

# Utjecaj pomorskog prometa na acidifikaciju i eutrofikaciju sjevernog dijela Jadranskog mora

---

Plješa, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:077298>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**IVAN PLJEŠA**

**UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA ACIDIFIKACIJU I  
EUTROFIKACIJU SJEVERNOG DIJELA JADRANSKOG  
MORA**

**DIPLOMSKI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA ACIDIFIKACIJU I  
EUTROFIKACIJU SJEVERNOG DIJELA JADRANSKOG  
MORA**

**THE IMPACT OF MARITIME TRAFFIC ON  
ACIDIFICATION AND EUTROPHICATION OF THE  
NORTHERN PART OF THE ADRIATIC SEA**

**DIPLOMSKI RAD**

Kolegij: Ekologija u pomorskom prometu

Mentor: izv. prof. dr. sc. Radoslav Radonja

Student: Ivan Plješa

Studijski smjer: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075969

Rijeka, siječanj 2024.

Student: Ivan Plješa

Studijski program: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075969

#### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom:

**„Utjecaj pomorskog prometa na acidifikaciju i eutrofikaciju sjevernog dijela  
jadranskog mora“**

izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Radoslava Radonje.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezo s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Ime i prezime studenta

Student: Ivan Plješa

Studijski program: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075969

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor



## **SAŽETAK**

Ovaj diplomski rad istražuje utjecaj pomorskog prometa na acidifikaciju i eutrofikaciju sjevernog dijela Jadranskog mora. Proučeni su trenutni ekološki uvjeti u regiji, te se analiziraju obrasci prometa i poslovanja luka kroz potencijalne ekološke prijetnje kontinuiranog rasta prometa. Nadalje, istražuju se međunarodne, EU i hrvatske legislative, te se navode neka od trenutno najučinkovitijih tehnoloških rješenja obrade sanitarnih otpadnih voda i emisija ispušnih plinova koje se primjenjuju na brodovima, a koje udovoljavaju zakonima za ublažavanje procesa acidifikacije i eutrofikacije. Kroz ove analize, istraživanje pruža sveobuhvatan pregled kompleksnog odnosa između pomorskih aktivnosti i ekološke održivosti u sjevernom dijelu Jadranskog mora.

Ključne riječi: acidifikacija, eutrofikacija, pomorski promet, regionalne luke, zakoni, održive brodske tehnologije.

## **SUMMARY**

This master's thesis examines the effects of maritime traffic on the acidification and eutrophication of the northern part of the Adriatic Sea. It examines the current ecological conditions in the region and analyses traffic patterns and port operations in light of the potential ecological threats posed by continuous traffic growth. It also examines international, EU, and Croatian legislation and lists some of the most effective current technological solutions for wastewater treatment and exhaust emissions from ships that comply with legislation to mitigate the processes of acidification and eutrophication. Through these analyses, the study provides a comprehensive overview of the complex relationship between maritime activities and environmental sustainability in the northern Adriatic.

Keywords: acidification, eutrophication, maritime traffic, regional ports, laws, sustainable shipping technologies.

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK.....</b>	<b>II</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>II</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. EKOLOŠKI PRITISCI POMORSTVA NA JADRAN.....</b>	<b>2</b>
2.1. ACIDIFIKACIJA MORA .....	2
2.1.1. <i>Proces acidifikacije mora</i> .....	3
2.1.2. <i>Utjecaj acidifikacije na ekosustav mora</i> .....	4
2.1.3. <i>Ciklusi acidifikacije sjevernog Jadranskog mora</i> .....	5
2.2. EUTROFIKACIJA MORA.....	6
2.2.1. <i>Proces eutrofikacije mora</i> .....	7
2.2.2. <i>Utjecaj eutrofikacije na ekosustav mora</i> .....	8
2.2.3. <i>Ciklusi eutrofikacije sjevernog Jadrana</i> .....	9
<b>3. POMORSKI PROMET SJEVERNOG DIJELA JADRANSKOG MORA</b> <b>.....</b>	<b>12</b>
3.1. NAJVAŽNIJE I NAJPROMETNIJE LUKE .....	15
3.1.1. <i>Luka Venecija</i> .....	18
3.1.2. <i>Luka Trst</i> .....	21
3.1.3. <i>Luka Kopar</i> .....	24
3.1.4. <i>Luka Rijeka</i> .....	26
3.2. ISPUŠTANJA BRODOVA .....	30
<b>4. PROPISI O POSTUPANJU SA SANITARNIM OTPADNIM VODAMA</b> <b>I EMISIJAMA ISPUŠNIH PLINOVA S BRODOVA .....</b>	<b>32</b>
4.1. PRILOG IV. MARPOL KONVENCIJE.....	33
4.2. PRILOG VI. MARPOL KONVENCIJE.....	36
4.3. REGULATIVE EUROPSKE UNIJE ZA SANITARNE OTPADNE VODE I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA .....	41
4.4. REGULATIVE REPUBLIKE HRVATSKE O SANITARNIM OTPADNIM VODAMA I EMISIJAMA ISPUŠNIH PLINOVA .....	43
<b>5. TEHNOLOŠKA RJEŠENJA OBRADNE OTPADNIH VODA I EMISIJA</b> <b>ISPUŠNIH PLINOVA NA BRODOVIMA.....</b>	<b>44</b>
5.1. OPREMA ZA OBRADU SANITARNIH OTPADNIH VODA NA BRODOVIMA ..	45

5.1.1. <i>Postrojenje za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda</i> .....	45
5.1.2. <i>Moderna postrojenja za obradu</i> .....	48
5.2. OPREMA ZA OBRADU EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA NA BRODOVIMA.....	49
5.2.1. <i>Ispirači plinova</i> .....	50
5.2.2. <i>Selektivna katalitička redukcija</i> .....	54
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>60</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>61</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>68</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>68</b>
<b>POPIS GRAFIKONA .....</b>	<b>68</b>
<b>POPIS SHEMA .....</b>	<b>69</b>



# 1. UVOD

Kroz ovaj diplomski rad istražuje se složen odnos između pomorskog prometa i ekoloških izazova acidifikacije i eutrofikacije u sjevernom dijelu Jadranskog mora.

Diplomski rad je podijeljen u šest poglavlja.

U drugom poglavlju pruža se sveobuhvatan pregled acidifikacije i eutrofikacije, uz utvrđivanje osnovnih značajki sjevernog dijela Jadrana kao podložnog za spomenutu problematiku. Također je pružen uvid odvijanja tih procesa u regiji.

U trećem poglavlju predstavljena je analiza prometa u četiri glavne luke na tom području (Venecija, Trst, Kopar i Rijeka) u 2022. godini, s naglaskom na putničke brodove i brodove za krstarenje kao najutjecajnije u tom smislu. Poglavlje također istražuje potencijalne ekološke prijetnje uzrokovane sveukupnim ispuštanjima s brodova i različite načine na koje ova ispuštanja mogu negativno utjecati na morski ekosustav.

Četvrto poglavlje bavi se zakonodavnim okvirom koji regulira međunarodne pomorske aktivnosti na sjevernom Jadranu. Pruža sveobuhvatan pregled međunarodnih propisa s posebnim naglaskom na priloge IV. i VI. MARPOL Konvencije, zajedno s relevantnim EU regulativama i hrvatskim zakonima. Dakle, ostvaruje uvid u regulativne mjere usmjerene na ublažavanje ekološkog utjecaja pomorskih aktivnosti.

U petom poglavlju istražuju se tehnologije i oprema koje se koriste na brodovima za sprječavanje acidifikacije i eutrofikacije. Opisuju se postrojenja za obradu sanitarnih otpadnih voda i uređaji za smanjenje emisija ispušnih plinova na brodu te ukazuje na njihovu učinkovitost u ublažavanju utjecaja pomorskog prometa na osjetljivi ekosustav sjevernog Jadrana.

Na kraju rada donesen je zaključak u kojem su iznesene najvažnije spoznaje tijekom izrade rada.

## **2. EKOLOŠKI PRITISCI POMORSTVA NA JADRAN**

Pomorski promet je jedan od načina prijevoza s najnižim emisijama štetnih plinova po prijeđenoj udaljenosti i prenesenoj težini. Unatoč tome, onečišćenje proizašlo iz pomorskih aktivnosti ima duboke posljedice po kvalitetu zraka i vode te bioraznolikost morskih i estuarijskih ekosustava. Različite vrste brodova, operativni profili, prevezeni tereti, potrošeno gorivo, upotrijebljeni materijali, uređaji i sustavi kontrole čine brodove iznimno složenim sustavima. Dok se kreću po površini mora, njihovi utjecaji na zrak i vodu moraju se uzeti u obzir kako bi se postigla održivost, [1]. Pritisци pomorskog prometa uključuju: potencijalna slučajna i nezakonita ispuštanja ulja i opasnih i štetnih tvari (HNS<sup>1</sup>), smeća i otpada, ispuštanje sanitarne otpadne vode i onečišćenje trupa broda, onečišćivača zraka s brodova, podvodna buka, sudari s morskim sisavcima, zauzimanje kopna putem lučke infrastrukture te sidrenje, [2]. Turizam, kao strateški sektor hrvatskog gospodarstva, temelji se na čistoći Jadranskog mora. Hrvatska više ovisi o turizmu nego bilo koja druga članica EU, čak više od Malte, Cipra i Grčke, kako to pokazuju podaci o deviznom prihodu ostvarenom turizmom u Hrvatskoj, koji je najviši u Europi s udjelom od 17% bruto domaćeg proizvoda (BDP), [3]. To je posebno zabrinjavajuće s obzirom na to da pomorski promet, između ostalih izvora, povećava unos hranjivih tvari (nutrijenata) u morski ekosustav kako izravnim ispuštanjem iz sustava broda tako i neizravnim ispuštanjima u atmosferu koje suhom ili vlažnom depozicijom završavaju u moru. Emisije iz pomorskog prometa značajno doprinose onečišćenju zraka globalno. Onečišćenje mora izravnim ispuštanjem posebno je izražen problem kod velikih kruzera, koji čine manje od 1% globalne trgovačke flote, a procjenjuje se da su odgovorni za oko 25% svih otpada ispuštenih od trgovačkih brodova, [4].

### **2.1. ACIDIFIKACIJA MORA**

Rastući atmosferski ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), koji je nastao uglavnom iz antropogenih izvora (npr. sagorijevanjem fosilnih goriva, tropskom deforestacijom i promijenjenom upotrebom zemljišta), rezultirao je globalnim zatopljenjem, što je jedno od najvažnijih ekoloških pitanja u današnjem svijetu. Zbog prirodne ravnoteže između plinova u atmosferi i oceanu, u posljednjih 200 godina oko 28% ovog povećanog atmosferskog CO<sub>2</sub> apsorbirano je u površini oceana, što rezultira smanjenjem pH oceana uzrokujući tako temeljite promjene u kemijskom sastavu morske vode, što nazivamo acidifikacijom mora, [5, 6]. Iako je ovo prirodno, ravnoteža

---

<sup>1</sup> Engl. Hazardous and Noxious Substances – bilo koja tvar osim nafte koja ima štetan utjecaj na okoliš ukoliko se unese u more.

apsorpcije je poremećena zbog ogromne količine ugljikovog dioksida koji se emitira u industrijskim procesima. Oceani moraju apsorbirati više ugljikovog dioksida nego što mogu unositi bez ozbiljnih nuspojava, [6].

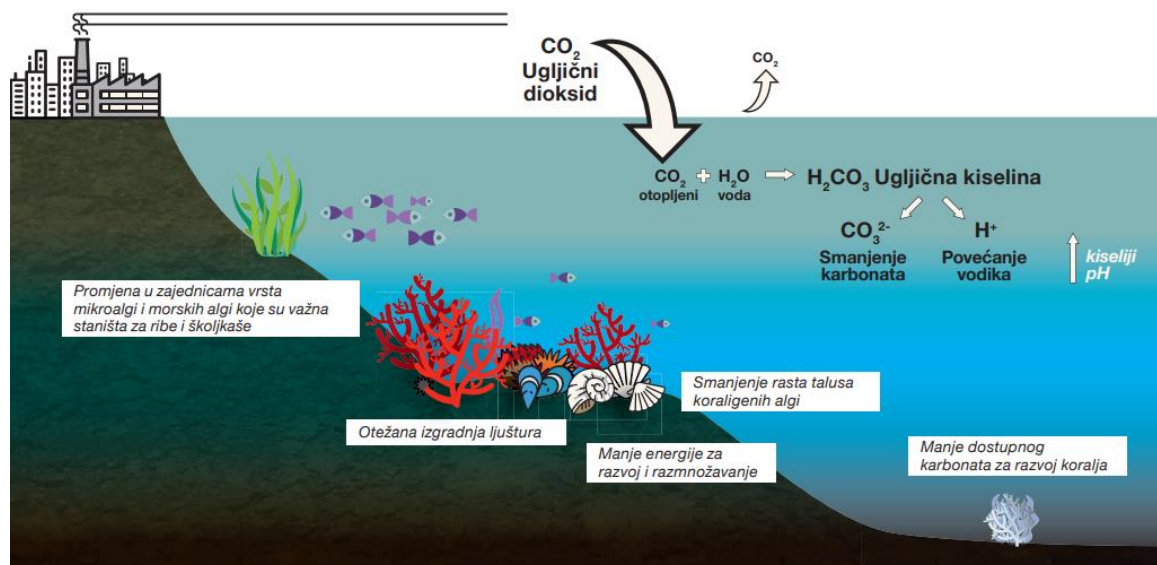
Acidifikacija je također veliki ekološki problem i zabrinjavajući fenomen koji ima dramatične posljedice na morske ekosustave i ribarstvo, kao i na ljudsko zdravlje. Slijedom toga, procesi acidifikacije i zatopljenja dobro su dokumentirani u vremenskim serijama podataka, hidrografskim istraživanjima, modelima itd., a njihov utjecaj će se dodatno pogoršavati tijekom ovog stoljeća ukoliko se buduće emisije CO<sub>2</sub> značajno ne smanje. [5].

### **2.1.1. Proces acidifikacije mora**

Acidifikacija mora je jednostavan proces koji se sastoji od nekoliko koraka (slika 1.). Jednom kada se plinoviti CO<sub>2</sub> otopi u morskoj vodi, on je u mogućnosti reakcije s morskom vodom što je prikazano u sljedećoj jednadžbi acidifikacije, [6]:



Iz te reakcije dolazi do stvaranja novih molekula poznatih kao ugljična kiselina (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) koje su obično kratkotrajne, slabe kiseline budući da sadrže samo do 1% ugljika u tom obliku. Međutim, ugljične kiseline se zatim daljnje disociraju u bikarbonatne ione (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i vodikove ione (H<sup>+</sup>) koji su izravno odgovorni za acidifikaciju mora. Bikarbonatni ioni se zatim dalje disociraju na karbonatne (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) te vodikove ione. To povećano prisutstvo koncentracije bikarbonatnih iona i otopljenog anorganskog ugljika rezultira snižavanjem pH vrijednosti mora. Dakle, porastom udjela vodikovih iona koji su proporcionalni omjeru karbonatnih i bikarbonatnih iona pH vrijednost mora opada, [6, 7].



Slika 1.: Proces acidifikacije mora, [8]

Prosječni pH površinskog oceana, izražen na skali ukupnih vodikovih iona ( $\text{pH}_T$ ), smanjio se s približno 8,2 na 8,1 između preindustrijskog doba i 1990-ih, te bi mogao doseći vrijednosti oko 7,8 do 2100. godine. Acidifikacija mora se dakle, primarno odnosi na smanjenje pH vrijednosti mora, ali ne implicira da će pH vrijednosti površinskih voda oceana postati kisela (ispod 7,0) u bliskoj budućnosti. Cijeli proces jednako bi se mogao nazvati "karbonacijom", jer se povećava koncentracija otopljenog anorganskog ugljika. [7]

### 2.1.2. Utjecaj acidifikacije na ekosustav mora

Sredozemno more spada u mora siromašna hranjivim tvarima, osim obala koje su pogođene eutrofikacijom, kao što je Jadransko more. Sredozemlje karakterizira trend povećanja temperature površinske morske vode, saliniteta, koncentracije kisika, ukupnog ugljika i ukupne lužnatosti kretanjem prema istoku. Sezonske amplitude pH vrijednosti mogu biti vrlo velike, posebno u relativno plitkom sjevernom dijelu Jadranskog mora, koji također ima veliki sezonski raspon temperature. Te čimbenike možemo objasniti isparavanjem zajedno s visoko lužnatim slatkim vodama koje ulaze u more iz rijeka i Crnog mora. [9]

Proces acidifikacije dodatno pogoršava ukupno onečišćenje mora. Taj se proces odvija jer voda niže pH vrijednosti ne sadrži anione poput karbonata i hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) koji bi se normalno vezali s anorganskim teškim metalima, čime bi se kompenziralo oceanska acidifikacija. U vodi obično nema mnogo toksičnih metala, posebno jer su većina njih vezani u organskim molekulama, međutim, i male koncentracije mogu rezultirati većom toksičnošću vode s kojom životinje mogu imati poteškoća u suočavanju. [6]

Međutim, dokazi o specifičnim utjecajima acidifikacije na bioraznolikost mora su trenutno ograničeni. Eksperimentalna promatranja su pokazala da zakiseljavanje oceana može utjecati na rast, sastav i proizvodnju morskih zajednica, [8]. Primjerice, eksperimenti provedeni na atlantskoj strani Gibraltarskog tjesnaca (Ria de Formosa, Portugal) u vodama s visokim razinama lužnatosti pokazali su da smanjenje pH vrijednosti od 0,3 do 0,7 nije rezultiralo značajnim smanjenjem rasta školjki i dagnji u Sredozemlju. Međutim, velike promjene u pH vrijednosti pokazale su se sposobnim promijeniti rast školjki, čak i u Sredozemnom moru. Jedan od eksperimenata je pokazao značajno smanjenje rasta školjki i mekog tijela mediteranske dagnje *Mytilus galloprovincialis* (Mytilidae) nakon dugotrajne (90 dana) laboratorijske izloženosti pH vrijednosti 7,3, razini koja se očekuje u sljedećih 300 godina. Slično tome, u Jadranskom moru, relativno velika smanjenja pH vrijednosti od 0,7 nakon 6 mjeseci izloženosti pokazala su značajno smanjenje preživljavanja, rasta i kalcifikacije dviju morskih školjkaških vrsta (juvenilne školjke *Chamalea gallina* i dagnje *Mytilus galloprovincialis*). Kratkotrajni faktorski eksperimenti provedeni u Jadranskom moru otkrili su da acidifikacija uzrokuje promjene u imunološkim parametrima odraslih školjkaša, u uvjetima suboptimalne temperature. U okviru projekta MedSeA<sup>2</sup>, sprovedeno je godinu dana dugo istraživanje nad mediteranskom dagnjom *Mytilus galloprovincialis* te nije pokazalo smrtonosne učinke hiperkapnije (tj. stanja povećane koncentracije CO<sub>2</sub> u morskoj vodi), dok su sve dagnje izložene temperaturi 3°C iznad okolne temperature umrle (temperatura > 27°C). Malo studija je istraživalo učinke hiperkapnije na mediteranske ribe, što onemogućava izravnu procjenu rizika koje oceanografsko zakiseljavanje predstavlja za ove morske resurse. Ipak, temeljem ograničenih trenutačnih spoznaja dobivenih u drugim regijama, većinom iz laboratorijskih eksperimenata, općenito se razumije da odrasle ribe nisu izravno narušene acidifikacijom budući da im njihova fiziološka izdržljivost omogućuje suočavanje s izvanstaničnom acidozom uzrokovanom oceanskom acidifikacijom, [9].

### 2.1.3. Ciklusi acidifikacije sjevernog Jadranskog mora

Sjeverni Jadran smatramo plitkim, polu-zatvoreni morem pod snažnim utjecajem slijeva rijeke Po, druge najveće rijeke Sredozemnog mora. Područje sjevernog Jadrana obuhvaća more prosječnih dubina od otprilike 35 metara. Slijev rijeke Po od posebnog je značenja u sjevernom dijelu budući da utječe na cirkulaciju mora mijenjanjem uzgona vodenih masa te na ekosustav unošenjem velikih količina hranjivih tvari, čineći sjeverni Jadran visoko produktivnim

---

<sup>2</sup> Engl. The European Mediterranean Sea Acidification in a changing climate – projekt istraživanja opasnosti acidifikacije i zagrijavanja mora financiran od Europske unije.

područjem. Ovaj dio mora tijekom zime generalno karakteriziraju niske temperature, visoki salinitet i gustoća. [10]

Tijekom zime i proljeća, zabilježene su visoke te usporedive koncentracije topljivog anorganskog ugljika. Tijekom zime, niske temperature povećavaju topljivost CO<sub>2</sub> u morskoj vodi, te količine topljivog anorganskog ugljika rastu što je vremenski dugotrajan proces. U proljeće su te koncentracije ugljika uzrokovane povećanim unosom svježje vode iz obližnjih rijeka. Prosječne vrijednosti otopljenog anorganskog ugljika su se smanjivale ljeti i ponovno povećavale u jesen s hlađenjem morske vode. Što se tiče prividnog iskorištavanja kisika, postoji jasna razlika zbog blizine delte rijeke Po: veće vrijednosti otopljenog anorganskog ugljika nalaze se na dnu, ispod pknokline (sloju u moru u kojem se gustoća naglo mijenja, nap. a.) u najzapadnijim dijelovima što se postepeno smanjuje na dnu prema istočnom dijelu. Sezonska varijacija pHT-a (pH na ukupnoj skali, nap. a.) snažno je ovisila o sezonskoj temperaturnoj promjeni morske vode. Najviše vrijednosti su uočene na površinskim vodama tijekom ljeta, zbog unosa ukupne lužnatosti iz rijeke i visoke temperature morske vode koja uzrokuje promjene u konstantama disocijacije kiselina i lužina. [10]

Sprovedena analiza CO<sub>2</sub> tokova naglašava da Sjeverni Jadran djeluje kao tzv. „apsorber“ CO<sub>2</sub>, s izraženim sezonskim i prostornim varijacijama koje su potaknute snagom vjetra, unosom tvari iz rijeka, temperaturom i biološkim procesima. Ugljikov dioksid apsorbiran iz atmosfere u Sjevernom Jadranu pridonosi prijenosu antropogenog CO<sub>2</sub> u dublje slojeve Sredozemnog mora kroz guste vode koje se formiraju u tom području. Procjena budućeg kemijskog sastava morske vode za kraj stoljeća ističe da ukoliko se nastavi „status quo“ uz manjak utjecaja bioloških procesa, pHT vrijednosti mogu pasti za 0,3, a zasićenost aragonita za 1,3. Te vrijednosti su vrlo blizu zasićenju i mogu negativno utjecati na morsku biotu, posebno na organizme koji kalcificiraju, te izazvati posljedice na morski ekosustav. [10]

## **2.2. EUTROFIKACIJA MORA**

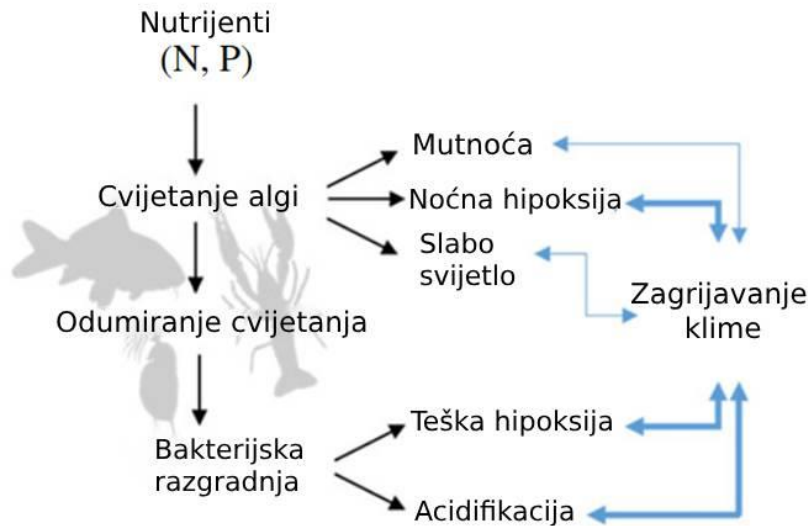
Hranjive tvari su esencijalne za rast i razvoj organizama, ali pretjerana prisutnost hranjivih tvari u vodi može imati mnoge štetne učinke na zdravlje i okoliš. Hranjive tvari su kemijski elementi koji se nalaze u hrani koja je potrebna biljkama i životinjama za rast i preživljavanje. Iako postoji mnogo vrsta hranjivih tvari, dvije najvažnije i najobilnije su dušik i fosfor. Dušik i fosfor se pojavljuju u različitim oblicima i vrstama koje se mogu mijenjati kretanjem iz zraka, vode i tla. Eutrofikacija je prirodan proces prekomjernog unosa hranjivih tvari te njegovog nakupljanja u jezerima ili morima što posljedično potiče brz te nekontroliran rast vodenih biljaka i širenje štetnog cvjetanja algi. Tijekom eutrofikacije, morska se staništa transformiraju tako da

plutajuće biljke i cijanobakterije postaju preobilne i dominantne u odnosu na druge biljne vrste, stvarajući uvjete s niskim svjetlom za podvodni svijet uz prisutstvo hipoksije (niske količine kisika), [11, 12]. Tijekom prošlog stoljeća, ljudske poljoprivredne i urbanizacijske aktivnosti počele su sve više vršiti pritisak na obalne ekosustave, uzrokujući pojačanu eutrofikaciju, s djelomičnim ublažavanjem ovog fenomena u nedavnoj prošlosti kroz usvajanje poboljšanih praksi upravljanja okolišem, [13].

Pomorski promet također spada u jednu od aktivnosti koje povećavaju unos hranjivih tvari u morski ekosustav putem emisija ispušnih plinova te izravnim ispuštanjem sanitarnih otpadnih voda. Onečišćenje mora izravnim ispuštanjem sanitarnih otpadnih voda posebno je izražen problem kod velikih kruzera koji čine manje od 1% svjetske trgovačke flote, dok se procjenjuje da su odgovorni za 25% svih otpada generiranih od trgovačkih brodova. Ovo pokazuje da u slučaju nedostatka dodatnih izvora, pomorski promet može biti glavni doprinosnik unosu hranjivih tvari u mora. [4]

### **2.2.1. Proces eutrofikacije mora**

U prirodnim vodama, rast fitoplanktona je obično ograničen fizičkim i biokemijskim čimbenicima. Ljudski utjecaj na ove ograničavajuće čimbenike može imati značajan učinak na cijeli ekosustav budući da fitoplankton obično ima ključnu ulogu, [4]. U priobalnim vodama ograničavajući element je često hranjiva tvar poput dušika i fosfora koji se prirodno pojavljuju, ali problemi nastaju ukoliko hranjive tvari u našim vodotocima počinju dotjecati iz ljudskih aktivnosti i izvora kao što su gnojiva, sanitarne otpadne vode, ispušni plinovi automobila te životinjski otpad, [4, 11]. Kao posljedica toga, morski ekosustavi pod utjecajem takvih vodotoka su pogođeni degradacijom kvalitete vode, gubitkom staništa organizama i prirodnih resursa, pojavom štetnog cvjetanja algi te promjenom struktura zajednica, uz česti gubitak bentoske faune, [13]. Alge se počinju hraniti izobiljem hranjivih tvari, rasti, širiti se što posljedično čini vodu zelenom. Proces eutrofikacije prikazan je na slici 2.



