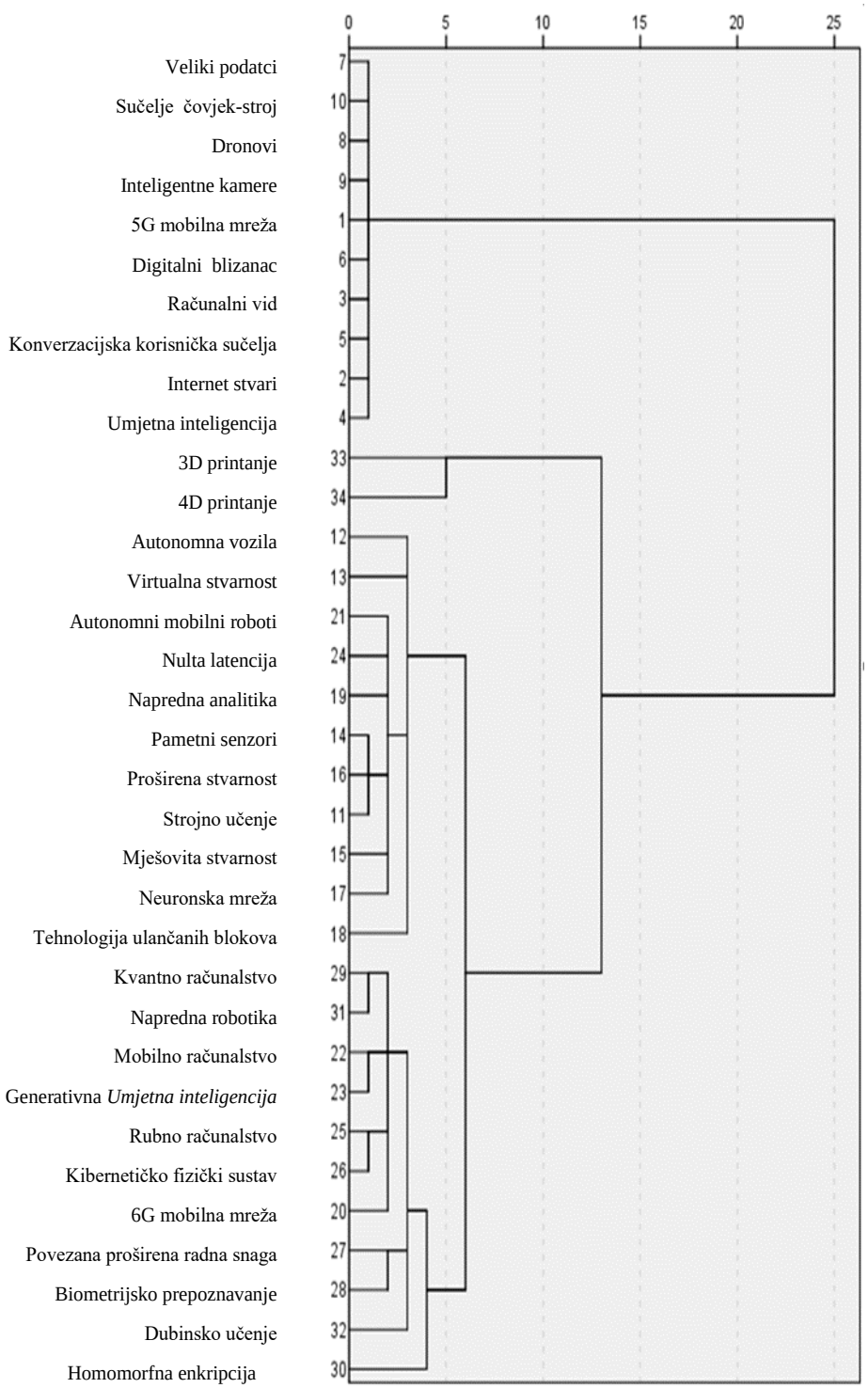
Privitak 14. Plan aglomeracije disruptivnih digitalnih tehnologija

Agglomeration Schedule

	Cluster Combined			Stage Cluster First Appears		
Stage	Cluster 1	Cluster 2	Coefficients	Cluster 1	Cluster 2	Next Stage
1	7	10	18,500	0	0	7
2	8	9	40,000	0	0	7
3	3	5	63,500	0	0	8
4	2	4	87,000	0	0	8
5	14	16	113,000	0	0	14
6	1	6	139,500	0	0	9
7	7	8	168,000	1	2	9
8	2	3	198,500	4	3	13
9	1	7	230,000	6	7	13
10	22	23	262,000	0	0	16
11	29	31	296,000	0	0	21
12	25	26	330,500	0	0	16
13	1	2	366,000	9	8	33
14	11	14	402,667	0	5	20
15	21	24	441,667	0	0	18
16	22	25	480,917	10	12	19
17	15	17	522,917	0	0	20
18	19	21	567,250	0	15	22
19	20	22	612,300	0	16	21
20	11	15	661,633	14	17	22
21	20	29	713,976	19	11	26
22	11	19	769,518	20	18	25
23	27	28	827,518	0	0	26
24	12	13	888,018	0	0	27
25	11	18	949,365	22	0	27
26	20	27	1014,667	21	23	28

