

Autonomni brodovi i vozila na lučkim terminalima

Matas, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:440542>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET

ANTE MATAS

**AUTONOMNI BRODOVI I VOZILA NA
LUČKIM TERMINALIMA**

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

**AUTONOMNI BRODOVI I VOZILA NA
LUČKIM TERMINALIMA**

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

Dr. sc. Igor Vujović, izv. prof.

STUDENT:

Ante Matas (MB: 0171267331)

SPLIT, 2020.

SAŽETAK

Nekoliko je projekata autonomnih brodova završeno i započeto i svi se slažu oko istog, a to je da je tehnologija potrebna za autonomnu navigaciju broda dostupna. Ipak, pretvaranje ove tehnologije u stvarne sustave i algoritme i dalje zahtijeva značajan razvoj. Da bi se omogućio takav razvoj pomorska industrija treba nadići svoju konzervativnu prirodu sporog prilagođavanja na promjene. Kada govorimo o autonomnim vozilima na lučkim terminalima najčešće govorimo o kontejnerskim terminalima. Kontejnerski terminali se sastoje od skladišnog prostora, prostora za prekrcaj brodova i prostora za horizontalni transport. Dizalice za slaganje kontejnera u skladišnom prostoru kao i horizontalni transport su dosegli visoke razine autonomije dok se obalne dizalice zadužene za prekrcaj brodova još uvijek razvijaju.

Ključne riječi: *autonomija, autonomni brodovi, automatizirana vozila, terminal*

ABSTRACT

Several projects on autonomous ships have been completed and started and they all agree on the same and that is that the technology needed for autonomous navigation of ships is available. However, turning this technology into real systems and algorithms still requires significant development. To enable such development, the maritime industry must overcome its conservative nature of slow adaptation to change. When we talk about autonomous vehicles at port facilities, we usually talk about container terminals. Container terminals consist of a storage space, a space for transshipment of ships and a space for horizontal transport. Stacking cranes used in storage spaces and horizontal transport have reached high levels of autonomy while quay cranes used for transshipment of ships are still being developed.

Key words: *autonomy, autonomous ships, automated vehicles, terminal*

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ AUTONOMNIH BRODOVA.....	3
2.1. MUNIN.....	4
2.2. ROLLS ROYCE.....	4
2.2.1. AAWA inicijativa.....	5
2.2.2. SVAN projekt.....	5
2.3. KONGSBERG MARITIME.....	6
2.3.1. Hrönn.....	6
2.3.2. Yara Birkeland.....	6
3. REGULACIJA AUTONOMNIH BRODOVA.....	8
4. AUTONOMNI NAVIGACIJSKI SUSTAV.....	11
5. AUTONOMNA NAVIGACIJA BRODA.....	13
6. TEHNOLOGIJE ZA OSJEĆANJE OKOLINE.....	15
6.1. KAMERE.....	15
6.2. RADAR.....	16
6.3. LIDAR.....	17
6.4. OBRADA I SPAJANJE SENZORSKIH PODATAKA.....	18
7. KOMUNIKACIJA AUTONOMNIH BRODOVA.....	20
7.1. PLANIRANJE PUTOVANJA S OBZIROM NA KOMUNIKACIJSKE MOGUĆNOSTI.....	20
7.2. SATELITSKE KOMUNIKACIJE.....	21
7.2.1. Inmarsat.....	21
7.2.2. Iridium.....	22
7.2.3. VSAT.....	23
7.3. ZEMALJSKE KOMUNIKACIJE.....	24
7.3.1. VHF radio.....	24

7.3.2. MF/HF radio.....	24
7.3.3. 4G i 5G mreže	24
7.3.4. WiFi i IEEE 802.11p.....	25
7.3.5. AUTOMATSKI IDENTIFIKACIJSKI SUSTAV (AIS)	26
7.4. PRIMJENA KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA NA RAZLIČITA PODRUČJA.....	26
7.4.1. Komunikacija u obalnim područjima.....	27
7.4.2. Komunikacija u lučkim područjima.....	27
7.4.3. Komunikacija u dubokooceanskim područjima.....	28
7.4.4. Komunikacija u arktičkim područjima.....	28
8. AUTONOMNA VOZILA NA LUČKIM TERMINALIMA	29
8.1. AUTOMATIZIRANI HORIZONTALNI TRANSPORT	30
8.1.1. Kopneni transport.....	30
8.1.2. Obalni transport.....	31
8.2. AUTOMATIZIRANE DIZALICE ZA SLAGANJE KONTEJNERA (ASC)	33
8.3. AUTOMATIZIRANE OBALNE DIZALICE (AQC).....	36
8.4. OPERACIJSKI SUSTAV AUTOMATIZIRANOG TERMINALA	38
8.5. POSLOVANJE I PROJEKTIRANJE AUTOMATIZIRANOG TERMINALA	39
8.6. ODRŽAVANJE AUTOMATIZIRANOG TERMINALA	40
9. ZAKLJUČAK.....	42
LITERATURA	44
POPIS TABLICA.....	47
POPIS ILUSTRACIJA.....	48
POPIS KRATICA.....	49

1. UVOD

Zbog znatnog napretka u tehnologijama za autonomna vozila u drugim industrijama, pomorska industrija je također počela istraživati potencijal autonomije na brodovima i lučkim terminalima.

Autonomni brodovi otvaraju uzbudljive mogućnosti za pomorsku industriju. Uklanjanjem posade s broda, također su uklonjena i mnoga ograničenja konvencionalnih brodova. Njihovo uklanjanje pojednostavnit će cijeli brod, što će poboljšati pouzdanost i produktivnost uz manje troškove. Međutim, uz to dolaze i brojni novi izazovi kao pravilno implementiranje postojeće tehnologije za detektiranje prepreka, pouzdana komunikacija te razne pravne i regulatorne prepreke.

Autonomna vozila na lučkim terminalima su već široko u upotrebi, primarno na kontejnerskim terminalima. Implementacijom autonomije i automatizacije na ovim terminalima, poboljšani su gotovo svi aspekti terminala od sigurnosti do produktivnosti. U svrhu ovog rada pod autonomijom se misli na sustav koji samostalno može donositi odluke i postupati u skladu istih, dok se pod automatizacijom misli na praćenje unaprijed definiranih zadataka. Treba napomenuti da automatizirani strojevi mogu imati male razine autonomije za određene zadatke. U ovom radu deskriptivne naravi fokus će biti na tehnološkoj strani autonomnih brodova i vozila na lučkim terminalima.

Cilj ovoga rada je analiza mogućih tehnoloških rješenja za autonomne brodove i opisivanje autonomnih operacija broda u raznim scenarijima te analiza postojećih autonomnih sustava na kontejnerskim terminalima.

Ovaj rad je podijeljen u 9 poglavlja.

Prvo poglavlje donosi kratak uvod u rad i opisuje tematiku svakog pojedinog poglavlja.

Drugo poglavlje opisuje razvoj i važne projekte autonomnih brodova te ulogu određenih kompanija kao Rolls Royce i Kongsberg maritime u razvoju autonomije na brodovima.

Treće poglavlje se odnosi na pravnu regulativu autonomnih brodova, točnije na sjednice MSC-a od uvođenja autonomnih brodova na dnevni red do danas.

U četvrtom poglavlju je prikazan autonomni navigacijski sustav opisan od strane AAWA inicijative i pojedine komponente sustava.

Peto poglavlje opisuje autonomnu navigaciju broda od isplovljenja do krajnjeg odredišta te ulogu i razine uključenosti operatera obalnog kontrolnog centra u pojedinim dijelovima putovanja.

Šesto poglavlje opisuje tehnologije za osjećanje okoline koje bi se mogle koristiti za detektiranje prepreka i stvaranje digitalne slike okoline te zahtjeve i izazove glede obrade i spajanja senzorskih podataka.

Sedmo poglavlje opisuje moguće komunikacijske tehnologije na autonomnim brodovima i problematiku koja nastaje plovidbom u različitim područjima.

Osmo poglavlje detaljno opisuje autonomne tehnologije koje se koriste na lučkim točnije kontejnerskim terminalima. U potpoglavljima su opisani različiti dijelovi autonomnog kontejnerskog terminala kao horizontalni transport, dizalice za slaganje kontejnera u skladišnom prostoru i obalne dizalice za prekrcaj brodova.

Deveto poglavlje daje osvrt na cijeli rad i objedinjuje ukupnu tematiku rada.

2. RAZVOJ AUTONOMNIH BRODOVA

S obzirom na razvoj tehnologije u drugim industrijama, pomorska industrija je također počela istraživati potencijal autonomije na brodovima. Nekoliko je projekata završeno i započeto i svi se slažu oko istog a to je da je tehnologija potrebna za autonomnu navigaciju broda dostupna. Ipak, pretvaranje ove tehnologije u stvarne sustave i algoritme i dalje zahtijeva značajan razvoj.

U 2007. godini, skupina europskih dioničarskih društava poznata kao Waterborne TP je objavila istraživanje o razvoju pomorske industrije u budućnosti. Jedan dio istraživanja se odnosio na razvoj autonomnih brodova. Waterborn TP je tada definirao autonomni brod kao brod opremljen modularnim upravljačkim sustavima i komunikacijskim tehnologijama te naprednim sustavima za odlučivanje koji omogućuje udaljeno nadgledanje i upravljanje. [3]

Ova definicija je bila početna točka projekta Pomorska navigacija bez posade kroz inteligenciju u mrežama (engl. *Maritime unmanned navigation through intelligence in networks* - MUNIN) započetog u 2012. Detalji projekta su opisani u sljedećem poglavlju. [30]

U istoj godini nastaju dvije slične inicijative. Prva je projekt od strane Kineske administracije za pomorsku sigurnost (engl. *China's Maritime Safety Administration*) zvan Višenamjenski projekt za istraživanje i razvoj brodova bez posade (engl. *Unmanned Multifunctional Maritime Ships Research and Development Project*). Druga je koncept autonomnog broda ReVolt od strane klasifikacijskog društva DNV GL. ReVolt je zamišljen kao teretni brod bez posade i bez emisija štetnih plinova. Međutim ReVolt je planiran samo kao inspiracija bez namjere da se izgradi. [3]

Nekoliko godina kasnije britanska kompanija Rolls Royce, a kasnije i norveška kompanija Kongsberg Maritime, pokazuju veliki interes za razvoj autonomnih brodova što je i opisano u nastavku rada.

Postoji puno projekata i koncepata na temu autonomnih brodova, međutim nabranje i opisivanje svih je izvan opsega ovoga rada, stoga u sljedećih nekoliko poglavlja su kronološki opisani jedni od najvećih i najvažnijih.

2.1. MUNIN

Jedan od prvih značajnijih projekata na temu autonomnih brodova je projekt MUNIN koji je započet u 2012. godini i završen u 2015. Financiran je od strane Europske komisije s ciljem istraživanja tehničke, ekonomske i legalne izvedivosti brodova bez posade. Glavne karakteristike ovog projekta su bile integriranje mogućnosti da brod bude potpuno autonoman ali i da ima sustav koji omogućuje nadgledanje i upravljanje sa kopna, minimiziranje rizika od sudara, poštivanje odredbi konvencije za Međunarodna pravila za izbjegavanje sudara na moru (engl. *The International Regulations for preventing Collision at sea – COLREG*) i mogućnost da sigurnosni i operativni senzori mogu aktivno tražiti objekte u blizini. Uz to projekt je također imao za cilj razviti pojedinačne dijelove autonomnog broda na način da se mogu implementirati u postojeće brodove i tako poboljšati njihove tehničke i navigacijske performanse. [2]

Koncept ispitan od strane projekta MUNIN je brod za prijevoz rasutog tereta u međunarodnoj plovidbi. Razlog za to je što brodovi za prijevoz rasutog tereta najčešće prevoze teret od jedne iste točke do druge što rezultira dugim, neprekidnim putovanjima na otvorenom moru za razliku od, na primjer kontejnerskih brodova koji imaju puno luka ticanja. Ovo je bila važna karakteristika za ovaj projekt jer MUNIN predviđa autonomiju samo tijekom plovidbe na otvorenom moru a ne i u kanalima, lukama i područjima s gustim prometom te predviđa da će takve operacije i dalje izvršavati posada na brodu. [23]

Na temelju razvijenog koncepta autonomnog broda za prijevoz rasutih tereta, projekt je pokazao da su u većini slučajeva operacijski troškovi znatno smanjeni kao i utjecaj na okoliš. Razlog su smanjena potrošnja goriva, uklanjanje posade i prostora za posadu (više prostora za teret) i mogućnost efektivnijeg dizajna broda. MUNIN je u svojim analizama zaključio da se rizik od sudara i ostalih nesreća na moru može smanjiti i do deset puta s obzirom da većina nesreća dolazi od ljudske greške i umora ali i ukazao na opasnosti od piratstva i cyber napada te potencijalne regulatorne prepreke. [23]

2.2. ROLLS ROYCE

Rolls Royce je britanska multinacionalna kompanija koja je drugi najveći proizvođač motora za avione u svijetu. Osim toga, velik dio poslovanja kompanije odnosi se na pomorski, automobilski i energetske sektor. [31]

2.2.1. AAWA inicijativa

Rolls Royce je 2015. godine započeo Inicijativu napredne autonomne primjene na plovila (engl. *The Advanced Autonomous Waterborne Applications - AAWA*). AAWA je projekt vrijedan 6.6 milijuna eura, financiran od strane Tekes agencije (finska agencija za financiranje tehnologija i inovacija) namijenjen izradi preliminarnih specifikacija i dizajna za sljedeću generaciju naprednih brodskih rješenja. Projekt je udružio razna sveučilišta, brodograditelje, proizvođače pomorske opreme, klasifikacijska društva s ciljem istraživanja ekonomskih, legalnih, socijalnih i tehnoloških faktora s kojima se pomorska industrija treba suočiti da bi autonomni brodovi postali stvarnost. Projekt je završen u 2017. godini. [15]

U svojim zaključcima AAWA navodi da je za prelazak na autonomne brodove potrebno više od samih tehnoloških inovacija te da su autonomni brodovi mogući sa tehnološke perspektive. Veći je problem regulatorna i legalna prilagodba. Potrebna je suradnja različitih aktera iz različitih područja kao na primjer osiguravatelji, klasifikacijska društva, brodovlasnici, brodogradilišta itd. Također AAWA smatra da pomorska industrija da bi napredovala od novih tehnologija i inovacija treba prevladati svoju konzervativnu prirodu i prihvatiti nova rješenja. [15]

Kao i MUNIN, AAWA inicijativa je iznijela detaljne rezultate svojih istraživanja na kojima se temelji autonomni navigacijski sustav opisan u poglavlju broj 4 ovoga rada.