Slika 2.: Proces eutrofikacije, [12]

Cvijetanje algi može uzrokovati loše mirise, zaklanjati sunčevu svjetlost na površini mora te čak u nekim slučajevima oslobađati toksine. Kada alge odumru, započinje proces bakterijskog razlaganja koji pritom troši kisik otopljen u vodi potreban ribama i drugim vodenim organizmima za disanje. Ukoliko se dovoljno kisika potroši za razlaganje, voda može postati anoksična (pri čemu ne sadrži nikakve količine otopljenog kisika) ili hipoksična, tj. da ne sadrži dovoljno kisika za održavanje života, stvarajući pritom tzv. „mrtve zone“. [11]

### 2.2.2. Utjecaj eutrofikacije na ekosustav mora

Proces eutrofikacije predstavlja kompleksne izazove za brojne organizme povišenjem koncentracije hranjivih tvari. Opterećenja hranjivih tvari predstavljaju prijetnju u eutrofičnim staništima budući da se životinje suočavaju s redovitim unosima tvari poput nitrata, nitrita, amonijaka i fosfora preko ispuštanja sanitarnih otpadnih voda te slijevanjem iz urbanih, poljoprivrednih i rudarskih izvora, [12]. Dušik i fosfor se smatraju esencijalnim hranjivim tvarima za rast i metabolizam fitoplanktona, zbog čega je u većini slučajeva fitoplankton ograničen unosom tih nutrijenata. Kao rezultat toga, eutrofikacija povezana s unosom dušika i fosfora značajno potiče primarnu produkciju fitoplanktona, [5]. Kronična izloženost nitratima može imati niz ozbiljnih i smrtonosnih učinaka na vrste koje dišu u eutrofičnom morskom okolišu. Nedavna analiza, temeljena na podacima iz 68 studija o slatkovodnim ribama i vodozemcima, pokazala je da dugotrajna izloženost u područjima onečišćenim nitratima smanjuje razine aktivnosti za 79%, rast za 29% i preživljavanje za 68%, [12].

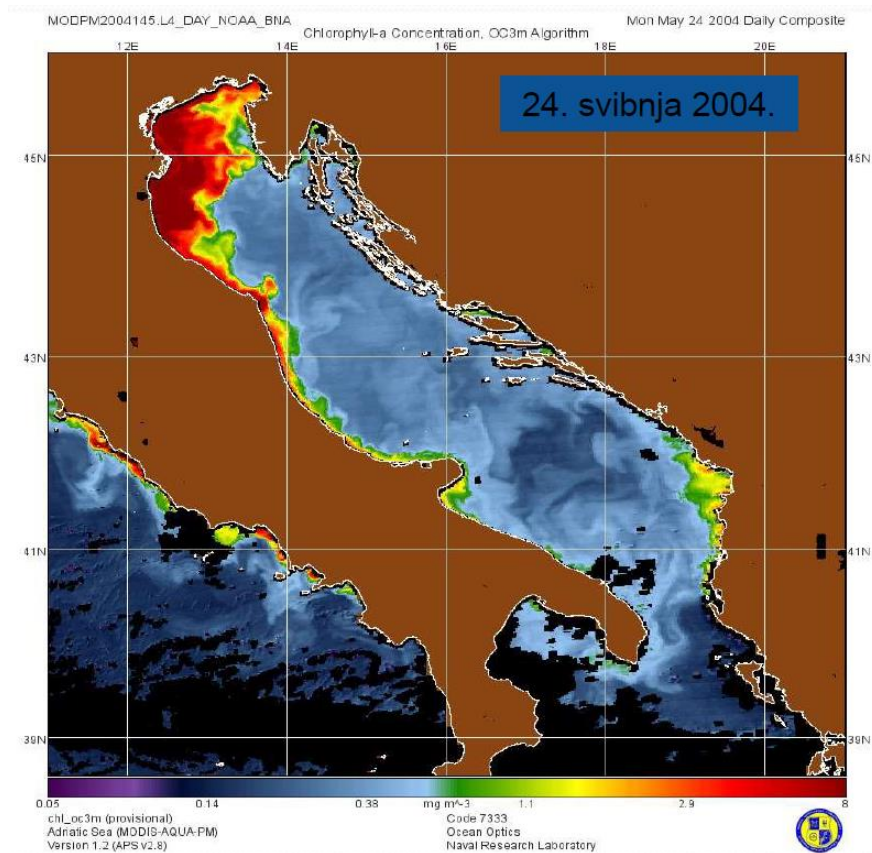


Povećana osjetljivost riba izloženih hipoksiji povezana je s nitratnim i nitritnim toksičnim djelovanjem. Ulaskom nitrita u tijelo riba putem škrga uzrokuje direktno smanjenja kapaciteta krvi za prijenos kisika na način da dolazi do oksidacije hemoglobina u metahemoglobin, oblik koji ne veže kisik. Smanjenje kapaciteta krvi za prijenos kisika može se povećati što dovodi do smanjenja aerobnih opsega, tj. mjere kisika dostupnog za podršku aerobnim aktivnostima poput kretanja i probave. Na primjer, srebrna kalifornijska pastrva (*Bidyanus bidyanus*) izložena onečišćenju nitrata (50 ili 100 NO<sub>3</sub> mg) tijekom tri tjedna patila je od smanjene tolerancije na hipoksiju. Slična saznanja također su prijavljena kod slatkovodnih salmonida (*Thymallus thymallus*), gdje se tolerancija na hipoksiju smanjila za 15% kod riba izloženih nitratu (50 ili 200 NO<sub>3</sub> mg) tijekom osam tjedana. U usporedbi sa slatkovodnim ribama, morske i estuarijske ribe su tolerantnije na povećane razine nitrata i nitrita budući da klorid u morskoj i slatkovodnoj vodi kompetitivno inhibira unos nitrata i nitrita preko škrga. Izloženost nitratima i fosfatima također može ugroziti i otpornost koralja na zagrijavanje i sniziti pragove izbjeljivanja koralja. Stoga, ograničavanje unosa hranjivih tvari u staništa može imati dodatnu korist povećanja otpornosti vrsta na toplinske valove. [12]

### 2.2.3. Ciklusi eutrofikacije sjevernog Jadrana

Važne informacije o eutrofikaciji sjevernog dijela Jadranskog mora mogu se dobiti praćenjem distribucije kisika, hranjivih tvari i povezanih parametara u njegovom donjem sloju, [14]. Mjerenja bentoskih tokova ukazuju da reciklirane hranjive tvari s morskog dna mogu biti usporedive s unosom hranjivih tvari iz rijeke Po koja predstavlja primarni izvor hranjivih tvari za Jadransko more, [15]. Slijev rijeke Po se nalazi u poljoprivredno produktivnom te gusto naseljenom dijelu, što posljedično doprinosi opterećenju sjevernog Jadrana raznim hranjivim tvarima. Akumulacija hranjivih soli slatkovodnog podrijetla u moru najznačajnija je uzduž sjeverozapadne talijanske obale sjevernog Jadrana preko rijeka Po i Adige, a pogoduje joj i raslojavanje vodenog stupca koje se javlja već od kasnog proljeća pa do jeseni zbog zatvorenog sustava cirkulacije, [16]. Hidrološke karakteristike i zajednice fitoplanktona uzduž te obale uglavnom su pod utjecajem dotoka kontinentalnih voda iz sjevernog Jadranskog mora, što smanjuje salinitet mora i povećava koncentracije nitrata i silikata, te pokazuje visoke vrijednosti obilja i biomase fitoplanktona, [17]. Raspon koncentracija hranjivih tvari i povezanih parametara sloja nekoliko metara iznad dna plitkog sjevernog Jadranskog mora koriste se za definiranje područja blizu anoksičnih uvjeta, prevladavajućom fotosintezom na dnu, regeneracijom hranjivih tvari i omjerom denitrifikacije, [14]. Antropogeno opterećenje rijeka hranjivim tvarima poljoprivrednim, urbanizacijskim i industrijskim procesima koje se slijevaju

u sjeverozapadno Jadransko more znatno je povećalo unos hranjivih tvari u ekosustav tijekom kasnog 20. stoljeća, posebno između 1968. i 1980, [15, 18].



Slika 3.: Koncentracija klorofila a u Jadranskom moru, [19]

Obilje fitoplanktona u Tršćanskom zaljevu pokazalo je značajne promjene tijekom posljednja tri desetljeća. Koncentracija klorofila-a (slika 3.) bila je značajno povezana s obiljem mikroalgi, ali oscilacije su bile manje izražene u razdoblju od 1993. do 2018., što sugerira da je zajednica fitoplanktona bila više pogođena promjenama u svojem sastavu nego u biomasi, [13]. Trendovi klorofila-a u sjevernom Jadranskom moru praćeni su dobro definiranim sezonskim ciklusom tijekom kojega se zimi uočava najveća fitoplanktonska biomasa koja se postupno smanjuje tijekom proljeća i ljeta, uz povećanja tijekom jeseni, [15]. Dakle, tijekom zime i ranog proljeća, protok rijeke Po je značajno povećan. Tada dolazi do izraženijeg raslojavanja vodenog stupca, pogotovo u zapadnom dijelu sjevernog Jadrana zbog slatkovodnih doprinosa i zagrijavanja površine mora što posljedično dovodi do povećane koncentracije hranjivih soli u površinskom sloju rezultirajući pritom cvatnjom fitoplanktona. Tijekom proljeća, zabilježena su širenja voda rijeke Po prema istoku, čime se cvatnja proširuje i na istočnija područja. Istovremeno tada na cijelom području sjevernog Jadrana dolazi do postepenog smanjenja koncentracija hranjivih soli. Koncentracija hranjivih soli je minimalna ljeti i početkom jeseni zbog minimalnih slatkovodnih doprinosa te povećanih brzina njihova kruženja, [16].

U jesen dolazi do povećanja protoka rijeke Po te se istovremeno uspostavljaju ciklone. Povećanje vertikalnog miješanja povezano je s hlađenjem površine mora gdje se reoksigenacijom iz pridnenog sloja, regenerirane hranjive tvari skupljene tijekom ljeta i početkom jeseni uzdižu na površinu što omogućuje jesensku fitoplanktonsku cvatnju. Tijekom kasne jeseni i početkom zime, prisutan je minimalan protok rijeke Po uz prevladavanje zimske ciklonalne cirkulacije, što znači da je prisutan transport slatkovodne vode samo uz usko obalno područje duž talijanske obale. Tijekom ovog perioda prisutna je minimalna koncentracija hranjivih soli u većem dijelu sjevernog Jadrana što se odražava i na fitoplanktonsku aktivnost, a cijeli vodeni stupac je zasićen kisikom uslijed prevladavajućeg utjecaja oligotrofnih voda podrijetlom iz srednjeg Jadrana. [16]

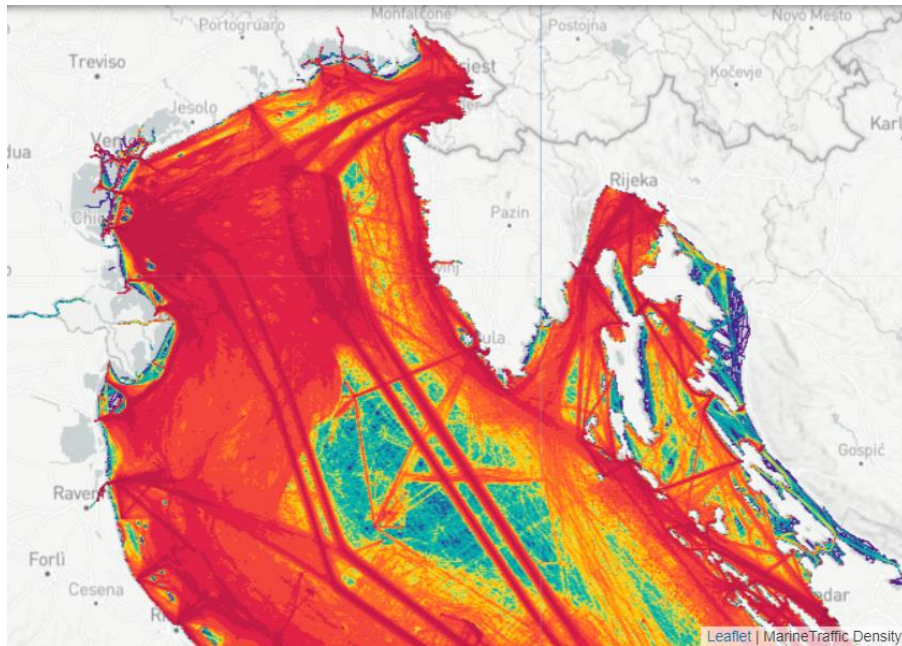
Procjena stupnja eutrofikacije sjevernog Jadrana primijenjuje tzv. TRIX indeks koji prikazuje koncentracije klorofila a, ukupnog fosfora i anorganskog dušika te udio zasićenja kisikom. Koristi vrijednosti za površinski sloj, iznad piknokline, koje se mogu direktno korelirati s vanjskim doprinosom. Na temelju tog indeksa ustanovljeno je da je prisutan izraženi gradijent eutrofikacije od istoka prema zapadu. Također je utvrđeno da je ekološko stanje cijelog priobalnog hrvatskog mora Jadrana sa stupnja eutrofikacije vrlo dobro, uz povećanje stupnja eutrofikacije u Limskom kanalu, Pulskoj luci, Bakarskom zaljevu, Šibenskom zaljevu te dijelu Kaštelanskog zaljeva. Povećanja se uglavnom mogu pripisati doprinosom hranjivih soli podzemnim vodama ili neriješenim kanalizacijskim ispustima. [16, 19]

### **3. POMORSKI PROMET SJEVERNOG DIJELA JADRANSKOG MORA**

Pomorski prijevoz je esencijalne važnosti za trgovinu i gospodarski razvoj budući da se 80% robe prevozi pomorskim putem. U Mediteranskoj regiji prisutan je značajan i brz porast kretanja kruzera tijekom posljednjih dvadesetak godina; broj pojedinačnih putnika na kruzerima 2017. godine bio je više od 4% veći nego broj putnika koji su kružili prethodne godine i više je nego dvostruko veći u usporedbi s 2006. godinom, kada je kružilo oko 12 milijuna putnika. Danas je ta regija druga najveća kruzina regija na svijetu iza Kariba, s udjelom od 15,8% globalne flote kruzera u 2017. godini. Zbog takvih trendova kontinuiranog rasta, luke se suočavaju sa izazovima pružanja odgovarajućih infrastruktura za smještaj velikih kruzera i poboljšanih objekata za sve veći broj putnika na kruzerima, kao i za prikupljanje i zbrinjavanje povezanih otpadnih tvari. [2]

Jadransko more unutar Mediteranske regije možemo okarakterizirati kao malo, poluzatvoreno i prirodno zaštićeno more koje povezuje šest država. S geografsko prometnog gledišta, ono predstavlja najkraći put od zemalja Dalekog istoka prema zemljama srednje i istočne Europe, [20]. Tijekom posljednjeg desetljeća, istočna obala Jadranskog mora doživjela je, također, snažan razvoj destinacija za kruzina i visok rast broja dolazaka kruzera i putnika. Jadransko more tijekom ljetnog razdoblja od 2015. do 2019. predstavlja najbrže rastuću Mediteransku regiju s rastom broja dolazaka kruzera od 18,70% i ukupnim brojem putnika od 20,90%. Najbrže rastuća regija unutar Jadrana pritom otpada na središnji i južni dio istočne obale Jadrana s rastom broja dolazaka kruzera od 25,75% i brojem putnika na kruzerima od 46,07% za razdoblje od 2015. do 2019. godine, [21].

Najveće luke Jadranskog mora smještene su duž njegove sjeverozapadne obale, [22]. Geografski položaj većih luka ujedno definira i glavni jadranski plovidbeni pravac, koji se kreće uzdužno od smjera jugoistoka prema sjeverozapadu. Upravo je taj pravac zaslužan za povezivanje luka sjevernog Jadrana sa Sredozemnim morem dok su ostali uzdužni putovi više smješteni na istočnoj ili zapadnoj obali, [20]. Na slici 4. prikazani su smjerovi kretanja pomorskog prometa na sjevernom Jadranu.



Slika 4.: Smjerovi kretanja pomorskog prometa u Jadranu, [23]

S obzirom na glavne longitudinalne plovne rute na Jadranu, one se formiraju između većih luka na istočnoj obali (Rijeka, Zadar, Šibenik, Split, Ploče, Dubrovnik, Bar, Drač) i luka na zapadnoj obali Jadrana (Ravenna, Ancona, Pescara, Bari, Brindisi), [22]. Najveći dio navedenog prometa čine međunarodne ro-ro putničke i putničke linije između većih luka istočne i zapadne obale. U nacionalnoj plovidbi pomorski promet dijelimo na linijski i povremeni, tj. na promet čije rute nisu striktno definirane kao kod brodova za kružna putovanja. Linijski pomorski promet obilježavaju konstantne ro-ro putničke i putničke pomorske linije obalnog, međutočnog i međunarodnog karaktera. Međutim, značajno mjesto u pomorskom prometu Jadrana zauzimaju i brodovi nautičkog turizma. Plovidbeni putovi brodova nautičkog turizma nisu stalni, te se mogu poklapati s glavnim jadranskim plovidbenim putovima iako se plovidba pretežito održava u obalnim područjima. Upravo zbog toga u Jadranskom moru nailazimo na velik broj luka nautičkog turizma, od kojih ih se 98 trenutno nalazi u Republici Hrvatskoj, 60 u Italiji te 5 u Crnoj Gori. Ostali brodovi koji također doprinose pomorskom prometu u ovom području su ribarski, javni, ratni, znanstvenoistraživački te ostali brodovi, [20].

Sveukupni promet na longitudinalnim plovnim rutama relativno dobro se može procijeniti na temelju broja brodova koji ulaze u luke sjevernog Jadrana (tablica 1.). Prema dostupnim podacima, otprilike oko 19 000 brodova godišnje uplovljava u najvažnije luke sjevernog Jadrana u međunarodnoj plovidbi. [22]

Tablica 1.: Promet brodova u međunarodnoj plovidbi prema glavnim sjevernojadranskim lukama, [22]

Rijeka	1230
Kopar	2032
Trst	3949
Venecija	3402
Monfalcone	768
Ravenna	3122
Ancona	4482

Na temelju AIS<sup>3</sup> podataka može se zaključiti da svakodnevno u svakom trenutku, Jadranom plovi oko 100-200 brodova. Otprilike 20% svih tih brodova čine tankeri, dok otprilike 10% svih tih brodova prijavljuje opasni teret na brodu. [22]

Jadransko more, kao plovidbeni put omogućuje formaciju mnoštva različitih plovidbenih puteva, posebice na glavnom uzdužnom plovidbenom smjeru. Plovidbene putove s obzirom na područja plovidbe općenito možemo podijeliti na oceanske, obalne i lučke putove. One putove koji obuhvaćaju plovidbu na udaljenostima od 50 nautičkih milja i više od najbližeg kopna, dakle od kontinentalnog šelfa do 200m dubine ili izvan vanjskih rubova plićina i opasnosti, smatramo oceanskim putovima. Razlikujemo dvije vrste obalnih plovidbenih puteva s obzirom na položaj prema obali i otočju: unutarnji, koji prolaze između otoka i kopna, tj. unutarnjim rubom vanjskog niza otoka te vanjski koji se prostiru uz obalni vanjski rub prema otvorenom moru. U odnosu prema obali, oceanski i obalni putovi mogu biti uzdužni, prilikom čega slijede opći smjer kretanja obale te poprečni, kada se poprečno protežu na glavni smjer protezanja obale. Lučkim plovidbenim putovima smatraju se vanjski prilazni plovidbeni putovi u lukama te unutarnji plovidbeni putovi u lučkom području, uključujući plovne rijeke i pripadajuće kanale. Položaji luka te obilježja morskih akvatorija između tih luka izravno su u svezi s plovidbenim putovima na Jadranu, koji mogu i ne moraju nužno biti plovni za brodove određenih dimenzija. [20]

---

<sup>3</sup> Engl. Automatic Identification System – automatski sustav praćenja koji koristi uređaje za odašiljanje i prijem na brodovima i koriste ga usluge za upravljanje pomorskim prometom.

### 3.1. NAJVAŽNIJE I NAJPROMETNIJE LUKE

S obzirom na svoj geografski položaj, Jadransko more je bilo od strateške važnosti još od vremena pomorske vlasti Mletačke Republike jer je omogućavalo te još uvijek omogućuje ulazak prema srednjoeuropskoj regiji više nego bilo koje drugo more koje okružuje kontinent. To je najbrža pomorska ruta iz Azije i Bliskog istoka čije su udaljenosti u prosjeku 2 000 nautičkih milja kraće nego prema sjevernoeuropskim lukama. Glavne luke u ovom dijelu Jadrana ističu ovu geografsku prednost, naglašavajući to kao izuzetno važan faktor u pomorskom prijevozu i trgovini tijekom posljednjih godina. Većina značajnih i većih luka nalaze se duž talijanske obale na sjeveru, od kojih među važnije spadaju Ortona u regiji Abruzzo, Ancona u regiji Marche i Ravenna u Emiliji Romagni. Međutim, glavne talijanske luke na jadranskoj obali nalaze se na najsjevernijem dijelu mora, gdje se posebno ističu Venecija u Venetu i Trst u regiji Friuli Venezia Giulia. U tim dvjema regijama nalaze se još i druge luke, poput Chioggiae u Venetu te Monfalcone i Porto Nogara u regiji Friuli Venezia Giulia. Luka Koper spada pod jedinu teretnu luku Republike Slovenije u sjevernojadranskoj regiji. U Republici Hrvatskoj se nalazi nekoliko važnih luka duž sjeveroistočne jadranske obale. Najvažnija teretna luka je Rijeka s pripadajućim lukama Bakar u Primorsko-goranskoj županiji te Raša u Istarskoj županiji. Druge veće luke u Hrvatskoj uključuju Omišalj na otoku Krku u Primorsko-goranskoj županiji, Split u Splitsko-dalmatinskoj županiji i Ploče u Dubrovačko-neretvanskoj županiji, [24]. Sjevernojadranske luke tradicionalno obuhvaćaju četiri luke u tri članice EU-a, Trst i Veneciju u Italiji, Koper u Sloveniji i Rijeku u Hrvatskoj. Sve četiri luke su članovi Udruženja sjevernojadranskih luka (NAPA<sup>4</sup>), [25].

Jadransko more možemo promatrati kao središnji Mediteranski zaljev koji zemljama u zaleđu bez vlastitog izlaza na more poput Mađarske, Austrije, Češke, Slovačke te južnoj Njemačkoj pruža najbliži izlaz na svjetsko more. Upravo zbog takvih prirodnih pogodnosti, tijekom 18. stoljeća razvile su se luke Trst i Rijeka, a prije pedesetak godina razvoju se priključila i luka Koper. Danas su to međusobno konkurentne luke na istom prometnom pravcu čineći pritom jedinstveni lučki sustav naspram konkurentnih prometnih pravaca, [20]. Tijekom posljednjeg desetljeća, razvojem događaja znatno su pojačani konkurentski odnosi među lukama. To je uzrokovano koncentracijom i konsolidacijom brodarskih kompanija te povećanom intermodalnošću, što omogućuje veću konkurenciju između različitih geografskih regija, kao

---

<sup>4</sup> Engl. North Adriatic Port Association – udruženje sjevernojadranskih luka koje obuhvaća četiri luke tri EU članice; Trst i Veneciju u Italiji, Koper u Sloveniji i Rijeku u Hrvatskoj

npr. nedavnim inicijativama poput "Jedan pojas jedan put<sup>5</sup>", koja obnavlja kopneni trgovački put željeznicama između Azije i Europe, [25].

U kontejnerskom segmentu, četiri sjevernojadranske luke zajedno su obradile više od 2 milijuna TEU-a (ekvivalentnih 20-stopnih kontejnera) u 2016. godini, što je porast s malo više od 1 milijuna TEU-a u 2007. godini. To znači da se količina prometa ovim prostorom udvostručila u manje od desetljeća. Rast je uglavnom postignut privlačenjem tereta koji se ranije prevozio preko luka od Hamburga do Le Havrea. Između četiri izdvojenih luka, najznačajniji rast primijećen je u Kopru, koji sada obuhvaća gotovo 40% ukupnog prometa sjevernojadranskih luka. Danas značajan udio ukupnog tereta među lukama otpada u kontejnerski promet, s iznimkom Trsta. Razmatrajući te četiri luke kao cjelinu, kontejneri zauzimaju drugo mjesto u rukovanju teretom nakon tekućeg tereta. [25]. U tablici 2. prikazani su udjeli prema vrstama tereta za sjevernojadranske luke.

*Tablica 2.: Udjeli prema vrstama za sjevernojadranske luke, [25]*

Vrsta tereta podijeljena u % od ukupnog	Kopar	Venecija	Trst	Rijeka	NAPA ukupno
Suhi rasuti tereti	36%	32%	1%	38%	17%
Tekući rasuti tereti	16%	35%	70%	0%	48%
Kontejneri	37%	22%	12%	42%	20%
Ro-Ro	4%	3%	4%	0%	4%
Drugo/generalni teret	7%	8%	13%	20%	11%

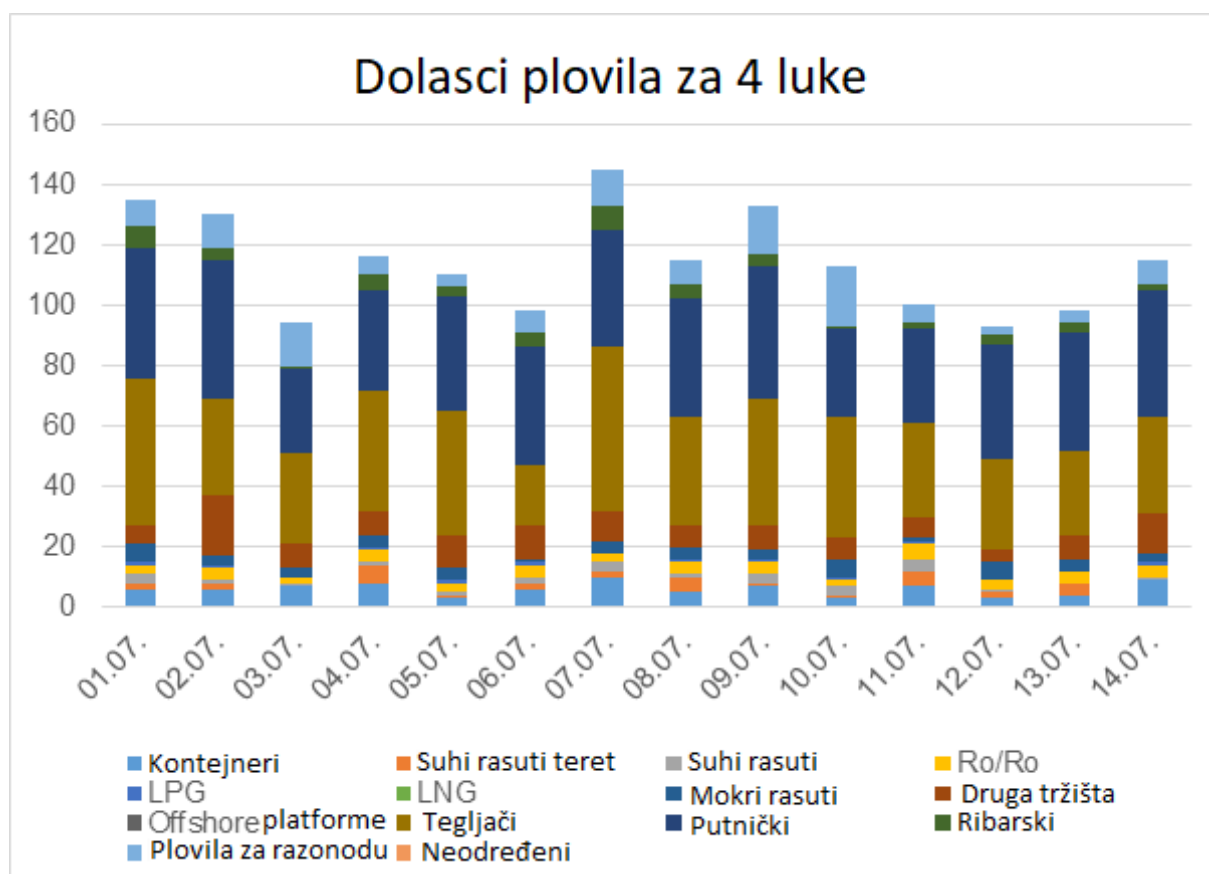
Nadalje, kontejneri su prepoznati kao najprofitabilniji segment tržišta s najvećim potencijalom za rast svih regionalnih luka, što se uklapa u opće industrijske trendove gdje se teret sve više prevozi u kontejnerima. U konačnici, planovi za proširenje luka uglavnom su usmjereni na povećanje kapaciteta za rukovanje kontejnerima, [25]. U Republici Hrvatskoj kontejnerski promet se obavlja u lukama Rijeka, Ploče i Split. Treba istaknuti da od svih navedenih hrvatskih luka, geografski najpovoljniji izlaz na more ima Rijeka, [20].