27	11	12	1083,944	25	24	31
28	20	32	1156,000	26	0	29
29	20	30	1238,227	28	0	31
30	33	34	1349,227	0	0	32
31	11	20	1477,545	27	29	32
32	11	33	1745,708	31	30	33
33	1	11	2265,353	13	32	0

Privitak 15. Dendrogram procesa klasteriranja disruptivnih digitalnih tehnologija



Privitak 16. Grupiranje disruptivnih digitalnih tehnologija u klastere

Cluster Membership

Case	2 Clusters
5G mobilna mreža	1
Internet stvari	1
Računalni vid	1
Umjetna inteligencija	1
Konverzacijska korisnička sučelja	1
Digitalni blizanac	1
Big Data	1
Dronovi	1
Inteligentne kamere	1
Sučelje čovjek - stroj	1
Proširena stvarnost	2
Autonomna vozila	2
Virtualna stvarnost	2
Napredna analitika	2
Strojno učenje	2
Pametni senzori	2
Mješovita stvarnost	2
Neuronska mreža	2
Nulta latencija	2
6G mobilna mreža	2
Autonomni mobilni roboti	2
Mobilno računalstvo	2
Generativna umjetna inteligencija	2
Tehnologija ulančanih blokova	2
Rubno računalstvo	2
Kibernetičko fizički sustavi	2
Proširena povezana radna snaga	2
Biometrijsko prepoznavanje	2
Kvantno računalstvo	2
Homomorfna enkripcija	2
Napredna robotika	2
Dubinsko učenje	2
3D printanje	2
4D printanje	2

Privitak 17. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – aritmetička sredina, standardna devijacija, asimetrija i zaobljenost

Red. br.		Mean	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
1.	**Financijski resursi za implementaciju**	**4,67**	**0,474**	**-0,717**	**-1,515**
2.	**Troškovi održavanja**	**4,61**	**0,49**	**-0,456**	**-1,828**
3.	**Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih**	**4,44**	**0,536**	**-0,131**	**-1,188**
4.	**Regulativa i legislativa**	**4,35**	**0,519**	**0,2**	**-1,04**
5.	Spremnost IT odjela	4,16	0,748	-0,274	-1,161
6.	Jednostavnost implementacije	4,13	0,748	-0,223	-1,17
7.	Jednostavnost korištenja	4,07	0,763	-0,113	-1,262
8.	Otpornost	3,79	0,716	-0,146	-0,184
9.	Institucijska potpora	3,78	1,028	-1,006	1,479
10.	Utjecaj na održivost	3,49	0,991	-0,503	-0,289
11.	IT infrastruktura	3,48	0,681	-0,565	-0,258
12.	Sigurnost	3,46	0,91	-0,574	-0,529
13.	Tehnologija koju koristi konkurencija	3,21	0,863	-0,147	-1,148

Privitak 18. Rezultati Kolmogorov-Smirnov testa za kriterije

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Jednostavnost implementacije	Jednostavnost korištenja	Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,13	4,07	4,44
	Std. Deviation	,748	,763	,536
Most Extreme Differences	Absolute	,229	,213	,336
	Positive	,218	,211	,336
	Negative	-,229	-,213	-,310
Test Statistic		,229	,213	,336
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Otpornost
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,67	4,61	3,79
	Std. Deviation	,474	,490	,716
Most Extreme Differences	Absolute	,426	,397	,291
	Positive	,254	,284	,242
	Negative	-,426	-,397	-,291
Test Statistic		,426	,397	,291
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Spremnost IT odjela	Regulativa i legislativa	Institucijska potpora	Utjecaj na održivost
N		105	105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	4,16	4,35	3,78	3,49
	Std. Deviation	,748	,519	1,028	,991
Most Extreme Differences	Absolute	,240	,380	,251	,269
	Positive	,214	,380	,168	,178
	Negative	-,240	-,266	-,251	-,269
Test Statistic		,240	,380	,251	,269
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]	,000[c]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Tehnologija koju koristi konkurencija	Sigurnost	IT infrastruktura
N		105	105	105
Normal Parameters[a,b]	Mean	3,21	3,46	3,48
	Std. Deviation	,863	,910	,681
Most Extreme Differences	Absolute	,258	,325	,322
	Positive	,177	,209	,215
	Negative	-,258	-,325	-,322
Test Statistic		,258	,325	,322
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000[c]	,000[c]	,000[c]

Privitak 19. Deskriptivna statistička analiza kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* – medijan i interkvartilni raspon

Statistics

		Jednostavnost implementacije	Jednostavnost korištenja	Digitalne vještine menadžmenta i zasposlenih	Financijski resursi za implementaciju
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	7	7	7	7
Mean		4,13	4,07	4,44	4,67
Median		4,00	4,00	4,00	5,00
Percentiles	25	4,00	3,00	4,00	4,00
	50	4,00	4,00	4,00	5,00
	75	5,00	5,00	5,00	5,00