2.2.2. SVAN projekt

U svibnju 2018. godine Rolls Royce nastavlja svoju inicijativu te se zajedno sa finskim trajektnim operaterom Finferries udružuje u projekt Sigurniji brod sa autonomnom navigacijom (engl. *Safer Vessel with Autonomous Navigation – SVAN*). SVAN je u prosincu 2018. godine demonstrirao putovanje trajekta Falco na postojećoj ruti između mjesta Parainen i Nauvo, južno od arhipelaga Turku u Finskoj. Falco je trajekt sa kapacitetom od 54 vozila, dužinom 53,8 metara i širinom 12,3 metara. Na brodu su postavljeni razni senzori za stvaranje digitalne slike okoline broda kao i klasični navigacijski senzori. [16]

Putovanje prema mjestu Nauvo je odrađeno u autonomnom modu bez ljudske intervencije. Trajekt se sam odvojio od kopna u Parainenu i na putu do odredišta izbjegao 3 različite prepreke u svrhu izbjegavanja sudara te se sam pozicionirao na vez u Nauvo-u bez potrebe za priveznim konopima. Na povratku, trajekt je upravljan od obalne kontrolne stanice koja se nalazi u uredima Finferries kompanije koji su udaljeni 45 kilometara od

broda. Kapetan koji se nalazio u uredu je imao potpunu kontrolu nad trajektom. Ispred njega su bili pozicionirani zakrivljeni ekrani koji su prikazivali stvarnu situaciju i kontrole koje su bile povezane sa onima na brodu. [16]

Glavni upravljački sustav na brodu je bio u obliku malog kontejnera rađenog po mjeri koji je u sebi sadržavao svu potrebnu tehnologiju za autonomno i daljinsko upravljanje na koji se priključuju postojeće upravljačke funkcije trajekta i postavljeni senzori. To je omogućilo lakše integriranje bez puno preinaka na samom mostu. [25]

Nažalost SVAN kao i većina drugih nije dao puno informacija o tehnološkim detaljima projekta u javnost.

Valja napomenuti da je u travnju 2019. godine Rolls-Royce Commercial kupljen od strane norveške kompanije Kongsberg Maritime te su sada u potpunosti integrirani, tako da se projekti autonomnih brodova ovih kompanija provode pod novim organizacijskim okvirom. [1]

2.3. KONGSBERG MARITIME

Kongsberg Maritime je norveška kompanija koja se bavi raznim pomorskim djelatnostima i trenutno jedna od vodećih kompanija na svijetu za razvoj autonomnih brodova. [27]

2.3.1. Hrönn

Kongsberg je u partnerstvu sa britanskom kompanijom Automated Ships Ltd u siječnju 2017. godine sklopio ugovor o izgradnji broda Hrönn u Norveškoj. Hrönn je autonomni brod za odobalne operacije koji služi za energetske, znanstvene, hidrografsku i ribogojilišnu industriju. Njegova namjena je, između ostalog, istraživanje, lansiranje i prikupljanje vozila na daljinsko upravljanje (engl. *Remotely Operated Vehicle* - ROV) i autonomnih podvodnih vozila (engl. *Autonomous Underwater Vehicle* - AUV), intermodalni prijevoz laganog tereta i opskrba odobalnih postrojenja. Hrönn je zamišljen da u početku djeluje i funkcionira kao brod na daljinsko upravljanje te postupno prijeđe na potpuno autonoman način plovidbe nakon što se razviju kontrolni algoritmi tijekom plovidbe na daljinsko upravljanje. [26]

2.3.2. Yara Birkeland

Kongsberg je također 2017. godine u partnerstvu sa norveškom kompanijom za kemiju i zaštitu okoliša Yara započeo projekt izgradnje prvog potpuno električnog

kontejnerskog autonomnog broda Yara Birkeland. Ovaj projekt je jedan od najvećih i vjerojatno najznačajniji za razvoj autonomnih brodova do sada. Projekt je započet kao brod sa posadom s planom da do 2019. godine dosegne razinu daljinskog upravljanja a do 2020. godine potpunu autonomiju. [28]

Zbog nedostatka pravne regulacije autonomnih brodova od strane IMO-a planirano je da se testovi izvode u norveškim nacionalnim vodama, točnije u južnom dijelu Norveške, u području blizu gradova Porsgunn i Larvik. Navedeno područje ima uske kanale i složeni obalni arhipelag te je industrijsko područje u kojem postoji velika količina prometa. Velik dio prometa se sastoji od brodova za prijevoz ukapljenog plina i brodova za prijevoz opasnog tereta. Ljeti također ima malih brodica za zabavu i kajaka što čini autonomnu navigaciju u takvom području ogromnim izazovom. [4]

Brod je prvi put porinut u Rumunjskoj u veljači 2020. godine i očekivalo se da će stići do norveškog brodogradilišta u ožujku gdje će mu biti instalirani napredni senzori i računala za autonomnu kontrolu i navigaciju. Zbog pandemije korona virusa i pratećih promjena u globalnoj industriji, odlučeno je da se projekt pauzira dok se ne razmotre sljedeći koraci. Na slici ispod vidimo prvo porinuće broda Yara Birkeland. [29]



Slika 1: Prva plovidba autonomnog broda Yara Birkeland [29]

3. REGULACIJA AUTONOMNIH BRODOVA

Međunarodna pomorska organizacija (engl. *International Maritime Organization - IMO*) je u lipnju, 2017. godine, na 98. sjednici odbora za pomorsku sigurnost (engl. *Maritime Safety Committee - MSC*) prihvatila preporuke raznih zemalja članica te pristala uvesti pitanje pomorskih autonomnih brodova (engl. *Maritime Autonomous Surface Ships - MASS*) na dnevni red. MSC je prepoznao da bi IMO trebao preuzeti vodeću ulogu kod uvođenja autonomnih brodova uzevši u obzir jako brzi napredak tehnologije kod komercijalnih autonomnih brodova. Odbor je dao upute i okvire za regulatorna istraživanja. Pod regulatornim istraživanjem misli se na prikupljanje i detaljnu analizu postojećih i potrebnih propisa i regulatornih alata u svrhu integriranja sigurnih i ekološki prihvatljivih operacijskih standarda autonomnih brodova u postojeće IMO instrumente kao što su Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (engl. *The International Convention for the Safety of Life at Sea - SOLAS*), Međunarodna konvencija o standardima izobrazbe, izdavanju svjedodžbi i držanju straže pomoraca (engl. *The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers - STCW*), COLREG i slično. Ovakva istraživanja se smatraju kao početna točka, te se očekuje da će regulacija autonomnih brodova dotaknuti gotovo sve aspekte pomorstva, uključujući ljudske element, sigurnost, odgovornosti i naknadu štete, interakciju s lukama, pilotažu, odgovore na pomorske nesreće, zaštitu okoliša te mnoge druge. [10]

Na 99. sjednici MSC-a, u svibnju 2018. godine, odbor je potvrdio okvire i upute za regulatorna istraživanja uključujući preliminarne definicije MASS-a, razine autonomije i metodologiju za provođenje regulatornih istraživanja. U svrhu regulatornih istraživanja autonomni brodovi su definirani kao brodovi koji u određenoj mjeri mogu djelovati neovisno o ljudskoj interakciji. Da bi se olakšala regulatorna istraživanja razine autonomije su organizirane na sljedeći način (treba uzeti u obzir da MASS može djelovati na jednoj ili više razina autonomije tijekom trajanja jednog putovanja) [19]:

1. Brod s automatiziranim procesima i podrškom za donošenje odluka – Posada je na brodu i upravlja i kontrolira brodske sustave i funkcije. Neke operacije mogu biti automatizirane.
2. Brod upravljani na daljinu sa posadom na brodu – Brod se kontrolira i upravlja sa neke druge udaljene lokacije, posada je na brodu.

3. Brod upravlján na daljinu bez posade na brodu – Brod se kontrolira i upravlja sa neke druge udaljene lokacije bez posade na brodu.
4. Potpuno autonomni brod – Operativni sustav broda može sam donositi odluke i odrediti postupke koje treba poduzeti.

U predstavljenoj okvirnoj metodologiji regulatornih istraživanja kao prvi korak istraživanja potrebno je utvrditi trenutne odredbe određenih IMO instrumenata i procijeniti na koji se način mogu primijeniti na brodove s različitim razinama autonomije i da li su operacije takvih brodova uopće dozvoljene s obzirom na postojeće propise. Kao drugi korak treba se provesti analiza kako bi se utvrdio najprikladniji način rješavanja regulatornih problema autonomnih brodova, uzevši u obzir ljudski element, odgovornost i tehnologiju. Odbor je nadalje pozvao sve zainteresirane države članice i međunarodne organizacije da na sljedećoj, 100. sjednici MSC-a, podnesu prijedloge za izradu privremenih smjernica za buduće pokusne vožnje autonomnih brodova. [19]

Na 100. sjednici MSC-a, u prosincu 2018. godine, nastavljen je proces analize kako se IMO instrumenti mogu primijeniti na brodove s različitim razinama autonomije. Nakon testiranja zaduženih grupa dopunjena je i potvrđena predstavljena okvirna metodologija za regulatorna istraživanja MASS-a. U prvom koraku se za svaki instrument IMO-a koji se odnosi na pomorsku sigurnost i za svaku razinu autonomije moraju utvrditi i razvrstati odredbe na sljedeći način: [20]

- odredbe koje se primjenjuju na MASS i sprječavaju djelovanje MASS-a,
- odredbe koje se primjenjuju na MASS i ne sprječavaju djelovanje MASS-a i ne zahtijevaju nikakve akcije,
- odredbe koje se primjenjuju na MASS i ne sprječavaju djelovanje MASS-a ali možda sadržavaju nedostatke te ih treba izmjeniti ili pojasniti,
- odredbe koje se ne primjenjuju na MASS operacije.

Nakon dovršetka prvog koraka provodi se drugi korak u kojem se analizira najprikladniji način rješavanja regulatornih problema autonomnih brodova. Analiza će utvrditi potrebu za:

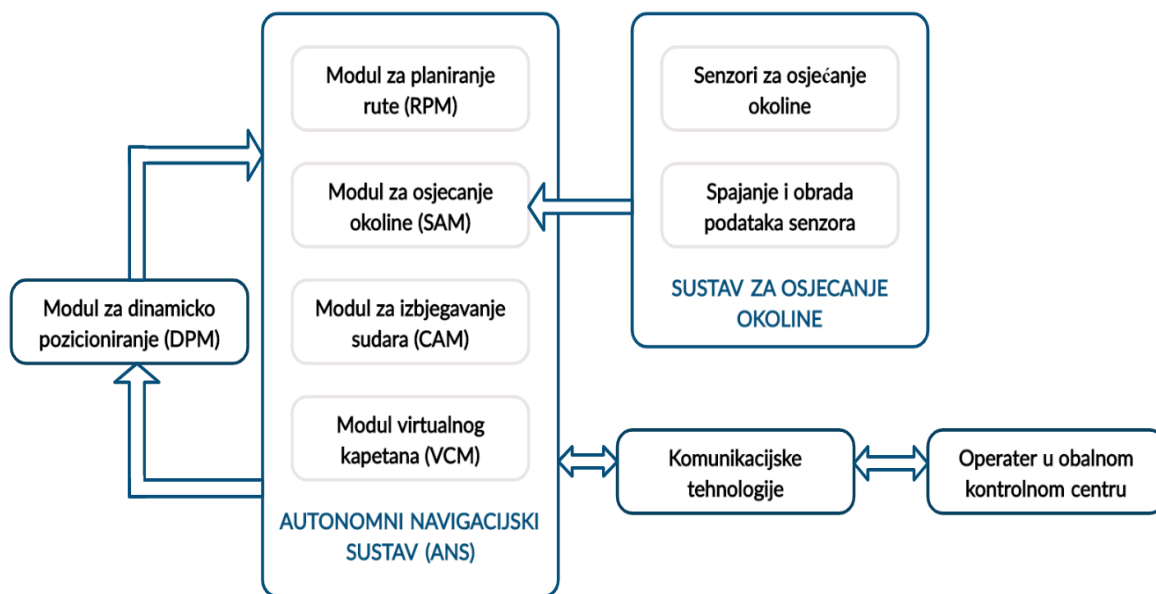
- izjednačavanjem sa postojećim instrumentima,
- izmjenu postojećih instrumenata,
- razvoj novih instrumenata,
- ništa od navednog.

Početni pregled i analiza postojećih instrumenata pod nadzorom MSC-a je provedena u prvom dijelu 2019. godine od strane više država članica i zainteresiranih organizacija. IMO instrumenti koje uključuje pregled i analiza su instrumenti povezani sa sigurnošću i to SOLAS, COLREG, STCW, Međunarodna konvencija o teretnoj liniji (engl. *The International Convention on Load Lines - CLL*), Međunarodna konvencija o traganju i spašavanju (engl. *International Convention on Maritime Search and Rescue - SAR*), Međunarodna konvencija o baždarenju brodova (engl. *International Convention on Tonnage Measurement of Ships – TONNAGE 1969*) i Međunarodna konvencija o sigurnosti kontejnera (engl. *The International Convention for Safe Containers - CSC*). Regulatorna istraživanja se planiraju završiti u 2020. godini. [20]

101. sjednica MSC-a je održana u lipnju 2019. godine te je i posljednja na današnji dan (30.08.2020.). Na sjednici su potvrđene privremene smjernice za pokusne vožnje autonomnih brodova. U smjernicama se navodi da je dužnost države pod kojom brod plovi (čiju zastavu vije) da odobri sudjelovanje broda u pokusnoj vožnji. Ako je potrebno, odobrenje treba postojati i od strane obalne države u kojoj će se pokusna vožnja vršiti. Zahtijeva se da postoji najmanje ista razina sigurnosti i zaštite okoliša kao i za postojeće brodove. Treba se izvršiti procjena rizika za sve moguće incidente kao i postupci u slučaju istih. Moraju se uspostaviti odgovarajući načini komunikacije te treba poduzeti mjere da se odredi i zadovolji minimalna potrebna posada na brodu. [12]

4. AUTONOMNI NAVIGACIJSKI SUSTAV

Inicijativa AAWA je predložila Autonomni navigacijski sustav (engl. *Autonomous Navigation System* - ANS) kao sustavnu arhitekturu za autonomne brodove. ANS i veze između pojedinih komponenta sustava su prikazani na slici ispod.