---

<sup>5</sup> Engl. Belt and Road Initiative.



Važno je spomenuti i kruzing promet, koji je na Jadranu prisutan tijekom cijele godine, s vrhuncem od svibnja do listopada koji tada čini više od 85 % ukupnog prometa, što uzrokuje probleme u mnogim lukama i gradovima na obali. Na grafikonu 1. prikazan je ukupni broj dolazaka brodova prema njihovoj vrsti za razdoblje od 1.7. do 14.7. 2022. za luke Veneciju, Trst, Kopar i Rijeku.



Grafikon 1.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luke Veneciju, Trst, Kopar i Rijeku, [26]

Kruzeri istodobno spadaju u jedan od najintenzivnijih oblika energetske potrošnje u turizmu, budući da ih se praktički tretira kao velike luksuzne hotele koji tijekom svojih putovanja i boravka u luci ispuštaju ogromne količine emisija. Osim toga, kruzeri su ogromni proizvođači sanitarnih otpadnih voda koje dokazano imaju negativan utjecaj na morski okoliš, poput dodatnog doprinosa nutrijenata što posljedično doprinosi daljnjoj eutrofikaciji mora. [27]

Kruzing brodarstvo obuhvaća profitabilni sektor koji značajno doprinosi ekonomijama uključenih zemalja, iako putnici na kružnim putovanjima dnevno troše manje od 30% iznosa koje u prosjeku troše kopneni putnici. Ipak, porast industrije kružnih putovanja može se pripisati povećanju broja korisnika i rastućem broju odredišta. Industrija kružnih putovanja još

uvijek ima potencijala za rast u oba pogleda, budući da su osobe koje idu na kružna putovanja vrlo odane kružnim putovanjima, s otprilike 92% sudionika koji su pritom izjavili da će vjerojatno ili definitivno nastaviti s kružnim putovanjima za sljedeći odmor. [27]

Ključnu ulogu u krizing poslovanju sve do 2014. godine imala je luka Venecija unutar cijele jadranske regije. Gotovo svi putnički planovi unutar Jadrana snažno su se oslanjali na Veneciju kao svoju primarnu luku za ukrcavanje/iskrcavanje ili kao tranzitnu luku. Tijekom 2010. godine, značajan udio rasporeda putovanja koji je uključivao luku Dubrovnik također je uključivao posjete Veneciji, s otprilike 98% tih ruta koje su slijedile ovaj obrazac. Dubrovnik se rangira kao druga najprometnija luka u jadranskoj regiji po broju putnika kruzera, odmah iza Venecije, zbog čega ima status vodeće luke za tranzitne putnike u jadranskom području. Kombinacija putničkih planova između Venecije i Dubrovnika čini okosnicu krizing sektora u jadranskoj regiji. Prema prognozama Risposte Turisma, jadranske luke tijekom 2023. godine neće moći doseći razine prometa iz razdoblja prije pandemije COVID-19, iako će doživjeti rast u usporedbi s prethodnom godinom. Na temelju prikupljenih podataka tijekom 2023. godine, može se primijetiti da su matične luke s najvećim kapacitetima, nakon Venecije, Trst, Ravenna, Korčula i Dubrovnik. [28]

### **3.1.1. Luka Venecija**

Luka Venecija nalazi se u venecijanskoj laguni te se kategorizira kao velika luka, dobrog zaklona s maksimalnim prihvatljivim veličinama brodova većih od 500 metara duljine. Smještena je u gusto naseljenom području te je izložena onečišćenjima koja proizlaze iz poljoprivrednih drenaža, industrijskih izvora, urbanih aktivnosti poput prometa i kućnog grijanja te preko zračne luke, [24, 29]. Industrija oko venecijanske luke koncentrirana je oko industrijskog područja Marghera, posebno razvijenog kako bi se koncentracija industrije odvojila od centralnog urbanog područja kako ne bi ometalo glavnu, turističku industrijsku granu Venecije. Također se nalazi na raskrižju tri glavna europska prometna koridora: Skandinavsko-sredozemnog, Sredozemnog te Jadransko-baltičkog koridora, [24].

Luka je organizirana u dvije operativne zone s vlastitim odvojenim pristupima, s trgovačkim terminalima i putničkim pristaništem u zoni Porto Marghera i Marittima bazenu, [30]. Dva pristupa luci služe različitim vrstama prijevoza, pri čemu luka Malamocco služi teretnim brodovima, dok luka Lido služi putničkim brodovima. Luka je također značajna po tome što je jedina luka u Italiji koja ima unutarnji plovni put prema rijeci Po, koja je ujedno jedina plovna rijeka u Italiji, što znači da se teret također može prevoziti rijekom do Cremona i Mantua. Prisutna je operativna unutarnja željeznička mreža duljine preko 200 km koja podržava

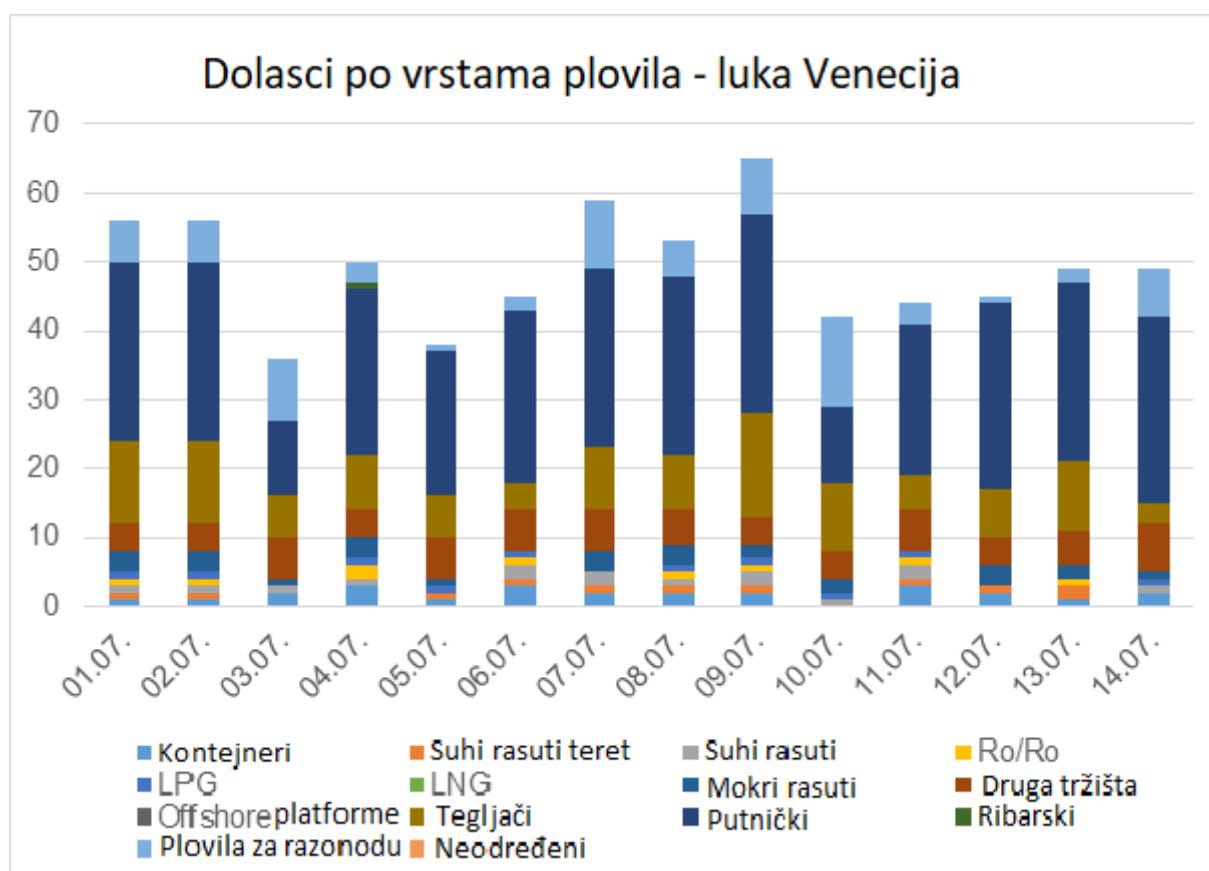
intermodalni prijevoz povezujući različite terminale duž obale, [24]. Luka istovremeno može primiti brojne brodove različitih vrsta i veličina budući da sadrži 30 km obalnog prostora, 163 aktivna privezišta, 7 komercijalnih terminala, 19 terminala u privatnom vlasništvu te 8 putničkih terminala, [29]. Tereti koji se obrađuju uključuju kontejnere, tekući i suhi teret, proizvode od čelika, ro-ro/ro-pax te opći tereti, [24]. U tablici 3. prikazani su statistički podaci o prometu za luku Venecija tijekom razdoblja 2021./2023.

Tablica 3.: Statistički podaci o prometu za luku Venecija tijekom razdoblja 2021./2023., [31]

ESPO								
	2021 - 2022 July - June			2022 - 2023 July - June			Diff.	
	IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL	TOTAL	%
<b>TOTAL TONNAGE</b>	20.763.697	4.772.285	25.535.882	19.494.294	4.523.148	24.017.442	-1.518.440	-5,9
<b>LIQUID BULK</b>	7.787.859	708.878	8.496.737	6.608.568	394.901	7.003.469	-1.493.268	-17,5
of which:								
Crude oil	0	24.684	24.684	0	0	0	-24.684	-100,0
Refined (petroleum) products	6.661.946	361.914	7.023.860	5.212.875	269.789	5.482.664	-1.541.196	-21,9
Gaseous, liquified or compressed	0	0	0	0	0	0	0	
Chemical products	900.552	255.530	1.156.082	1.192.484	13.616	1.206.100	50.018	4,3
Other liquid bulk	225.361	66.750	292.111	203.209	111.496	314.705	22.594	7,7
<b>DRY BULK</b>	7.231.225	65.078	7.296.303	7.165.654	91.639	7.257.293	-39.010	-0,5
of which:								
Cereals	229.300	24.443	253.743	884.362	14.306	898.668	644.925	254,1
Foodstuff/Fodder/Oil seeds	1.473.388	0	1.473.388	1.150.870	0	1.150.870	-322.518	-21,8
Coal and lignite	1.552.534	0	1.552.534	1.634.318	0	1.634.318	81.784	5,2
Ores/cement/lime/plasters	1.436.078	0	1.436.078	1.306.763	29.357	1.336.120	-99.958	-6,9
Metallurgical Products	2.249.719	17.603	2.267.322	1.829.355	30.481	1.859.836	-407.486	-17,9
Chemical products	194.920	4.601	199.521	132.990	0	132.990	-66.531	-33,3
Other dry bulk	95.286	18.431	113.717	226.996	17.495	244.491	130.774	114,9
<b>GENERAL CARGO</b>	5.744.513	3.998.329	9.742.842	5.720.072	4.036.608	9.756.680	13.838	0,1
of which:								
Containerized	2.546.124	2.877.390	5.423.514	2.337.639	2.782.518	5.120.157	-303.357	-5,5
Ro-Ro	916.205	991.039	1.907.244	1.045.967	1.125.183	2.171.150	263.906	13,8
Other general cargo	2.282.184	129.900	2.412.084	2.336.466	128.907	2.465.373	53.289	2,2
<b>ADDITIONAL INFORMATION</b>								
<b>Number of Calls</b>			2.658			2.847	189	7,1
<b>Gross Tonnage</b>			45.829.464			51.276.043	5.446.579	11,8
<b>Number of local and ferry passengers</b>	50.522	47.041	97.563	70.164	63.795	133.958	36.395	37,3
of which:								
Local (< 20 miles journey)	15.524	15.353	30.877	25.111	25.077	50.187	19.310	62,5
Ferry passengers	34.998	31.688	66.686	45.053	38.718	83.771	17.085	25,6
<b>Cruise passengers</b>			98.719			337.971	239.252	242,3
"Home Port"	41.503	44.922	86.425	141.438	145.613	287.051	200.626	232,1
"Transits" (to be counted once)			12.294			50.920	38.626	314,1
<b>Number of Containers (in TEU)</b>	294.130	254.033	548.163	260.732	237.372	498.104	-50.059	-9,1
<b>"Hinterland"</b>	294.130	254.033	548.163	260.732	237.372	498.104	-50.059	-9,1
of which:								
Empty	133.426	24.730	158.156	119.761	25.675	145.436	-12.720	-8,0
Full	160.704	229.303	390.007	140.971	211.697	352.668	-37.339	-9,5
<b>"Transshipped"</b>	0	0	0	0	0	0	0	
of which:								
Empty	0	0	0	0	0	0	0	
Full	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Ro-Ro units</b>	42.238	45.188	87.426	48.058	51.066	99.124	11.698	13,3
<b>Number of private vehicles</b>	12.443	11.438	23.881	15.231	14.307	29.538	5.657	23,6
<b>Number of commercial vehicles</b>	19.820	27.019	46.839	25.252	33.635	58.887	12.048	25,7

Gledajući ukupni godišnji promet, luka Venecija danas obrađuje oko 24 milijuna tona tereta i oko 500 000 TEU – a. Uspoređujući promet s ostalim sjevernojadranskim lukama (NAPA), Venecija zauzima treće mjesto, iza Trsta i Kopra. [32]

Međutim, Venecija je vrlo posjećen grad koji godišnje prima oko 30 milijuna turista, zbog čega dva ili tri istovremeno usidrena kruzera mogu značiti dodatnih 10 000 putnika koji izlaze u uske ulice i trgove Venecije. Zbog toga su vlasti nametnule ograničenja za najveće kruzere bruto tonaža većih od 96.000, zabranjujući tako pristup glavnom kruzerskom terminalu kroz kanal Giudecca zbog štetnog utjecaja kruzera na arhitektonske potpore grada jer pogoni velikih brodova oštećuju solju koridirane i krhke temelje Venecije, [27]. U srpnju 2021. godine Nacionalni dekret broj 131. propisao je da će tranzit putničkih i teretnih brodova kroz Giudecca kanal biti ograničen za brodove bruto tonaže do maksimalno 25 000. Osim toga, dekret je dodijelio sredstva u iznosu od 157 milijuna eura za razvoj nove lučke infrastrukture i pristupnih putova. Predloženo ulaganje planirano je za razdoblje od 2021. do 2026. godine, [28]. Na grafikonu 2. prikazan je broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Venecija.



Grafikon 2.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Venecija, [33]

Glavni fokus tog ulaganja je izgradnja nove putničke luke u Margheri, zajedno s iskopavanjem postojećih kanala. Cilj je poboljšanje kapaciteta za smještaj veće količine brodova za krstarenje, čak i većih od postojećih, s namjerom jačanja uloge Venecije kao domaćinske luke. [28]

### 3.1.2. Luka Trst

Luka Trst kategorizirana je kao srednje velika luka dobrog zaklona s maksimalnim prihvatljivim duljinama brodova većih od 150 metara, [24]. Smještena je na raskrižju između morskih ruta i TEN-T<sup>6</sup> baltičko-jadranskih i mediteranskih mrežnih koridora. Luka Trst međunarodno je čvorište za kopneni i morski promet za dinamična tržišta srednje i istočne Europe. Intenzifikacija trgovine i pomorskog prometa između Dalekog istoka i Europe te istočno proširenje Europske unije ponovno je oživjelo važnost gornjeg Jadrana, otvarajući pritom nove prilike i mogućnosti za rast i razvoj Trsta. U tom kontekstu, Trst ima značajnu ulogu u dva odvojena opskrbna lanca: dalekosežni međukontinentalni pomorski prijevoz i kratkotrajni/srednjotrajni unutarmediteranski trgovinski promet. Konvergencija strateških osi TEN-T-a "Istočnomediteranske morske autoceste" s baltičko-jadranskim i mediteranskim koridorima rezultira rastom intermodalnih usluga i razvojem inovativnih rješenja u području logistike i transporta, [34]. Usluge pomorskog transporta iz istočne i jugoistočne Azije također povezuju Trst s drugim jadranskim i mediteranskim lukama na putu. Luka također ima mogućnosti za intermodalnu povezanost putem željezničkih veza s središnjom Europom i sjeveroistočnom Italijom, [24]. Budući da luka sadrži unutarnju željezničku mrežu (70 km tračnica) koja se povezuje s nacionalnom i međunarodnom mrežom, omogućeno je da se svi dokovi opslužuju željeznicom s mogućnošću manevriranja i/ili sastavljanja teretnih vlakova izravno na različitim terminalima; izravni spoj i nadvožnjak (unutar luke) koji se povezuju s vanjskim cestovnim sustavom, koji vodi izravno do mreže autocesta, osiguravajući tako laku dostupnost nacionalnoj cestovnoj mreži, [34]. Tršćanska luka je također vodeća talijanska luka za željeznički promet. Nadalje, ona posjeduje vodeći naftni terminal u Sredozemlju te je značajna europska pristupna točka za Ro-Ro promet iz Turske, [24].

Danas se Tršćanska luka sastoji od pet slobodnih zona, među kojima su tri komercijalne zone: Stara slobodna zona, Nova slobodna zona i terminal za drva. Dvije su uglavnom usmjerene za industrijske aktivnosti (slobodna zona za mineralna ulja i slobodna zona kanala Zaule). Međutim, naftni terminal je najvažniji jer doprinosi većinom prometa u luci te je povezan s Transalpskim naftovodom koji opskrbljuje glavne rafinerije u središnjoj Europi. Privatni

---

<sup>6</sup> Engl. Trans-European Transport Network – planirana mreža cesta, željeznica, zračnih luka i vodne infrastrukture u Europskoj uniji.

operatori upravljaju terminalima unutar tih zona, [24]. Terminali su opremljeni modernom tehnologijom za rukovanje, prijevoz i skladištenje svih vrsta tereta; od kontejneriziranog tereta, voća i povrća (krumpir, luk, naranče, orašasti plodovi itd.), kave, žitarica, metala, motora, čelika i kemijskih proizvoda, drva, suhog i tekućeg rasutog tereta do sirove nafte i derivatnih proizvoda, [34].

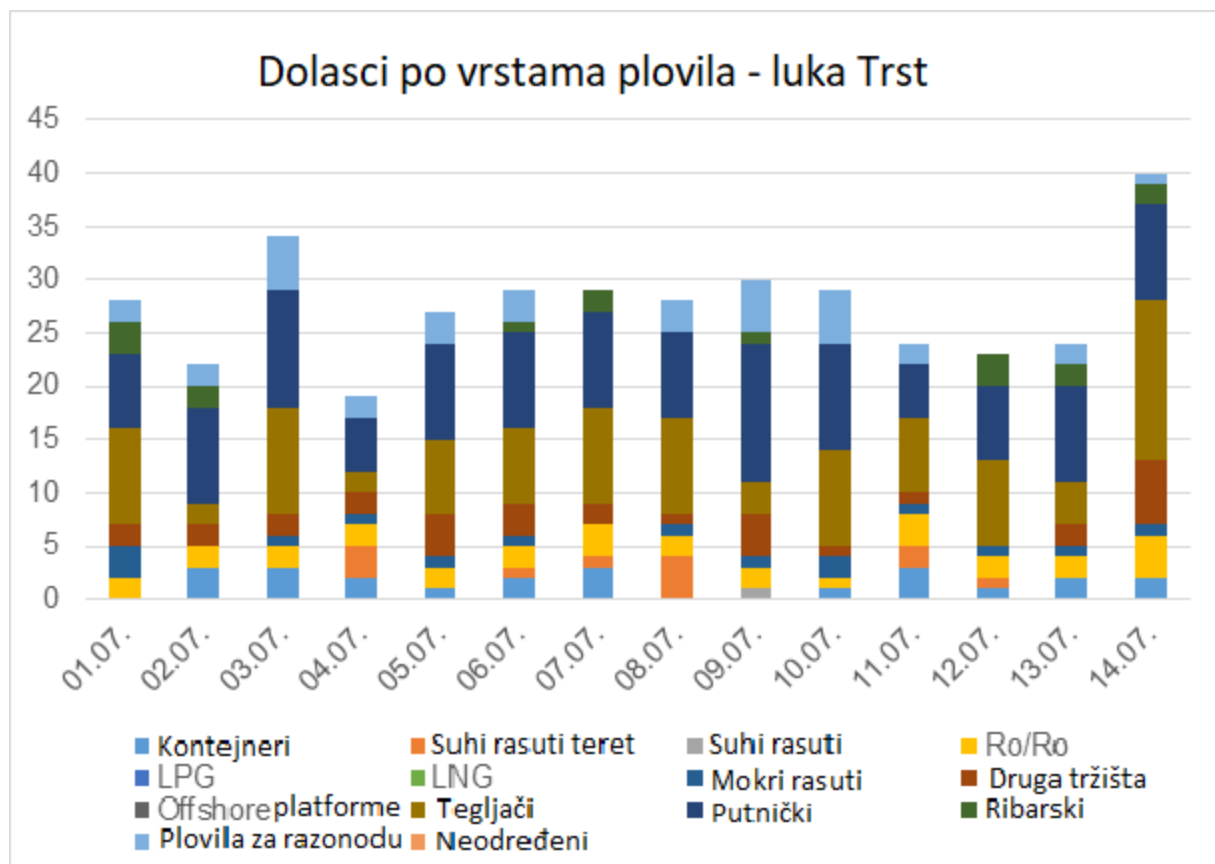
Tablica 4.: Statistički podaci za luku Trst u razdoblju 2021./2022., [35]

TIME PERIOD GOING FROM	01/01/2021 to 30/06/2021			01/01/2022 to 30/06/2022			Difference	
	IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL	TOTAL	%
<b>TOTAL THROUGHPUT (Ton.)</b>	<b>21.711.833</b>	<b>4.035.397</b>	<b>25.747.230</b>	<b>24.748.564</b>	<b>4.407.246</b>	<b>29.155.810</b>	<b>+3.408.580</b>	<b>+13,23%</b>
<b>LIQUID BULK</b>	<b>16.940.912</b>	<b>0</b>	<b>16.940.912</b>	<b>19.039.318</b>	<b>0</b>	<b>19.039.318</b>	<b>+2.098.406</b>	<b>+12,39%</b>
Crude oil	16.565.396	0	16.565.396	18.661.310	0	18.661.310	<b>+2.095.914</b>	<b>+12,65%</b>
Refined (petroleum) products	335.213	0	335.213	340.227	0	340.227	<b>+5.014</b>	<b>+1,50%</b>
Gaseous, liquified or compressed petroleum products and natural gas	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Chemical products	40.303	0	40.303	37.781	0	37.781	<b>-2.522</b>	<b>-6,28%</b>
Other liquid bulk	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
<b>DRY BULK</b>	<b>222.357</b>	<b>14.699</b>	<b>237.056</b>	<b>411.042</b>	<b>14.423</b>	<b>425.465</b>	<b>+188.409</b>	<b>+79,48%</b>
Cereals	70.106	0	70.106	59.834	0	59.834	<b>-10.272</b>	<b>-14,65%</b>
Foodstuff/Fodder/Oil seeds	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Coal and lignite	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Ores/cement/lime/plasters	33.250	0	33.250	38.800	0	38.800	<b>+5.550</b>	<b>+16,69%</b>
Metallurgical products	119.001	0	119.001	307.351	0	307.351	<b>+188.350</b>	<b>+158,28%</b>
Chemical products	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Other dry bulk	0	14.699	14.699	5.057	14.423	19.480	<b>+4.781</b>	<b>+32,53%</b>
<b>GENERAL CARGO</b>	<b>4.548.564</b>	<b>4.020.698</b>	<b>8.569.262</b>	<b>5.296.204</b>	<b>4.392.823</b>	<b>9.689.027</b>	<b>+1.119.765</b>	<b>+13,07%</b>
Containerized (Including Ro-Ro containers)	2.027.939	2.127.826	4.155.765	2.371.463	2.005.055	4.376.518	<b>+220.753</b>	<b>+5,31%</b>
Ro-Ro (excluding Ro-Ro containers)	2.151.909	1.869.794	4.021.703	2.363.252	2.109.441	4.472.693	<b>+450.990</b>	<b>+11,21%</b>
Other general cargo	368.716	23.078	391.794	561.489	278.327	839.816	<b>+448.022</b>	<b>+114,35%</b>
<b>ADDITIONAL INFORMATION</b>								
<b>NUMBER OF CALLS</b>			<b>992</b>			<b>1.130</b>	<b>+138</b>	<b>+13,91%</b>
<b>GROSS TONNAGE</b>			<b>38.800.512</b>			<b>41.460.180</b>	<b>+2.659.668</b>	<b>+6,85%</b>
<b>NUMBER OF LOCAL AND FERRY PASSENGERS</b>	<b>3.633</b>	<b>5.117</b>	<b>8.750</b>	<b>2.817</b>	<b>6.321</b>	<b>9.138</b>	<b>+388</b>	<b>+4,43%</b>
Local (< 20 miles journey)	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Ferry passengers	3.633	5.117	8.750	2.817	6.321	9.138	<b>+388</b>	<b>+4,43%</b>
<b>CRUISE PASSENGERS</b>			<b>6.554</b>			<b>109.839</b>	<b>+103.285</b>	<b>+1575,91%</b>
Home Port	2.037	2.156	4.193	37.960	39.767	77.727	<b>+73.534</b>	<b>+1753,73%</b>
Transits			2.361			32.112	<b>+29.751</b>	<b>+1280,10%</b>
<b>NUMBER OF CONTAINERS (in TEUs)</b>	<b>190.743</b>	<b>176.891</b>	<b>367.634</b>	<b>228.467</b>	<b>202.987</b>	<b>431.454</b>	<b>+63.820</b>	<b>+17,36%</b>
<b>Hinterland</b>	<b>127.615</b>	<b>131.587</b>	<b>259.202</b>	<b>134.762</b>	<b>151.788</b>	<b>286.550</b>	<b>+27.348</b>	<b>+10,55%</b>
Empty	24.527	34.364	58.891	26.030	49.442	75.472	<b>+16.561</b>	<b>+28,16%</b>
Full	103.088	97.223	200.311	108.732	102.346	211.078	<b>+10.767</b>	<b>+5,38%</b>
<b>Transhipped</b>	<b>63.128</b>	<b>45.304</b>	<b>108.432</b>	<b>93.705</b>	<b>51.199</b>	<b>144.904</b>	<b>+38.472</b>	<b>+33,64%</b>
Empty	7.321	0	7.321	23.246	4.500	27.746	<b>+20.425</b>	<b>+278,99%</b>
Full	55.807	45.304	101.111	70.459	46.699	117.158	<b>+16.047</b>	<b>+15,87%</b>
<b>NUMBER OF VEHICLES</b>	<b>82.299</b>	<b>66.267</b>	<b>148.566</b>	<b>90.770</b>	<b>80.441</b>	<b>171.211</b>	<b>+22.645</b>	<b>+15,24%</b>
Number of Ro-Ro units	82.296	65.464	147.760	84.197	79.666	163.863	<b>+16.103</b>	<b>+10,90%</b>
Number of private vehicles	0	22	22	12	61	73	<b>+51</b>	<b>+231,82%</b>
Number of commercial vehicles	3	781	784	6.561	714	7.275	<b>+8.491</b>	<b>+827,93%</b>

U tablici 4. prikazani su statistički podaci za luku Trst u razdoblju 2021./2022. Iako Tršćanska luka služi kao matična luka za oko 60 000 turista s kruzera, ipak, njihov broj je gotovo zanemariv u usporedbi s Venecijom ili Barijem. To je moguće zahvaljujući adekvatnim kapacitetima terminala (9 900 četvornih metara otvorenih i 7 200 četvornih metara zatvorenih terminalskih kapaciteta koji, kao matična luka, mogu primiti dva velika kruzera), dobro razvijenim vezama sa zaleđem (iako je veza od terminala za kruzere do autocestovnog sustava udaljena 5 km, ali je željeznička stanica na pješačkoj udaljenosti od terminala) i blizinom nacionalne zračne luke, [27]. Trst je tijekom posljednjeg desetljeća ojačao svoju poziciju kao kruzerska luka. Tijekom 2012. godine, rangirao se među deset vodećih talijanskih kruzerskih luka i deveti u Jadranu prema broju dolazaka kruzera i broju putnika. Trst bi mogao postati alternativna odredišna luka Venecijanskoj luci, posebno s obzirom na nesigurnu budućnost kruzera u Venecijanskoj laguni.