Statistics

		Troškovi održavanja	Otpornost	Spremnost IT odjela	Regulativa i legislativa	Institucijska potpora
N	Valid	105	105	105	105	105
	Missing	7	7	7	7	7
Mean		4,61	3,79	4,16	4,35	3,78
Median		5,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Percentiles	25	4,00	3,00	4,00	4,00	3,00
	50	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	75	5,00	4,00	5,00	5,00	4,50

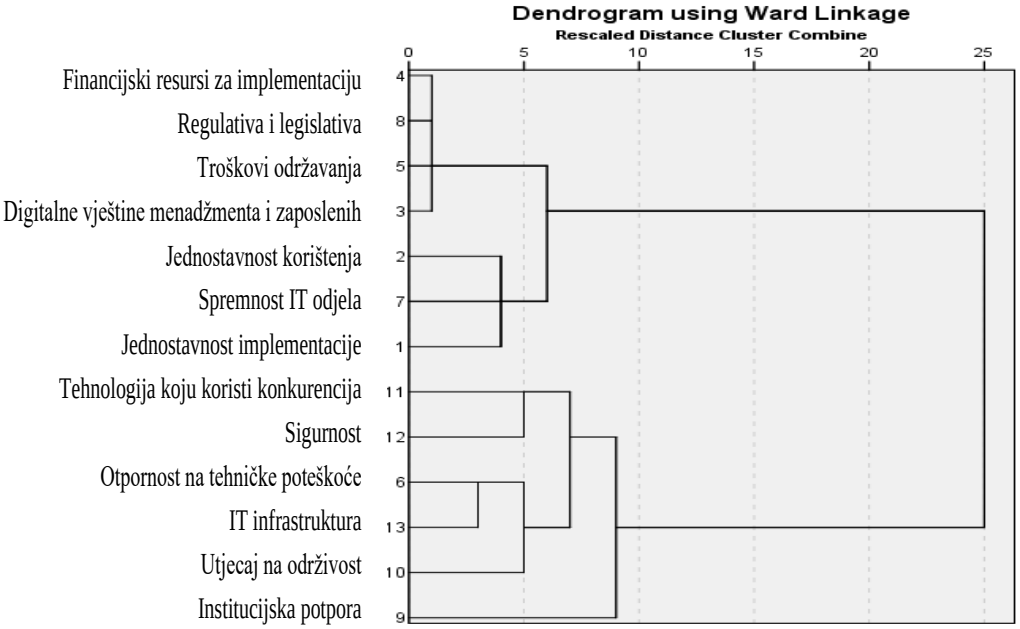
Statistics

		Utjecaj na održivost	Tehnologija koju koristi konkurencija	Sigurnost	IT infrastruktura
N	Valid	105	105	105	105
	Missing	7	7	7	7
Mean		3,49	3,21	3,46	3,48
Median		4,00	3,00	4,00	4,00
Percentiles	25	3,00	2,00	3,00	3,00
	50	4,00	3,00	4,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00

Privitak 20. Plan aglomeracije kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

	Cluster Combined			Stage Cluster First Appears		
Stage	Cluster 1	Cluster 2	Coefficients	Cluster 1	Cluster 2	Next Stage
1	4	8	18,500	0	0	2
2	4	5	43,333	1	0	3
3	3	4	72,250	0	2	9
4	6	13	123,750	0	0	8
5	2	7	179,750	0	0	6
6	1	2	241,750	0	5	9
7	11	12	311,750	0	0	10
8	6	10	383,583	4	0	10
9	1	3	462,476	6	3	12
10	6	11	557,543	8	7	11
11	6	9	677,143	10	0	12
12	1	6	990,462	9	11	0

Privitak 21. Dendrogram procesa klasteriranja kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*



Privitak 22. Klasteriranje kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke*

Cluster Membership

Case	6 Clusters
Jednostavnost implementacije	1
Jednostavnost korištenja	1
Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih	2
Financijski resursi za implementaciju	2
Troškovi održavanja	2
Otpornost	3
Spremnost IT odjela	1
Regulativa i legislativa	2
Institucijska potpora	4
Utjecaj na održivost	5
Tehnologija koju koristi konkurencija	6
Sigurnost	6
IT infrastruktura	3

Privitak 23. Anketni upitnik za evaluaciju scenarija tranzicije teretne morske luke u *pametnu luku*

Poštovani/a,

U okviru doktorskog rada *Model tranzicije teretnih morskih luka u pametne luke* pod mentorstvom prof. dr. sc. Edvarda Tijana i komentorstvom izv. prof. dr. sc. Saše Aksentijevića, provodim istraživanje o scenarijima tranzicije teretnih morskih luka u *pametne luke* te je potrebno scenarije evaluirati na konkretnom primjeru luke.