Slika 2: Koncept autonomnog navigacijskog sustava [15]

Najveća razina u ANS-u je Modul virtualnog kapetana (engl. *Virtual Captain Module* - VCM). VCM preuzima i kombinira podatke od drugih modula ANS-a kao i drugih brodskih automatiziranih sustava te podatke od operatera obalne kontrolne postaje (engl. *Shore Control Station* - SCC) s ciljem da odredi trenutno stanje svih brodskih sustava. Na temelju tog stanja određuje se dopušteni način rada kao što je autonomna plovidba, daljinsko upravljanje ili način u slučaju opasnosti. Informacije VCM-a se također koriste da se operater obavijesti o stanju broda. [15]

Modul za dinamičko pozicioniranje (engl. *Dynamic Positioning Module* - DPM) omogućava brodu automatsko održavanje pozicije ili kursa koristeći kormilo, propelere i pramčane potisnike. S obzirom da DPM već ima informacije o manevarskim sposobnostima broda, moguće je predviđati poziciju broda u budućnosti. Ovakva dinamička ograničenja na kretanje broda se prenose Modulu za izbjegavanje sudara (engl. *Collision Avoidance Module* - CAM) koji pomoću njih ostvaruje efikasnije i preciznije lokalno planiranje putovanja. [15]

Modul za planiranje rute (engl. *Route Planning Module* - RPM) je softverski modul koji je odgovoran za planiranje putovanja od početka do kraja, putem unaprijed definiranih točaka okreta, izbjegavajući statičke prepreke definirane u sustavu elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System* - ECDIS) i prateći šeme odvojenog prometa gdje je moguće. Ovaj modul je usko povezan sa planiranjem putovanja na konvencionalnim brodovima koje obavlja posada točnije drugi časnik palube. RPM ne planira rutu u stvarnom vremenu, jer je Modul za izbjegavanje sudara (engl. *Collision Avoidance Module* - CAM) odgovoran za manevarske postupke i izbjegavanje sudara. [15]

CAM je odgovoran za sigurnu navigaciju bez sudara. Koristi informacije od RPM-a kako bi slijedio put koji vodi do željene destinacije ali može skrenuti s puta ako se pojavi opasnost od sudara. Modul za osjećanje okoline (engl. *Situational Awareness Module* - SAM) pruža informacije o lokalnoj karti koja pokazuje trenutne prepreke u blizini broda. DPM pruža CAM-u područje na kojem je brod sposoban za manevar i na taj način stvara granice za nove točke okreta koje realno mogu biti izvedene. CAM ima dvije glavne funkcije, prva je procjena rizika od sudara, a druga je sigurna plovidba broda u luci i na otvorenom moru. Kada se otkrije rizik od sudara podatci se šalju VCM-u koji definira konačno stanje na temelju podataka od svih drugih modula. [15]

SAM je povezan sa više senzorskih uređaja različitog tipa i spaja podatke od istih da bi izvukao bitne informacije iz brodskog okruženja koje će koristiti CAM. SAM također može izvršiti smanjenje veličine podataka dobivenih od senzorskih uređaja za učinkovitiju i bržu komunikaciju autonomnih brodova sa obalom i drugim brodovima. [15]

Moguće tehnologije za osjećanje okoline na autonomnim brodovima su opisane u poglavlju broj šest ovoga rada.

5. AUTONOMNA NAVIGACIJA BRODA

U normalnom autonomnom načinu rada brod izvršava planiranu misiju (npr. navigacija do sljedeće točke okreta) prema definiranom planu. U ovom načinu rada prijenos podataka između broda i operatera je minimalan i ograničen samo na bitne podatke kao što je lokacija broda, kurs, brzina, procijenjeno vrijeme dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival* - ETA) na sljedeću točku okreta i ključne informacije od SAM-a kao i kritičnih brodskih sustava. Dok je interakcija između broda i operatera minimalna u ovome slučaju, operater može istovremeno nadgledati više brodova. To znači da je razina autonomije broda velika sve dok izvršavanje misije teče u skladu sa planom koji je dao operater. [15]

Dodatne informacije automatski će se proslijediti operateru u slučaju da automatski sustav broda ne može ili ne smije samostalno donijeti odluku, te je potrebno obavještenje operatera, potvrda ili intervencija. To znači da se razina autonomije dinamički prilagođava ako se izvršavanje misije ne odvija u skladu sa prvotnim planom, a autonomni navigacijski sustav broda vidi da je potrebno prilagođavanje. [15]

Različite razine interakcije sa operaterom će se zahtijevati ovisno o situaciji u kojoj se brod nalazi. Na primjer ako plovilo skreće s planiranog kursa između dvije točke okreta ali se još uvijek nalazi unutar zadanih sigurnosnih granica, autonomni navigacijski sustav samo obavještava operatera o tome i daje mu mogućnost intervencije na kratku vrijeme. Jedan primjer takvog skretanja s kursa je automatska radnja za izbjegavanje sudara na način da se minimalno promjeni kurs ili brzina i tako izbjegne drugi brod. Operater može odlučiti koristiti radio visokih frekvencija (engl. *Very High Frequency* - VHF) da uspostavi komunikaciju s drugim brodom i potvrditi da je radnja koju je brod poduzeo sigurna za oba broda te ako je potrebna intervencija operater može uključiti manualni način rada. [15]

Složeniji slučaj koji zahtijeva djelovanje operatera je kada broda treba promijeniti kurs na način da potpuno nova točka okreta mora biti isplanirana (npr. minimalna izmjena kursa nije dovoljna da se sigurno riješi navigacijski izazov). Da bi se osiguralo da je planirana izmjena plana sigurna tražit će se potvrda operatera. Autonomni navigacijski sustav ponudit će jednu ili više alternativa kako se točka okreta može izmijeniti, a operater će donijeti krajnju odluku. [15]

Također se može očekivati da će postojati složeni scenariji u kojima autonomni navigacijski sustav nije u stanju sigurno riješiti situaciju. Primjer za to može biti plovidba u

području gustog prometa gdje su otkriveni izuzetno veliki brojevi drugih objekata i sustav nije u stanju odrediti kako nastaviti navigaciju. U ovome slučaju ANS će automatski poslati poruku hitnosti operateru ukazujući na potrebnu pomoć. Brod će imati unaprijed definirane strategije u slučaju da ne primi odgovor od operatera s kojim ovisno o hitnosti može započeti i odmah. AAWA na slici ispod prikazuje 4 različita scenarija ovisno o razini uključenosti operatera u rješavanje nastalih navigacijskih izazova. Ti scenariji uključuju nadgledanje, izbjegavanje, izmjenjivanje plana i scenarij hitnosti koji uključuje prelazak na manualan način rada. [15]



Slika 3. Različite razine uključenosti operatera u navigaciju autonomnog broda [15]

ANS će dinamički kombinirati različite razine autonomije, ovisno o stanju broda i vanjskim uvjetima. Naravno, kako algoritmi za upravljanje budu napredovali s vremenom, moći će rješavati sve kompliciranije situacije samostalno. Kada se poveća broj autonomnih brodova u svijetu, biti će moguće da autonomni brodovi međusobno dijele planove putovanja i automatski komuniciraju što smanjuje opterećenje operatera. Međutim, uvijek će postojati brodovi s posadom što znači da će operater biti potreban na duže vrijeme dok se ne uspostave jasni standardi za razmjenu informacija između autonomnih i konvencionalnih brodova. [15]

6. TEHNOLOGIJE ZA OSJEĆANJE OKOLINE

Tehnologije za osjećanje okoline služe za detektiranje prepreka i stvaranje digitalne slike okoline. Gotovo na svim poljima autonomije vozila, tehnologije za osjećanje okoline se smatraju ključnim faktorom za pružanje pouzdanosti i sigurnosti cijelog sustava. Stoga, sigurno je da će ova komponenta biti od velike važnosti za sigurnu plovidbu autonomnog broda.

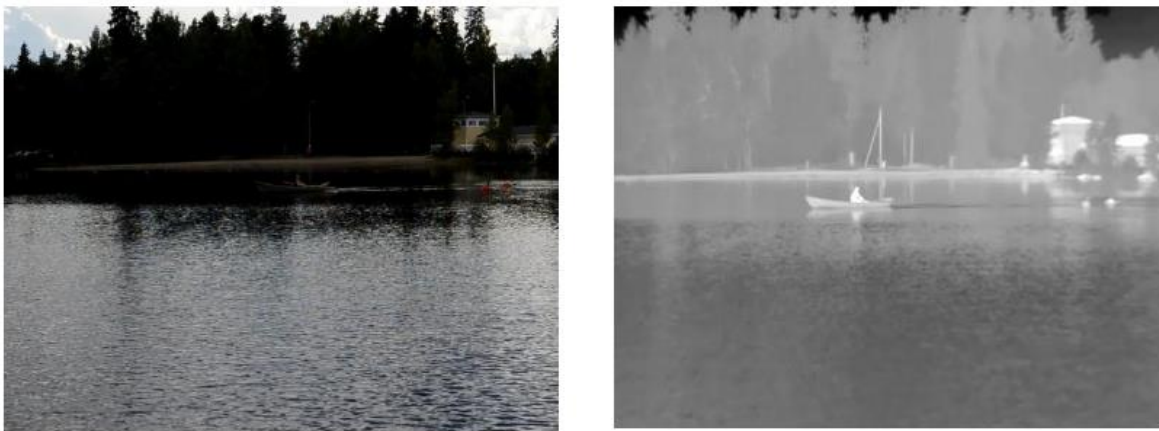
Tehnologije za osjećanje okoline pomoću raznih vrsta senzora se aktivno proučavaju u automobilske industriji. Svaki senzor pokazuje određene slabosti i ograničenja pod određenim uvjetima. Također, lažna detekcija se nikad ne može u potpunosti spriječiti za jedan senzor. Kombinacijom mogućnosti više senzora, pojedinačne greške i slabosti mogu biti uklonjene i bolje ukupne performanse i pouzdanost cijelog sustava mogu biti postignuti. Glavne tehnologije koje bi mogle biti dio sustava za osjećanje okoline na autonomnim brodovima su opisane u nastavku. [15]

6.1. KAMERE

Kamere se čine kao prirodan izbor za osjećanje okoline. Jeftine su, malih dimenzija i izdržljive te mogu pružiti visoku prostornu razlučivost sa identifikacijom objekata i razlikovanjem boja. Noćno snimanje je također moguće sa termalnim infracrvenim kamerama. Zbog široke upotrebe kamera danas, konstantno se razvijaju nove, naprednije tehnologije. Velika postojeća baza informacija o algoritmima vizualne analize i identifikaciji objekata pruža veliki potencijal za korištenje kamera na autonomnim brodovima. Normalne kamere visoke razlučivosti se smatraju važnim dijelom sustava za osjećanje okoline na autonomnim brodovima. Visoka prostorna razlučivost omogućuje prepoznavanje objekata i prepreka, bilo od strane operatera ili algoritama za analizu. Također, razlikovanje boja omogućuje odvajanje bitnih objekata od pozadine. Nedostatak kamera je velika količina podataka koju generiraju senzori visoke rezolucije, što znači da je potrebno zahtjevno procesuiranje i komunikacijska veza velike propusnosti za analizu i prijenos. Međutim, kod velikih brodova za razliku od drugih sustava kao što su auta ili avioni, zahtjevi u pogledu ograničenog prostora i male potrošnje energije su puno fleksibilniji. Normalne kamere imaju nekoliko ozbiljnih ograničenja. Ne mogu se koristiti u mraku (osim za detektiranje svjetlosti) i vidljivost im znatno opada u lošim vremenskim uvjetima. Bolje performanse se mogu postići kamerama koje koriste infracrvenu

tehnologiju. Iste se često koriste za noćno nadgledanje kod sigurnosnih kamera ali zahtijevaju aktivno infracrveno osvjetljavanje prostora što nije praktično kod autonomnih brodova. Pasivna noćna vizija se može postići dugovalnim infracrvenim (engl. *Long Wave Infra Red* – LWIR) kamerama koje su osjetljive na zračenja u rasponu 8-14 μm valnih duljina. Budući da toplinsko LWIR zračenje pasivno emitiraju svi objekti, LWIR senzori se mogu koristiti za detektiranje objekata u potpunoj tami. Zbog različitih svojstava toplinske emisije raznih materijala i geometrija, korisna slika se može izvući čak i kada je temperatura objekata i okoline jednaka. Termalne kamere mogu biti korisne i po danu kod lošijeg osvjetljenja. U novije vrijeme postala je dostupna i tehnologija kratkovalnih infracrvenih (engl. *Short Wave Infra Red* – SWIR) kamera. SWIR senzori funkcioniraju u području valne duljine 1-3 μm gdje detektirani signal nije pasivno emitiran, već reflektiran od objekta. SWIR senzori pružaju bolju vidljivost kroz maglu nego obične kamere i rade u uvjetima slabog osvjetljenja ali ne i potpune tame. [15]

Na slici ispod vidimo usporedbu prikaza slike po danu pomoću normalne kamere (lijevo) i termalne kamere (desno).



Slika 4. Usporedba slike po danu pomoću normalne kamere (lijevo) i termalne kamere (desno) [15]

6.2. RADAR

RADAR je uređaj za otkrivanje i smjerenje objekata radiovalovima, i dio je standardne navigacijske opreme suvremenog broda. Radar je moguće koristiti zajedno sa AIS-om, automatskim sustavom za radarsko plotiranje (engl. *Automatic Radar Plotting Aid* - ARPA), sustavom za određivanje pozicije vlastitog broda, ECDIS-om i sl. Postoje dvije

vrste pomorskih radara, „X-band“ koji radi na frekvencijskom području od 10 GHz te „S-band“ koji radi na 3 GHz. Zbog svoje visoke frekvencije „X-band“ radar omogućuje jasniju sliku i bolju razlučivost, dok „S-band“ omogućuje jasniju sliku prilikom kiše, magle ili valova, te je bolji za pretraživanje većih udaljenosti. [8]

Milimetarski valovi (engl. *Milimeter Wave - mmW*) posebna su vrsta radarske tehnologije koja koristi elektromagnetske valove kratke duljine. Radarski uređaji mmW-a odašilju valne duljine milimetarskog raspona. Samim time, antene ovakvih uređaja jako su male što je prednost prilikom ugradnje sustava. Sustav mmW-a koristi frekventno područje između 76 i 81 GHz, što odgovara valnoj duljini od 4 mm. Rezultat toga jest visoka točnost. Osim standardne primopredajničke opreme, mmW radarski sustavi koriste analogne komponente poput sata, te digitalne komponente kao što su analogno-digitalni pretvarači, mikrokontroleri te procesori digitalnih signala. Zbog svega navedenog, ovi sustavi su jako složeni, što rezultira visokom cijenom i povećanom potrošnjom električne energije kako bi se mogle postići visoke frekvencije. [8]