Ipak, kruzerski promet u Trstu do danas nije pokazivao konstantan trend; naprotiv, ponekad je karakteriziran značajnijim padovima. [36]

Na grafikonu 3. prikazan je broj dolazaka prema vrsti.



Grafikon 3.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Trst, [37]

Kako je navedeno na Internetskoj stranici TTP-a<sup>7</sup>, u narednim godinama očekuju se nove investicije i izgradnja nove infrastrukture s ciljem osiguranja priveza za veće brodove i povećanja dolazaka putnika u Trst. [36]

### 3.1.3. Luka Kopar

Luka Kopar se nalazi na južnoj obali Tršćanskog zaljeva, u Republici Sloveniji, [20]. Luka se kategorizira kao srednja velika, s pristojnim skloništem i s maksimalnim prihvatljivim veličinama plovila preko 150 metara duljine. Sadrži male veličine pomorskog željezničkog kolosijeka. Posjeduje maleni suhi dok te nudi fiksne i mobilne dizalice te nudi opskrbu prehrambenim potrepštinama, loživom naftom, vodom i dizel gorivom. Danas je luka Kopar ključna za austrijska, slovačka i mađarska tržišta. Pozicionira se kao jedna od vodećih luka za teretni promet na sjevernom Jadranu, posebno za prijevoz vozila i drugih vrsta tereta prema južnoj europskoj ruti (drvo, stoka, soja, aluminij i željezni proizvodi). Luka Kopar je također najveća kontejnerska luka na Jadranu i jedna od najvećih luka za vozila na Mediteranu. Riječ je o tranzitnoj luci, koja pretežito opslužuje preko 70% udjela stranih tržišta u unutrašnjosti i manje od 30% slovenskog tržišta. Luka ima status središnje EU luke u sustavu TEN-T, budući da se nalazi na koridorima Baltičko-Jadranskog i Mediteranskog prometnog koridora. Također, povezana je autocestom s talijanskim lukama Trst (25 km) i Venecija (190 km), te hrvatskom lukom Rijeka (85 km), [24].

Područje luke sadrži 10 terminala s ukupnom duljinom obale od 3 300 metara. Osnovne aktivnosti koje se provode u luci Koper su rukovanje teretom i skladištenje. Provode se na 10 terminala specijaliziranih za rukovanje i skladištenje različitih vrsta tereta kao što su: kontejneri, opći teret, prehrambeni proizvodi, laki pokvarljivi teret, stoka, RO-RO, drvo, suhi i tekući rasuti tereti, [20]. Kontejnerski terminal ima redovite tjedne linije prema Bliskom istoku, istočnoj Aziji i Crvenom moru, a također je povezan putem „feeder-skih<sup>8</sup>“ usluga sa značajnijim mediteranskim lukama (Gioia Tauro, Malta, Pirej, Haifa, Port Said, Algeciras). Terminal za automobile i ro-ro, jedan je od najvećih takve vrste na Mediteranu, a obrađuje europske izvoze i uvoze, uglavnom iz/i prema Japanu, Južnoj Koreji i Turskoj. Svi terminali su povezani željezničkim sustavom od čega se oko 60% svih tereta luke opslužuje željezničkim uslugama s prosječno više od 50 teretnih vlakova dnevno. Vlakovi povezuju luku u maksimalno 2 dana sa svim glavnim unutarnjim tržištima; Austrijom, Mađarskom, Slovačkom, Njemačkom, Češkom, Italijom, Hrvatskom te Poljskom. Cestovni promet nadopunjuje preostali promet prema

---

<sup>7</sup> Tal. Trieste Terminal Passeggeri.

<sup>8</sup> Engl. Feeder ship – brodovi manjeg kapaciteta koji povezuju manje luke sa središnjim terminalom.



unutrašnjosti, dostižući većinu ciljanih odredišta unutar 24 sata, [24]. U tablici 5. prikazani su statistički podaci za luku Kopar tijekom razdoblja 2021./2022.

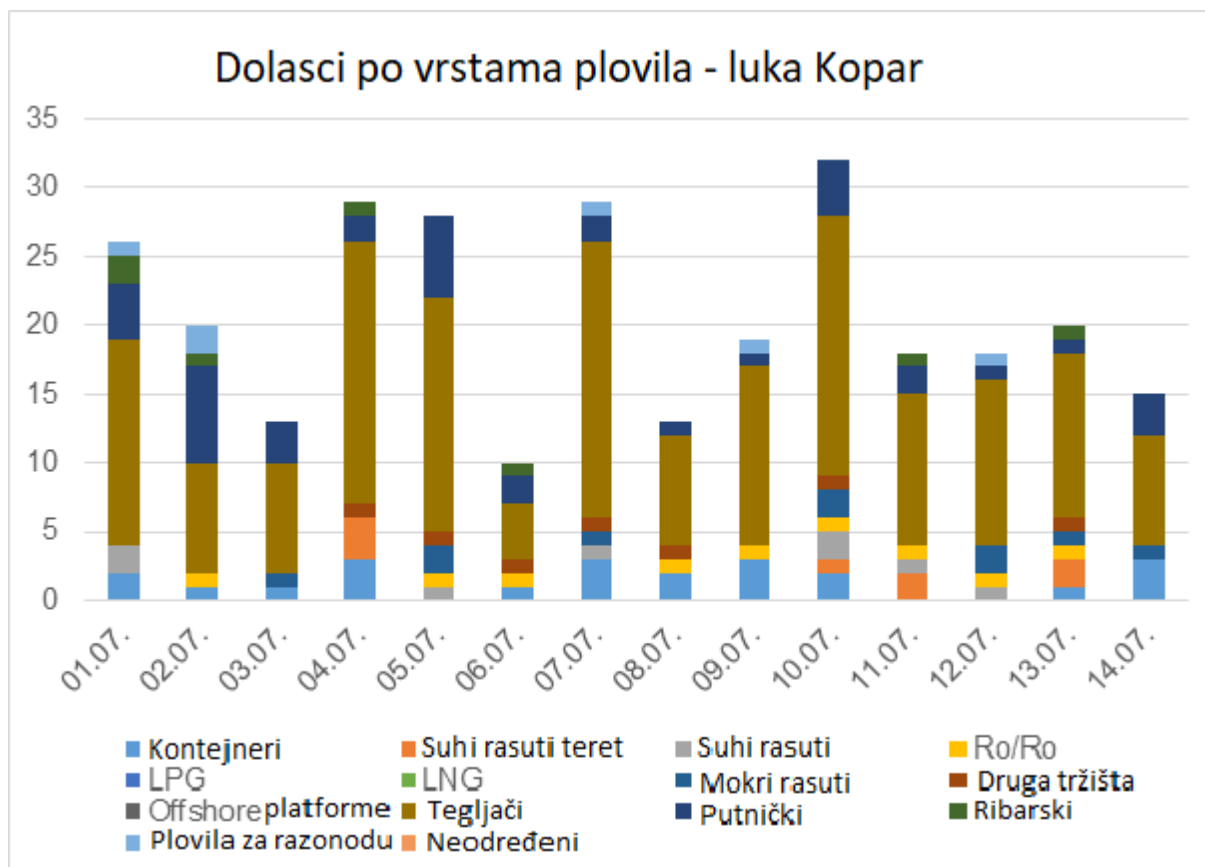
Tablica 5.: Statistički podaci za luku Kopar tijekom razdoblja 2021./2022., [38]

Zajedno	2022	2021
Generalni tereti	1.311.122	1.126.786
Kontejneri	9.659.121	9.703.404
Auti	1.394.106	1.094.326
Rasuti tereti	6.239.783	5.565.585
Tekući tereti	4.644.337	3.331.065
<b>Ukupno</b>	<b>23.248.468</b>	<b>20.821.166</b>

Ukupni pomorski promet dosegao je vrijednosti od 23,2 milijuna tona robe i premašio planirane volumene za 2022. godinu za 378 tisuća tona, odnosno za 2%. Na kraju 2022. godine postignut je novi godišnji povijesni rekord na kontejnerskom terminalu s 1 017 788 TEU-a prekranih kontejnera, istovremeno premašujući povijesnu oznaku od milijun TEU-a prekranih u jednoj godini. [39]

Ključni smjerovi razvoja uključeni su u Nacionalni prostorni plan za razvoj Luke Kopar, koji uključuje proširenje dva postojeća gata te izgradnju gata broj 3, koji će biti posvećen rukovanju kontejnerima. Planirane su i značajne investicije za rukovanje automobilima i općim teretom, pri čemu će ukupna površina luke porasti sa sadašnjih 280 ha na 404 ha. [20]

Luka također upravlja terminalom za kruzere s rastućim brojem dolazaka kruzera, [24]. Prepoznat je potencijal razvoja kruzerskog turizma, izgradnje terminalne zgrade i posljedičnog pružanja boljih usluga putnicima. Iako Slovenija ima mnogo atrakcija za ponuditi, nacionalna zračna luka Ljubljana udaljena je 125 km od Kopra, što čini zračnu luku Trst najbližom zračnom lukom Kopru (manje od 70 km), ali zračna luka Trst i grad Kopar nisu dobro povezani. Trend broja kruzerskih putnika koji posjećuju luku Kopar je prilično neizvjestan iako se tijekom nadolazećih godina predviđa njegov blagi porast s obzirom da je Kopar daleko najvažnija putnička luka u Sloveniji, [27]. Na grafikonu 4. prikazan je broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. godine za luku Kopar.



Grafikon 4.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Kopar, [40]

Obnova krizing industrije bila je postepena nakon potpunog prestanka aktivnosti tijekom 2020. godine. Tako je tijekom 2022. godine terminal za kruzere zabilježio 65 dolazaka kruzera sa ukupno 72 753 putnika. [39]

### 3.1.4. Luka Rijeka

Luka Rijeka najvažnija je hrvatska luka u sjevernom Jadranu. Kategorizirana je kao srednje velika, s dobrom zaštitom i maksimalnim prihvatljivim veličinama plovila većih od 150 metara duljine. Posjeduje srednji suhi dok s fiksnim, pokretnim i plutajućim dizalicama, te nudi opskrbu namirnicama, pitkom vodom, loživim uljem i gorivom za brodove. S obzirom na svoj položaj na Mediteranskom TEN-T koridoru i statusu značajne luke, pruža važnu vezu s unutrašnjostima Mađarske, Češke, Slovačke i Bosne i Hercegovine, [24]. Luka sadrži komparativne prednosti u odnosu prema ostalim sjevernojadranskim lukama kao što su mogućnosti sidrenja brodova s gazom do 20 metara, primanja brodova novijih generacija u pogledu tehničkih dostignuća, te korištenje plovnog puta rijeka Sava-Dunav-Rajna što nije obilježje ostalih sjevernojadranskih luka, [20]. Povezana je s hrvatskom prijestolnicom Zagrebom autocestom A6 ("Goranka"), koja vodi u autocestu A1 ("Dalmatina") od Zagreba do

Splita, [24]. Glavni prometni koridori luke Rijeka su ogranak B koridora V i koridora X. Paneuropski prometni koridor V(B) zaslužen je za povezivanje baltičkih, te zemalja srednje i istočne Europe s Jadranom i Mediteranom (Budimpešta – Zagreb – Karlovac – Rijeka – Trst), gdje željeznička veza povezuje Rijeku i Zagreb, [20, 24]. Drugi koridor X služi povezivanju jugozapadne i srednje Europe sa srednjim Jadranom. Riječka luka ima dakle, vrlo povoljan geografski položaj budući je destinacija važnih prometnih koridora, ali kao nedostaci ističu se loša kvaliteta prometnih pravaca, neadekvatni kapaciteti te zastarjela lučka oprema i objekti. Za bolje iskorištavanje geografskog i geoprometnog položaja, nužna je modernizacija željeznice Rijeka-Zagreb te blizinska izgradnja višenamjenskog kanala Dunav-Sava, čime bi se istaklo bolje pozicioniranje luke kao ključne točke u europskoj multimodalnoj mreži što bi snažno utjecalo na promet luke. Bez toga, povoljan prometni položaj nije dovoljan za stvaranje značajnog lučkog čvorišta. Međutim, luka Rijeka je vodeća u Hrvatskoj te se nalazi u procesu transformacije u ključno pomorsko središte zahvaljujući investicijskim potencijalima i složenim projektima modernizacije kojima je za cilj postavljen nastavak rasta i potrage za pozicijom nove i konkurentne luke u poticajnom poslovnom okruženju. Riječka luka je višenamjenski objekt s mogućnošću upravljanja s gotovo svim vrstama tereta, [20].

Luka Rijeka sastoji se od 8 terminala smještenih u gradu Rijeka te njegovoj okolici. Terminal za rasuti teret nalazi se otprilike 13 km od glavnog područja luke u bakarskom zaljevu a specijaliziran je za rukovanje željeznom rudom i ugljenom, te se također bavi drugim vrstama rasutog i sipkog tereta. Dio luke koji se nalazi izvan glavnog područja luke, smješten je u Bršici (75 km od Rijeke) u raškom zaljevu, a terminal je namijenjen za stoku, drva te generalne terete. Na glavnom području luke nalazi se pet terminala koji se bave različitim vrstama tereta, poput terminala za žitarice i uljarice, terminala za opći teret, terminala za kontejnere/ro-ro (kojim upravlja koncesionar Jadranska vrata), terminala za drvo i frigo terminal. Drugi dio izvan glavnog područja luke je kompleks skladišta u terminalu Škrljevo za skladištenje različitih vrsta tereta te obavljanje industrijske obrade i završnih radova raznih roba. Trenutno je u postupku dodatak novog terminala za kontejnere, Zagreb Deep Sea Terminal. Kada postane operativan, ovaj dio luke Rijeka postat će jedina sjevernojadranska luka sposobna primiti brodove do 20 metara gaza. Izgradnja novog terminala dio je većeg projekta Rijeka Gateway, koji si je za cilj zadao poboljšanje međunarodnih prometnih veza preko Rijeke modernizacijom luke i cestovnih povezanosti, dok se istovremeno provodi daljnja privatizacija operacija luke. [24]

S obzirom na poslovanje luke, u prometu je tijekom 2022. godine obrađeno 2 579 602 tone tereta, s indeksom 115 u usporedbi s 2021. Udio generalnog tereta se povećao za 9%, te je

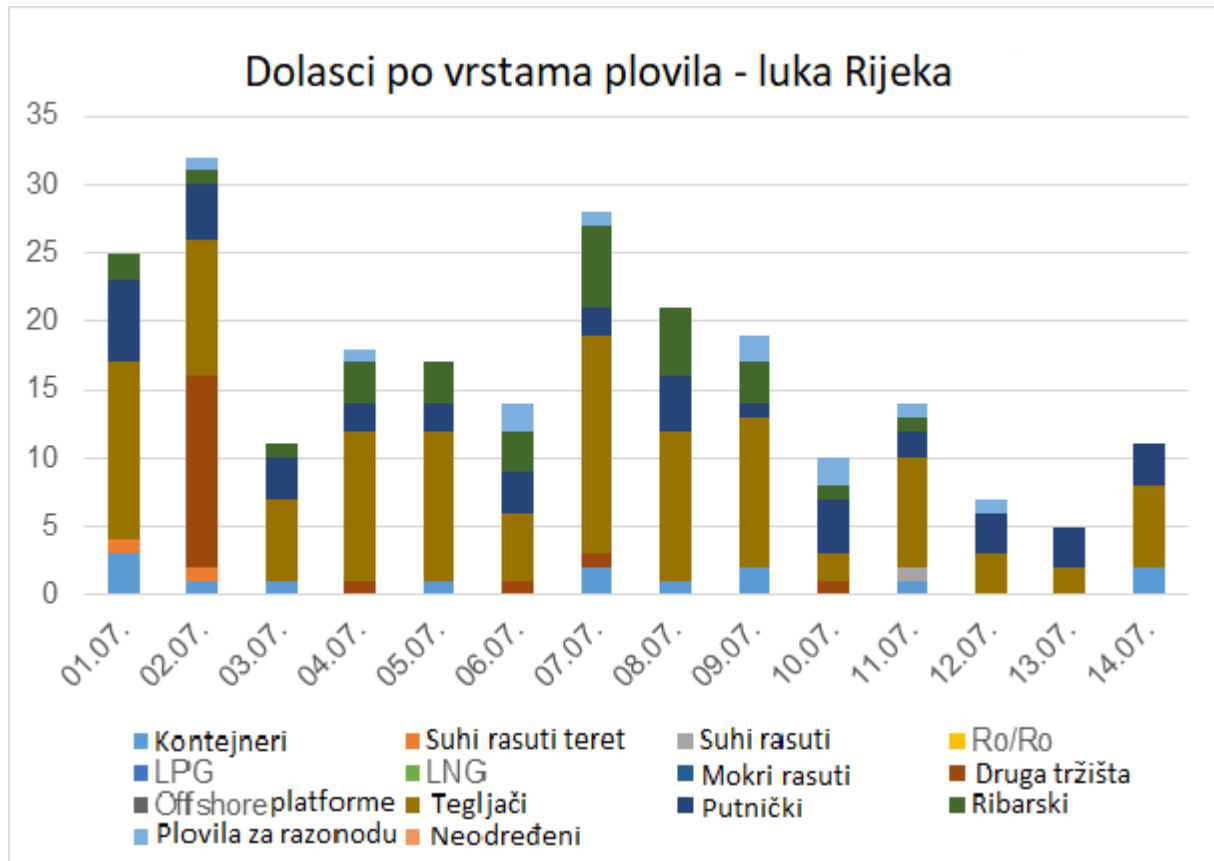
prekrzano 719 094 tona tereta, dok se udio rasutog tereta povećao za 4%, [41]. U tablici 6. prikazani su statistički podaci za luku Rijeka tijekom razdoblja 2021./2022.

Tablica 6.: Statistika luke Rijeka tijekom razdoblja 2021./2022., [41]

Luka Rijeka d.d.	Realizacija 01.-12.2022.	Realizacija 01.-12.2021.	Indeks 2022/2021
Generalni teret (tone)	719.094	657.085	109
Rasuti teret (tone)	1.569.779	1.506.560	104
Kontejneri (tone)	290.729	89.183	326
<b>UKUPNO (tone)</b>	<b>2.579.602</b>	<b>2.252.828</b>	<b>115</b>

Struktura generalnog tereta u prometu ostvarenom tijekom izvještajnog razdoblja ukazuje na dvije dominantne vrste tereta. Radi se o drvnom i metalnom teretu, pa se trendovi kretanja prekrcanja tih vrsta tereta najviše odražavaju u realizaciji ukupnog prometa generalnog tereta. Ukupni promet drva (konvencionalno i punjenje kontejnera) u promatranom razdoblju iznosi 410 178 tona što predstavlja udio od 57% u ukupnom prometu generalnog tereta. Promet mekog drva (jelovine) bilježi rast od 11%, dok promet tvrdog drva bilježi pad od 5%. U strukturi prekrcanja rasutog tereta povećan je promet žitarica, željezne rudače, šećera, umjetnih gnojiva te kamenih agregata. Do značajnog pada prekrcanja soje (3 640 tone) dolazi zbog obustave izvoza prema Rusiji, a i samog smanjenog uroda soje u 2022. godini. Najznačajniji rast tijekom 2022. godine naspram prethodne, ostvaren je u kontejnerskom prometu uz povećanja od 226% što iznosi 290 729 tona, odnosno 147 523 TEU jedinica. Luka Rijeka d.d. bavi se uslugama punjenja i pražnjenja kontejnera, te kopnenim manipulacijama tereta od Terminala Brajdica do Terminala Škrljevo i Terminala Rijeka (i obrnuto). Pridruženo društvo Jadranska vrata d.d. ostvarilo je promet od 373 343 TEU jedinica, te povećanje od 20%. Jadranska vrata d.d. bave se uslugom prekrcanja kontejnera s kontejnerskih brodova na kamione i vagone. [41]

Luka Rijeka, uglavnom teretna luka te treći najveći hrvatski grad, smještena na sjevernom dijelu zemlje, također se počela razvijati kao kruzing luka. Rijeku posjećuju nekoliko kruzing brodova tijekom svake sezone, međutim, taj broj polako raste svake godine. Na grafikonu 5. prikazan je broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Rijeka.

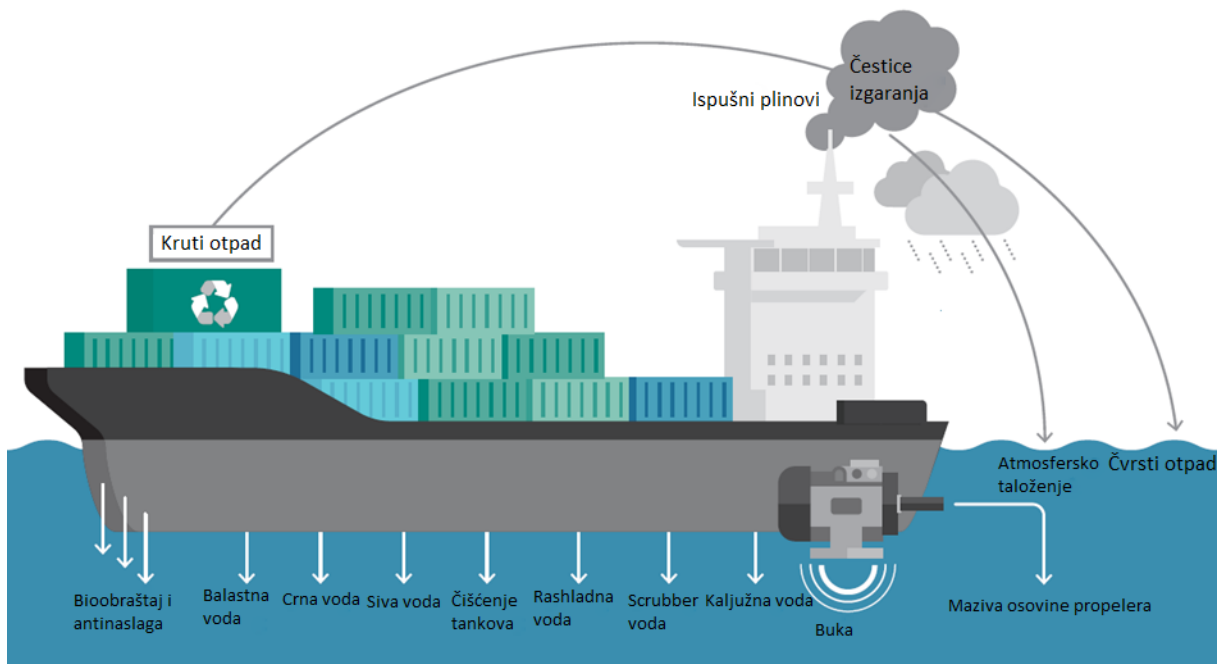


Grafikon 5.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Rijeka, [43]

Rijeka je bila luka pristajanja za 18 kruzing brodova u 2022. godini, a ti brodovi su doveli 26 722 putnika koji su posjetili Rijeku kao dio svojeg kruzing itinerara. Tijekom 2017. godine Rijeka je bila luka pristajanja za 15 kruzing brodova koji su gradu doprinijeli 12 656 putnika. Ukupan broj putnika tijekom promatranih godina je rastao, što pokazuje da se Rijeka poboljšava kao kruzing odredište. [42]

### 3.2. ISPUŠTANJA BRODOVA

Kako se proces globalizacije ubrzava, a industrija pomorstva razvija, pomorsko brodarstvo je postalo jedno od najvažnijih sredstava prijevoza za mnoge zemlje. Brodovi su danas zaslužni za prijevoz oko 90% svjetskog obujma trgovine, što ukazuje na značaj njihova globalnog prijevoza tereta. Prema statistikama, 11% otpada ispuštenog u more potječe od brodova, [44]. Tema otpada kojeg proizvode brodovi općenito privlači znatno manje pažnje u znanstvenoj literaturi u usporedbi s gospodarenjem otpada na kopnu, [45]. Tijekom operacija brodova proizvode se sanitarne otpadne vode povezane s propulzijom i radom motora, kao i s aktivnostima posade i putnika. Operacije propulzije i rada motora uključuju otpadne tokove kao što su kaljuže iz strojarnica, ulja iz statvenih cijevi kroz koje prolazi osovina propelera, vode za pranje sustava za čišćenje ispušnih plinova (scrubber) za smanjenje emisija sumpornih oksida u atmosferu, balastne vode za održavanje stabilnosti broda, rashladne vode, ostaci od čišćenja tankova, crne i sive vode te ispušni plinovi, [46]. Na slici 5. prikazani su svi ispusti koji se eventualno mogu dogoditi na brodu izuzev onih ispusta koji se mogu povezati s teretom.



Slika 5. : Prikaz svih brodskih ispuštanja, [1]

Sanitarne otpadne vode povezane s ljudima na brodu općenito se smatraju crnim i sivim vodama. Crne (kanalizacijske) vode uključuju otpade svih vrsta toaleta, pisoara, izljeve iz medicinskih prostora na brodu (uključuju se svi izljevi: toaleti, kade, tuševi i umivaonici), fekalije iz prostora za čuvanje stoke (brodovi za prijevoz stoke) i sve one vode koje su eventualno izmiješane s ovim vodama. Crne sanitarne otpadne vode proizvedene na brodovima

imaju različito vrijeme zadržavanja te količinski, sadrže manje vode u usporedbi s fekalnim sanitarnim otpadnim vodama kopnenih postrojenja. Manje su razrijeđene, što znači da imaju veću koncentraciju zbog manje upotrebe vode za ispiranje sanitarnih uređaja, [47]. Dušik i fosfor, koji se smatraju hranjivim tvarima odgovornim za eutrofikaciju, čine velik dio sanitarnih otpadnih voda. U prosjeku se ispuštanje dušika i fosfora u brodske kanalizacijske vode procjenjuje na 12-15 g dušika po osobi na dan odnosno 3-5 g fosfora po osobi na dan, [45]. Neobrađene crne vode proizvedene na brodovima podliježu Prilogu IV MARPOL konvencije i smiju se ispuštati samo izvan 12 nautičkih milja od najbliže obale. Tijekom tretiranja crnih voda, tj. njihovog usitnjavanja i dezinfekcije, dopušteno je ispuštanje izvan 3 nautičke milje, kada se brod kreće brzinama od 4 čvora ili većim, [46, 48]. Sive sanitarne otpadne vode, s druge strane, dolaze iz sudopera, tuševa, perilica, kuhinjskih uređaja i iz prostorija u kojima se čuva ili poslužuje hrana. U slučaju da se sive vode pomiješaju sa crnima, zakonski se smatraju crnim vodama, [47]. Za razliku od crnih voda, i sive vode se obrađuju ali nisu regulirane MARPOL Prilogom IV, već na nacionalnim i regionalnim razinama, [48].