Scenariji tranzicije u *pametnu luku* su sljedeći:

- **Scenarij *Digitalno liderstvo u teretnim poslovnim procesima***: luke koje primjenom digitalnih tehnologija žele primarno digitalizirati odnosno automatizirati aktivnosti povezane s teretom.
- **Scenarij *Digitalno liderstvo u administrativnim poslovnim procesima***: luke koje primjenom digitalnih tehnologija žele primarno digitalizirati odnos automatizirati administrativne aktivnosti u lukama.
- **Scenarij *Digitalno liderstvo u internim poslovnim procesima***: luke koje primjenom digitalnih tehnologija žele primarno digitalizirati odnosno automatizirati poslovne procese u lukama.

Scenariji se sastoje od digitalnih tehnologija, a prikazani su na shemi na zadnjoj stranici.

Scenariji se evaluiraju prema **4 kriterija**: ***Financijski resursi za implementaciju, Trošak održavanja, Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih, Regulativa i legislativa***.

S obzirom na Vaše ekspertno znanje i poznavanje digitalnih tehnologija koje se primjenjuju u luci Rijeka, molila bi Vas da evaluirate kriterije i predložene scenarije, a kako bi se izabrao najbolji preferirani scenarij. Evaluacija se temelji na primjeni AHP metode.

Pitanja za evaluaciju kriterija i scenarija:

Uputa: primjenjuje se Saatyeva skala od 1-9 odnosno od 1-1/9. Odaberite jednu ocjenu na skali.

Intenzitet važnosti	Definicija	Opis
1	Jednako važan	Dva scenarija podjednako su važni
3	Umjereno važniji	Mala prednost daje se jednom scenariju
5	Važniji	Veća prednost daje se jednom scenariju
7	Znatno važniji	Jedan se scenarij favorizira u odnosu na drugi scenarij
9	Ekstremno važniji	Jedan scenarij ima najveću moguću važnost u odnosu na drugi scenarij
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti	Kompromisni opis važnosti među scenarijima, u odnosu na definirani intenzitet važnosti

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 2?

Kriterij *Financijski resursi za implementaciju*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Financijski resursi za implementaciju*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 2 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Financijski resursi za implementaciju*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 2?

Kriterij *Troškovi održavanja*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Troškovi održavanja*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 2 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Troškovi održavanja*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 2?

Kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 2 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 2?

Kriterij *Regulativa i legislativa*

Ekstremno nevažno								Jednako važno								Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 1 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Regulativa i legislativa*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je scenarij 2 važan u odnosu na scenarij 3?

Kriterij *Regulativa i legislativa*

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	½	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Financijski resursi za implementaciju* važan u odnosu na kriterij *Troškovi održavanja*? Označite ocjenu.

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Financijski resursi za implementaciju* važan u odnosu na kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*? Označite ocjenu.

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Financijski resursi za implementaciju* važan u odnosu na kriterij *Regulativa i legislativa*? Označite ocjenu.

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Troškovi održavanja* važan u odnosu na kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*? Označite ocjenu.

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Troškovi održavanja* važan u odnosu na kriterij *Regulativa i legislativa*? Označite ocjenu

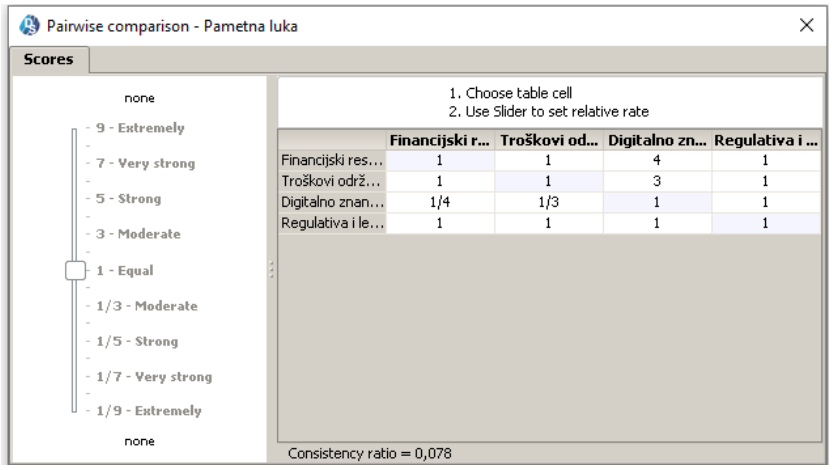
Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

Koliko Vam je kriterij *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih* važan u odnosu na kriterij *Regulativa i legislativa*? Označite ocjenu.