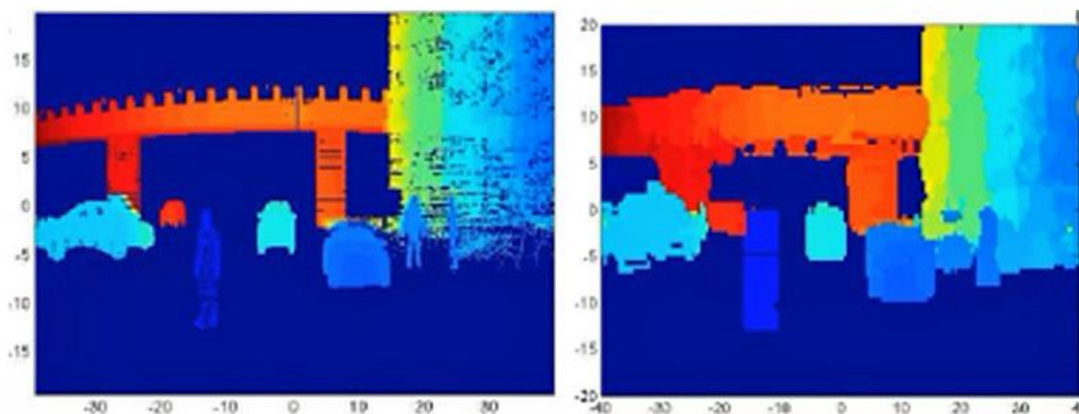
6.3. LIDAR

Svjetlosni radar (engl. *Light Detection and Ranging - LIDAR*) koristi svjetlosne senzore za mjerenje udaljenosti između uređaja i smjerenog objekta. Uporabom ove tehnologije dobivaju se visoko razlučivi trodimenzionalni podatci koji uporabom posebnog programa mogu biti prebačeni u virtualni prostor. Ovaj sustav moguće je koristiti na kopnu, vodi, zraku i svemiru. LiDAR sustavi montirani na letjelice sastoje se od LiDAR senzora, prijemnika sustava globalnog pozicioniranja (engl. *Global Positioning System - GPS*), inercijalne jedinice za mjerenje, računala te uređaja za prikupljanje podataka. LiDAR sustav odašilje lasersku zraku na zrcalo koje je projicira prema tlu, a najčešće se nalazi na fiksnom krilu zrakoplova ili helikoptera. Zraka potom skenira s jedne strane na drugu, dok letjelica vrši prelet područja istraživanja. Razlučivost skeniranja iznosi između 20000 i 150000 točaka po sekundi. Kada laserska zraka pogodi objekt, reflektira se natrag u zrcalo, te započinje mjerenje vremenskog perioda odašiljanja zrake i njenog primitka u senzor. Takvi podatci potom se obrađuju, pretvaraju u udaljenost, te ispravljaju uz pomoć GPS prijemnika letjelice, inercijalnog navigacijskog sustava (engl. *Inertial Navigation System - INS*) i terestričkih GPS stanica. Uloga GPS-a prilikom ispravljanja jest određivanje geografske širine, dužine i visine letjelice. INS služi za određivanje valjanja, posrtanja i zaošijanja letjelice s ciljem određivanja izlaznog kuta laserske zrake u odnosu

na površinu Zemlje. Stacionarni LiDAR koristi sličan način rada kao i zračni, uz iznimku da nije potreban INS jer se LiDAR senzor nalazi na tripodu koji omogućuje njegovu rotaciju za 360 stupnjeva. [8]

LiDAR-ove dalekometne sposobnosti omogućuju bolje prikupljanje informacija u odnosu na klasični radar, neovisno o vremenskim uvjetima. Također omogućuje razlikovanje pojedinačnih brodova kada su grupirani, te prepoznavanje veličine brodova, uključujući jako male brodove. Mjerenje u stvarnom vremenu osigurava precizno mjerenje udaljenosti objekata, infrastrukture okružene morem ili kopnom, te minimalnu lažnu jeku čime se pružaju točni podatci u svim uvjetima rada. LiDAR je moguće integrirati s navigacijskom opremom poput klasičnog radara, AIS-a, ECDIS-a i slično. [8]

Na slici ispod je prikazana usporedba prikaza objekata pomoću LIDAR-a (lijevo) i RADAR-a visoke rezolucije (desno).



Slika 5. Usporedba prikaza objekata pomoću LIDAR-a (lijevo) i RADAR-a visoke rezolucije (desno) [40]

6.4. OBRADA I SPAJANJE SENZORSKIH PODATAKA

Računalno najintenzivniji dio obrade i spajanja podataka je analiza podataka dobivenih kamerama. Podatci koje stvaraju radari su minimalni i stoga puno lakši za obradu. Kamere visoke rezolucije pružaju ogromne količine podataka, od kojih je većina nebitna za identifikaciju objekata i razumijevanja sadržaja slike. Prvi korak u procesu analize slike je segmentiranje ulaznih podataka na način da se odvoje svi podatci koji nisu bitni za određeni zadatak od onih koji služe za otkrivanje i identifikaciju bitnih objekata. Na smanjenu količinu podataka mogu se primijeniti složeni algoritmi za prostorno i

vremensko praćenje i klasifikaciju objekata. Na primjer, može se pretpostaviti da se tipičan scenarij na brodu sastoji od tri različita dijela: more u donjem dijelu slike, nebo u gornjem i horizont u sredini. Pronalaskom linije horizonta, veliki dio slike se može odbaciti iz daljnje obrade. Podatci od drugih senzora se mogu iskoristiti da se olakša ovaj proces. [15]

Podatci od različitih senzora se mogu spojiti na više načina. Spajanje niske razine izvodi se na podacima koji još nisu procesuirani, dok kod spajanja visoke razine, različiti podatci se obrađuju individualno i detekcije raznih senzora se spajaju na razini objekta. Spajanje niske razine se prirodno koristi kod spajanja između dvije kamere različite vrste, kao normalna i termalna kamera, a za spajanje podataka kamere i RADAR-a obično se koristi visoka razina spajanja na razini objekta. U praksi najučinkovitiji način za spajanje više od 2 senzora je kombinacija visoke i niske razine spajanja. Kod autonomnih brodova, RADAR se može koristiti za dobivanje azimuta i udaljenosti za različite objekte. Kako bi se izvuklo više detalja, ovi podatci se onda mogu preslikati na odgovarajuće objekte koji su segmentirani od strane kamere. Treba uzeti u obzir da preklapanje istog objekta kod spajanja više senzora pruža grublju sliku od jednog senzora, što dovodi do mutnije i nepotpune slike. [15]

Da bi se postigla najveća moguća razina pouzdanosti autonomne navigacije, svi drugi dostupni podatci koji mogu pomoći navigaciji i izbjegavanju sudara moraju biti iskorišteni kod spajanja podataka. Ovo uključuje tehnologije koje se već koriste na konvencionalnim brodovima kao GPS, AIS, ARPA i ECDIS. [15]

7. KOMUNIKACIJA AUTONOMNIH BRODOVA

IMO definira¹ komunikacijsku tehnologiju koju konvencionalni brod mora imati s obzirom na područje u kojem plovi. Brodska komunikacijska oprema mora biti u skladu sa ovim zahtjevima da bi se osigurala mogućnost sigurne i pouzdane komunikacije sa obalom i drugim brodovima u svim navigacijskim scenarijima kao što je plovidba u lukama i blizu obale te plovidba u dubokooceanskim i arktičkim područjima. Obvezna komunikacijska oprema konvencionalnih brodova služi za komunikaciju broda sa obalnom radio postajom, kompanijom i drugim brodovima te za obavještanje u slučaju neke opasnosti.

Komunikacijske tehnologije autonomnih brodova imaju puno veću ulogu nego kod konvencionalnih brodova i predstavljaju jednu od glavnih prepreka za razvoj autonomnih brodova u budućnosti. Autonomni brodovi će ploviti bez posade, autonomno ili daljinski upravljani od strane operatera u SCC-u. Mogućnost daljinskog upravljanja mora biti omogućena u slučajevima kad brodski autonomni sustav ne može ili ne smije riješiti situaciju samostalno. Također, informacije o stanju svih sustava na brodu i o okolini broda moraju biti dostupne operateru u SCC-u u svakom trenutku. Stoga, komunikacija je kritična komponenta autonomnih brodova i mora biti točna i stabilna. Mora postojati više komunikacijskih sustava u slučaju da jedan zakaže i u slučaju da određeni sustav ne može pružiti dovoljnu točnost i pouzdanost u određenim uvjetima kao što su vremenske neprilike ili elektromagnetske smetnje.

7.1. PLANIRANJE PUTOVANJA S OBZIROM NA KOMUNIKACIJSKE MOGUĆNOSTI

Postoje određene stvari koje operater mora uzeti u obzir tokom planiranja putovanja povezane sa daljinskim upravljanjem autonomnog broda. Autonomni brodovi će koristiti kombinaciju različitih satelitskih i zemaljskih komunikacijskih tehnologija ovisno o njihovoj dostupnosti, kvaliteti i cijeni. Satelitske komunikacije mogu pružiti mogućnost autonomne plovidbe u gotovo svima načinima rada bez obzira na lokaciju. Međutim, neki od načina radova mogu zahtijevati količine podataka koje premašuju sposobnost satelitskih sustava u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Operater mora osigurati dovoljnu komunikacijsku povezivost za predviđenu misiju. Iako pomorski promet i vremenski uvjeti

¹ SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) Chapter IV: „Radiocommunications“: (1974)

znatno utječu na planiranje putovanja, operater će veliku pažnju morati posvetiti komunikaciji pri planiranju svake dionice putovanja. To znači odrediti koje će dionice zahtijevati daljinsko upravljanje a koje će se izvoditi autonomno. [15]

Nakon donošenja ove odluke, operater će morati odrediti rezervnu strategiju za svaku dionicu. Rezervna strategije će se izvršiti samo ako brod osjeti neočekivano smanjenje komunikacijske povezanosti istovremeno sa navigacijskim izazovima koji bi normalno zahtijevali intervenciju operatera. Rezervna strategija može uključivati ponovno uspostavljanje komunikacije, usporavanje i praćenje rute, zaustavljanje i dinamičko pozicioniranje, vraćanje na prethodne točke okreta te vraćanje na sigurnu lokaciju. Naravno strategije i redoslijed njihovog izvršavanja nisu isti u svim situacijama. Na primjer, pokušati zadržati poziciju u uskom kanalu sa gustim prometom u lošim vremenskim uvjetima nije izvediva strategija. Plan putovanja kao i rezervne strategije mogu biti izmijenjene tijekom plovidbe pomoću satelitske komunikacije. Brod također mora imati automatski sustav za provjeru opreme. Većina sustava se može pregledati na daljinu a može postojati i osoblje na kopnu zaduženo za pregled opreme prije putovanja. [15]

U sljedećim poglavljima opisani su mogući načini komunikacije autonomnih brodova i njihova primjena u različitim područjima plovidbe.

7.2. SATELITSKE KOMUNIKACIJE

Satelitske komunikacije će najvjerojatnije s obzirom na svoju pokrivenost biti primarni način komunikacije autonomnih brodova, posebno u dubokooceanskim područjima. Trenutno najveći pružatelj satelitskih usluga u pomorske svrhe je Inmarsat, a postoje i drugi kao Iridium i VSAT sustavi koji bi mogli pronaći svoje mjesto kod autonomnih brodova.

7.2.1. Inmarsat

Inmarsat sustav je nastao kao poduzetnički pothvat od strane COMSAT kompanije u kasnim 1970-im te se razvio u privatnu kompaniju u funkciji međunarodnih pomorskih satelitskih usluga (engl. *Maritime Satellite Service – MSS*). Kompanija je pokrenuta kao zajednička organizacija različitih vlada i telekomunikacijskih operatera zvana Inmarsat. [6]

Inmarsat-C sustav je započeo s radom 1991. godine kao dopuna Inmarsat A sustavu. Sustav pruža jeftinu komunikaciju bilo gdje na svijetu. Sustav se bazira na

digitalnoj tehnologiji, samim time omogućava prijenos bilo koje informacije koja se može pretvoriti u digitalni format (tekst, digitalne slike, digitalni video, podaci preuzeti s raznih uređaja itd.). Osnovni sistem primanja i slanja podataka Inmarsat-C sustava se bazira na 'store and forward' tehnologiji i ne može se koristiti za glasovne i direktne internet komunikacije. To znači da se poruke sa broda ili na brod prvo spremaju u memoriju obalne zemaljske stanice (engl. *Coast Earth Station* - CES), te zatim prosljeđuju na adresu primatelja ili na brod. Nema direktne veze između broda i biranog broja. CES služi kao most između satelitske veze i međunarodne telekomunikacijske mreže te primljene pakete sprema i šalje na željenu adresu. Sustav funkcionira na L opsegu mikrovalnog elektromagnetskog spektra i osigurava globalnu pokrivenost osim Arktika. [5]

Inmarsat Fleet 77 je svojevrsna proširena verzija Inmarsat C sustava i jedini sustav unutar Inmarsatove fleet obitelji usklađen sa Svjetskim pomorskim sustavom za pogibelj i sigurnost (engl. *Global Maritime Distress and Safety System* - GMDSS) i pruža usluge kao glasovno komuniciranje, faks, teleks i internet brzine do 128 kbps. Može se reći da je Inmarsat Fleet 77 postao standard na današnjim konvencionalnim brodovima. [5]

Od 2015. godine Inmarsat je ponudio opciju velike propusnosti podataka kroz mrežu satelita Global Xpress. Ovaj sustav pruža internet na globalnoj razini sa brzinama preuzimanja od 50 Mbps i slanja od 5 Mbps, a u studenome 2019. godine lansiran je novi satelit koji bi po testiranjima mogao dosegnuti i brzine od 330 Mbps. [32]

S obzirom da je Inmarsat zadržao svoj monopol nad pomorskim satelitskim uslugama još od uvođenja GMDSS-a, najvjerojatnije je da će biti prva opcija kod satelitskih komunikacijskih usluga autonomnih brodova.

Što se tiče sigurnosti, Inmarsat signal je lako omesti što omogućava nekim trećim neprijateljskim stranama da sa relativno jednostavnim sredstvima poremete komunikaciju broda i obale što može biti iznimno opasno.