Kada teretni brodovi plove bez tereta ukrcavaju velike količine balastnih voda s ciljem osiguravanja stabilneta broda, a čija masa može iznositi od 26% do 60% njihove ukupne nosivosti (DWT). Brodovi za prijevoz rasutog tereta i tankeri mogu posjedovati najveće količine balasta, [46]. Ispuštanja balastnih voda utječe na svaku zemlju diljem svijeta jer sa sobom prenose mnoge invazivne vrste, zajedno s drugim patogenim organizmima. Kanada i Australija su među prvim zemljama koje su imale problema s štetnim invazivnim vodenim vrstama. Njihovi problemi privukli su pozornost Međunarodne pomorske organizacije (engl. International Maritime Organization - IMO), što je konačno rezultiralo usvajanjem Međunarodne konvencije o nadzoru i upravljanju brodskim balastnim vodama i talozima (engl. The International Convention for the Control and Management of ship's ballast water and sediments) u veljači 2004. godine, [49].

Na koncu, brodovi su odgovorni za ispuštanje štetnih plinova, koji uključuju prije svega NO<sub>x</sub>-e (dušikove okside), SO<sub>x</sub>-e (sumporove okside), CO<sub>2</sub> (ugljičkov dioksid), CO (ugljičkov monoksid), lako hlapljive organske sastojke (engl. Volatile Organic Compounds – VOC), tvari koje oštećuju ozonski omotač (engl. Ozone Depleting Substances – ODS) i krute čestice (engl. Particulate matters – PM). Trenutačno većina brodskih motora koristi jeftina goriva niske kvalitete koja sadrže teške metale, viskozija su i imaju veći udio sumpora u usporedbi s gorivima koja se koriste za kopnena vozila. NO<sub>x</sub> koje brodovi ispuštaju potječe uglavnom iz izgaranja dušika iz zraka kada motor radi na visokim temperaturama. Ispuštanja NO<sub>x</sub> -a nisu odgovorna samo za eutrofikaciju mora, već su također štetna za ljudski dišni sustav te uzrokuju

bolesti kao što su emfizem pluća i bronhitis. Osim toga, ova ispuštanja mogu uzrokovati okolišne probleme poput oštećenja ozonskog omotača, kiselih kiša, nastanak magle ili smoga. [50]

#### **4. PROPISI O POSTUPANJU SA SANITARNIM OTPADNIM VODAMA I EMISIJAMA ISPUŠNIH PLINOVA S BRODOVA**

Ispuštanje i zadržavanje crnih i sivih sanitarnih otpadnih voda te dozvoljene količine ispuštanja štetnih emisija s plovnih objekata, regulirani su međunarodnim propisima kao i propisima pojedinih obalnih država opremom i svjedodžbama koje plovni objekti moraju imati, [47]. Od nekoliko međunarodnih organizacija koje reguliraju pomorski prijevoz, Međunarodna pomorska organizacija (IMO), specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda, sadrži najvažniju ulogu. IMO donosi propise koji vrijede na globalnoj razini, a zadužen je za postavljanje standarda u području sigurnosti te okolišne učinkovitosti međunarodnog pomorskog prometa. Pruža okvir suradnje među različitim vladama zbog reguliranja tehničkih pitanja koja utječu na pomorski promet uključen u međunarodnu trgovinu. Također donosi standarde u pitanjima koja se odnose na pomorsku sigurnost, učinkovitost navigacije i sprječavanje te kontrolu onečišćenja mora s brodova, [1].

Glavni alat IMO-a za sprečavanje onečišćenja i zaštitu morskog okoliša jest Međunarodna konvencija za sprječavanje onečišćenja brodova (engl. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – ili skraćeno MARPOL konvencija). Konvencija je usvojena 1973. godine, a zatim je dopunjena Protokolima iz 1978. i 1997. godine. MARPOL konvencija trenutačno zahvaća 99% svjetske trgovačke tonaže, značajno doprinijevši smanjenju onečišćenja iz međunarodnog pomorskog prometa. Sadrži šest priloga, od kojih se svaki od njih bavi određenom vrstom onečišćenja. [1]. Prilozi su, [45]:

- Prilog I: Propisi za sprječavanje onečišćenja mora uljima
- Prilog II: Propisi za kontrolu onečišćenja od štetnih tvari u razlivenom (tekućem) ili rasutom stanju
- Prilog III: Sprječavanje onečišćenja od opasnih tvari u upakiranom obliku
- Prilog IV: Sprječavanje onečišćenja mora sanitarnim otpadnim vodama s brodova
- Prilog V: Sprječavanje onečišćenja mora smećem ili otpadom s brodova
- Prilog VI: Sprječavanje onečišćenja zraka s brodova



Suzbijanje onečišćenja mora s brodova podrazumijeva usvojenost propisa i prihvaćanja odgovarajućih međunarodnih konvencija donesenih pod okriljem Međunarodne pomorske organizacije, ali i implementacije propisa Europske unije. Iako nije pravilo, najčešće gospodarski razvijenije države imaju i nacionalne zakone koji su djelotvorniji, ili imaju više ograničenja za ispuštanje sanitarnih otpadnih voda i emisija ispušnih plinova s plovila te veće zahtjeve za čistoćom ili kvalitetom obrađenih sanitarnih otpadnih voda prije samog ispuštanja. [47]

#### **4.1. PRILOG IV. MARPOL KONVENCIJE**

Ispuštanja sanitarnih otpadnih voda u more može stvoriti prijetnje za morske ekosustave smanjenjem razine otopljenog kisika u moru i mogu se vizualno manifestirati onečišćenjem u priobalnim područjima što predstavlja veliki problem za zemlje s izraženim turističkim djelatnostima. Problem može biti dodatno izražen kod plićih mora s manjim cirkulacijama vode poput Jadranskog mora što uzrokuje povećanje rizika eutrofikacije mora, [51, 52]. Među glavne izvore ljudski proizvedenih sanitarnih otpadnih voda spadaju kopneni izvori poput komunalnih kanalizacija ili postrojenja za obradu sanitarnih otpadnih voda. Međutim, ispuštanje sanitarnih otpadnih voda u more s brodova također doprinosi onečišćenju mora, [51]. Prilog IV. MARPOL konvencije odnosi se na odredbe o nadziranju i suzbijanju onečišćenja mora crnim sanitarnim otpadnim vodama s brodova te uključuje ograničenja ili zabrane ispuštanja, preglede i izdavanja svjedožbi, nadzor i oprema ispuštanja te obalne uređaje za prihvata. Odredbe Konvencije odnose se pritom isključivo na crne brodske sanitarne otpadne vode dok sive nisu obuhvaćene, [47].

Prilog je stupio na snagu 27. rujna 2003. godine, dok je revizija Priloga IV. usvojena 1. travnja 2004. godine koja je na snagu stupila 1. kolovoza 2005. godine, [51]. Revidirani Prilog odnosi se na brodove koji sudjeluju u međunarodnim putovanjima, a imaju bruto tonažu od 400 i više te na brodove manje od 400 BT-a (bruto tona) certificiranih za prijevoz više od 15 osoba, [47]. U Prilogu se zahtijeva opremljenost brodova odobrenim postrojenjem za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda ili odobrenim sustavom za usitnjavanje i dezinfekciju sanitarnih otpadnih voda ili tankom za sanitarne otpadne vode, [51].

Nadalje, prema Prilogu IV. MARPOL konvencije dozvoljeno je ispuštanje fekalnih sanitarnih otpadnih voda u more jedino ukoliko, [47, 51]:

- ispuštanje nepročišćenih sanitarnih otpadnih voda odvija se na udaljenostima većim od 12 nautičkih milja od najbliže obale, te se ne bi smjelo ispuštati trenutačno, već umjerenom brzinom ispuštanja kada je brod u plovidbi i kreće se brzinom od najmanje

4 čvora. Pritom ispuštanje ne smije prelaziti maksimalnu dopuštenu količinu od 1/200 000 volumena koji se računa po formuli:

$$DR_{\max} = 0,00926 \times V \times D \times B \text{ gdje je:}$$

$DR_{\max}$  – maksimalna dopuštena količina ispuštanja u m<sup>3</sup>/sat

V – prosječna brzina broda tijekom ispuštanja u čvorovima

D – gaz u metrima

B – širina broda u metrima

(Maksimalna dopuštena brzina ispuštanja navedena u formuli odnosi se na prosječnu izračunatu brzinu tijekom bilo kojih 24 sata ili razdoblja ispuštanja ako je manje, i može se prekoračiti za ne više od 20% kada se mjeri na satnoj osnovi.)

- brod sadrži sustav odobren od nacionalne uprave države potpisnice MARPOL konvencije koji usitnjuje i dezinficira sanitarne vode na udaljenostima većim od 3 nautičke milje od najbliže obale
- brod ima u radu odobreno postrojenje za pročišćavanje sanitarnih voda odobreno od IMO-a za koje je nacionalna uprava države potpisnice MARPOL konvencije utvrdila da udovoljava radnim zahtjevima iz Priloga IV. i da su rezultati ispitivanja navedeni u Međunarodnoj svjedožbi o spriječavanju onečišćenja fekalijama s broda, te da u tim izljevima ispuštene sanitarne otpadne vode ne proizvode vidljive plutajuće krute čestice niti uzrokuju promjenu boje okolne vode. Ovakva su ispuštanja brodovima dozvoljena na svim lokacijama.

Svaki brod, sukladno odredbama ovog Priloga, mora biti opremljen jednim od sljedećih sustava za sanitarne otpadne vode, [47]:

- postrojenjem za obradu sanitarnih otpadnih voda odobrenim od strane nacionalne uprave države potpisnice MARPOL konvencije uzimajući u obzir standarde i metode ispitivanja razrađenima po IMO-u
- sustavom za usitnjavanje i dezinfekciju sanitarnih otpadnih voda odobrenim od strane nacionalne uprave države potpisnice MARPOL konvencije (takvi sustavi moraju biti opremljeni sadržajima za privremeno skladištenje sanitarnih otpadnih voda kada se brod nalazi na udaljenostima manjim od 3 nautičke milje od najbliže obale)
- tankom za pričuvu sanitarnih otpadnih voda, uzimajući u obzir zahtjeve volumena u skladu sa zahtjevima nacionalne uprave države potpisnice MARPOL konvencije za

zadržavanje svih količina sanitarnih otpadnih voda. Tank za pričuvu mora sadržavati sredstva za vizualno prikazivanje količine sadržaja.

U srpnju 2011. godine, Odbor za zaštitu morskog okoliša pri IMO-u (engl. Marine Environment Protection Committee – MEPC) usvojio je najnoviju izmjenu Priloga IV. MARPOL-a rezolucijom MEPC.200(62), koja je stupila na snagu 1. siječnja 2013. godine, [51]. Ova regulacija se primarno odnosi na putničke brodove, koji su glavni uzrok onečišćenja mora i obalnih vodotoka od sanitarnih otpadnih voda, [53]. Izmjena je, između ostalog, uvela definiciju tzv. „posebnih područja“, kao i relevantne zahtjeve za ispuštanje sanitarnih otpadnih voda iz putničkih brodova u takvim područjima i za lučke prihvatne objekte, [51]. "Posebna područja" su definirana kao područja u kojima se zahtijeva donošenje drugačijih obvezujućih mjera naspram ostalih morskih područja zbog njihovih posebnih morskih značajki (obilježja) ili uvjeta prijevoza kako bi se spriječilo onečišćenje izazvano brodovima, tj. primjenjuju se posebna pravila radi sprječavanja onečišćenja mora, [44, 46]. Zbog posebnih zastupljenih uvjeta u posebnim područjima, primjenjuju se još stroži propisi upravljanja sanitarnim otpadnim vodama, [44]. Trenutno, jedino je područje Baltičkog mora proglašeno „posebnim područjem“ u tom smislu, [51].

Ispuštanja sanitarnih otpadnih voda iz putničkih brodova unutar posebnog područja uglavnom su zabranjena prema novim propisima, osim ako brod ima u funkciji odobreno postrojenje za obradu sanitarnih otpadnih voda. Postrojenje za obradu sanitarnih otpadnih voda instalirano na putničkom brodu namijenjenom ispuštanju sanitarnih otpadnih voda u posebnim područjima dodatno treba zadovoljiti standard za uklanjanje dušika i fosfora prilikom testiranja za Svjedodžbu o odobrenju tipa. Aritmetička sredina ukupnog sadržaja dušika i fosfora u uzorcima crnih sanitarnih otpadnih voda tijekom testnog razdoblja ne bi smjela premašiti, [51]:

- ukupni dušik (zbroy organskog i amonijačnog dušika, nitratnog i nitritnog dušika):  $20 \frac{Q_i}{Q_e}$  mg/l ili smanjenje od najmanje 70% gdje je:
  - $Q_i$  – influent, tekućina koja sadrži crnu sanitarnu otpadnu vodu, sivu vodu ili druge tekuće tokove koji će biti obrađeni u postrojenju za obradu
  - $Q_e$  – efluent, pročišćena sanitarna otpadna voda koju proizvodi uređaj za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda
- ukupni fosfor:  $1,0 \frac{Q_i}{Q_e}$  mg/l ili smanjenje od barem 80%.

Kada je riječ o prihvatnim postrojenjima za putničke brodove u posebnim područjima, svaka stranka čija obala graniči s posebnim područjem obvezuje se osigurati da, [51]:

- postrojenja za prihvatanje sanitarnih otpadnih voda dostupna u lukama i terminalima koji se nalaze u posebnom području i koji se koriste za putničke brodove;
- objekti su adekvatni da zadovolje potrebe tih putničkih brodova;
- objekti se upravljaju tako da ne uzrokuju nepotrebno kašnjenje tim putničkim brodovima.

Ovi zahtjevi za ispuštanje u jedinom posebnom području Baltičkog mora prema Prilogu IV. MARPOL-a primjenjuje se na sljedeći način, [53]:

- od 1. lipnja 2019. godine za nove putničke brodove, što znači za one s ugovorom o izgradnji sklopljenim nakon 1. lipnja 2019. ili isporučenim nakon 1. lipnja 2021.
- od 1. lipnja 2021. godine za postojeće putničke brodove, isključujući one navedene u idućoj stavci.
- dvogodišnje razdoblje produženja za postojeće putničke brodove od 1. lipnja 2023. godine. Ovo produženje odnosi se na brodove koji su izravno na putu prema/iz luke izvan posebnog područja i prema/iz luke smještene istočno od dužine 28°10' E unutar posebnog područja, pod uvjetom da ne pristaju u druge luke unutar posebnog područja (izravni prolazi između područja St. Petersburg i Sjevernog mora).

#### **4.2. PRILOG VI. MARPOL KONVENCIJE**

Unatoč napretku u posljednjim godinama, pomorski prijevoz i dalje vrši pritisak na okoliš emisijom stakleničkih plinova, posebno dušikovim i sumpornim oksidima te česticama tijekom plovidbe i lučkih aktivnosti što doprinosi globalnom zatopljenju. Emisije iz pomorskog sektora također doprinose acidifikaciji mora i promjenama u razinama hranjivih tvari i otopljenog kisika, te također mogu štetiti okolišu i ljudskom zdravlju, [1]. Prilog VI. MARPOL konvencije uključuje zabranu namjernog ispuštanja određenih tvari koje oštećuju ozonski omotač i smanjenje emisija hlapljivih organskih spojeva te ostalih štetnih ispušnih plinova iz energetskih postrojenja na brodu. Nadalje, također su obrađeni i nadzori, izdavanja i obnove svjedodžbi, kontrola države luke te otkrivanje prekršaja i provedbe, [54]. U Konvenciju su također uključene mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova iz pomorskog prometa u 2011. godini, [55]. Do 19. travnja 2023., MARPOL Prilog VI. ratificiran je od strane 105 ugovornih država koje predstavljaju 96,8% bruto tonaže svjetske trgovačke flote, [54].

MARPOL Prilog VI. stupio je na snagu 2005. godine i od tada je više puta mijenjan, s promjenama u tehničkim standardima od strane MEPC-a. Uvedena su „posebna područja“ u kojima se vrši nadzor emisija (engl. Emission Control Areas – ECA zona), u nekim gusto naseljenim područjima. Prva područja nadzora emisija stupila su na snagu u Baltičkom moru (2006.) i Sjevernom moru (2007.) uključujući i Engleski kanal, nakon čega su stupile na snagu u Sjevernoj Americi (2012.) i američkom Karipskom moru (2014.). Prvotno su ova područja bila ograničena na nadzor emisija sumpora (engl. Sulphur Emission Area – SECA zona), koja su kasnije proširena uključivanjem nadzora emisija dušika (engl. Nitrogen Emission Control Area – NECA zona) u Sjevernoj Americi i američkom Karipskom moru (2016.), a kasnije i u Sjevernom moru i Baltičkom moru (2021.). Na snagu će stupiti i Sredozemna SECA zona od 1. svibnja 2024. godine, [54]. Međutim, ECA zona u Sjevernoj Americi i na američkim Karibima obuhvaća i ograničenja ispuštanja krutih čestica (PM) što nije slučaj kod ostalih ECA zona.

Prema Prilogu VI. MARPOL konvencije (odredba 14.) postavljena su ograničenja s obzirom na dopušteni sadržaj sumpora u gorivu koja su se tijekom proteklog vremena mijenjala, [54]:

- od 1. siječnja 2012. godine izvan ECA zona bilo je postavljeno ograničenje sumpornog udjela u gorivima na 3,5%, a od 1. siječnja 2020. godine stupio je na snagu tzv. "globalno ograničenje sumpora", dodatno smanjujući maksimalno dopušteni udio sumpora u gorivu na 0,5%
- od 1. ožujka 2020. godine na snagu je stupila "zabrana prijevoza" koja zabranjuje brodovima bez uređaja za hlađenje i ispiranje ispušnih plinova (engl. „scrubber“ uređaj) upotrebu goriva u bunker tankovima koja ne udovoljava propisima (procedure uzorkovanja i provjere sadržaja sumpora usvojene su u 2020. godini, kao i smjernice za praćenje svjetskog prosječnog sadržaja sumpora u gorivima isporučenim brodovima)
- u SECA zonama Baltičkog i Sjevernog mora, maksimalni sadržaj sumpora u gorivu tijekom godina se smanjivao od 1,5% prije 1. srpnja 2010. na 1% od 31. prosinca 2014. godine, te konačno na 0,1% od 1. siječnja 2015. godine. Brodovi također mogu koristiti prirodni plin ili „scrubber“ uređaj kako bi postigli slične emisijske razine kao i s niskosumpornim gorivima. Posvećene smjernice za „scrubber-e“ su opisane kako bi se osiguralo da tako opremljeni brodovi udovoljavaju ograničenjima emisija i omogućuju vlastima provjeru usklađenosti u luci.

Prema Prilogu VI. MARPOL konvencije (odredba 13.) postavljena su i ograničenja emisija dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>-a) za brodske dizelske motore snage preko 130kW, osim za one koji se

koriste isključivo u nuždi (npr. dizelski generatori za nuždu), bez obzira na tonažu broda na koje su takvi motori postavljeni. Flota trgovačkih brodova podijeljena je u tri razine (reda) prema datumu polaganja kobilice ili sličnom stupnju izgradnje prema datumu. Svaka razina sadrži ograničenja emisija preko opadajuće krivulje kao funkcije nominalne brzine motora (ERS ili n), [54]. Dizelski motori instalirani nakon 1. siječnja 2000. godine, ali prije 1. siječnja 2011. godine, moraju se pridržavati 1. razine ograničenja emisija, ako je odobrena metoda za taj motor ovjerena od strane Administracije. Iste vrijednosti 1. razine vrijede i za dizelske motore instalirane nakon 1. siječnja 1990. godine do 1. siječnja 2000. godine. Druga razina ograničenja emisija primjenjuje se na motore instalirane nakon 1. siječnja 2011. godine, dok su najstroža ograničenja treće razine, koja su stupila na snagu 1. siječnja 2016. godine, primjenjivana u području NECA zone SAD-a i Karipskog mora te od 1. siječnja 2021. na području Sjevernog i Baltičkog mora, [54, 56]. U tablici 7. prikazana su ograničenja s obzirom na navedene razine (redove).

Tablica 7.: Dopuštene vrijednosti NO<sub>x</sub> emisija za dizelske motore s obzirom na klasificirane razine, [56]

Razina	Datum izgradnje broda na ili poslije	Ukupna granica emisija s ponderiranim ciklusom (g/kWh) n = Nazivna brzina motora (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1.siječanj 2000.	17.0	$45.n^{-0.2}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1.siječanj 2011.	14.4	$44.n^{-0.23}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1.siječanj 2016.	3.4	$9.n^{-0.2}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

Verifikacijski testovi za glavne motore temelje se na ponderiranom prosjeku emisija NO<sub>x</sub> iz četiri točke opterećenja motora s odgovarajućim faktorima ponderiranja. Samo je za treću razinu definirano da "ne smije premašiti" ograničenja, prema kojem NO<sub>x</sub> ograničenje ne smije biti prekoračeno za više od 50% za bilo koju od pojedinačnih točaka opterećenja glavnih

motora, [54]. Iz tablice 7. razvidno je da su standardi treće razine (reda) za emisije NO<sub>x</sub>-a smanjeni za 80% u odnosu na standarde 1. razine, [56]. Međutim, trenutno nisu postavljene granice emisija za bilo koju od ovih razina ispod 25% opterećenja glavnog motora, [54].

Naknadnim prihvaćanjem amandmana na Prilog VI. uvedeni su obvezatni Konstrukcijski Indeks energetske učinkovitosti za nove brodove (engl. Energy Efficiency Design Index – EEDI) i obvezatni Plan upravljanja energetsom učinkovitošću broda (engl. Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) za sve brodove s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova (prije svega se to odnosi na smanjenje emisija CO<sub>2</sub>). [55].

EEDI je mjera količine CO<sub>2</sub> emisija broda u periodu dizajna i konstrukcije, predstavljajući pritom emisije CO<sub>2</sub> po toni/milji broda što predstavlja količinu emisija CO<sub>2</sub> po radnom učinku broda. Cilj EEDI-a je postavljanje minimalnog standarda energetske učinkovitosti za brodove u budućnosti. Nakon provedbe EEDI-a, indeks energetske učinkovitosti dizajna novih komercijalnih brodova različitih tipova i različite nosivosti mora biti manji od određenog osnovnog indeksa energetske učinkovitosti dizajna broda. Što je EEDI manji, to je dizajn broda energetski učinkovitiji. Razina referentnih vrijednosti EEDI-a specifičnih za kombinacije tipa i veličine broda postepeno se pooštrava svakih pet godina, potičući tako tehnološke inovacije u procesu dizajniranja broda kako bi se poboljšala efikasnost goriva. EEDI broda primjenjuje se u tri faze, počevši od 2015. godine, [55]. Razina smanjenja CO<sub>2</sub> (grama CO<sub>2</sub> po toni milje) za prvu fazu postavljena je na 10% u usporedbi s referentnom linijom izračunatom na temelju prosječne učinkovitosti brodova izgrađenih između 2000. i 2010. godine. Pooštavanje se odvija svakih pet godina kako bi pratio tehnološki napredak novih mjera učinkovitosti i smanjenja do 2025. i nadalje, kada je obvezno smanjenje od 30% propisano za primijenjive vrste brodova, [57].

Svrha SEEMP-a je formulacija i učinkovita primjena mjera energetske učinkovitosti koje se primjenjuju na određene brodove, a podijeljene su u četiri koraka, [55]:

- planiranje,
- uvođenje,
- praćenje,
- samoprocjena i poboljšanje.

Mjere uključuju poboljšanje plana putovanja, navigaciju prema vremenskim uvjetima, optimizaciju brzine, optimalno podešavanje, optimalno balastiranje, održavanje trupa, održavanje pogonskog sustava itd. SEEMP uključuje smjernice najbolje prakse za energetske

učinkovit rad brodova i promiče upravljanje učinkovitošću pojedinačnih brodova i flota tijekom vremena. To se obično postiže operativnim indikatorom (pokazateljem) energetske učinkovitosti (engl. Energy Efficiency Operational Indicator – EEOI), koji služi kao alat za praćenje statusa rada broda, pritom omogućujući brodskom operatoru mjerenje učinkovitosti potrošnje goriva u radu broda te mjerenje utjecaja bilo koje promjene u radu. [55]

Smjernice za razvoj SEEMP-a za 2022. godinu uključuju najbolje prakse za učinkovit rad broda kao i predloške za razvoj SEEMP-a, koji bi trebao sadržavati tri dijela, [57]:

- Dio I: Plan upravljanja brodom za poboljšanje energetske učinkovitosti
- Dio II: Plan prikupljanja podataka o potrošnji brodskog goriva
- Dio III: Plan operativne ugljične intenzivnosti broda.

IMO je usvojio preliminarnu strategiju postizanja nulte razine emisija stakleničkih plinova s brodova do ili oko 2050. godine, uzimajući u obzir različite nacionalne okolnosti dok se ulažu naponi prema njihovom postupnom ukidanju u skladu s dugoročnim temperaturnim ciljem Pariškog sporazuma. Osim toga, postavljeni su sljedeći ciljevi, [55]:

- smanjenje ukupnih godišnjih stakleničkih emisija od međunarodnog pomorstva za barem 20%, težeci prema 30% do 2030. godine u usporedbi s 2008. godinom;
- smanjenje ukupnih godišnjih stakleničkih emisija od međunarodnog pomorstva za barem 70%, težeci prema 80% do 2040. godine u usporedbi s 2008. godinom.

Kao poticaj za takav cilj, brodovi su dužni izračunati dvije ocjene: njihov postignuti Indeks energetske učinkovitosti postojećeg broda (engl. Energy Efficiency Existing Ship Indeks – EEXI) kako bi se odredila njihova energetska učinkovitost, te godišnji pokazatelj ugljikovog intenziteta (engl. Carbon Intensity Indicator – CII) i procijenjenu CII ocjenu. Zahtjevi za certificiranje EEXI i CII stupili su na snagu 1. siječnja 2023. [58]

EEXI broda mora se izračunavati za brodove bruto tonaža od 400 i više, sukladno različitim vrijednostima postavljenim za vrste brodova i kategorije veličina. Postignuti EEXI broda označava njegovu energetska učinkovitost u usporedbi s referentnom vrijednošću. Postignuti EEXI broda se zatim uspoređuje s potrebnim Energetskim indeksom postojećih brodova temeljenim na primjenjivom faktoru smanjenja izraženom kao postotak u odnosu na referentnu vrijednost EEDI-a. Izračunata vrijednost postignutog EEXI-a za svaki pojedini brod mora biti niža od zahtijevanog EEXI-a kako bi se osiguralo da brod zadovoljava minimalni standard energetske učinkovitosti. [58]

CII se primjenjuje za vrste brodova većih od 5000 BT-a u međunarodnoj plovidbi u svrhu određivanja godišnjeg faktora smanjenja potrebnog kako bi se osiguralo kontinuirano



poboljšanje indikatora ugljičnog intenziteta broda unutar određenog stupnja ocjene, [55, 58]. Prema postignutom CII, brodovi će svake godine biti ocijenjeni od A do E, gdje je A najbolja, a E najniža ocjena. Lučke vlasti i drugi dionici potiču pružanje poticaja za brodove ocijenjene kao A ili B. Za brodove ocijenjene razredima D ili E tri uzastopne godine, morati će se podnijeti plan poboljšanja kako bi se razjasnilo kako postići zahtijevanu razinu (razred C ili više), [55]. Odbor za zaštitu morskog okoliša IMO-a (MEPC) će najkasnije do 1. siječnja 2026. pregledati učinkovitost provedbe zahtjeva za CII i EEXI te razviti i usvojiti daljnje izmjene po potrebi, [58].