Ekstremno nevažno								Jednako važno									Ekstremno Važno
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4		5	6	7	8	9

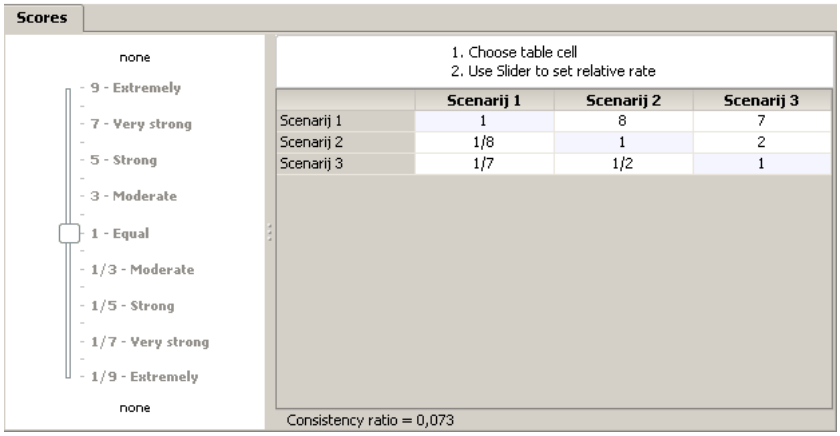
Privitak 24. Rezultati evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* primjenom AHP metode – rezultati obrade primjenom DecernsMCDA i AHP123 računalnih programa

Odnos pariteta grupe kriterija – usporedba međusobne važnosti kriterija za evaluaciju scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*



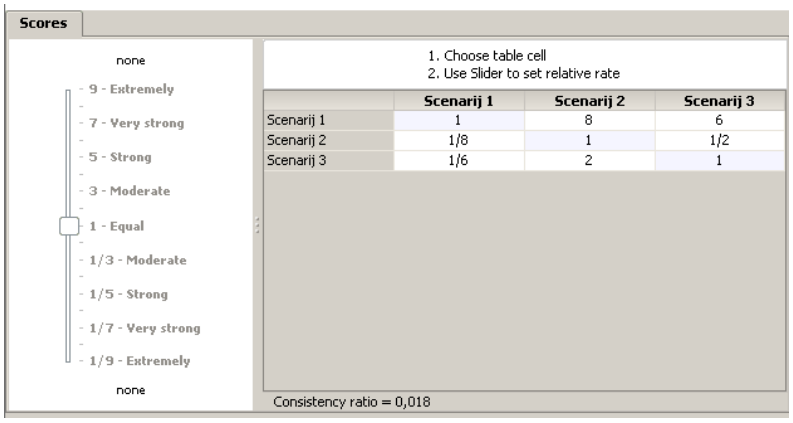
	Financijski r...	Troškovi od...	Digitalno zn...	Regulativa i ...
Financijski res...	1	1	4	1
Troškovi održ...	1	1	3	1
Digitalno znan...	1/4	1/3	1	1
Regulativa i le...	1	1	1	1

Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Financijski resursi za implementaciju*



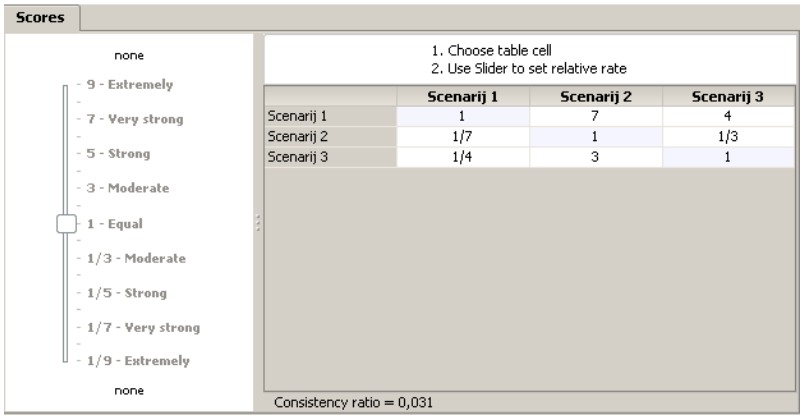
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Scenarij 1	1	8	7
Scenarij 2	1/8	1	2
Scenarij 3	1/7	1/2	1

Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Troškovi održavanja*



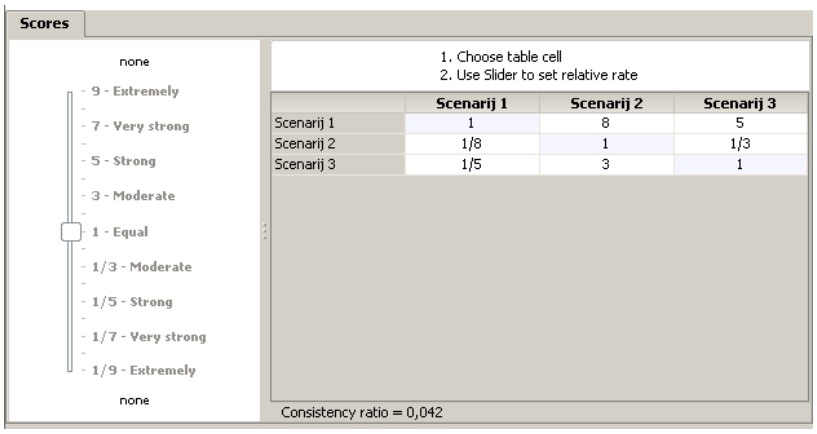
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Scenarij 1	1	8	6
Scenarij 2	1/8	1	1/2
Scenarij 3	1/6	2	1

Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*



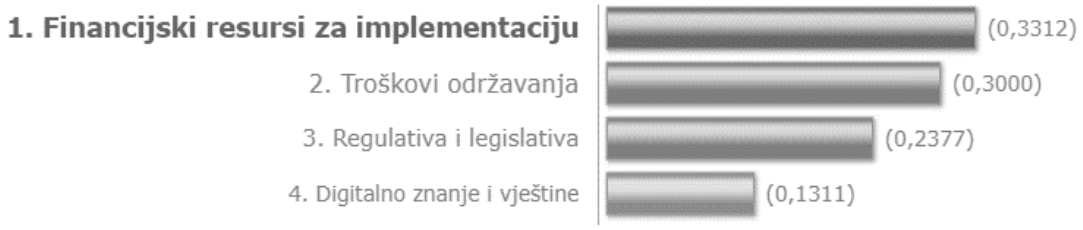
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Scenarij 1	1	7	4
Scenarij 2	1/7	1	1/3
Scenarij 3	1/4	3	1

Odnos pariteta scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* unutar kriterija *Regulativa i legislativa*



	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Scenarij 1	1	8	5
Scenarij 2	1/8	1	1/3
Scenarij 3	1/5	3	1

Važnost kriterija – AHP evaluacija



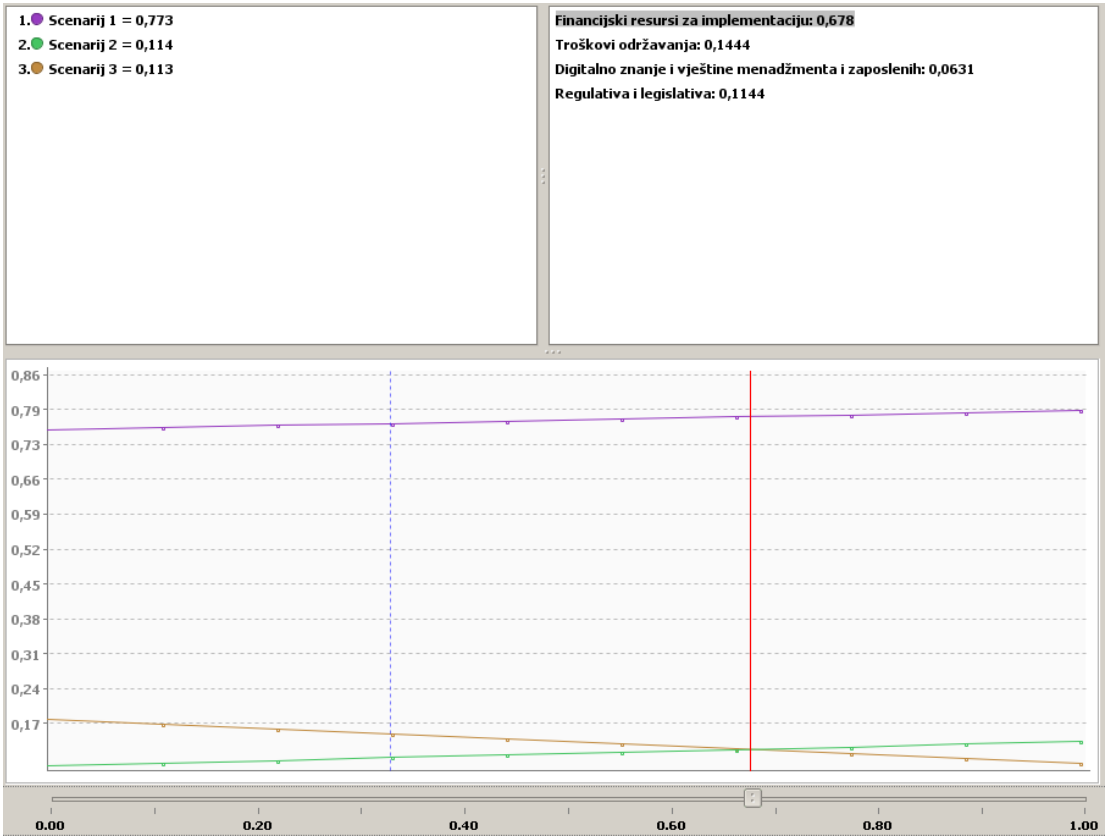
Odnos kriterija i pojedinih scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku* - zastupljenost pojedinog scenarija unutar pojedinog kriterija

Odnosi kriterija	Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Digitalno znanje i vještine	Regulativa i legislativa
Scenarij 1	0,7855	0,7692	0,7049	0,7418
Scenarij 2	0,1293	0,0840	0,0841	0,0752
Scenarij 3	0,0852	0,1468	0,2109	0,1830