7.2.2. Iridium

Iridium Communications Inc. je javna trgovačka tvrtka² sa sjedištem u SAD-u. Iridiumova mobilna rješenja za podatkovnu i glasovnu komunikaciju su podržana globalnom komunikacijskom mrežom uključujući i polarna područja što im daje veliku prednost nad konkurencijom koja je ograničena na određena područja. Iridium nudi digitalnu i glasovnu komunikaciju s brzinama od 128 kbps na L opsegu mikrovalnog

² Pod pojmom javna trgovačka tvrtka podrazumijeva se korporacija koja je pod vlasništvom javnih dioničara koji su stekli vlasništvo kroz slobodnu trgovinu na burzama.

elektromagnetskog spektra (1-2 GHz) i dopušta korisnicima direktnu komunikaciju preko satelita s bilo kojeg mjesta na Zemlji. [6]

Iridium sateliti se nalaze na području nisko zemaljske orbite (engl. *Low Earth Orbit* - LEO) na visini od 700 do 1500 km u neposrednoj blizini od Zemlje sa vremenom orbite od oko 90 minuta. Ovo omogućava vremensko kašnjenje manje od 10 milisekundi radi propagacije što je velika prednost Iridium sustava, ali je zato potreban veći broj satelita za neprekidnu uslugu. Iridium predstavlja prvi sustav koji nudi uslugu satelitskih komunikacija mobilnim telefonima. Ovaj sustav se temelji na 66 satelita koji su grupirani u 6 orbitalnih ravnina sa razmakom od 60 stupnjeva. Svaka ravnina sadrži 11 aktivnih i 1 rezervni satelit. Orbite su kružne na visini od 783 kilometara pod kutom nagiba od 86 stupnjeva. Prednost ovakve arhitekture je što osigurava stopostotnu pokrivenost svijeta uključujući i polove. [6]

Iridium ima jako složen sustav radi složenog mehanizma signalizacije, enkripcije i komplicirane provjere autentičnosti zemaljske stanice. Iako je ovo možda mana radi implementacije sustava, iz istog razloga sigurnost sustava je jako velika što ga čini privlačnim za autonomne brodove.

7.2.3. VSAT

„Very small aperture terminal“ (VSAT) je pojam koji obično opisuje satelitski sustav koji radi u C spektru (4-8 GHz) ili Ku spektru (12-18 GHz) mikrovalnog elektromagnetskog spektra s brodskom antenom promjera od 0.6 do 2 metra. Sustav koji radi u Ka spektru (27-40 GHz) je također dostupan ali ne omogućuje dvosmjernu komunikaciju. Dakle, VSAT nije satelitski sustav sam po sebi već služi kao pojam koji se koristi za razlikovanje pružatelja komercijalnih satelitskih usluga od Inmarsata (koji je također VSAT sustav koji funkcioniра na L spektru (1-2 GHz)). Trenutno VSAT dominira na tržištu i očekuje se da će se taj trend i nastaviti. [6]

VSAT tehnologija djeluje najviše u Ka spektru a najveći porast u zadnje vrijeme ima Ku spektar. Brzine ulazne satelitske veze su obično 56 Kbps, a izlazne 256 Kbps. Nedostatak VSAT sustava je što vrlo malo pružatelja ima globalnu pokrivenost. Dobra pokrivenost po prihvatljivim cijenama je obično dostupna samo u gusto naseljenim područjima. Međutim, VSAT sustavi se jako brzo razvijaju i vrlo brzo će pokrivenost cijele planete biti dostupna po prihvatljivima cijenama. Brzina komunikacije i pokrivenost je obično veća kod Inmarsata ali s obzirom na konkurentске cijene, VSAT sustavi se čini kao brzo rastuće rješenje za komercijalnu pomorsku komunikaciju te će definitivno naći svoju

ulogu kod autonomnih brodova. Što se tiče sigurnosti, VSAT ima iste probleme kao i Inmarsat. [6]

7.3. ZEMALJSKE KOMUNIKACIJE

Zemaljske komunikacije su potrebne za komunikaciju brod-brod, brod-obala i u lukama. Pružaju puno veće brzine prijenosa podataka po puno manjim cijenama nego satelitski sustavi. Stoga, vrlo je vjerojatno da će se kod autonomnih brodova takvi sustavi implementirati svugdje gdje to bude moguće.

7.3.1. VHF radio

Radio visokih frekvencija (engl. *Very High Frequency* - VHF) radi na frekvencijama od 30 do 300 MHz. VHF radio je standardna oprema na svim brodovima te može biti prijenosni i fiksni. Prijenosni koriste dosta manju snagu signala te stoga imaju dosta manji domet, a fiksni koriste vanbrodsku antenu te imaju domet i do 85 kilometara. Takav domet moguć je radi korištenja satelita u niskoj orbiti kao posrednog medija. Međutim takva komunikacija dakle ovisi i o određenim satelitskim sustavom što daje dodatnu mogućnost gubitka signala. Kada se ne koristi satelitski sustav tipične udaljenosti su do 20 km i uvelike ovise o visini antene.

7.3.2. MF/HF radio

Radio srednje frekvencije (engl. *Medium Frequency* - MF) i visoke frekvencije (engl. *High Frequency* - HF) se koristi na konvencionalnim brodovima za uspostavljanje komunikacije u slučaju nesreće, hitnosti, sigurnosti ili rutinske komunikacije sa drugim brodovima ili obalnim radio postajama. MF ima domet nekoliko stotina kilometara te se koristi u A2 GMDSS području koje je tipično udaljeno 100 do 700 nautičkih milja od obale. HF se koristi u A3 i A4 područjima koja su definirana kao područja izvan A2 i ima domet po danu oko 3000 km a po noći i više radi odbijanja valova u ionosferi. Problem kod MF i HF radiokomunikacije je osjetljivost na vremenske neprilike i to što domet signala uvelike ovisi o dobu dana.

7.3.3. 4G i 5G mreže

4G je definirana kao četvrta generacija mobilne komunikacijske tehnologije koja je naslijedila 3G odnosno treću generaciju. Dok je 3G tehnologija bila relativno brza, 4G je omogućila korisnicima surfanje internetom i gledanje videa visoke razlučivosti na

mobilnim uređajima što je u principu pretvorilo mobitele u računala modernog doba. 4G mreža osigurava stabilne brzine gotovo svugdje bez obzira na potrebnu količinu podataka. Još jedna prednost ove mreže su minimalna kašnjenja podataka što je prijeko potrebno kod komunikacije u stvarnom vremenu. Moderna 4G mreža pruža brzine tipično do 30 Mbps. [34]

Postoji i 5G mreža odnosno peta generacija mobilnih komunikacijskih mreža koja pruža ekstremno visoke brzine prijenosa podataka ali na vrlo malim udaljenostima. Ova mreža je radi visokih frekvencija jako sklona smetnjama te uz male udaljenosti na kojima funkcionira nije najidealnije rješenje za autonomne brodove.

7.3.4. WiFi i IEEE 802.11p

WiFi je radio tehnologija koja omogućuje računalima da se povezuju međusobno i na internet bez žica i funkcionira kao i žičana mreža ali bez ograničenja koje nameću žice. Klasična WiFi mreža funkcionira u 2.4 GHz i 5 GHz opsegu elektromagnetskog spektra i pruža brzine prijenosa podataka do 11 Mbps (802.11b WiFi sustav) i/ili do 54 Mbps (802.11a WiFi sustav). Razvijena je kao bežična lokalna mreža (engl. *Wireless Local Area Network* - WLAN) i kao takva ima domet do 100m. Brzina prijenosa podataka kod svih bežičnih tehnologija je funkcija udaljenosti što znači, manja udaljenost veća brzina i obrnuto. WiFi gotovo uvijek koristi kompliciranu enkripciju te je gotovo nemoguće presresti signal ali ga je moguće ometati. [6]

Jedna od novijih tehnologija je IEEE 802.11p standard. On definira nadopune 802.11 standarda koji je kao temelj WiFi tehnologije potreban za primjene u inteligentnom transportnom sustavu (engl. *Intelligent transportation system* - ITU). ITU je napredna inicijativa koja ima za cilj omogućiti korisnicima sigurnije, koordiniranije i pametnije korištenje prometnih mreža. IEEE 802.11p standard koristi područje oko 5.9 GHz elektromagnetskog spektra koje omogućuje razmjenu podataka između vozila u pokretu i obližnje infrastrukture. Domet mu je do 1 kilometar ali pod cijenu dosta nižeg protoka podataka od WiFi-ja. [33]

7.3.5. AUTOMATSKI IDENTIFIKACIJSKI SUSTAV (AIS)

IMO je usvojio pravila³ koja zahtijevaju da svi SOLAS brodovi imaju automatski identifikacijski sustav. AIS je samostalni primopredajnik za neprekidno automatsko emitiranje i razmjenu identifikacijskih podataka između brodova kao i razmjenu podataka sa službom za nadzor plovidbenog prometa (engl. *Vessel Traffic Service* - VTS) na kopnu putem dogovorenih VHF kanala, a prvenstveno služi za identifikaciju i lociranje plovila. AIS omogućuje elektroničku razmjenu brodskih navigacijskih podataka koji obavezno uključuju identifikaciju broda, položaj broda te kurs i brzinu broda. Podaci se mogu integrirati u ECDIS i RADAR čime se može dobiti vrlo dobar pregled pomorskog prometa u blizini broda. Koncept današnjeg AIS sustava bazira se na komunikacijskim tehnikama koje velikom broju primopredajnika omogućavaju istovremeno slanje niza podataka preko samo jednog radio kanala, sinkroniziranjem emitiranja podataka pomoću vrlo preciznog standarda vremenskog odmjerenja odaslanih poruka. [9]

S obzirom da svi brodovi moraju imati AIS, isti se može koristiti kao automatski način komunikacije između konvencionalnih i autonomnih brodova. Autonomni navigacijski sustav broda može podatke od AIS-a kao kurs i brzina integrirati i spojiti s ostalim sensorima te tako omogućiti još veću točnost i sigurnost cijelog sustava.

7.4. PRIMJENA KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA NA RAZLIČITA PODRUČJA

Komunikacijska tehnologija koja će se koristiti u određenom trenutku uvelike ovisi o području navigacije. Iako satelitski sustavi mogu omogućiti komunikaciju u lukama i obalnim područjima postoje druga, efikasnija i jeftinija rješenja koja, radi puno manje udaljenosti, postaju dostupna. Na tablici ispod je prikazana usporedba mogućih komunikacijskih rješenja za autonomne brodove. Podatci o brzinama su tipične vrijednosti.

³ SOLAS V/19-1 Safety of Navigation, Regulation 19 – Carriage requirements for shipborne navigational systems and equipment

Tablica 1. Usporedba komunikacijskih tehnologija za autonomne brodove

Tehnologija	Frekvencija	Domet	Brzina
Inmarsat	1-2 GHz	70° N - 70° S	150 Kbps
Iridium	1-2 GHz	globalno	128 Kbps
VSAT	4-40 GHz	lokalno	64 Kbps – 2 Mbps
VHF	30-300 MHz	< 85 km	307 Kbps
HF	3-30 MHz	tisuće kilometara	240 Kbps
MF	0.3-3 MHz	stotine kilometara	240 Kbps
4G	450 MHz – 3.7 GHz	< 2 km (70km sa smjernim antenama)	30 Mbps
WiFi	2.4 / 5 GHz	< 100 m	600 Mbps
IEEE 802.11p	5.9 GHz	< 1 km	27 Mbps
AIS	161-162 MHz	< 130 km	12 Kbps

7.4.1. Komunikacija u obalnim područjima

Kad autonomni brod plovi u obalnim područjima, komunikacija se može vršiti preko nekih od navedenih zemaljskih načina komunikacije. To može smanjiti troškove ali i osigurati veći protok podataka koji je potreban radi gustoće prometa i blizine kopna. Jedan od novijih standarda je IEEE 802.11p koji ima vrlo dobre performanse u pogledu kašnjenja i dometa. Međutim s obzirom na visoku frekvenciju od 5.9 GHz, fizičke prepreke jako utječu na širenje elektromagnetskih valova i smanjuju kvalitetu primljenog signala. U takvim slučajevima postoji 4G tehnologija koja može pružiti potrebne brzine na malo većim udaljenostima.

7.4.2. Komunikacija u lučkim područjima

Prilazak luci predstavlja poseban izazov za autonomne brodove jer su to područja osjetljiva na nesreće i zagađenje. Gusti promet i kopno ne dozvoljavaju greške i prekide komunikacije. Stoga je potrebna jako precizna navigacija kako bi se izbjeglo korištenje pilota na brodu. Operateru SCC-a je potreban pouzdan protok velike količine podataka sa minimalnim kašnjenjima. Taj zadatak bi mogla obaviti WiFi ili 4G komunikacijska tehnologija koja pruža velike brzine pri malim udaljenostima. Također, može se koristiti VHF radio za rezervu.

7.4.3. Komunikacija u dubokooceanskim područjima

U dubokooceanskim područjima glavno sredstvo komunikacije je putem satelita. Međutim, satelitsku komunikaciju mogu poremetiti vremenski uvjeti. Količina prigušenja signala uzrokovana, na primjer, jakom kišom ovisi o frekvencijskom spektru satelitske mreže. Na primjer gubitak signala je znatno veći u Ka spektru (27-40 GHz) nego u L spektru (1-2 GHz). Ovo znači da teško nevjerojatno može pogoršati performanse sustava koji djeluje u Ka spektru. Kombinirajući sustav koji radi u Ka spektru i sustav koji je manje osjetljiv na vremenske uvjete (kao sustav koji radi u L spektru) kao što je učinjeno u Inmarsat Global Xpress sustavu, smanjuje se rizik od gubitka svih komunikacija. Inmarsatov sustav omogućuje dinamično prebacivanje između dva frekvencijska spektra bez korisničkog napora. [15]

7.4.4. Komunikacija u arktičkim područjima

Arktička regija predstavlja brojne izazove uključujući ekstremne vremenske uvjete, ograničenu infrastrukturu i velike udaljenosti. Sve veći volumen pomorskog prometa, proizvodnja nafte i plina, brojne istraživačke aktivnosti te autonomni brodovi koji će u budućnosti ploviti u arktičkoj regiji zahtijevaju stabilnu i sigurnu komunikaciju u tim područjima. Takva komunikacija uvelike ovisi o visoko funkcionalnoj mreži koja je sposobna prenijeti velike količine podataka. Prepreka tome je velika udaljenost Arktika od najbližeg kopna, nedostatak stanovništva, težak teren i klimatski uvjeti. Izgradnja fiksne komunikacijske mreže temeljene na optičkim kabelima jednostavno još uvijek nije ekonomski isplativa. [7]

Komunikacija putem MF / HF radio telefonije je moguća u arktičkim područjima ali domet takve komunikacije uvelike ovisi o dobu dana i vremenskim uvjetima što znači da se ne može osigurati pouzdana komunikacija u bilo kojem trenutku. Stoga, zemaljske opcije kao trajno rješenje komunikacije u tim područjima još uvijek nisu dostupne te će se morati koristiti satelitski načini komunikacije, točnije sustav kao Iridium koji može omogućiti pouzdanu i sigurnu komunikaciju autonomnih brodova u arktičkim područjima.