### **4.3. REGULATIVE EUROPSKE UNIJE ZA SANITARNE OTPADNE VODE I EMISIJE ISPUŠNIH PLINOVA**

Zakoni EU-a su u skladu s međunarodnim okvirima, a neki čak i prednjače naspram okvira postavljenih od IMO-a, budući da je EU istaknuta u poticanju globalnih ambicija. U određenim slučajevima, razlike između pravila IMO-a i EU-a su nestale s vremenom kako su međunarodni standardi postajali stroži. Politika okoliša EU-a temelji se na člancima 11 i 191-193 Ugovora o funkcioniranju Europske unije. Osnovni ciljevi i načela, koji su obvezujući za sve članice EU-a, obuhvaćaju više od 200 zakona i akata u sljedećim kategorijama: kvaliteta zraka, gospodarenje otpadom, kvaliteta vode, zaštita prirode, kontrola industrijskog zagađenja, kemikalije, buka, klimatske promjene, upravljanje industrijskim rizicima, civilna obrana i drugo horizontalno zakonodavstvo. [1].

Sve članice EU-a ratificirale su Prilog IV. MARPOL konvencije, uključujući odredbe i ograničenja vezana uz ispuštanje sanitarnih otpadnih voda s brodova. Međutim, ne postoji jedinstveni i sveobuhvatni zakonodavni okvir o zaštiti morskog okoliša u EU-u koji bi bio blizu MARPOL konvenciji, iako je EU izdala niz dokumenata, inicijativa, akcijskih planova i strateških instrumenata za zaštitu i očuvanje morskog okoliša, posebno Mediterana, [59]. Glavni prioritet tih legislativa usmjerenih na eutrofikaciju je na smanjenje unosa hranjivih tvari u izvoru. U neke od tih legislativa spadaju okvirna EU direktiva o vodama (WFD<sup>9</sup>; EU, 2000), Okvirna EU direktiva o strategiji za morski okoliš (MSFD<sup>10</sup>; EU, 2008) i povezana zakonodavstva usmjerena na kontrolu ispuštanja (npr. obrada sanitarnih otpadnih voda iz urbanih područja) koja imaju za cilj smanjiti nepoželjne poremećaje uzrokovane eutrofikacijom [60]. Neki od najvažnijih zakona koji se odnose na sanitarne otpadne vode s brodova su, [59]:

---

<sup>9</sup> Engl. The EU Water Framework Directive.

<sup>10</sup> Engl. The EU Marine Strategy Framework Directive.

- Direktiva 2002/84/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 5. studenog 2002., kojom se mijenjaju direktive o pomorskoj sigurnosti i sprječavanje onečišćenja s brodova, osniva se Odbor za sigurna mora i sprječavanje onečišćenja s brodova. Namijenjena je poboljšanju provedbe zakonodavstva EU-a za sigurnost na moru, sprječavanje onečišćenja s brodova te za uvjete života i rada na brodu, kao i za ubrzanje izmjena zakona EU-a o pomorstvu i olakšavanju njihovih izmjena razvojem međunarodnih instrumenata.
- Direktiva 2000/59/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 27. studenog 2000. o lukama za prihvata brodskih otpada i teretnih ostataka. Donesena je kako bi osigurala zajedničke ekološke standarde za privatne objekte (za tekuće i sirove otpade iz brodova, ili teretne ostatke) u svim lukama unutar EU-a. Svrha ove direktive je smanjenje količine otpada (uključujući sanitarne otpadne vode) ispuštenih s brodova.
- Direktiva 2007/71/EC Europskog parlamenta i Vijeća o pružanju luka za prihvat otpada od sanitarnih otpadnih voda brodova i teretnih ostataka. Stupila je na snagu 17. rujna 2009. i zahtijeva od brodova da obavijeste luku pristajanja o stanju sanitarnih otpadnih voda na brodu. Brodovi su dužni razriješiti se svojih sanitarnih otpadnih voda u prihvatne objekte luke ako brod ne može ispuštati sanitarne otpadne vode sukladno MARPOL-u ili ako kapaciteti broda nisu dovoljni da zadrže sanitarne otpadne vode na brodu do sljedeće luke pristajanja, uključujući sanitarne otpadne vode prikupljene prije dolaska do sljedeće luke pristajanja. Svrha ove direktive je smanjenje ispuštanja sanitarnih otpadnih voda u more, posebno ilegalnih ispuštanja unutar 3 nautičke milje od obale. Ova regulativa se ne primjenjuje na brodove i jahte koje smještaju manje od 12 putnika te ribarske brodove.

Brodске SO<sub>x</sub> emisije u EU su regulirane sa nekoliko direktiva, [54]:

- EU Direktiva o sumporu ((EU) 2016/802) i Odluka o provedbi Komisije ((EU) 2015/253) koje obuhvaćaju smjernice i pravila za postupke inspekcije koje provode države članice. Temeljni aspekt tih propisa podrazumijeva određivanje obveznog broja inspekcija. Eksplicitno se navodi da države članice mogu smanjiti traženi broj inspekcija do 50% primjenom metoda daljinskog nadzora. Osim toga, ti propisi su doveli do uspostave Thetis-EU-a, koji djeluje kao baza podataka EU-a za dijeljenje informacija zbog poboljšanja učinkovitosti inspekcija. Trenutačno nije usvojena dodatna EU direktiva koja se odnosi na brodske NO<sub>x</sub> emisije iz plovidbe, stoga se NO<sub>x</sub> daljinska mjerenja i upozorenja na nepoštivanje isključuju iz nadležnosti Thetis-EU-a.

- Direktiva o onečišćenju izvorima s brodova (Direktiva 2005/35/EC) koja omogućuje da se ispuštanja onečišćujućih tvari s brodova na moru smatraju prekršajima. Također uspostavlja zajednički okvir za postupanje s kaznama povezanim s nezakonitim ispuštanjem s brodova. Direktiva je trenutno u postupku revizije.
- Direktiva o kvaliteti okolišnog zraka (Direktiva 2008/50/EC) još je jedna direktiva koja je trenutno u procesu revizije. Iako predložena revizija direktive izravno ne cilja na onečišćenje zraka koje potječe s brodova, poziva se na EU Direktivu o sumporu. Predložena revidirana direktiva ima za cilj uspostaviti standarde kvalitete zraka, uključujući i za NO<sub>x</sub>, prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije do 2030. godine i postizanja čistog zraka do 2050. godine.

U lipnju 2013., Europska komisija predložila je uredbu o "praćenju, izvještavanju i verifikaciji" emisija stakleničkih plinova iz plovidbe, poznatu kao "MRV regulacija" (engl. Monitoring, Reporting and Verification – MRV). Prema nacrtu regulacije, brodovi će pratiti i izračunavati potrošnju goriva, emisije ugljikovog dioksida i srodne informacije tijekom vlastitih operacija, a podneseni podaci će se provjeravati od certificirane institucije te se izvještavati unutar određenog razdoblja. U srpnju 2021., EU je objavila paket reformi pod nazivom "Fit for 55", čiji je cilj potpuna integracija pomorske industrije u postojeće tržište emisija ugljika do 2026., kako bi se osiguralo smanjenje emisija stakleničkih plinova EU-a do 2030. godine za barem 55% u usporedbi s razinom iz 1990. godine. "Fit for 55" paket EU-a predlaže usvajanje različitih regulatornih politika, uključujući EU sustav trgovanja emisijama (engl. European Union Emissions Trading System – EU ETS), Inicijativu za pomorska goriva EU (engl. Fuel EU Maritime Initiative), Direktivu o oporezivanju energije i Direktivu o obnovljivoj energiji. [55].

#### **4.4. REGULATIVE REPUBLIKE HRVATSKE O SANITARNIM OTPADNIM VODAMA I EMISIJAMA ISPUŠNIH PLINOVA**

Većina hrvatskih propisa o onečišćenju mora brodovima rezultat je usvajanja relevantnih međunarodnih konvencija Međunarodne pomorske organizacije i provedbe pravila i propisa Europske unije. Republika Hrvatska je postala strankom MARPOL konvencije notifikacijom sukcesije 1991. godine, [47, 59]. Ovlasti hrvatskih ministarstava povezane s aktivnošću brodova, podijeljene su na, [61]:

- Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka je odgovorno za onečišćenja s plovila (te za primjenu MARPOL konvencije),

- Ministarstvo kulture zaduženo je za zaštićena područja (nacionalni parkovi, parkovi prirode, zoološki rezervati, zaštićena morska područja),
- Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja mjerodavno je za pitanja povezana s onečišćenjem zraka, opasnim otpadom i komunalnim otpadom,
- Ministarstvo poljoprivrede i vodnog gospodarstva zaduženo je za kopnene vode, ali u perspektivi i za dio mora,
- Ministarstvo zdravstva i Ministarstvo gospodarstva skrbe za opasne tvari.

Ministarstva trebaju implementirati preporuke o zabrani ispuštanja i odlaganja sivih i crnih sanitarnih otpadnih voda, otpada, opasnih tvari te ostalih onečišćivača u more. Za promidžbu najviše međunarodno prihvaćenih normi vezanih za sigurnost i zaštitu života i imovine na moru u unutarnjim plovnim putovima, kao i zaštitu okoliša mora u unutarnjim plovnim putovima zadužen je Hrvatski registar brodova (HRB) koji je neovisna javna ustanova čija je osnovna svrha klasifikacija brodova te statutarna certifikacija brodova uz dozvolu Ministarstava, [61]. U Republici Hrvatskoj pitanje zaštite mora od ispuštanja sanitarnih otpadnih voda i emisija ispušnih plinova riješeno je nizom zakona i propisa, poput Pomorskog zakonika, Zakona o zaštiti okoliša, Zakona o pomorskom dobru i lukama, Zakona o vodama i Pravilnika o uvjetima i načinu održavanja reda u lukama i drugim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnog mora Republike Hrvatske. Niti jedan od navedenih nacionalnih akata nije toliko detaljan kao Prilozi IV. i VI. MARPOL-a, niti su mjere protiv onečišćenja sanitarnim otpadnim vodama i emisijama ispušnih plinova iz brodova ili mjere protiv prekršitelja detaljno opisane. [59].

## **5. TEHNOLOŠKA RJEŠENJA OBRADNE OTPADNIH VODA I EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA NA BRODOVIMA**

Trenutno, međunarodne regulative o otpadu s brodova uključuju standarde za ispuštanje otpada iz brodova, izgradnju luka i pripadajućih objekata, pohranu i zbrinjavanje otpada na brodu postrojenjima za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda, tretman balastnih voda i opreme za neutralizaciju nutrijenata te nadzore, provedbu zakona i regulaciju područja s posebnim uvjetima, [44]. Propisi o emisijama koje formuliraju vlade i međunarodne organizacije za zaštitu okoliša postaju sve stroži, potičući brodove da koriste čišće izvore energije poput ukapljenog prirodnog plina, biodizela, metanola, vodika i amonijaka te učinkovitije tehnologije obrade ispušnih plinova poput selektivne katalitičke redukcije i ispiraća plinova, [50].

## **5.1. OPREMA ZA OBRADU SANITARNIH OTPADNIH VODA NA BRODOVIMA**

Obrada sanitarnih otpadnih voda obuhvaća više operacija i postupaka kojima se iz vode uklanjaju otopljene tvari, plivajuće tvari i sve one tvari koje mijenjaju svojstva sanitarnih otpadnih voda. Obrada, tj. pročišćavanje crnih sanitarnih otpadnih voda podrazumijeva postupak smanjenja onečišćivača do koncentracija s kojima pročišćene sanitarne otpadne vode ispuštene u more postaju bezopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju štetne promjene u okolišu. Kako bi se to postiglo, potrebno je zadovoljenje određenih uvjeta po pitanju kvalitete sanitarnih otpadnih voda prema IMO rezoluciji MEPC 159(55). Brodski uređaji i sustavi za obradu fekalnih voda trebali bi biti mali, pouzdani, jednostavni, i što je više moguće jeftiniji i ekonomski prihvatljiviji. Također se od opreme i sustava zahtijeva lakoća upravljanja i održavanja, uz zadovoljavanje zahtjeva standarda kvalitete ispuštene vode nakon uređaja. Sustavi za prikupljanja izvedeni su na gravitacijskom ili vakuurom načelu rada. [47]

### **5.1.1. Postrojenje za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda**

Ispuštanje sanitarnih otpadnih voda proizvedenih na brodu jedan je od brodskih poslova koji zahtijeva najveću pažnju ukoliko se žele izbjeći visoke kazne za odgovorne časnike i brodsku kompaniju. Trenutačno na pomorskom tržištu postoje različite metode obrade sanitarnih otpadnih voda, poput bioloških, kemijskih i mehaničkih metoda, ali najčešće su na brodovima zastupljene biološko-kemijske metode jer zauzimaju manje prostora za tank zadržavanja sanitarnih otpadnih voda, za razliku od drugih metoda. Važno je također napomenuti da svaki sustav za obradu sanitarnih otpadnih voda instaliran na brodu mora biti certificiran od strane klasifikacijskog društva i mora ispunjavati njihove zahtjeve i propise. [62]

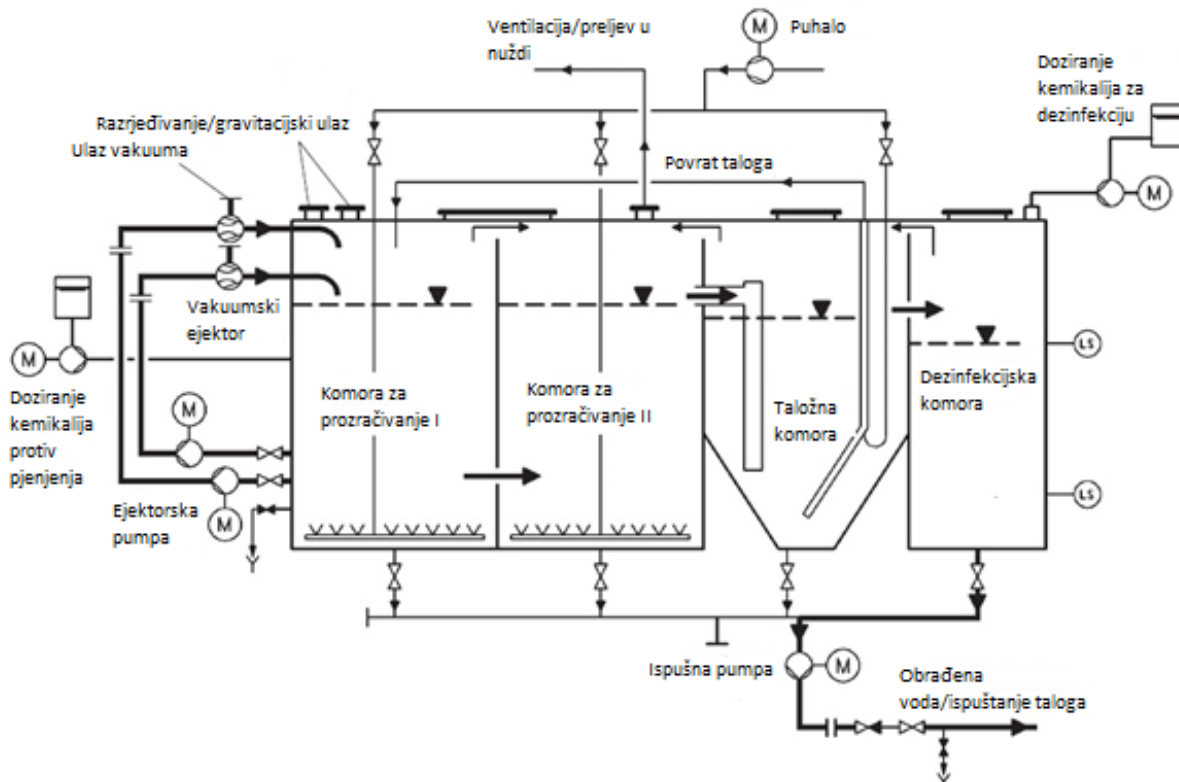
Na slici 6. prikazan je uređaj za obradu sanitarnih otpadnih voda.



*Slika 6.: Uređaj za obradu sanitarnih otpadnih voda na brodu, [63]*

Na većini teretnih i putničkih brodova, sanitarne otpadne vode se tretiraju biološkim tretmanom i kloriranjem. Neki putnički brodovi ne tretiraju svoje sanitarne otpadne vode biološki, već koriste maceraciju i kloriranje. Sustav obrade (shema 1.) obično uključuje: aerobni biološki tretman s obzirom na biokemijske potrebe za kisikom te uklanjanja nekih nutrijenata, pročišćavanje i filtraciju zbog uklanjanja čvrstih tvari, te konačno kloriranje zbog uništavanja patogenih tvari. Sustav također može uključivati elemente za uklanjanje pijeska i krhotina. Kruzeri obično instaliraju do četiri sustava, omogućavajući održavanje jednog ili dva izvan pogona u bilo kojem trenutku. Teretni brodovi koriste samo jedan sustav. [64]

Najpoželjniji tip postrojenja za obradu sanitarnih otpadnih voda uključuje aerobne bakterije. Anaerobne bakterije su također sposobne razgrađivati talog, ali tijekom procesa stvaraju i otpuštaju štetne plinove poput sumporovodika i metana koji su otrovni i opasni za morske organizme te se takva ispuštanja manifestiraju obezbojenjem mora, [62]. Osnovno načelo rada bioloških postrojenja za obradu sanitarnih otpadnih voda je razgradnja sirove sanitarne otpadne vode. Ovaj proces se postiže prozračivanjem komore sanitarnih otpadnih voda svježim zrakom. Aerobne bakterije preživljavaju zahvaljujući ovom svježem zraku i razgrađuju sirovu sanitarnu otpadnu vodu koja se ispumpava u more, [65].



Shema 1.: Prikaz sheme biološko-kemijske metode obrade sanitarnih otpadnih voda, [65]

Biološko-kemijska postrojenja za obradu sanitarnih otpadnih voda mogu se podijeliti na tri komore, [65]:

- komora za prozračivanje
- taložni tank
- tank za kloriranje i sakupljanje.

Crne otpadne vode na brodovima mogu se prikupljati i odvoditi do uređaja za obradu konvencionalnim ili gravitacijskim sustavima nagnutih cjevovoda kako bi one mogle gravitacijski strujati od zahoda do samog uređaja za obradu. Vakuumski sustavi su prisutni kod novijih postrojenja, a funkcioniraju tako da se nalaze konstantno pod određenim podtlakom kojeg osigurava sustav pumpe i ejektora, tako da pumpa usisava tekućinu iz sabirnoga tanka crnih otpadnih voda pa je tlači u ejektor. Izlaz ejektora spojen je na sabirni tank tako da se radni medij i eventualne crne vode iz zahoda miješaju skupa i ulaze u tank. Takva izvedba omogućava da sabirne cijevi ne moraju biti uvijek postavljene pod određenim kutom kao za konvencionalne sustave, već se mogu postaviti i uzlazno, što rezultira lakšom i jednostavnijom ugradnjom, [47]. Predtretman razrijeđenih crnih otpadnih voda služi zaštiti drugih faza pročišćavanja unutar samog postrojenja. Nadolazeće crne otpadne vode sadrže puno čvrstih čestica i masnoća koje mogu uzrokovati probleme tijekom obrade u postrojenju. Proces predtretmana smanjuje količinu čvrstih čestica u crnoj otpadnoj vodi i smanjuje potrebu za oksidacijom. Predtretman je mehanički i sastoji se od filtarskog sita i taložnog dijela. Crna otpadna voda najprije prolazi kroz pumpu za drobljenje prije ulaska u sito kako bi se odvojilo što više taloga, [47, 64].

U komori za prozračivanje dolazi do opskrbe sirovih otpadnih voda koje su samljevene kako bi se formirale male čestice. Prednost drobljenja sadržaja crnih otpadnih voda u male čestice je u tome što se povećava površina i veliki broj bakterija može istovremeno razgrađivati sadržaj crnih otpadnih voda u ugljikov dioksid, vodu i anorganske tvari, [65]. Obično postrojenja sadrže dva instalirana puhala zraka, od kojih jedan djeluje kao rezervni, kako bi opskrbljivao zrak preko difuzora pomažući u formiranju mikroorganizama u reaktoru, [62, 65]. Tlak protoka zraka je također važan u razgradnji sadržaja crnih otpadnih voda. Ukoliko se tlak održava visokim, mješavina zraka i otpadnih voda neće biti ispravna za razgradnju. Iz tog je razloga kontrolirani tlak važan jer će pomoći u pravilnom miješanju i razgradnji agitacijom uzrokovanom mjehurićima zraka. Tlak u komori za prozračivanje se održava na oko 0,3-0,4 bara, [65].

Mješavina tekućine i taloga prolazi iz komore za prozračivanje u taložni tank. U taložnom tanku talog se taloži na dnu, dok čista tekućina ostaje na vrhu. Talog na dnu ne smije se zadržavati u taložnom tanku jer bi to omogućilo razvoj anaerobnih bakterija i proizvodnju neugodnih plinova. Talog koji se formira reciklira se s dolaznim talogom gdje će se miješati s novim i pomoći u razgradnji otpadnih voda dok se višak odvaja i vraća u komoru za prozračivanje na daljnju razgradnju. [47, 62, 64]

U tanku za kloriranje i sakupljanje, čista se tekućina proizvedena u taložnom tanku prelijeva dok se tekućina zatim dezinficira pomoću klora zbog prisutnosti bakterija e-Coli. Kloriranje je nužno zbog smanjenja patogenih bakterija na prihvatljive razine. Obradena se tekućina zatim ostavlja na najmanje 60 minuta kako bi se dodatno uništile preživjele bakterije. U nekim postrojenjima dezinfekcija se također provodi pomoću ultraljubičastog zračenja. Ovakvo obrađene sanitarne otpadne vode mogu se ispuštati u more uz uvjet da ne izazovu promjenu boje ili zamućivanje mora uz ispušt. Ukoliko brod nema ugrađen ovakav sustav, tada se voda tretira i ispušta u skladu s uvjetima iz MARPOL konvencije kako je navedeno u poglavlju 4.1., [62].

### **5.1.2. Moderna postrojenja za obradu**

Tijekom posljednjih godina specifikacije većine novih putničkih brodova uključuju zahtjeve za "nultim ispuštanjem" i kvalitetom sanitarnih otpadnih voda koje udovoljavaju strožim zahtjevima ispuštanja postavljenim za posebna područja plovidbe. U tim slučajevima, sve crne i sive vode proizvedene na brodu (uključujući i otpadnu vodu iz hrane) potrebno je obraditi u modernim postrojenjima obrade sanitarnih otpadnih voda (engl. Advanced Wastewater Treatment System – AWTS) u skladu s MEPC.227(64), uključujući uklanjanje hranjivih tvari poput amonijaka, dušika i fosfora. U praksi, to predstavlja sustave s značajno većim kapacitetima obrade kako bi se nosili s većim volumenom influenta proizvedenih uključivanjem kako crnih, tako i sivih voda, te pažljivom razmatranju dizajna membrane bioreaktora kako bi se osigurala obrada biološkog opterećenja prema propisanim standardima. Sive vode već duže vrijeme predstavljaju područje zabrinutosti, budući da su za razliku od crnih voda, trenutno uglavnom neregulirane. IMO trenutno razmatra strože regulacije u okviru trenutnog pregleda MARPOL-a, te se očekuju propisi koji bi osigurali obradu sivih voda prije ispuštanja. [73]

S obzirom na ove raznolike izvore, industrija usmjerava svoju pažnju i na čvrsti otpad i odvodnjeni talog. Očekuje se i zabrana ispuštanja fekalnih taložnih voda iz otpadnih voda kao rezultat pregleda MARPOL-a od strane IMO-a. Taj talog se obično ispušta nepročišćen preko



palube. Međutim, većina novih kruzera s postrojenjima nultih ispuštanja specificira i opremu za odvodnju i sušenje tih taloga (slično kao i kod otpada hrane). [73]

Wärtsilä-in raspon sustava nultih ispuštanja uključuje tzv. mikroautomatski sutav rasplinjavanja (engl. Micro Auto Gasification System) koje preusmjerava odvodnjeni otpad s palube ili spalionica i pretvara ga u sintetički plin u kružnom procesu koji pokreće samu jedinicu. Evac razmatra buduću uporabu hranjivih tvari kao dijela svoje predanosti kružnoj ekonomiji. Nedavno predstavljeni „Evac Hydro Treat“ pretvara odvodnjeni organski otpad iz sustava crnih i sivih voda te otpada od hrane u biougljen koji je sterilan i može se koristiti za poboljšanje tla ili kao biogorivo. Tvrtka jamči značajno manje emisije ugljika u usporedbi s konvencionalnim sustavima sušenja i izgaranja, bez štetnih emisija u atmosferu, jer nema potrebe za izgaranjem otpada. [73]

CleanSewage membranski reaktor (engl. CleanSewage Membrane Reactor – CS-MBR) je sustav sa potopljenim ultrafiltracijskim membranama koje uklanjaju razne čestice uključujući bakterije, viruse i mikroplastiku. Osim toga, sustav ne uključuje uporabu flokulanata ili kemikalija za dezinfekciju. Takva je značajka jedinstvena za CS-MBR reaktore a doprinosi njezinom profilu održivosti, jer ne samo da osigurava najviše standarde ispuštanja, već je i obrađena voda dovoljno čista za ponovnu uporabu u tehničkim primjenama. Trenutno je sustav instaliran na pet Celebrity Solstice klase brodova i sada ga je odabrao KiwiRail za dva ropax trajekta. [73].

## **5.2. OPREMA ZA OBRADU EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA NA BRODOVIMA**

Ispušni plinovi koji nastaju kao posljedica izgaranja goriva u brodskim dizelskim motorima u najvećem dijelu sastoje se od: ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), vodene pare ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dušika ( $\text{N}_2$ ) i kisika ( $\text{O}_2$ ). Dušik i kisik dostupni u cilindru reagiraju na visokim temperaturama u zoni reakcije plamena izgaranja, stvarajući tako dušikove okside ( $\text{NO}_x$ ), koji su prije svega mješavina dušikovog monoksida ( $\text{NO}$ ) i dušikovog dioksida ( $\text{NO}_2$ ), pri čemu je drugi prisutan u malim količinama. Osim toga, dizelski motori na brodovima koji koriste goriva s određenom prisutnošću sumpora, poput teškog goriva čije izgaranje ispušta sumporne okside ( $\text{SO}_x$ ). Stoga su  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  i  $\text{SO}_x$  glavne vrste ispušnih plinova iz morskih dizelskih motora koje imaju najveći negativan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje, [66]. Regulacije emisija koje su formulirale vlade i međunarodne organizacije za zaštitu okoliša postaju sve strože, što potiče

brodovlasnike da koriste čišću energiju i tehnologije obrade ispušnih plinova koje su učinkovitije. To će predstavljati velike izazove za industriju brodogradnje, [50].