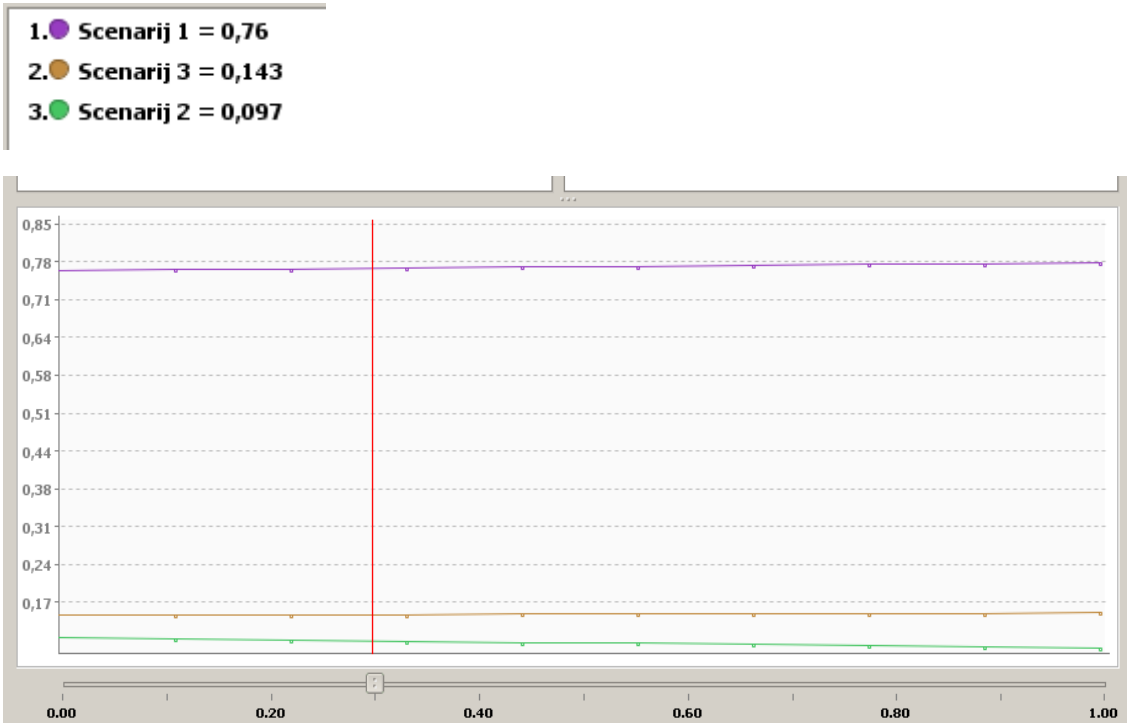
Težinske vrijednosti AHP faktora i njihov utjecaj na scenarije tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*

Struktura alternativa	Financijski resursi za implementaciju	Troškovi održavanja	Digitalno znanje i vještine	Regulativa i legislativa	Rezultat
Scenarij 1	0,2602	0,2308	0,0924	0,1763	**0,7597**
Scenarij 2	0,0428	0,0252	0,0110	0,0179	**0,0969**
Scenarij 3	0,0282	0,0440	0,0276	0,0435	**0,1434**

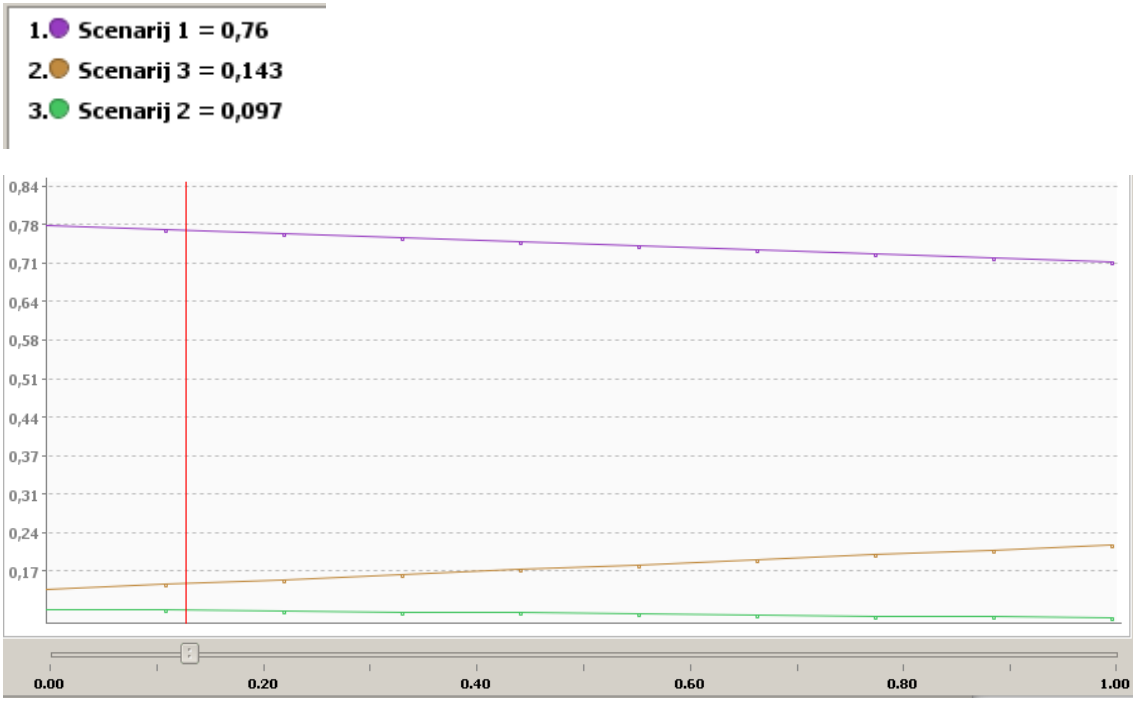
Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Financijski resursi za implementaciju*