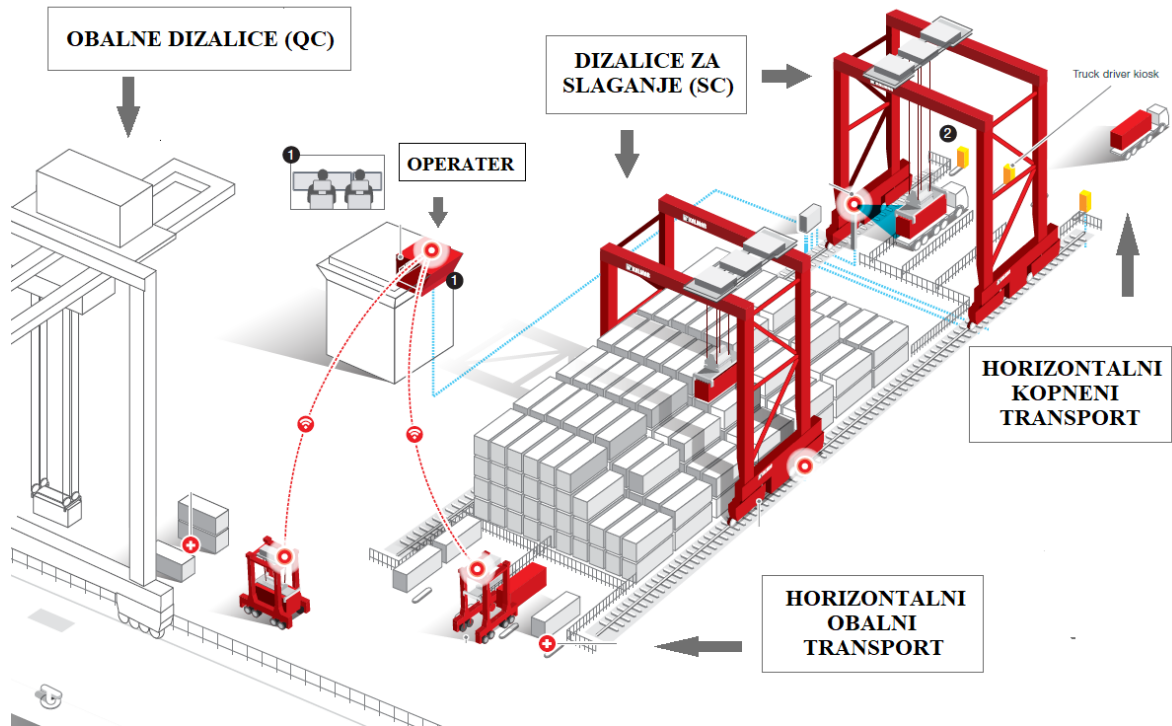
8. AUTONOMNA VOZILA NA LUČKIM TERMINALIMA

Kada govorimo o autonomnim vozilima na lučkim terminalima najčešće govorimo o kontejnerskim terminalima. Kontejnerski terminali su prometna čvorišta bez kojih se ne može zamisliti suvremeni transport. To su sustavi posebno izgrađeni i opremljeni u svrhu prekrcanja kontejnera izravnim ili posrednim putem između brodova i kopnenih prijevoznih sredstava. Kontejnerski terminali su idealno mjesto za implementiranje novih, naprednih tehnologija te se sve više terminala okreće automatiziranim rješenjima za rukovanje kontejnera. Razvoj senzora posljednjih 30-ak godina omogućio je fizičko uklanjanje vozača iz vozila ili uređaja za rukovanje kontejnerom. Od otvorenja prvog djelomično automatiziranog terminala u Rotterdamu 1993. godine, otvoreno je više od 35 novih⁴ u svijetu. Glavni cilj za uvođenje automatizacije je smanjenje troškova ali i poboljšanje pouzdanosti, dosljednosti i sigurnosti operacija te smanjenje negativnog utjecaja na okoliš.

Kontejnerski terminali se sastoje od skladišnog prostora, prostora za prekrcaj brodova i prostora za horizontalni transport koji služi kao veza skladišnog prostora sa vanjskim svijetom s jedne strane i sa prostorom za prekrcaj brodova sa druge strane. Dizalice za slaganje kontejnera (engl. *Stacking Cranes - SC*) u skladišnom prostoru kao i horizontalni transport su dosegli visoke razine automatizacije dok se obalne dizalice (engl. *Quay Cranes - QC*) zadužene za prekrcaj brodova još uvijek razvijaju.

Na slici ispod je prikazan klasičan primjer automatiziranog terminala za prekrcaj kontejnera.

⁴ Port Equipment Manufacturers Association (PEMA): Container terminal Automation, London 2016.



Slika 6. Primjer automatiziranog terminala za prekrcaj kontejnera [37]

8.1. AUTOMATIZIRANI HORIZONTALNI TRANSPORT

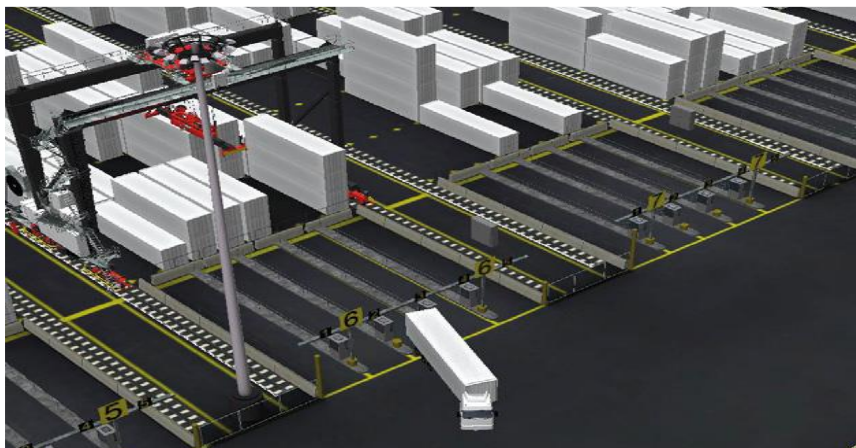
Horizontalni transport se može podijeliti na dvije odvojene logističke operacije i to kopneni transport i obalni transport. Također postoji i direktni transport sa broda na skladišni prostor ali se ne koristi često.

8.1.1. Kopneni transport

Kopneni transport (engl. *Landside transport*) je transport koji se odnosi na jedinice terminala za vanjski transport odnosno prijevoz kontejnera prema ostatku svijeta. To su najčešće cestovni kamioni za prijevoz kontejnera, intermodalna željeznica i slično.

Cestovni kamioni ulaze u terminal kroz određena vrata, kroz prostor za provjeru i imaju vozača koji nije upoznat sa automatiziranim dizalicama na terminalu, stoga potrebno je obratiti veliku pažnju na sigurnost kod takvih terminala. Sigurnosne mjere se lakše implementiraju kod SC-a koje se opslužuju na krajevima jer kamioni voze samo do dijela kopnenog transporta, a skladišni prostor i dio obalnog transporta je potpuno odvojen. SC koje se bočno opslužuju zahtijevaju kamione da voze u skladišni prostor, ispod dizalica te nije moguće odvojiti kopneni transport od ostatka terminala. [14]

Na slici ispod je prikazan sustav horizontalnog kopnenog transporta koji se opslužuje na krajevima.



Slika 7. Krajnje opsluživani horizontalni kopneni transport [14]

8.1.2. Obalni transport

Obalni transport (engl. *Waterside transport*) je transport koji se odnosi na pomicanje kontejnera između SC-a i QC-a. Kod ovog transporta može se iskoristiti puni potencijal autonomije. Prekrcaj kontejnera između SC-a i QC-a može se obavljati pomoću raznih kombinacija strojeva i vozila uključujući unutarnja vozila na terminalu, tradicionalne traktore sa prikolicama, automatizirana vozila (engl. *Automated Guided Vehicles* - AGV) ili nosače kontejnera (engl. *Straddle Carrier* - STC). [14]



Slika 8. Krajnje opsluživani horizontalni obalni transport [14]

Obalni transport kod ručno upravljanih SC-a su tradicionalno obavljali traktori sa prikolicama. Međutim kod automatiziranih dizalica isti imaju nedostatke kao to da

operacije dizalica moraju biti sinkronizirane sa dolaskom vozila i to da automatizirano krcanje kontejnera na vozilo dok je vozač u kabini stvara neke sigurnosne probleme. [14]

Još od 1990-ih postoje terminali gdje je horizontalni obalni transport potpuno automatiziran koristeći AGV. Kao posljedica toga, sigurnosni rizici su potpuno eliminirani. Prvi AGV-i su bili u obliku platforme sa kontejnerima natovarenima na vrhu vozila od strane SC-a ili QC-a. Koristeći ovaj dizajn, operacije između dizalica i vozila su morale biti sinkronizirane, kao i kod traktora. U novije vrijeme su uvedeni AGV-i sa platformama za podizanje koji podižu i spuštaju kontejnere na posebna postolja. Ovdje se koristi povišeno postolje koje je ugrađeno na SC gdje se privremeno odlažu kontejneri od strane dizalice ili vozila. AGV sa platformom za podizanje je u mogućnosti samostalno birati i rukovati kontejnerima na postoljima neovisno o operacijama dizalice. Međutim takve platforme nisu praktične kod QC-a radi micanja dizalice i brodova. Ovakvi sustavi uklanjaju potrebu za sinkroniziranošću. Tipičan izgled modernog AGV-a je prikazan na slici ispod. [14]



Slika 9. Automatizirano vozilo za prijevoz kontejnera (AGV) [14]

Obalni transport može ukloniti potrebu za sinkroniziranošću između vozila i dizalica i pomoću STC-a. STC je izvorno zamišljen kao samostalni sustav za horizontalni transport ali i za slaganje kontejnera. Korištenje STC-a na obalnoj strani omogućava da operacije SC-a i QC-a budu neovisne o vozilima obalnog transporta. SC, QC i STC stavljaju kontejnere direktno na tlo i koriste tlo kao područje razmjene. Prednost ovakvog sustava je tolerancija na smetnje u sustavu i efektivnija upotreba strojeva. Da bi STC služio kao rješenje kod automatiziranog obalnog transporta, napravljena je niža i lakša specijalizirana verzija poznata kao „*Shuttle Carrier*“ (*SHC*) koji funkcioniра isto kao STC

samo je manjih dimenzija i nema mogućnost slaganja kontejnera nego ih samo prevozi između SC-a i QC-a. Ova vozila se smatraju izazovnijima za automatizirati budući da vozilo mora biti u mogućnosti locirati i podignuti kontejner sa tla. [14]



Slika 10. Shuttle carrier (SHC) [37]

Glavni tehnološki izazov sa svim AGV-ima i autonomnim strojevima za prijevoz kontejnera je razvoj sustava pouzdanog pozicioniranja, navigacije i percepcije okoline kao i sustava sigurne i pouzdane komunikacije. Postojeći sustavi i sustavi u razvoju uključuju: [14]

- odašiljače i magnete zakopane u zemlju sa antenom na dnu vozila,
- GPS satelitsko pozicioniranje,
- lokalni sustav za pozicioniranje,
- pozicioniranje pomoću laserske tehnologije,
- pozicioniranje pomoću video kamera visoke razlučivosti i
- pozicioniranje pomoću mmW radarske tehnologije.

8.2. AUTOMATIZIRANE DIZALICE ZA SLAGANJE KONTEJNERA (ASC)

Automatizirane dizalice za slaganje kontejnera (engl. *Automated Stacking Crane* - ASC) služe za preuzimanje kontejnera iz skladišnog prostora i krcanje istih na vozila horizontalnog transporta i obrnuto. Danas se najčešće koriste sljedeća tri sustava: [14]

- Automatizirana pokretna dizalica na kolosijeku (engl. *Automated Rail Mounted Gantry crane* - ARMG) koja se opslužuje na krajevima sa kontejnerima

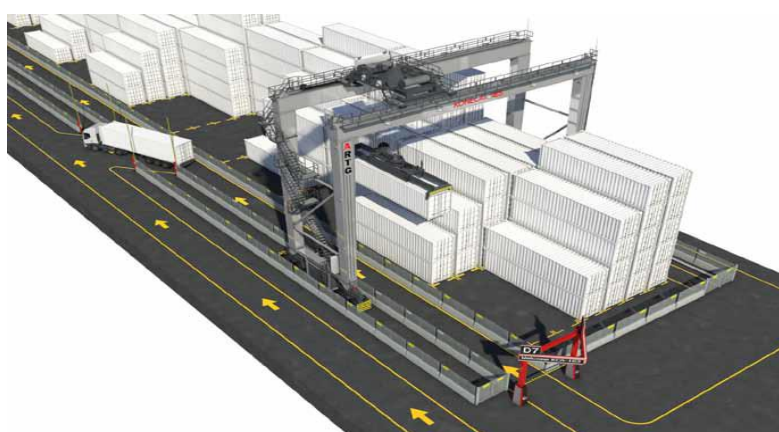
postavljenim okomito na obalu. Ovaj sustav je prikazan na primjeru klasičnog dizajna automatiziranog terminala na slici broj 6.

- Automatizirana pokretna dizalica na kolosijeku sa bočnim nosačem (engl. *Cantilever Automated Rail Mounted Gantry crane - CARMG*) koja se opslužuje sa strane sa kontejnerima postavljenim paralelno uz obalu.



Slika 11. Bočno opsluživana automatizirana pokretna dizalica na kolosijeku sa bočnim nosačem (CARMG) [39]

- Automatizirana pokretna dizalica na gumenim kotačima (engl. *Automated Rubber Tired Gantry crane - ARTG*) koja se opslužuje sa strane gdje kamioni za prijevoz kontejnera ulaze u unaprijed definiranu traku pod dizalicom i tako preuzimaju ili ostavljaju kontejnere.



Slika 12. Bočno opsluživana automatizirana pokretna dizalica na gumenim kotačima (ARTG) [35]

Paralelni dizajn sa CARMG se preferira u Aziji dok okomiti dizajn sa ARMG je popularan u svim drugim područjima. Postoje mjesta gdje se koriste kombinacije sustava sa bočnim i krajnjim opsluživanjem kao Thamespost u Velikoj Britaniji i Rotterdam u Njemačkoj. ARMG i CARMG koriste neku vrstu vodilica fiksiranih u beton ili čelik dok ARTG koriste normalnu cestu kao podlogu za kretanje što je njihova glavna prednost jer postojeća infrastruktura terminala može biti iskorištena a to omogućuje lakšu implementaciju i niže cijene. Glavne operativne razlike između različitih dizajna su [14]:

- Dizajn sa krajnjim opsluživanjem odvaja kopneni transport od obalnog i tako omogućava korištenje potpuno automatiziranih vozila za horizontalni transport na obalnoj strani.
- Dizajn sa krajnjim opsluživanjem ima fiksni kapacitet i pruža manju fleksibilnost kod prekrcajnih kapaciteta. Izuzetak ovoga je terminal u Hamburgu u Njemačkoj gdje se koristi sustav prolaznih ARMG-a gdje mala ARMG može proći ispod veće ARMG u istom redu skladišnog prostora. Međutim ovaj dizajn zahtijeva više prostora što rezultira manjim kapacitetom skladišnog prostora.
- CARMG sa bočnim opsluživanjem dopušta fleksibilnije korištenje kapaciteta kopnenog i obalnog transporta.
- Dizajn sa krajnjim opsluživanjem ima jasno označena područja opsluživanja što povećava sigurnost.
- Kod dizajna koji se opslužuje na krajevima nema prometa unutar skladišnog prostora što smanjuje potrebe za osvjetljenjem i povećava sigurnost.
- Dizajn bočnog opsluživanja je neosjetljiv na promjene u prirodi toka tereta. Ako je kopneni i obalni transport neuravnotežen, dizalice mogu biti raspoređene drugačije. Kod dizajna sa opsluživanjem na krajevima to nije slučaj te je isti učinkovitiji kada je omjer kopnenog i obalnog transporta iznad 65%. Ispod toga obično kopneni transport postane nedovoljno korišten.
- Kod ARTG-a vozila ulaze ispod dizalice u određenu traku kroz određeni ulaz.