Stroži propisi za suzbijanje SO<sub>x</sub> emisija prisiljavaju vlasnike i operatere brodova da promijene svoju politiku i biraju između tri različita pravca za usklađivanje s novim zahtjevima, [67]:

- prebacivanje na goriva s nižim sadržajem sumpora od teškog goriva, poput brodskog plinskog ulja ili goriva s vrlo niskim udjelom sumpora
- prijelaz na alternativna goriva poput obnovljivog dizela, LNG-a, metanola, amonijaka i vodika
- razmotriti postupak naknadne obrade dimnih plinova koji će smanjiti emisije SO<sub>x</sub>, omogućavajući im i dalje korištenje najjeftinijeg goriva, kao što su SO<sub>x</sub> ispiraći plinova (engl. scrubber).

Najučinkovitija metoda obrade ispušnih plinova s ciljem smanjenja emisija NO<sub>x</sub>-a koja se trenutno primjenjuje na brodovima je primjena selektivne katalitičke redukcije (engl. Selective Catalytic Reduction – SCR) kojom se ispunjavaju zahtjevi 3. reda prema Prilogu VI MARPOL-a. Druge tehnologije poput promijenjivog vremena paljenja i Millerovog ciklusa, dvostupanjskog turbopunjenja, recirkulacije ispušnih plinova te emulzije goriva i vode mogu značajno doprinijeti smanjenju emisija NO<sub>x</sub>-a, no one se redovito koriste u kombinaciji s drugim metodama, a rijetko nezavisno. Primjena ispiraća plinova pokazala se vrlo učinkovitom u smanjenju emisija SO<sub>x</sub>-a plovila. [66].

### **5.2.1. Ispirači plinova**

Pandemija COVID-a 19 koja je tijekom početka 2020. godine pogodila svijet za jednu od posljedica imala je i rast cijena naftnih derivata, što je samo doprinijelo povećanoj ugradnji ispiraća plinova na brodove, jer se nameću kao povoljnije te kvalitetnije rješenje nego korištenje lakih dizelskih goriva na danas nepredvidivom svjetskom tržištu, [68]. Ispirači plinova (slika 7.) prikupljaju i čiste plinove neovisno jesu li oni produkti glavnog porivnog motora, pomoćnih generatora ili brodskih kotlova koristeći morsku vodu koja se prska u ispuh a zatim se može ispustiti direktno u more (tzv. „otvoreni krug ispiranja“) ili zadržati u tankovima na brodu do obrade i predaje na kopnu (tzv. „zatvoreni krug ispiranja“), [67, 68]. To je sustav više komponenti koje djeluju kao mreža tuševa. Sekundarna primjena ispiraća plinova odnosi se na njihovo korištenje za oporavak topline vrućih plinova, [68]. Korištenjem ispiraća plinova, uklanja se do 98% emisija sumporovih oksida u atmosferu. Ipak, mnoga istraživanja ukazuju

da se na taj način problem onečišćenja zraka prenosi na oceane, [67]. Na slici 7. prikazan je primjer ispirača plinova koji se koristi na brodu.

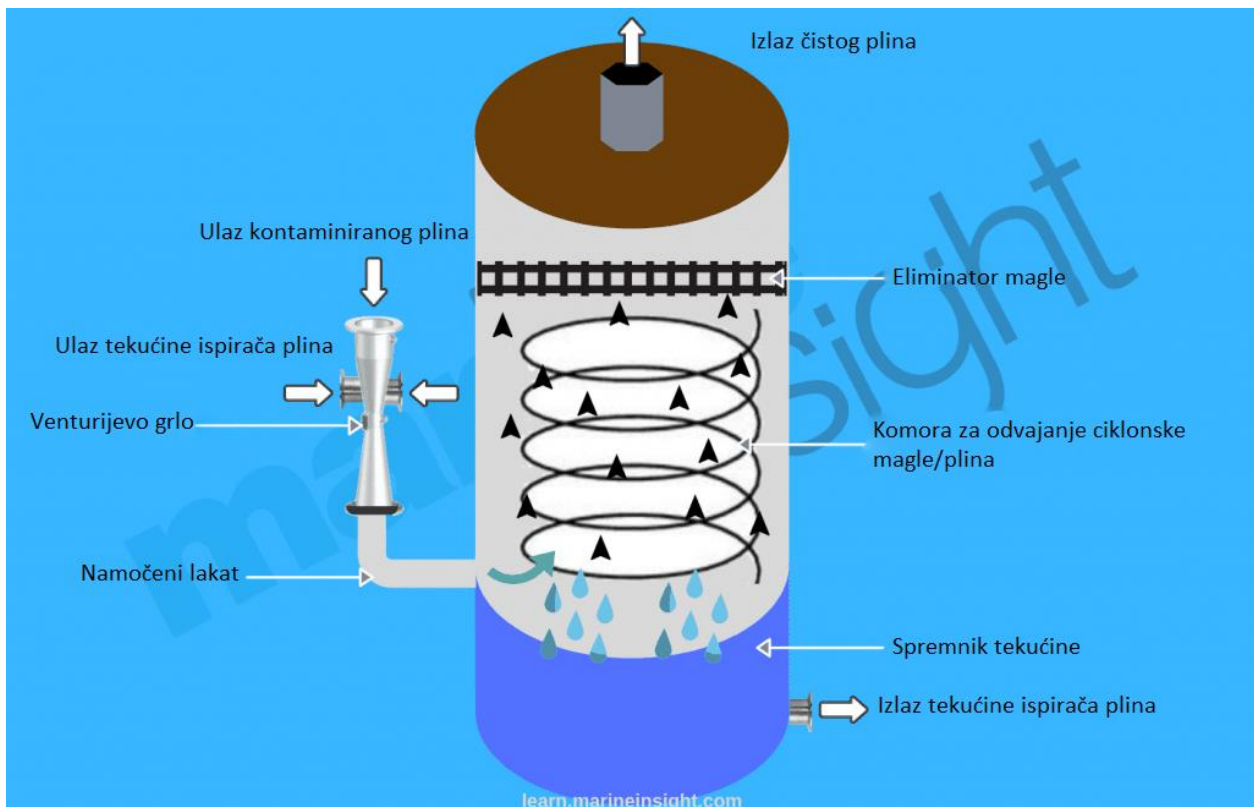


*Slika 7.: Primjer ispirača plinova na brodu, [69]*

U svrhu odsumporavanja, ispirači plinova koriste vapno ili kaustičnu sodu kako bi proizveli soli sumpora nakon tretmana, koje se lako mogu ispuštati jer ne predstavljaju prijetnju okolišu. Za rad mogu koristiti morsku vodu, slatku vodu s dodatkom kalcija/natrijevih sorbenata ili granule hidratiziranog vapna kao sredstva za čišćenje zbog njihove lužnate prirode. Kako bi se povećalo vrijeme kontakta između materijala za čišćenje i plina, koriste se napunjeni slojevi s reagensima za uklanjanje onečišćivača iz plina (poput vapnenca) unutar samog ispirača. Ovi napunjeni slojevi usporavaju vertikalni tok vode unutar scrubbera i pojačavaju proces hlađenja ispušnih plinova i neutralizacije kiselih voda. Ispirači plinova dizajnirani su kako bi maksimizirali apsorpciju plinova koji prolaze kroz njih, [70]. Prisutne su sljedeće metode apsorpcija čestica, [67]:

- mokra apsorpcija
- suha ili polusuha apsorpcija.

Najčešće korištena metoda apsorpcije, kako na kopnu tako i na brodu, jest metoda mokre apsorpcije. Ispirači plinova koji koriste metodu mokre apsorpcije (slika 8.) mogu se podijeliti u tri podskupine: ispiraći plinova otvorenog tipa, ispiraći plinova zatvorenog tipa te hibridni model ispiraća plinova sa značajkama otvorenog i zatvorenog tipa. [68].



Slika 8.: Ispirač plinova mokre apsorpcije SO<sub>x</sub> emisija, [70]

Mokre tehnologije za odsumporavanje mogu postići do 99% učinkovitosti i široko se primjenjuju i zbog „tehnološke zrelosti“ u usporedbi sa suhim i polusuhim metodama, [68]. Kod ovih ispiraća kao tekućina za ispiranje može se koristiti more ili slatka voda s kemijskim dodacima, od kojih su najčešći natrijev hidroksid (NaOH) i vapnenac (CaCO<sub>3</sub>). Odsumporavanje se odvija tako da se tekućina za čišćenje raspršuje u tok ispušnih plinova kroz mlaznice za učinkovitu rasporedbu u tornju. Većina ispiraća plinova je dizajnirana tako da tekućina za čišćenje ide nizvodno, međutim, dostupni su i ispiraći plinova s kretanjem tekućine za čišćenje prema uzvodnom smjeru, [70]. Brodski ispiraći najčešće koriste morsku vodu zbog njenog izobilja, a koja se dovodi pomoću pumpi. Protok ispušnih plinova kroz sustav potpomognut je ventilatorima visoke snage, koji protjeravaju plin prema mlaznicama tekućina

za čišćenje. Pročišćeni plin se zatim otpušta kroz brodski dimnjak u atmosferu dok se tekućina ispušta u more ili zadržava u posebnim brodskim tankovima, ovisno o konstrukciji sustava, [68]. Otvoreni tipovi sustava s mokrom apsorpcijom koriste morsku vodu kao sredstvo za pranje i neutralizaciju te nisu potrebne druge kemikalije za odsumporavanje plinova. Tok ispušnih plinova iz motora ili kotla ulazi u uređaj za čišćenje i tretira se samo lužnatom morskom vodom koja se ne zadržava na brodu već se uz zadovoljavanje IMO regulativa izbacuje u okoliš, [68, 70]. Količina dobave morske vode ovisi o veličini i snazi motora. Sustav je izuzetno učinkovit, ali zahtijeva veliki kapacitet pumpanja jer je potrebna značajna količina morske vode. Otvoreni sustav savršeno funkcionira kada je korištena morska voda dovoljno lužnata, [70]. U primjeni na brodovima za prijevoz rasutog tereta te na kontejnerskim brodovima te je generalno najzastupljeniji tip sustava u brodarskoj industriji naspram svih ostalih tipova ispiraća plinova, [68].

Zatvoreni tipovi sustava rade na sličnom načelu kao i otvoreni sustavi; koriste slatku vodu tretiranu kemikalijama poput natrijevog hidroksida umjesto morske vode kao sredstvo za ispiranje, te je medij naspram otvorenih sustava tijekom cijelog procesa pročišćavanja ostaje unutar sustava, [68, 70].  $SO_x$  iz struje ispušnih plinova pretvara se u bezopasan natrijev sulfat. Prije ponovne cirkulacije za ispiranje, prljava voda iz sustava zatvorenog kruga prolazi kroz procesni tank gdje se čisti. Procesni tank je također potreban za rad cirkulacijske pumpe koja sprječava prenisko usisavanje pumpe. Brodovi mogu posjedovati slatku vodu u tankovima ili proizvesti potrebnu vodu iz generatora slatke vode, ovisno o postrojenju broda. Male količine prljave vode redovito se uklanjaju u tanku pohrane gdje se može dodati slatka voda kako bi se izbjeglo nakupljanje natrijevog sulfata u sustavu. Sustav zatvorenog kruga zahtijeva gotovo upola manje volumena ispirajuće vode u odnosu na otvorenu verziju, međutim, potrebne su dodatne instalacije tankova na brodu. To uključuje procesni tank ili međuspremnik, tank za pohranu kojem su ispuštanja u more zabranjena, te regulacijski tank koji može regulirati temperaturu između  $20^\circ$  i  $50^\circ\text{C}$  za natrijev hidroksid koji se obično koristi kao 50% vodena otopina. Suhi natrijev hidroksid također zahtijeva veliki prostor za pohranu, [70]. Ovaj sustav smatra se ekološki prihvatljivijom opcijom, te predstavlja konstrukcijsko rješenje koje rješava probleme koje imaju ispiraći plinova otvorenog tipa poput nemogućnosti ispuštanja medija za apsorpciju van broda i nejednake lužnatosti mora, [68].

Tzv. hibridni ispiraći plinova mogu raditi u otvorenom ili zatvorenom režimu rada. Takva vrsta uređaja za pročišćavanje pruža izvjesnu fleksibilnost kod plovidbe u posebnim područjima u kojima se nadziru emisije (engl. Emission Control Areas – ECA zone) ili za vrijeme boravka u lukama kada se sustav prebacuje na zatvoreni režim rada, [67, 68]. Izvan tih područja, na

otvorenom moru, mogu se prebaciti na otvoreni režim rada. Dakle, njihova je prednost fleksibilnost koja se očituje u mogućnosti manevriranja slatkom i slanom vodom tijekom rada, ovisno kako to od njega zahtijevaju ekološki i ekonomski uvjeti, [68]. Među glavnim nedostacima ističu se visoka složenost, visoki kapitalni troškovi ulaganja i značajan prostor potreban za ugradnju, [67].

Druga vrsta pročišćavača, oni sa suhom ili pulusuhom apsorpcijom pretežito se koriste u kopnenoj industriji, a u manjoj mjeri na brodovima, [68]. U ovim vrstama uređaja za pročišćavanje, voda se ne koristi kao sredstvo ispiranja, već se umjesto toga, koriste suhi granulati ili granulati u formi spreja hidratiziranog vapna za uklanjanje sumpora, [68, 70]. Takve vrste pročišćavača rade na višim temperaturama između 240 °C i 450 °C naspram vrsta s mokrom apsorpcijom, što donosi određenu korist jer izgaraju i čestice čađe i uljne ostatke u sustavu. Kalcij prisutan u kaustičnim granulatima vapna reagira sa sumporovim dioksidima u ispušnim plinovima kako bi se formirao kalcijev sulfid. Nastali kalcijev sulfid zatim zračno oksidira uz formiranje kalcijevog sulfata dihidrata, koji s vodom tvori gips. Korištene kuglice pohranjuju se na brodu za pražnjenje u lukama, međutim, ne smatraju se otpadom jer se formirani gips može koristiti kao gnojivo i građevinski materijal. Sustavi suhih pročišćavača troše manje energije od mokrih sustava jer ne zahtijevaju cirkulacijske pumpe, međutim, teži su od mokrih sustava, [70]. Njihova primjena u pomorskoj industriji je vrlo ograničena zbog problema povezanih s opskrbom i skladištenjem vapna i pakirnog materijala, [66].

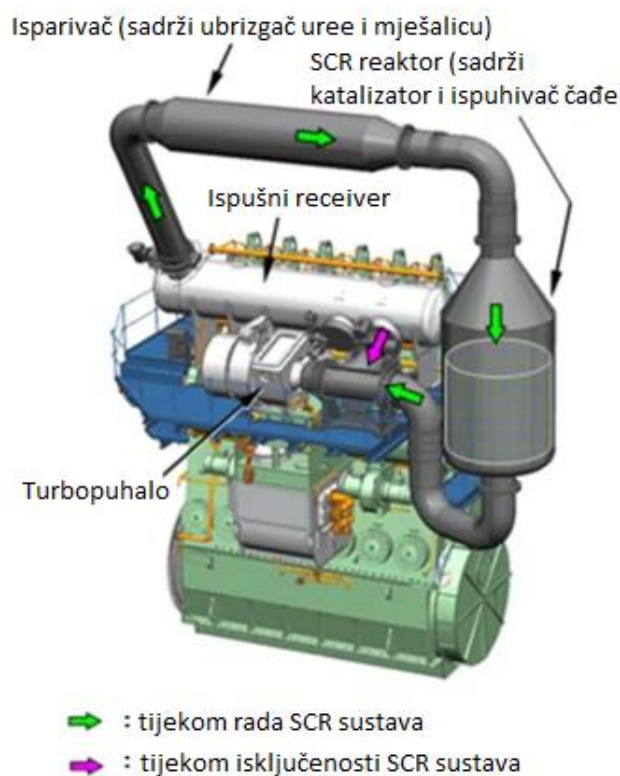
### **5.2.2. Selektivna katalitička redukcija**

Tehnologija selektivne katalitičke redukcije ne smatra se previše novom i inovativnom tehnologijom, već možemo reći da se radi o već ustanovljenoj i razvijenoj tehnologiji koja će se na brodovima vjerojatno koristiti i u budućnosti. Riječ je o tehnologiji za kontroliranje emisija NO<sub>x</sub> spojeva koja se već duže vrijeme koristi u industrijskim postrojenjima na kopnu, i u kopnenom transportu. Selektivnu katalitičku redukciju ubrajamo u sekundarne metode smanjivanja emisija ispušnih plinova s brodova, jer se za primarne metode smatraju preinake na sustavu izgaranja, sustavu za dovod zraka te izravno ubrizgavanje vode, recirkulacija ispušnih plinova, korištenje emulzije vode i goriva kao i sustav zajedničkog cjevovoda. Primjena ovih metoda u pomorstvu doživljava svoj ekspanzivni rast već nekih 20-tak godina, [68]. Prema statistikama, svake godine brodski dizelski motori ispuštaju otprilike 20 milijuna tona NO<sub>x</sub>-a, 10 milijuna tona SO<sub>x</sub>-a i 1 milijun tona krutih čestica, [71]. Osim toga, brodovi su odgovorni za 15% ukupnih globalnih emisija NO<sub>x</sub>-a, 4-9% SO<sub>2</sub> i 2,7% CO<sub>2</sub>, [71]. Dušikovi oksidi igraju važnu ulogu u stvaranju smoga. Pod utjecajem sunčevog UV zračenja u smogu

dolazi do fotokemijske reakcije između dušikovih oksida i hlapljivih organskih spojeva pri čemu nastaje tzv. „prizemni ozon“ koji štetno utječe na okoliš i ljudsko zdravlje. U prisutnosti kiše, dušikovi oksidi formiraju dušičnu kiselinu, koja pridonosi problemu kiselih kiša, [72].

Selektivna katalitička redukcija (slika 9.) je način pretvaranja dušikovih oksida u ispušnim plinovima uz pomoć katalizatora u dvoatomski dušik i vodu. Ova tehnologija ima sposobnost smanjenja emisija NO<sub>x</sub>-a za više od 90%. Reducirajuća otopina bezvodnog amonijaka (NH<sub>3</sub>), vodena otopina amonijaka (amonijev hidroksid) ili urea (karbamid) dodaje se toku ispušnih plinova i adsorbiraju se na katalizator. [72]

Ubrizgavanje amonijaka (NH<sub>3</sub>) najzastupljenija je metoda pomoću koje SCR uklanja dušikove spojeve iz ispušnih plinova brodskih uređaja pri temperaturama od 300 do 400 °C, [68]. Prisutna je selektivna reakcija s molekulama NO<sub>x</sub>-a iz ispušnih plinova dizelskog motora čime se proizvode bezopasne tvari poput dušika (N<sub>2</sub>) i vode (H<sub>2</sub>O), [71].



Slika 9.: Prikaz selektivne katalitičke redukcije, [72]

Brodski SCR sustav (shema 2.) uglavnom se sastoji od, [68, 72]:

- jedinice za doziranje redukcijske supstance
- crpne jedinice za prijenos redukcijskih supstanci iz skladišta
- isparivača/kolektora za miješanje
- kućišta reaktora SCR-a
- jedinice za kontrolu emisija NO<sub>x</sub>
- jedinice za ispuhivanje pepela i čađe.

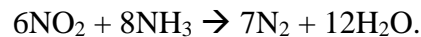
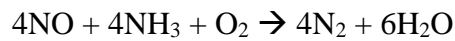
Sustav sadrži ugrađeni računalni program koji s obzirom na količine proizvedenih NO<sub>x</sub> emisija određuje količine ubrizganog amonijaka. Informaciju o stanju NO<sub>x</sub>-a unutar sustava, jedinica za doziranje redukcijske supstance dobiti će od jedinice za kontrolu emisije NO<sub>x</sub>-a, [68]. Jedinica za doziranje sastoji se od kompaktnog vanjskog sustava doziranja i tanka za ureu (vodenu otopinu). Veličina tanka ovisi o tome koliko često plovilo ulazi u ECA područja, odnosno, koliko često se koristi SCR. Kapaciteti spremnika za ureu kreću se od 4 do 10 m<sup>3</sup> po MW za veće motore, [72]. Na brodovima se koristi urea da bi se izbjeglo direktno rukovanje s amonijakom, koje može biti opasno. Urea se na brod dostavlja s kopna ili je posada miješa na brodu. Miješanje na brodu se odvija tako da se granule uree pomiješaju sa slatkom vodom s koncentracijom od 32% do 40%, [68, 72]. Urea je netoksična otopina, bez mirisa koja se smatra sigurnom za transport i skladištenje pri sobnoj temperaturi i tlaku. Međutim, potrebna je posebna opreznost pri zimskim temperaturama kako bi se izbjegla kristalizacija, [72].

Vodena otopina uree se pomoću pumpe prebacuje iz tanka u kojem je uskladištena do jedinice za doziranje. S obzirom da vodena otopina uree ima visoku točku smrzavanja, njezin tank opremljen je sustavom za grijanje kako bi se to spriječilo. Optimalna razina potrošnje uree kod SCR sustava kreće se između 20-25 g/kWh. Ubrizgani redukcijski agens (urea) će ispariti i miješati se s dolaznim ispušnim plinom. Cijevi za ubrizgavanje iz dozirne jedinice prodiru u isparivač s dna, a vrh isparivača opremljen je elektroničkim kućištem koje ima senzor za mjerenje NO<sub>x</sub>-a zbog praćenja dušikovih oksida u ispušnom plinu i senzora protutlaka. [68, 72] U specijalno dizajniranom kolektoru za miješanje ispušnih plinova i redukcijske supstance nalaze se mlaznice čija je svrha prskanje amonijaka na ispušne plinove brodskih uređaja, za vrijeme njihovog prolaska kroz kolektor do reaktora. Tu se odvija pretvorba NO<sub>x</sub>-a iz ispušnih plinova u dušik i vodenu paru u prisutnosti katalizatora. Čelična konstrukcija podupire slojeve katalizatora, dok je kućište reaktora kompletno izrađeno od čelika te ima spojene dvije cijevi koje služe kao ulaz i izlaz. SCR reaktor sadrži kasete od katalitičkog supstratnog materijala.

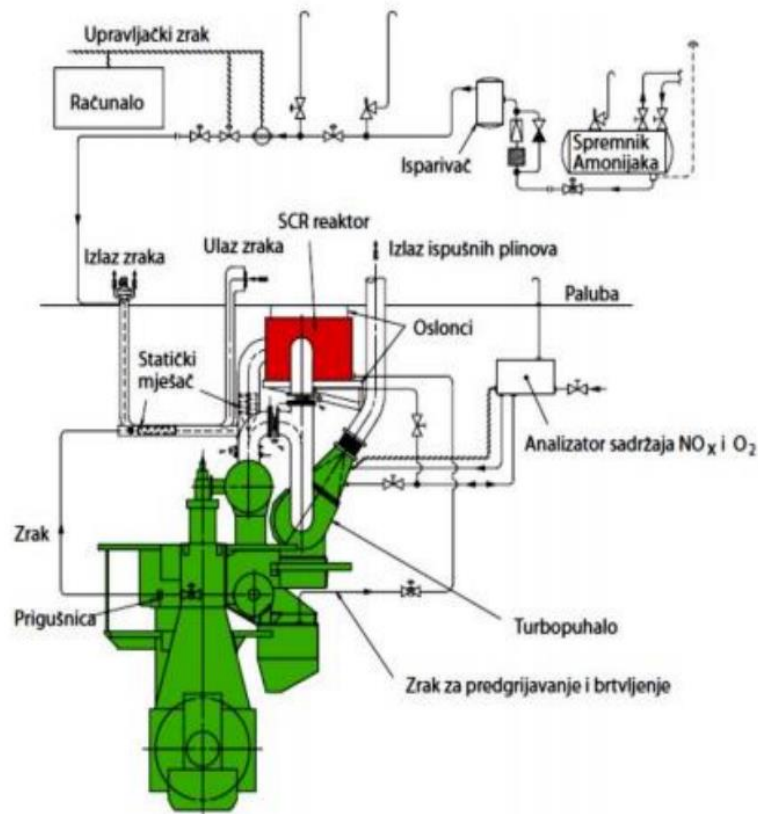


Elementi supstrata rade u ograničenim temperaturama; ukoliko je temperatura ispušnog plina previsoka, elementi se uništavaju, dok ako je temperatura preniska, učinkovitost SCR-a se smanjuje. Katalizator sadrži vanadijev pentoksid ( $V_2O_5$ ) koji pomaže procesu pretvaranja uree i dušikovih oksida u dušik i vodenu paru. [68, 72].

Kemijske reakcije koje se odvijaju unutar reaktora selektivne katalitičke redukcije su sljedeće, [66]:



Ovo su sustavi visoke učinkovitosti, s kojima se postižu razine  $NO_x$  emisija od 2 g/kWh što predstavlja smanjenje više od 90% čime korištenje ove tehnologije udovoljava standardima 3. razine dozvoljenih emisija prema MARPOL konvenciji. [56, 66]



Shema 2.: SCR sustav ugrađen na brodski motor, [68]

Metoda selektivne katalitičke redukcije učinkovita je jedino pod uvjetom ispravnog rada katalizatora, što zahtjeva njegovo konstantno održavanje i čišćenje. Zbog toga je reaktor, u čijem se kućištu nalazi katalizator, opremljen sustavom za otklanjanje čađe i pepela. Ukoliko

se pojave nekakve poteškoće ili zastoji u radu katalizatora, to će se odraziti na povratnom tlaku, većoj potrošnji goriva, pa čak i u habanju motora, [68]. Propuhivanje čađe obavlja se pomoću komprimiranog zraka pod tlakom od 7 bara za spriječavanje onečišćenja reaktora, [72].

S obzirom na njihove konfiguracije, SCR sustave možemo klasificirati u dvije vrste, [71]:

- visokotlačne sustave
- niskotlačne sustave.

Razlika među sustavima je da visokotlačni sustavi posjeduju reaktor smješten ispred turbopunjača dok niskotlačni sustavi iza turbopunjača, [71]. Nadalje, visokotlačni sustavi mogu se koristiti za goriva i s niskim i s visokim udjelom sumpora, dok se niskotlačni sustavi koriste isključivo za goriva s niskim udjelom sumpora. [68].

Visokotlačni sustav instaliran je ispred dizelskog turbopunjača kako bi potpuno povećao temperaturu reakcije SCR-a. Ovaj SCR sustav ima kompaktnu konfiguraciju i visok stupanj iskorištavanja energije ispušnih plinova, ali značajno utječe na radne performanse dizelskih motora i turbopunjača. Primarno se koristi kod dvotaktnih dizelskih motora niskih brzina koji koriste teško gorivo s visokim sadržajem sumpora. Isparivač/kolektor za miješanje osigurava potpuno isparavanje i razgradnju ubrizgane urea otopine, te osigurava ravnomjerno miješanje redukcijskog sredstva  $\text{NH}_3$  i ispušnog plina. Ispušni plinovi u ispušnoj cijevi pokreću turbopunjač, a temperatura ispušnih plinova prije i poslije turbopunjača razlikuje se za 50 – 175°C. Stoga SCR sustav smješten ispred turbopunjača može potpuno iskoristiti višu temperaturu ispušnog plina kako bi povećao učinkovitost denitrifikacije, [71]. Potrebno je održavati dovoljno visoke temperature ispušnih plinova između 300 – 400°C, što može biti izazovno kada je motor u pogonu s malim opterećenjem i manevriranjem, [72]. Često se događa da temperatura ispušnog plina ne može zadovoljiti radne zahtjeve SCR sustava pri niskom opterećenju dizelskog motora, čak i ako je SCR sustav postavljen ispred turbopunjača. Kako bi se riješili takvi problemi, između kolektora ispušnih plinova i ulaza turbopunjača postavljen je prenosni ventil cilindra kako bi se kontrolirala količina svježeg zraka koja ulazi u cilindar. Kada je taj ventil otvoren, dio svježeg zraka ulazi u ispušnu cijev, a količina svježeg zraka koja ulazi u cilindar biti će smanjena, ali tlak ispušnih plinova će ostati nepromijenjen. Kada se povećava potrošnja goriva, temperatura ispušnih plinova dizelskog motora će neizbježno rasti, a stupanj tog povećanja ovisi o povećanju potrošnje goriva, [71].