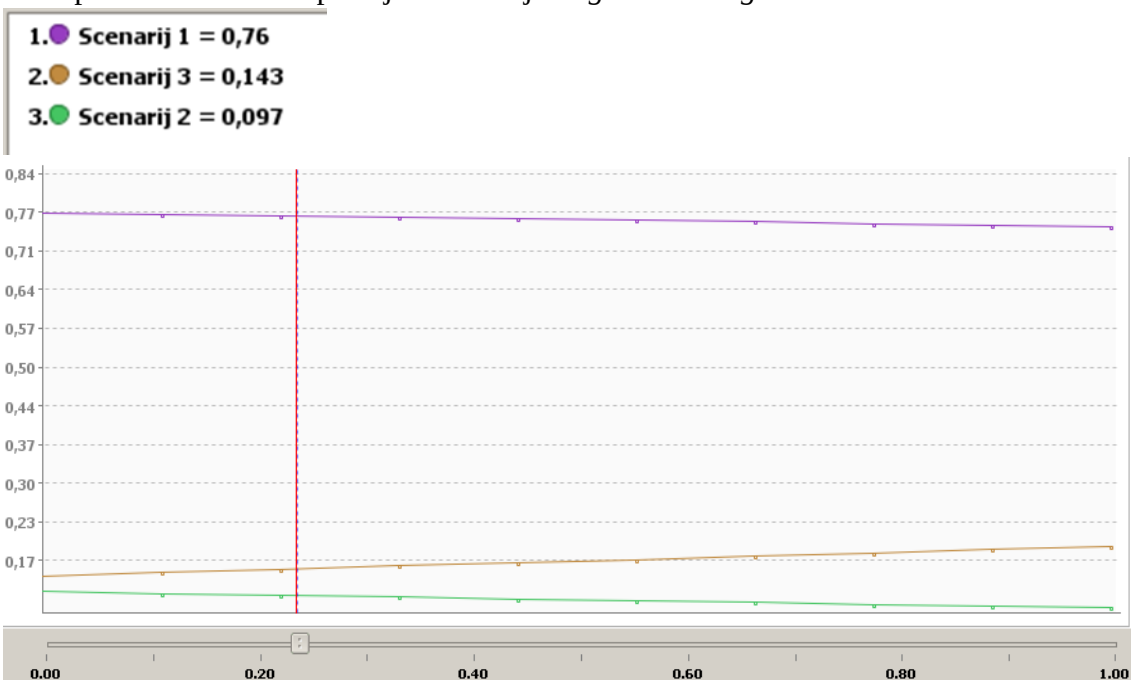
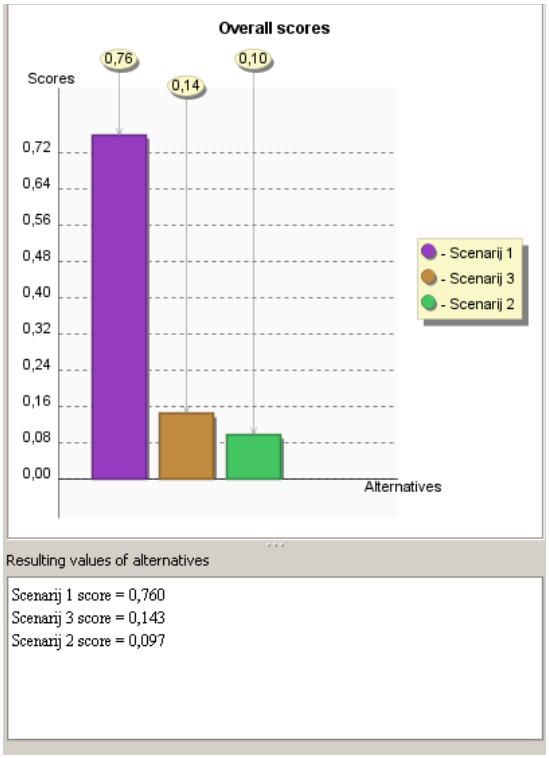
Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Troškovi održavanja*



Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Digitalne vještine menadžmenta i zaposlenih*



Postoptimalna analiza – promjene kriterija *Regulativa i legislativa*



Ukupan rezultat evaluacije scenarija tranzicije luke Rijeka u *pametnu luku*