Veličina dizalice je kompromis između prekrcajnih i skladišnih kapaciteta. Krajnje opsluživana ARMG se obično proteže 8 do 10 kontejnera dok bočno opsluživana CARMG ima širinu 10 do 14 kontejnera. Raspon ARTG-a je 7 do 9 kontejnera plus traka za kamione. Najčešće visina za sve dizajne je 5 kontejnera plus 1 iznad s kojim se rukovodi. Udaljenosti između pojedinih blokova kontejnera iznose od 35 do 50 cm.

Budući da ASC nema kabinu ni vozača, potreban je niz sustava za izvršavanje zadataka koje normalno obavlja vozač. To uključuje operacije kao [14]:

- podizanje i spuštanje kontejnera,
- kontrola rute od početka do odredišta,
- kontrola pozicije kontejnera i hvataljki kontejnera sa točnošću u centimetar,
- izbjegavanje sudara,
- prilagodba u slučaju promjena kolosijeka, ceste ili nagiba i
- prilagodba s obzirom na dinamiku i deformiranje dizalice.

U ovu svrhu ASC su opremljene sa sensorima temeljenim na laserskoj i infracrvenoj tehnologiji, naprednim kamerama, navigacijskim sensorima i digitalnim informacijskim sustavima za upravljanje dizalica koji kontinuirano izvještava o stanju dizalice. Senzorski sustavi mogu biti već postojeća industrijska rješenja ili sustavi izrađeni po mjeri. Važni sustavi kao oni za pozicioniranje dizalice obično imaju rezervni sustav. [14]

Kretanje dizalice se izvodi automatski, na temelju instrukcija od operacijskog sustava terminala. Kada se obavljaju operacije prebacivanja kontejnera na ili sa ručno upravljanih vozila kao vanjski cestovni kamioni, potreban je nadzor operatera iz kontrolnog centra. U ovu svrhu ASC su opremljene sa više kamera visoke razlučivosti da operater ima potpuni nadzor nad situacijom na terenu. Potpuno automatizirano ukrcavanje i iskrcavanje kamiona i vozila za obalni i kopneni transport je već implementirano kod nekih terminala dajući time stopostotnu razinu autonomije dizalicama za slaganje kontejnera. [14]

8.3. AUTOMATIZIRANE OBALNE DIZALICE (AQC)

Utjecaj automatizacije SC-a i horizontalnog transporta je jasno vidljiv na današnjim modernim dizajnama QC-a. QC radi svoje osjetljive prirode a to je da mora rukovati kontejnerima iznad brodova još uvijek zaostaje za potpunom automatizacijom, ali mogućnost daljinskog upravljanja je već u upotrebi. Kao i kod ASC-a kad se automatizacija u potpunosti uvede u operacije QC-a, dizalice će se moći daljinski upravljati i kabina vozača neće više biti potrebna. Da bi se ovo postiglo potreban je niz sustava koji će izvoditi operacije koje bi inače izvodio vozač. To uključuje [14]:

- podizanje i spuštanje kontejnera na platforme, tlo ili vozila,
- kontrola kretanja i optimalne putanje,
- kontrola nagiba i njihanja,

- sprečavanje sudara dizalice sa drugom dizalicom ili sa brodom.

Kao i kod ASC-a, automatizirana obalna dizalica (engl. *Automated Quay Crane* - AQC) je opremljena sa:

- laserskim i / ili infracrvenim senzorima,
- naprednim kamerama za očitavanje podataka na kontejneru,
- informacijskim sustavom za upravljanje dizalice koji kontinuirano izvještava o stanju dizalice,
- raznim kamerama visoke rezolucije.

Kod AQC-a trenutno određeni dijelovi operacije se izvode automatski, dok je kod zadataka kao rukovanje kontejnerima iznad broda potreban operater. S potpunom automatizacijom većina ciklusa operacije dizalice će biti samostalna i glavni zadatak operatera iz kontrolnog centra će biti da nadgleda proces i poduzme mjere ako je potrebno. Manjak vozača omogućiti će brži rad dizalice i veće prekrajne kapacitete.

Operateri smješteni u kontrolnom centru nadziru kretanje dizalice pomoću ugrađenih kamera i stanice za daljinsko upravljanje. Ovo je vrlo korisno kod viših dizalica kod kojih je vid ograničen zbog fizičke udaljenosti između kabine i predmeta. Sa pristupom podacima koje pruža sustav automatizacije, prikazi kamera se mogu samostalno prilagođavati uključujući zumiranje da se omogući bolja vidljivost operateru. Jedan od glavnih prednosti ovakvih sustava je odvajanje ljudi od velikih i opasnih strojeva što znatno smanjuje cjelokupan rizik čemu se dosta teži u današnje vrijeme. Na slici ispod vidimo primjer AQC-a. [14]



Slika 13. Automatizirane obalne dizalice (AQC) [14]

U drugoj polovici 2018. godine, jedan od vodećih svjetskih lučkih operatera, PSA International, je objavio da testira AQC na Pasir Panjang terminalu u Singapuru. Cilj je veća učinkovitost dizalica i poboljšanje radnih uvjeta operatera u dizalicama. Umjesto da sjede u maloj kabini na visini od nekoliko desetaka metara, operateri će nadzirati rad svojih dizalica iz klimatiziranih kontrolnih centara. Ukupno 40 operatera je obučeno za korištenje sustava a kroz nekoliko godina je planirano da se osposobi svih 500 operatera. Za sada precizno pozicioniranje kontejnera na brod ili AGV od strane dizalice i dalje zahtijeva operatera. Međutim, inženjeri rade na tome da se cijeli postupak automatizira uz minimalnu potrebu za ljudskim nadzorom. AQC sustav je za početak implementiran na tri dizalice. Osim toga, testira se i 30 AGV-a za upotrebu zajedno sa AQC od kojih je 8 hibridnih a 22 potpuno na baterije. Sustav se provodi u okviru razvojnog programa od 3,5 milijarde dolara, pri čemu će se proširiti kapacitet terminala do 15 milijuna TEU-a (engl. *Twenty foot Equivalent Unit*) na 15 vezova sa gazom od 18 metara. [41]

Ovaj sustav se također planira za Tuas kontejnerski terminal sljedeće generacije koji se trenutno razvija u Singapuru. Predviđen za dovršetak 2040. godine, postat će najveći kontejnerski terminal na svijetu, sa kapacitetom od 65 milijuna TEU-a, gdje će svi trenutni singapurski terminali biti premješteni i spojeni. [41]

8.4. OPERACIJSKI SUSTAV AUTOMATIZIRANOG TERMINALA

Operacijski sustav terminala (engl. *Terminal Operating System* - TOS) kontrolira logistiku terminala, uključujući ključne funkcije kao praćenje kontejnera, nadgledanje vozila i dizalica te kreiranje radnih uputa za vozila i dizalice. TOS softver pruža nekoliko komercijalnih tvrtki a kod većih terminala uglavnom se kreira novi softver dizajniran samo za taj terminal. [14]

U modernom kontejnerskom terminalu, vozila ili dizalice za rukovanje kontejnera mogu biti bez vozača, upravljani od strane kompjutera dok dio može biti ručno upravljani. Za TOS ne postoji velika razlika između ova dva načina rada, a kada postoji to se obično događa zato što vozači mogu improvizirati u nekim određenim slučajevima za razliku od kompjutera. Da bi se omogućilo učinkovito rukovanje iznimkama koje iskaču od normalnih operacija, sustav može podržavati neku razinu umjetne inteligencije. U osnovi, TOS ima dvije glavne funkcije i to da zabilježi sva kretanja kontejnera i da planira i raspoređuje mjesta za kontejnere davajući radne naloge vozilima i dizalicama. Komunikacija između vozila, dizalica i TOS-a se obično odvija na sljedeći način [14]:

- primanje i potvrda zadatka,
- kalkuliranje i kreiranje rute,
- kontrola kretanja i lokacije,
- izbjegavanje sudara,
- potvrda o izvršavanju/prekidu zadatka.

Komunikacija se obavlja određenim protokolom koji je još uvijek specifičan za svakog pojedinog proizvođača, ali postoje inicijative da se standardizira komunikacijski protokol radi bržeg integriranja i spajanja dizalica i vozila od različitih proizvođača.

8.5. POSLOVANJE I PROJEKTIRANJE AUTOMATIZIRANOG TERMINALA

Današnji kontejnerski terminali rade u konkurentnom, globalnom poslovnom okruženju pod velikim pritiskom. Integracija između glavnih brodskih kompanija je dovela do kontinuiranog povećanja prosječnog kapaciteta kontejnerskog broda na terminalima svih veličina. Istodobno, operateri terminala su suočeni sa visokim pritiskom što se tiče troškova, dok pritom moraju zadovoljiti i sve zahtjevnije ekološke standarde. [42]

Kako globalni logistički lanci postaju sve brži, transparentniji i konkurentniji, ključni izazov postaje prilagođavanje odnosno raditi iste stvari na bolji i efikasniji način koristeći nove tehnologije. Također, operateri se moraju pomiriti sa velikim troškovima ulaganja koja će oblikovati njihovo poslovanje u sljedećim desetljećima sa kratkotrajnom nesigurnošću u pogledu dinamike tržišta i globalnog poslovnog okruženja. Radi svega navedenog, dizajnirati uspješan kontejnerski terminal je vrlo izazovan zadatak koji mora smanjiti troškove svakodnevnih operacija, poboljšati kvalitetu i učinkovitost usluge i zadržati terminal konkurentnim za širok raspon potencijalnih scenarija u budućnosti. Odluka o operativnom konceptu terminala ovisi o mnogim čimbenicima uključujući očekivanu veličinu brodova, prognoze pomorskog prometa u budućnosti, uvjete na tržištu rada, strukturni troškovi i utjecaj na okoliš. Nadalje, terminal mora razmotriti kako se razlikovati od konkurencije da bi povećao i zadržao svoj tržišni udio. [42]

Automatizacija je sve prisutnija u operacijama na kontejnerskom terminalu tijekom posljednjih godina. Konkretno, automatizacija skladišnog prostora odnosno SC-a je postala standardni proizvod u posljednjem desetljeću, ali horizontalni prijevoz na obalnoj strani i osobito obalne dizalice su još uvijek u fazi razvoja. Međutim, AGV kao i automatizirani STC u horizontalnom transportu su se već implementirali i dokazali na nekim terminalima. Automatizacija je široko prihvaćena kao primarni način za poboljšanje dosljednosti i

konkurentnosti kontejnerskih terminala u budućnosti. U usporedbi s tradicionalnim terminalima, automatizirani terminali zahtijevaju znatno drugačiji pristup u mnogim područjima, od faze planiranja i dizajna do servisa i održavanja. Automatizacija dijela kontejnerskog terminala je veliko ulaganje i operateri moraju biti u stanju stvoriti valjani poslovni plan koji mora pružiti solidnu osnovu za buduće poslovanje i privući potencijalne buduće ulagače. [42]

Zbog složenosti projekta automatiziranog terminala, dobro strukturirana i detaljna investicijska studija postaje presudna u fazi projektiranja. Kod tradicionalnih terminala uobičajena je praksa eksperimentirati na samim sistemima jer sve promjene utječu samo na operativne procedure i osoblje. Kod automatiziranih sustava, takvo eksperimentiranje 'u hodu' nije praktično zbog visoke razine integracije između različitih softvera i sučelja. Stoga, alternativni načini testiranja moraju biti uzeti u obzir, kao na primjer izrada simulacijskog modela za terminal. Ekološka učinkovitost je još jedno važno područje kod današnjih kontejnerskih terminala. Operateri kontinuirano poduzimaju korake kako bi smanjili emisije štetnih plinova i potrošnju energije u operacijama terminala. Ekološka učinkovitost također rezultira izravnim uštedama te istodobno promovira odgovornost kompanije i ispunjava zahtjeve dioničara. Osobito u područjima gdje promjene zakona uvelike usmjeravaju operatere prema ekološki učinkovitijim rješenjima, važno je biti sposoban demonstrirati poštivanje zahtjeva već u fazi projektiranja. [42]

8.6. ODRŽAVANJE AUTOMATIZIRANOG TERMINALA

Osnovna organizacija automatiziranog kontejnerskog terminala će biti ista bez obzira na broj korištenih dizalica i vozila. Glavne razlike u odnosu na konvencionalne terminale su manji broj vozača i centralno kontroliranje operacija putem zaslona. Automatizirani terminal obično ima veće početne troškove i niže operativne troškove od ručno upravljanih postrojenja. Stoga, da bi automatizirani terminal bio ekonomski isplativ, potrebna je visoka razina iskorištavanja terminala. Automatizirani postupci znatno smanjuju trošenje opreme za razliku od ručno upravljanih operacija te su zbog toga ukupni troškovi održavanja niži. Uz ispravan režim preventivnog održavanja, automatizirani terminali u novije vrijeme su gotovo uvijek u funkciji i spremni za korištenje. Automatizirane operacije obično zahtijevaju visoku preciznost odlaganja i slaganja kontejnera te visoku pouzdanost kod preuzimanja kontejnera. Ovo se postiže jako preciznim mjernim uređajima i točno kalibriranim sustavima. Ovo se odnosi na sve

funkcionalne dijelove dizalice i stoga takvi uređaji i sustavi moraju biti ključni dio u pogledu održavanja. [14]

9. ZAKLJUČAK

Izbjegavanje prepreka autonomnog stroja u okolišu koji sadrži statičke i pokretne prepreke, u ovom slučaju autonomnog broda koji plovi obalnim područjem i otvorenim morima i autonomnog vozila na kontejnerskim terminalima je problem koji se intenzivno proučava zadnjih nekoliko desetljeća. Tehnologije za osjećanje okoline su se dosta razvile u automobilske industriji i implementacija istih kod autonomnih brodova neće predstavljati preveliki izazov ali komunikacijska rješenja će biti ogroman izazov. Autonomni brodovi u budućnosti će još uvijek trebati ljudsku interakciju s kopna što znači da je komunikacija broda i obale kritična komponenta autonomnih brodova. Takva komunikacija mora biti točna, brza, pouzdana i sigurna te se mora osigurati dovoljna propusnost podataka u svakom trenutku. Da bi se to omogućilo biti će potrebno prilagoditi komunikacijsku infrastrukturu na globalnoj razini.