Niskotlačni sustav SCR-a postavljen iza turbopunjača ima visoku prilagodljivost i manje utjecaja na dizelske motore i turbopunjače. Široko se primjenjuje kod dizelskih motora srednjih i visokih brzina. Za dvotaktne dizelske motore niskih brzina, učinkovitost denitrifikacije niskotlačnih SCR sustava je ograničena zbog niskih temperatura ispušnih plinova, [71].

Moguća su potrebna predgrijavanja ispušnih plinova kako bi se postigla dovoljna temperatura na ulazu u reaktor za katalitičku reakciju. Za predgrijavanje, kod suvremenijih izvedbi, koriste se električno grijanje i ubrizgavanje goriva u ispušnu cijev radi ponovnog paljenja, [71]. Temperatura ispušnih plinova nakon turbine ne može zadovoljiti radne zahtjeve SCR sustava pri niskom opterećenju dizelskog motora. Za rješavanje takvih problema, prenosni ventil cilindra postavljen je između izlaza kolektora ispušnih plinova i izlaza turbopunjača kako bi kontrolirao količinu svježeg zraka koji ulazi u cilindar. Kada je ventil otvoren, dio ispušnih plinova s visokotlačne strane turbine izravno će protjecati u niskotlačnu stranu turbine, smanjujući tlak ispiranja i, posljedično, količinu svježeg zraka koji ulazi u cilindar, [71].

## 6. ZAKLJUČAK

Budući da Jadransko more sadrži geografsku prednost kao najkraća pomorska ruta za povezivanja zemalja Dalekog istoka sa zemljama srednje i istočne Europe, zabilježen je porast pomorskog prometa u regiji što doprinosi sve većem utjecaju pomorskog prometa na njegovo onečišćenje. Iako brodska ispuštanja sadrže brojne negativne posljedice za okoliš, u radu je poseban naglasak stavljen na ispuštanja sanitarnih otpadnih voda te na štetne emisije dizelskih motora koje doprinose problemima eutrofikacije i acidifikacije mora. S obzirom da je sjeverni Jadran vrlo plitko, polu-zatvoreno more pod snažnim utjecajem doprinosa nutrijenata preko većih talijanskih i hrvatskih rijeka, gospodarske aktivnosti poput porasta pomorskog prometa te razvoja obalnih turističkih infrastruktura, posebno nautičkog turizma predstavljaju dodatna opterećenja ekosustavu.

U svrhu suzbijanja tih problema, istraženi su međunarodni propisi koji se primjenjuju za ispuštanja brodskih sanitarnih otpadnih voda i emisija ispušnih plinova pri čemu su posebno istaknuti Prilozi IV. i VI. MARPOL konvencije uz propise EU-a te hrvatski nacionalni propisi. U kontekstu priloga VI. primijećeno je da još uvijek ne postoji pravno priznata metodologija unutar EU za provjeru NO<sub>x</sub> emisija s brodova od lučkih inspekcijskih vlasti iako se unutar ECA zona u pojedinim državama poput Danske i SAD-a koriste uređaji za snimanje ispušnih plinova s mogućnošću analize sadržaja i količine plinova.

Brodovi sadrže niz raznolikih tehničkih rješenja koja udovoljavaju zahtjevanim propisima obrade sanitarnih otpadnih voda i količine ispušnih emisija. Trenutno, postrojenja za tretman crnih sanitarnih otpadnih voda na brodovima zadovoljavaju propisane ekološke kriterije budući da Jadransko more ne spada u tzv. posebno područje gdje se od putničkih brodova zahtijevaju dodatna uklanjanja nutrijenata prije ispuštanja. Međutim, budući da su ispuštanja sivih voda još uvijek relativno neregulirana na međunarodnoj razini, u budućnosti se može očekivati daljnja revizija MARPOL konvencije koja će odrediti kriterije obrade sivih i taložnih voda. Prilikom toga za očekivati je daljnji razvoj modernih sustava za obradu sanitarnih otpadnih voda s naglaskom na povećanje stopa recikliranja otpada u svrhu poticanja viših standarda pročišćivanja i ekološke održivosti. Što se tiče emisija ispušnih plinova, trenutno su za brodare najjeftinija i najisplativija metoda uklanjanja SO<sub>x</sub> emisija ugradnja ispiraća plinova mokre apsorpcije dok se metoda selektivne katalitičke redukcije pokazala kao najučinkovitija za uklanjanje NO<sub>x</sub> emisija.

## LITERATURA

- [1] European Environment Agency 2021. „*European maritime transport environmental report 2021*“, online: [European Maritime Transport Environmental Report 2021 — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.european-environment.eu/en/press-releases/european-maritime-transport-environmental-report-2021) (27.11.2023.)
- [2] L. Khodjet, S. Klarwein, L. Tode 2021. „*Maritime transport in the Mediterranean: status and challenges*“, Plan Bleu: [MARITIME\\_TRANSPORT.pdf \(planbleu.org\)](https://www.planbleu.org/en/publications/maritime-transport-in-the-mediterranean) (27.11.2023.)
- [3] T. Perić, P. Komadina, N. Račić, 2016. „*Wastewater pollution from cruise ships in the Adriatic sea*“, Promet – traffic and transportation, vol. 28, no. 4, 425-433: [244274 \(srce.hr\)](https://www.srce.hr/handle/document/244274) (27.11.2023.)
- [4] U. Raudsepp, I. Maljutenko, M. Kõuts, L. Granhag, M. W. Bien, I. M. Hasselöv, K. M. Eriksson, L. Johansson, J. P. Jalkanen, M. Karl, V. Matthias, J. Moldanova, 2019. „*Shipborne nutrient dynamics and impact on the eutrophication in the Baltic sea*“, Science of total environment 671 (189-207): [Shipborne nutrient dynamics and impact on the eutrophication in the Baltic Sea \(chalmers.se\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1601772319319000) (27.11.2023.)
- [5] Y. Wei, D. Ding, T. Gu, Y. Xu, X. Sun, K. Qu, J. Sun, Z. Cui, 2023. „*Ocean acidification and warming significantly affect coastal eutrophication and organic pollution: a case study in the Bohai sea*“, Marine Pollution Bulletin vol. 186: [Ocean acidification and warming significantly affect coastal eutrophication and organic pollution: A case study in the Bohai Sea - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063623000000) (27.11.2023.)
- [6] S. T. West, 2019. „*Exploring the interactions and implications between ocean acidification and eutrophication in Budd Inlet*“: [Microsoft Word - Full Final Thesis.docx \(evergreen.edu\)](https://www.evergreen.edu/theses/2019/01/01/Exploring-the-interactions-and-implications-between-ocean-acidification-and-eutrophication-in-Budd-Inlet/) (27.11.2023.)
- [7] J. P. Gattuso, L. Hanson, 2011. „*Ocean acidification*“, 2. izdanje, Oxford university press
- [8] IUCN centar za mediteransku suradnju, 2019. „*Utjecaj zakiseljavanja na zaštićena morska područja*“, online (27.11.2023.)
- [9] T. L. Labarthe, P.A.L.D. Nunes, P. Ziveri, M. Cinar, F. Gazeau, J. M. H. Spencer, N. Hilmi, P. Moschella, A. Safa, D. Sauzade, C. Turley, 2016. „*Impacts of ocean acidification in a warming Mediterranean sea: An overview*“, Regional Studies in Marine Science vol. 5, str. 1-11: [Impacts of ocean acidification in a warming Mediterranean Sea: An overview - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785316300000) (27.11.2023.)
- [10] L. Urbini, G. Ingrosso, T. Djakovac, S. Piacentino, M. Giani, 2020. „*Temporal and spatial variability of the CO<sub>2</sub> system in a rivine influenced area of the Mediterranean sea, the north Adriatic*“, Sec. Coastal Ocean Processes vol. 7: [Temporal and Spatial Variability of the CO<sub>2</sub>](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1601772320300000)

[System in a Riverine Influenced Area of the Mediterranean Sea, the Northern Adriatic FULIR \(irb.hr\)](#) (27.11.2023.)

[11] USGS 2019. „*Nutrients and eutrophication*“, online: [Nutrients and Eutrophication | U.S. Geological Survey \(usgs.gov\)](#) (27.11.2023.)

[12] Essie M. Rodgers, 2021. „*Adding climate change to the mix: responses of aquatic ectotherms to the combined effects of eutrophication and warming*“, *Biology letters* vol. 17 issue 10: [Adding climate change to the mix: responses of aquatic ectotherms to the combined effects of eutrophication and warming \(royalsocietypublishing.org\)](#) (27.11.2023.)

[13] S. Cozzi, M. Cabrini, M. Kralj, C. D. Vittor, M. Celio, M. Giani, 2020. „*Climatic and anthropogenic impacts on environmental conditions and phytoplankton community in the gulf of Trieste*“, *Water* 12(9), 2652: [Water | Free Full-Text | Climatic and Anthropogenic Impacts on Environmental Conditions and Phytoplankton Community in the Gulf of Trieste \(Northern Adriatic Sea\) \(mdpi.com\)](#) (27.11.2023.)

[14] E. Souvermezoglou, E. Krasakopolou, 1999. „*Eutrophic signals in the chemistry of the bottom layer of the Northern Adriatic sea*“, : [\(PDF\) Eutrophic Signals in the Chemistry of the Bottom Layer of the Northern Adriatic Sea \(researchgate.net\)](#) (27.11. 2023.)

[15] F. Sangiorgi, T. H. Donders, 2004. „*Reconstructing 150 years of eutrophication in the north-western Adriatic sea (Italy) using dinoflagellate cysts, pollen and spores*“, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 60 (1): [Reconstructing 150 years of eutrophication in the north-western Adriatic Sea \(Italy\) using dinoflagellate cysts, pollen and spores | Request PDF \(researchgate.net\)](#) (27.11.2023.)

[16] M. Stankić, 2015. „*Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013. godine*“: [view \(nsk.hr\)](#) (27.11.2023.)

[17] C. Totti, T. Romagnoli, S. Accaroni, A. Coluccelli, M. Pellegrini, A. Campanelli, F. Grilli, M. Maurini, 2019. „*Phytoplankton communities in the northwestern Adriatic sea: Interdecadal variability over a 30 years period (1988-2016) and relationships with meteorological drivers*“, *Journal of Marine Systems* vol. 193: [Phytoplankton communities in the northwestern Adriatic Sea: Interdecadal variability over a 30-years period \(1988–2016\) and relationships with meteorological drivers - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[18] O. Vigiak, A. Udias, B. Grizzeti, M. Zanni, A. Aloe, F. Weiss, J. Hristov, B. Bisselink, A. de Roo, A. Pistocchi, 2023. „*Recent regional changes in nutrient fluxes of European surface waters*“, *Science of The Total Environment* vol. 858, part 3: [Recent regional changes in nutrient fluxes of European surface waters - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[19] R. Precali, 2014. „*Stanje eutrofikacije Jadranskog mora*“

- [20] Ž. Ilić 2019. „*Utjecaj pomorskog prometa na ekologiju Jadrana*“: [Utjecaj pomorskog prometa na ekologiju Jadrana | REPEFZG \(unizg.hr\)](#) (27.11.2023.)
- [21] J. Dorigatti, Z. Lušić, T. Perić, G. Jelić Mrčelić, 2022. „*Cruise ships routing in central part of the Adriatic east coast*“, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 16 no. 1
- [22] Z. Lušić, D. Pušić, D. Medić, 2017. „*Analysis of the maritime traffic in the central part of the Adriatic*“, 1. izdanje Transport infrastructure and systems: [Title of paper \(irb.hr\)](#) (27.11.2023.)
- [23] Marine traffic, online: [MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic](#) (29.11.2023.)
- [24] China-CEE Institute, 2021. „*The role of the north Adriatic ports*“: [Microsoft Word - Book4B5\\_NAPA EN final CORR.docx \(china-cee.eu\)](#) (27.11.2023.)
- [25] K. Stamatović, P. de Langen, A. Groznik, 2018. „*Port cooperation in the north Adriatic ports*“, Research in Transportation Bussines & Management, vol. 26, str. 109-121: [Port cooperation in the North Adriatic ports - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)
- [26] Marine traffic, online: [MarineTraffic Data | Ports](#) (29.11.2023.)
- [27] M. Zanne, B. Bešković, 2018. „*Assesing home port potential of selected Adriatic ports*“, Transactions on maritime science, vol. 2 str. 143-153: [Assesing Home Port Potential of Selected Adriatic Ports \(srce.hr\)](#) (27.11.2023.)
- [28] L. Antonellini, 2023. „*An assessment of the Adriatic cruise market for 2023: a comparative approach*“, An Overview on Business, Management and Economics Research vol. 2 str. 269 – 86: [An-Assessment-of-the-Adriatic-Cruise-Market-for-2023-A-Comparative-Approach.pdf \(researchgate.net\)](#) (27.11.2023.)
- [29] E. Merico, A. Gambaro, A. Argiriou, A. Alebic-Juretic, E. Barbaro, D. Cesari, L. Chasapidis, S. Dimopoulos, A. Dinoi, A. Donateo, C. Giannaros, E. Gregoris, A. Karagiannidis, A. G. Konstandopoulos, T. Ivošević, N. Liora, D. Melas, B. Mifka, I. Orlić, A. Poupkou, D. Contini, 2017. „*Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic – Ionian port cities: Comparison and harmonization of different approaches*“, Transportation Research Part D: Transport and Environment vol. 50 str. 431-445: [Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)
- [30] E. Merico, M. Conte, F. M. Grasso, D. Cesari, A. Gambaro, E. Morabito, E. Gregoris, S. Orlando, A. Alebić-Juretić, V. Zubak, B. Mifka, D. Contini, 2020. „*Comparison of the impact of ships to size-segregated particle concentrations in two harbour cities of northern Adriatic*“

- sea“, Environmental Pollution vol. 266 dio 3: [Comparison of the impact of ships to size-segregated particle concentrations in two harbour cities of northern Adriatic Sea - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)
- [31] Venice port, online: [Page Not Found - Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale](#) (29.11.2023.)
- [32] M. Pasetto, G. Giacomello, 2023. „*Technical-economic assesments on the feasability of new infrastructures serving seaport and dry port of Venice*“, Transportation Research Procedia vol. 69 str. 839-846: [Technical-economic assessments on the feasibility of new infrastructures serving seaport and dry port of Venice - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)
- [33] Marine traffic, online: [Port of VENICE \(IT VCE\) details - Departures, Expected Arrivals and Port Calls | AIS MarineTraffic](#) (29.11.2023.)
- [34] Trieste port, online: [Description – Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale \(porto.trieste.it\)](#) (27.11.2023.)
- [35] Trieste port, online: [Statistiche ESPO con tara ponderata \(porto.trieste.it\)](#) (29.11.2023.)
- [36] N. Del Lupo, 2020. „*Cruise port competition: the case of the port of Venice and the port of Trieste*“
- [37] Marine traffic, online: [Port of TRIESTE \(IT TRS\) details - Departures, Expected Arrivals and Port Calls | AIS MarineTraffic](#) (29.11.2023.)
- [38] Koper port, online: [Pretovor 2022 \(luka-kp.si\)](#) (29.11.2023.)
- [39] Luka Koper Group and Luka Koper D.D., 2023. „*Annual report 2022*“: [Annual-report-2022.pdf \(luka-kp.si\)](#) (27.11.2023.)
- [40] Marine traffic, online: [Port of KOPER \(SI KOP\) details - Departures, Expected Arrivals and Port Calls | AIS MarineTraffic](#) (29.11.2023.)
- [41] Luka Rijeka D.D., 2023. „*Godišnje izvješće za 2022. godinu*“: [Konsolidirani-i-nekonsolidirani-revidirani-FS-LUKA-RIJEKA-d.d.—HRV-31.12.2022-26.4.2023MCD\\_DG-potpisano-i-zakljucano.pdf \(lukarijeka.hr\)](#) (27.11.2023.)
- [42] A. Jugović, G. Mudronja, K.E. Putnina, 2020. „*Port of Rijeka as a cruise destination*“, Transactions on Maritime Science 9(1): [\(PDF\) Port of Rijeka as Cruise Destination \(researchgate.net\)](#) (27.11.2023.)
- [43] Marine traffic, online: [Port of RIJEKA \(HR RJK\) details - Departures, Expected Arrivals and Port Calls | AIS MarineTraffic](#) (29.11.2023.)
- [44] S. Zhang, J. Chen, Z. Wan, M. Yu, Y. Shu, Z. Tan, J. Liu, 2021. „*Challanges and countermeasures for international ship waste management: IMO, China, United States and EU*“, Ocean & Coastal Management vol. 213.: [Challenges and countermeasures for](#)



[international ship waste management: IMO, China, United States, and EU - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[45] C. Vaneckhaute, A. Fazli, 2020. „*Management of ship-generated food waste and sewage on the Baltic sea: A review*“, Waste Management vol. 102 str. 12-20: [Management of ship-generated food waste and sewage on the Baltic Sea: A review - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[46] J. P. Jalkanen, L. Johansson, M. W. Bien, L. Granhag, E. Ytreberg, K.M. Eriksson, D. Yngsell, I. M. Hasselöv, K. Magnusson, U. Raudsepp, I. Maljutenko, H. Winnes, J. Moldanova, 2021. „*Modelling of discharges from Baltic sea shipping*“, Ocean Sci. vol. 17 str. 699-728: [OS-17-699-2021.pdf \(copernicus.org\)](#) (27.11.2023.)

[47] Ž. Koboević 2015. „*Model onečišćenja mora crnim otpadnim vodama s plovila*“: [Model onečišćenja mora crnim otpadnim vodama s plovila | Repozitorij Pomorskog fakulteta u Rijeci - Repozitorij PFRI \(uniri.hr\)](#) (27.11.2023.)

[48] A. M. Kotrikla, A. Zavantias, M. Kaloupi, 2021. „*Waste generation and management onboard a cruise ship: A case study*“, Ocean & Coastal Management vol. 212: [Waste generation and management onboard a cruise ship: A case study - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[49] E. Lakshmi, M. Priya, V. Sivanandan Achari, 2021. „*An overview on the treatment of ballast water in ships*“, Ocean & Coastal Management vol. 199: [An overview on the treatment of ballast water in ships - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[50] J. Zhao, Q. Wei, S. Wang, X. Ren, 2021. „*Progress of ship exhaust gas control technology*“, Science of the Total Environment vol. 799: [Progress of ship exhaust gas control technology - ScienceDirect](#) (27.11.2023.)

[51] International Maritime Organisation: „*Prevention of Pollution by Sewage from Ships*“, online: [Prevention of Pollution by Sewage from Ships \(imo.org\)](#) (27.11.2023.)

[52] O. Arslan, M. S. Solmaz, H. B. Usluer, 2022. „*Determination of the perception of ship management towards environmental pollution caused by routine operations of ships*“, Aquatic Research 5(1) str. 39-52: [GİRİŞ \(scientificwebjournals.com\)](#) (27.11.2023.)

[53] Marine Insight, 2021. „*MARPOL Annex 4 Explained: How to Prevent Pollution from Sewage at Sea*“, online: [MARPOL ANNEX 4 Explained: How to Prevent Pollution from Sewage at Sea \(marineinsight.com\)](#) (27.11.2023.)

[54] W. Van Roy, J. B. Merveille, A. Van Nieuwenhove, K. Scheldeman, F. Maes, 2023. „*Policy Recommendations for International Regulations Addressing Air Pollution from Ships*“, Marine Policy: [Policy Recommendations for International Regulations Addressing Air](#)

[Pollution From Ships by Ward Van Roy, Jean Baptiste Merveille, Annelore Van Nieuwenhove, Kobe Scheldeman, Frank Maes :: SSRN](#) (27.11.2023.)

[55] J. Dong, J. Zeng, Y. Yang, H. Wang, 2022. „A review of law and policy of decarbonization of shipping“: [Frontiers | A review of law and policy on decarbonization of shipping \(frontiersin.org\)](#) (27.11.2023.)

[56] Marine Insight, 2019. „7 Ways for Ships To Meet MARPOL NOx Tier III Regulation“, online: [7 Ways For Ships To Meet MARPOL NOx Tier III Regulation \(marineinsight.com\)](#) (27.11.2023.)

[57] International Maritime Organisation: „Improving the energy efficiency of ships“, online: [Improving the energy efficiency of ships \(imo.org\)](#) (27.11.2023.)

[58] International Maritime Organisation: „EEXI and CII – ship carbon intensity and rating system“, online: [EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system \(imo.org\)](#) (27.11.2023.)

[59] Ž. Koboević, B. Milošević-Pujo, 2018. „The Necessity of Adoption of New National Regulations to Prevent the Pollution of Croatian Coastal Sea by Sewage from Various Vessels“, Transactions on maritime science vol. 1 str. 76-83: [The Necessity of Adoption of New National Regulations to Prevent the Pollution of Croatian Coastal Sea by Sewage from Various Vessels \(srce.hr\)](#) (27.11.2023.)

[60] European Environment Agency, 2019. „Nutrient enrichment and eutrophication in Europe's seas“, online: [Nutrient enrichment and eutrophication in Europe's seas — European Environment Agency \(europa.eu\)](#) (27.11.2023.)

[61] T. Perić, 2016. „Model vrednovanja onečišćenja Jadranskog mora sanitarnim otpadnim vodama s brodova za kružna putovanja“, online: [Tina Perić: Model vrednovanja onečišćenja Jadranskog mora sanitarnim otpadnim vodama s brodova za kružna putovanja \(uniri.hr\)](#) (27.11.2023.)

[62] Marine insight, 2019. „Sewage Treatment Plant on Ships Explained“, online: [Sewage Treatment Plant on a Ship Explained \(marineinsight.com\)](#) (27.11.2023.)

[63] [Evac EcoTreat Delivers Cost-Effective Marine Sewage Treatment - Offshore Technology \(offshore-technology.com\)](#) (27.11.2023.)

[64] Ž. Koboević, Ž. Kurtela, 2011. „Comparison of marine sewage treatment systems“, 14th International Conference on Transport Science - ICTS 2011, : [COMPARISON OF MARINE SEWAGE TREATMENT SYSTEMS \(irb.hr\)](#) (27.11.2023.)

[65] Marine Engineering, 2018. online: [Marine Sewage Treatment Plant \(meoexamz.co.in\)](#) (27.11.2023.)

- [66] T. C. Zannis, J. S. Katsanis, G. P. Christopoulos, E. A. Yfantis, R. G. Papagiannakis, E. G. Pariotis, D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, A. G. Vallis, 2022. „*Marine Exhaust Gas Treatment Systems for Compliance with the IMO 2020 Global Sulfur Cap and Tier III NO<sub>x</sub> Limits: A review*“, *Energies* 15(10) 3638: [Energies | Free Full-Text | Marine Exhaust Gas Treatment Systems for Compliance with the IMO 2020 Global Sulfur Cap and Tier III NO<sub>x</sub> Limits: A Review \(mdpi.com\)](#) (27.11.2023.)
- [67] C. Papadopoulos, M. Kourtelesis, K. M. Sakkas, I. Yakoumis, 2022. „*Selected Techniques for Cutting SO<sub>x</sub> Emissions in Maritime Industry*“, *Technologies* 10(5) 99: [\(PDF\) Selected Techniques for Cutting SO<sub>x</sub> Emissions in Maritime Industry \(researchgate.net\)](#) (27.11.2023.)
- [68] I. Levanat, 2021. „*Uređaji za smanjivanje emisije ispušnih plinova na brodu*“, online: [view \(unidu.hr\)](#) (27.11.2023.)
- [69] [What's the future for scrubbing? - \(fathom.world\)](#) (27.11.2023.)
- [70] Marine Insight, 2021. „*A Guide to Scrubber System on Ship*“, online: [A Guide To Scrubber System On Ship \(marineinsight.com\)](#) (27.11.2023.)
- [71] Y. Zhu, W. Zhou, C. Xia, Q. Hou, 2022. „*Application and Development of Selective Catalytic Reduction Technology for Marine Low-Speed Diesel Engine: Trade-Off among High Sulfur Fuel, High Thermal Efficiency, and Low Pollution Emission*“, *Atmosphere* 13(5) 731: [Atmosphere | Free Full-Text | Application and Development of Selective Catalytic Reduction Technology for Marine Low-Speed Diesel Engine: Trade-Off among High Sulfur Fuel, High Thermal Efficiency, and Low Pollution Emission \(mdpi.com\)](#) (27.11.2023.)
- [72] Marine Insight, 2020. „*Selective Catalytic Reduction (SCR) Reactors for Ships – Types, Working Principle, Advantages And Disadvantages*“, online: [Selective Catalytic Reduction \(SCR\) Reactors For Ships - Types, Working Principle, Advantages And Disadvantages \(marineinsight.com\)](#) (27.11.2023.)
- [73] Maritime reporter and engineering news, „*Aiming for zero waste discharge to sea*“, siječanj 2024., online: [Maritime Reporter January 2024 \(marinelink.com\)](#) (24.1.2024.)

## POPIS SLIKA

Slika 1.: Proces acidifikacije mora, [8] .....	4
Slika 2.: Proces eutrofikacije, [12] .....	8
Slika 3.: Koncentracija klorofila a u Jadranskom moru, [19] .....	10
Slika 4.: Smjerovi kretanja pomorskog prometa u Jadranu, [23].....	13
Slika 5. : Prikaz svih brodskih ispuštanja, [1] .....	30
Slika 6.: Uređaj za obradu sanitarnih otpadnih voda na brodu, [63].....	45
Slika 7.: Primjer ispiraća plinova na brodu, [69] .....	51
Slika 8.: Ispirać plinova mokre apsorpcije SO <sub>x</sub> emisija, [70].....	52
Slika 9.:Prikaz selektivne katalitičke redukcije, [72].....	55

## POPIS TABLICA

Tablica 1.: Promet brodova u međunarodnoj plovidbi prema glavnim sjevernojadranskim lukama, [22] .....	14
Tablica 2.:Udjeli prema vrstama za sjevernojadranske luke, [25] .....	16
Tablica 3.: Statistički podaci o prometu za luku Venecija tijekom razdoblja 2021./2023., [31] .....	19
<i>Tablica 4.: Statistički podaci za luku Trst u razdoblju 2021./2022., [35] .....</i>	<i>22</i>
Tablica 5.: Statistički podaci za luku Kopar tijekom razdoblja 2021./2022., [38].....	25
Tablica 6.: Statistika luke Rijeka tijekom razdoblja 2021./2022., [41].....	28
Tablica 7.: Dopuštene vrijednosti NO <sub>x</sub> emisija za dizelske motore s obzirom na klasificirane razine, [56] .....	38

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luke Veneciju, Trst, Kopar i Rijeku, [26].....	17
Grafikon 2.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Venecija, [33].....	20
Grafikon 3.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Trst, [37].....	23
Grafikon 4.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Kopar, [40] .....	26
Grafikon 5.: Broj dolazaka brodova prema vrsti tijekom razdoblja od 1.7. do 14.7. 2022. za luku Rijeka, [43].....	29

## **POPIS SHEMA**

Shema 1.: Prikaz sheme biološko – kemijske metode obrade sanitarnih odpadnih voda, [65]	46
Shema 2.: SCR sustav ugrađen na brodski motor, [68] .....	57