Prijelaz na autonomne brodove je puno više od samih tehnoloških rješenja. Realizacija pomorske autonomije na globalnoj razini će zahtijevati uključenost svih stranaka u pomorske industriji, uključujući regulatorna tijela, osiguravatelje, klasifikacijska društva, brodovlasnike, brodogradilišta itd. Da se udovolji postojećim a i budućim pravnim zahtjevima, autonomni brodovi će morati imati razinu sigurnosti koja je najmanje jednaka postojećim brodovima. Autonomija ima potencijal za smanjiti ljudske greške ali istodobno otvara neke nove rizike koji se trebaju riješiti.

Izvedivost autonomnih brodova nije upitna ali je teško procijeniti kada će stići potpuno autonomni brodovi. Tehnologija postoji ali priroda pomorske industrije je otporna na promjene. Autonomija na globalnoj razini neće biti implementirana barem još 40 do 50 godina, ali će definitivno naći svoje mjesto kod nekih brodova kao trajekti koji imaju kratka putovanja između istih odredišta.

Za razliku od autonomnih brodova, autonomna vozila na lučkim, točnije kontejnerskim terminalima su već široko u upotrebi. Kontejnerski terminali su idealno mjesto za iskorištavanje svih prednosti autonomije, te sve više terminala ide u tom smjeru. Razlog tome je smanjenje troškova ali i poboljšanje pouzdanosti i sigurnosti operacija te smanjenje negativnog utjecaja na okoliš.

Kada se sve uzme u obzir, autonomija je dobra stvar i pomorska industrija treba težiti istoj. U današnje vrijeme više od 80% nesreća na moru se događa zbog ljudske greške. Unatoč sve rigoroznijim regulacijama, dugi radni sati, odvojenost od obitelji i

doma te opasna radna okolina i dalje stvaraju loše i opasne uvjete. Uvodom autonomije poslovi neće nestati već će se prebaciti u sigurniji okoliš, a produktivnost će biti jednaka ili bolja. Brodovi će biti predvidljiviji i stoga, autonomiju treba smatrati kao nešto pozitivno a ne kao prijetnju.

LITERATURA

- [1] Felski, A.; Zwolak, K.: *The Ocean-Going Autonomous Ship – Challenges and Threats*, Polish Naval Academy 2020.
- [2] Komianos, A.: *The Autonomous Shipping Era. Operational, Regulatory, and Quality Challenges*, The Nautical Institute, London, UK, 2015.
- [3] Kampantais N.: *Seaworthiness in autonomous unmanned cargo ships*, Erasmus University Rotterdam, 2016.
- [4] Porathe T.: *Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “the Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough?*, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2019.
- [5] Bižaca I.: *Osnove GMDSS-s*, Mali Lošinj, 2011.
- [6] Allal A., Mansuori K. i dr.: *Toward Reliable Maritime Communication for a Safe Operation of Autonomous Ship*, Morocco, 2017.
- [7] Höyhty M., Huusko J. i dr.: *Connectivity for Autonomous Ships: Architecture, Use Cases, and Research Challenges*, Technical Research Centre of Finland, 2017.
- [8] Buzov I.: *Navigacijski senzori autonomnih brodova*, Diplomski rad, Pomorski fakultet u Splitu, 2020.
- [9] Đirlić M.: *Arpa i AIS*, Završni rad, Pomorski fakultet u Splitu, 2017.
- [10] Maritime safety committee (MSC 98/23), *Report of the maritime safety committee on its ninety-eighty session*, International maritime organization, 28 June 2017, str. 78-98.
- [11] Maritime safety committee (MSC 99/22), *Report of the maritime safety committee on its ninety-ninth session*, International maritime organization, 5 June 2018, str. 25-36.
- [12] Maritime safety committee (MSC.1/Circ.1604), *Interim guideline for MASS trials*, International maritime organization, 14 June 2019.
- [13] SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) Chapter IV: *„Radiocommunications“*: (1974)
- [14] Port Equipment Manufacturers Association (PEMA): *Container terminal Automation*, London 2016.
- [15] Advanced Autonomous Waterborne Applications (AAWA): *Remote and Autonomous Ships – The next steps*, Rolls Royce, London 2016. URL:

- <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [16] Safer Vessel with Autonomous Navigation (SVAN): *World's first fully autonomous ferry demonstration*, Rolls Royce 2018. URL: <https://breakingwaves.fi/wp-content/uploads/2019/06/SVAN-presentation.pdf> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [17] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MSC/Pages/MSC-98th-session.aspx> (pristupljeno 06.7.2020.)
- [18] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MSC/Pages/MSC-99th-session.aspx> (pristupljeno 06.7.2020.)
- [19] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MSC-99-MASS-scoping.aspx> (pristupljeno 06.7.2020.)
- [20] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MSC/Pages/MSC-100th-session.aspx> (pristupljeno 06.7.2020.)
- [21] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MSC/Pages/MSC-101st-session.aspx> (pristupljeno 06.7.2020.)
- [22] <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (pristupljeno 05.7.2020.)
- [23] <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/munin-results-2/> (pristupljeno 08.7.2020.)
- [24] <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomous-ship/> (pristupljeno 08.7.2020.)
- [25] https://www.youtube.com/watch?v=JW57ZMjL_fc (pristupljeno 09.7.2020.)
- [26] <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2016/automated-ships-ltd-and-kongsberg-to-build-first-unmanned-and-fully-autonomous/> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [27] <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/our-stories/autonomous-future/> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [28] <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [29] <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/> (pristupljeno 09.7.2020.)
- [30] <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf> (pristupljeno 10.7.2020.)
- [31] https://en.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_Holdings (pristupljeno 15.7.2020.)

- [32] <https://en.wikipedia.org/wiki/Inmarsat> (pristupljeno 28.7.2020.)
- [33] https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11p (pristupljeno 04.8.2020.)
- [34] <https://www.fusionconnect.com/blog/blog-archive/what-is-4g-network/>
(pristupljeno 24.8.2020.)
- [35] https://www.konecranes.com/sites/default/files/download/case_for_automated_rtg_container_handling.pdf (pristupljeno 26.8.2020.)
- [36] <https://www.konecranes.com/en-au/equipment/container-handling-equipment/automated-rmg-armg-system> (pristupljeno 26.8.2020.)
- [37] <https://free3d.com/3d-model/carrier-141.html> (pristupljeno 26.8.2020.)
- [38] <https://www.kalmarglobal.com/48d0fa/globalassets/equipment/automated-stacking-cranes/ASC-system-brochure> (pristupljeno 27.8.2020.)
- [39] <https://new.abb.com/ports/solutions-for-marine-terminals/highlights/cantilever-delivers> (pristupljeno 27.8.2020.)
- [40] <https://www.fierceelectronics.com/components/lidar-vs-radar> (pristupljeno 30.8.2020.)
- [41] <https://port.today/automated-quay-cranes-trial-singapore/> (pristupljeno 07.9.2020.)
- [42] https://www.kalmarglobal.com/4904df/globalassets/media/216035/216035_TDS-WP-WEB-singles.pdf (pristupljeno 11.9.2020.)

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba komunikacijskih tehnologija za autonomne brodove.....	27
--	----

POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1: Prva plovidba autonomnog broda Yara Birkeland [29].....	7
Slika 2: Koncept autonomnog navigacijskog sustava [15].....	11
Slika 3. Različite razine uključenosti operatera u navigaciju autonomnog broda [15].....	14
Slika 4. Usporedba slike po danu pomoću normalne kamere (lijevo) i termalne kamere (desno) [15].....	16
Slika 5. Usporedba prikaza objekata pomoću LIDAR-a (lijevo) i RADAR-a visoke rezolucije (desno) [40].....	18
Slika 6. Primjer automatiziranog terminala za prekrcaj kontejnera [37].....	30
Slika 7. Krajnje opsluživani horizontalni kopneni transport [14].....	31
Slika 8. Krajnje opsluživani horizontalni obalni transport [14].....	31
Slika 9. Automatizirano vozilo za prijevoz kontejnera (AGV) [14].....	32
Slika 10. Shuttle carrier (SHC) [37].....	33
Slika 11. Bočno opsluživana automatizirana pokretna dizalica na kolosijeku s bočnim nosačem (CARMG) [39].....	34
Slika 12. Bočno opsluživana automatizirana pokretna dizalica na gumenim kotačima (ARTG) [35].....	34
Slika 13. Automatizirane obalne dizalice (AQC) [14].....	37

POPIS KRATICA

AQC (engl. <i>Automated Quay Crane</i>)	automatizirana obalna dizalica
AAWA (engl. <i>The Advanced Autonomous Waterborne Applications</i>)	inicijativa napredne autonomne primjene na plovila
AGV (engl. <i>Automated Guided Vehicle</i>)	automatizirana vozilo
AIS (engl. <i>Automatic Identification System</i>)	automatski identifikacijski sustav
ANS (engl. <i>Autonomous Navigation System</i>)	autonomni navigacijski sustav
ARMG (engl. <i>Automated Rail Mounted Gantry crane</i>)	automatizirana pokretna dizalica na kolosjeku
ARPA (engl. <i>Automatic Radar Plotting Aid</i>)	automatski sustav za radarsko plotiranje
ARTG (engl. <i>Automated Rubber Tired Gantry crane</i>)	automatizirana pokretna dizalica na gumenim kotačima
ASC (engl. <i>Automated Stacking Crane</i>)	automatizirana dizalica za slaganje kontejnera
AUV (engl. <i>Autonomous Underwater Vehicle</i>)	autonomno podvodno vozilo
CAM (engl. <i>Collision Avoidance</i>)	modul za izbjegavanje sudara
CARMG (engl. <i>Cantilever Automated Rail Mounted Gantry crane</i>)	automatizirana pokretna dizalica na kolosjeku sa bočnim nosačem
CES (engl. <i>Coast Earth Station</i>)	obalna zemaljska stanica
CLL (engl. <i>The International Convention on Load Lines</i>)	međunarodna konvencija o teretnoj liniji
COLREG (engl. <i>The International Regulations for preventing Collision at sea</i>)	međunarodna pravila za izbjegavanje sudara na moru
CSC (engl. <i>The International Convention for Safe Containers</i>)	međunarodna konvencija o sigurnosti kontejnera
DPM (engl. <i>Dynamic Positioning</i>)	modul za dinamičko pozicioniranje
ECDIS (engl. <i>Electronic Chart Display and Information System</i>)	sustav elektroničkih karata
ETA (engl. <i>Estimated Time of Arrival</i>)	procjenjeno vrijeme dolaska
GMDSS (engl. <i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	svjetski pomorski sustav za pogibelj i sigurnost
GPS (engl. <i>Global Positioning System</i>)	sustav globalnog pozicioniranja
HF (engl. <i>High Frequency</i>)	visoka frekvencija
IMO (engl. <i>International Maritime Organization</i>)	međunarodna pomorska organizacija
INS (engl. <i>Inertial Navigation System</i>)	inercijalni navigacijski sustav
ITU (engl. <i>Intelligent transportation system</i>)	inteligentni transportni sustav
LEO (engl. <i>Low Earth Orbit</i>)	nisko zemaljska orbita
LIDAR (engl. <i>Light Detection and Ranging</i>)	svjetlosni radar
LWIR (engl. <i>Long Wave Infra Red</i>)	dugovalna infracrvena tehnologija
MARPOL (engl. <i>The International</i>	međunarodna konvencija o sprječavanju

<i>Convention for the Prevention of Pollution from Ships)</i>	zagađenja s brodova
MASS (engl. <i>Maritime Autonomous Surface Ships</i>)	pomorski autonomni brodovi
MF (engl. <i>Medium Frequency</i>)	srednja frekvencija
mmW (engl. <i>Millimeter Wave</i>)	milimetarski val
MSC (engl. <i>Maritime Safety Committee</i>)	odbor za pomorsku sigurnost
MSS (engl. <i>Maritime Satellite Service</i>)	pomorske satelitske usluge
MUNIN (engl. <i>Maritime unmanned navigation through intelligence in networks</i>)	pomorska navigacija bez posade kroz inteligenciju u mrežama
QC (engl. <i>Quay Cranes</i>)	obalne dizalice
RADAR (engl. <i>Radio Detection and Ranging</i>)	radio detekcija i smjiranje
RADAR (engl. <i>Radio Detection and Ranging</i>)	radio detekcija i smjiranje
ROV (engl. <i>Remotely Operated Vehicle</i>)	vozilo na daljinsko upravljanje
RPM (engl. <i>Route Planning</i>)	modul za planiranje rute
SAM (engl. <i>Situational Awareness</i>)	modul za osjećanje okoline
SAR (engl. <i>International Convention on Maritime Search and Rescue</i>)	međunarodna konvencija o traganju i spašavanju
SC (engl. <i>Stacking Cranes</i>)	dizalice za slaganje kontejnera
SCC (engl. <i>Shore Control Center</i>)	obalna kontrolna postaja
SHC (engl. <i>Shuttle Carrier</i>)	specijalizirani nosač kontejnera
SOLAS (engl. <i>The International Convention for the Safety of Life at Sea</i>)	međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru
STC (engl. <i>Straddle Carrier</i>)	nosač kontejnera
STCW (engl. <i>The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers</i>)	međunarodna konvencija o standardima izobrazbe, izdavanju svjedodžbi i držanju straže pomoraca
SVAN (engl. <i>Safer Vessel with Autonomous Navigation</i>)	sigurniji brod sa autonomnom navigacijom
SWIR (engl. <i>Short Wave Infra Red</i>)	kratkovalna infracrvena tehnologija
TEU (engl. <i>Twenty foot Equivalent Unit</i>)	jedinica od dvadeset stopa
TONNAGE 1969 (engl. <i>International Convention on Tonnage Measurement of Ships</i>)	međunarodna konvencija o baždarenju brodova
TOS (engl. <i>Terminal Operating System</i>)	operacijski sustav terminala
VCM (engl. <i>Virtual Captain</i>)	modul virtualnog kapetana
VHF (engl. <i>Very High Frequency</i>)	jako visoka frekvencija
VSAT (engl. <i>Very Small Aperture Terminal</i>)	satelitski sustav određenih karakteristika
VTS (engl. <i>Vessel Traffic Service</i>)	služba za nadzor plovidbenog prometa
WLAN (engl. <i>Wireless Local Area Network</i>)	bežična lokalna mreža