

# Sprječavanje onečišćenja mora uljima i ispušnim plinovima

---

**Paić, Špiro**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:271252>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**

*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**ŠPIRO PAIĆ**

**SPRJEČAVANJE ONEČIŠĆENJA MORA  
ULJIMA I ISPUŠNIM PLINOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**SPRJEČAVANJE ONEČIŠĆENJA MORA  
ULJIMA I ISPUŠNIM PLINOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**doc. dr. sc. Branko Lalić**

**STUDENT:**

**Špiro Paić**

**(MB:0171279500)**

**SPLIT, 2023.**

## SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je istražiti i steći uvid u pitanje onečišćenja okoliša koje uzrokuju brodovi, posebno usredotočujući se na onečišćenja uljima i ispušnim plinovima. S obzirom na znatan broj brodova koji plove svjetskim morima, zabrinutosti oko onečišćenja eskalirale su, što je dovelo do uspostave brojnih pravnih okvira i zakona koji upravljaju pomorskim prometom. U ovom radu se spominje konvencija MARPOL 73/78 (eng. *Maritime Pollution*) kao ključni pravni dokument koji regulira onečišćenje mora i morskog okoliša. Poseban naglasak stavlja se na opis tehnika za smanjenje i sprječavanje štetnih emisija ispušnih plinova i tehnikama uklanjanja uljnih oštećenja mora.

**Ključne riječi:** *ulje, ispušni plinovi, MARPOL 73/78, sprječavanje onečišćenja, tehnike smanjenja emisija*

## ABSTRACT

The aim of this paper is to investigate and gain insight into the issue of environmental pollution caused by ships, especially focusing on oil and exhaust gas pollution. Given the significant number of ships plying the world's seas, concerns about pollution have escalated, leading to the establishment of numerous legal frameworks and laws governing maritime traffic. This paper mentions the MARPOL 73/78 convention (Maritime Pollution) as a key legal document that regulates the pollution of the sea and the marine environment. Special emphasis is placed on the description of techniques for reducing and preventing harmful emissions of exhaust gases and techniques for removing oil damage to the sea.

**Keywords:** *oil, exhaust gases, MARPOL 73/78, pollution prevention, emission reduction techniques*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MEĐUNARODNA KONVENCIJA MARPOL 73/78</b> .....	<b>2</b>
2.1. MARPOL 73/78 PRILOG I .....	2
2.2. KNJIGA O ULJIMA .....	3
2.2.1. Knjiga o uljima 1.....	4
2.2.2. Knjiga o uljima 2.....	5
2.3. MARPOL 73/78 PRILOG VI .....	7
<b>3. ONEČIŠĆENJE ISPUŠNIM PLINOVIMA</b> .....	<b>9</b>
3.1. GLAVNI ONEČIŠĆIVAČI ZRAKA .....	9
3.1.1. Ugljični dioksid (CO <sub>2</sub> ) .....	10
3.1.2. Ugljikovodici (HC) .....	12
3.1.3. Čestice i čađa .....	13
3.1.4. Dušikovi oksidi .....	14
3.1.5. Sumporovi oksidi .....	15
<b>4. ONEČIŠĆENJE MORA ULJIMA I METODE SPRIJEČAVANJA ONEČIŠĆENJA</b> .....	<b>17</b>
4.1. SEPARATORI ZAULJENIH VODA .....	17
4.1.1. Gravitacijski separator.....	17
4.1.2. Centrifugalni separator zauljenih voda .....	18
<b>5. TEHNIKE ZA OTKLANJANJE I SPRIJEČAVANJE ŠTETNIH EMISIJA</b> .....	<b>20</b>
5.1. PRIMARNE METODE ZA SMANJENJE EMISIJE NOX-A.....	20
5.1.1. Emulzifikacija .....	20
5.1.2. Ovlaživanje ispirnog zraka .....	21
5.1.3. Optimizacija rada motora.....	22
5.1.4. Recirkulacija ispušnih plinova .....	25
5.2. SEKUNDARNE METODE ZA SMANJENJE EMISIJE NOX-A.....	25
5.2.1. Selektivna katalitička redukcija ( SCR ) .....	25
5.3. METODE SMANJIVANJA SUMPOROVIH OKSIDA .....	27
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>30</b>

<b>LITERATURA .....</b>	<b>31</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>33</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>35</b>

## 1. UVOD

Razvoj čovječanstva kroz povijest, industrijalizacija, globalni napredak, znanstvena otkrića, rezultirala su brojnim dobrobitima koji su neželjeno potakli stvaranju današnjih problema vezanih uz okoliš i dobrobit okoliša. Jedan od primarnih ciljeva društva u globalu bi se trebali odnositi na zaštitu, kako budućeg, tako i trenutnog stanja. Znanstvenici, zajedno s brodograditeljima i proizvođačima brodskih dizelskih motora, imaju fokus na raznolika istraživanja gdje je glavni cilj smanjenje emisija štetnih tvari koji dolaze s brodova, gdje se zaokružuje jedno poglavlje glede globalnog onečišćenja. S većim porastom emisije štetnih tvari, potreba za rješavanjem problema postaje sve intenzivnija pri gdje uvelike potpomažu zakoni i pravila istaknuti u konvencijama i zakonicima. Kako problem postaje veći tako postaje i primaran pa osim međunarodnih propisa pridružuju se i nacionalni propisi [1].

Veliki brodovi, koji čine veliku većinu svjetske flote, kao pogonsko gorivo i glavni izvor energije koriste fosilna goriva koja su svojim izgaranjem zaslužna za emisiju opasnih zagađivača kao što su: sumporovi oksidi ( $\text{SO}_x$ ), dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ), ugljikovodici (HC), ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), i brojni drugi. Glavnu ulogu imaju međunarodne konvencije koje reguliraju emisiju spomenutih plinova zahvaljujući tehnologijama i metodama za njihovo suzbijanje, provođenjem novih istraživanja i ugradnja uređaja na brodovima za obradu ispušnih plinova.

## **2. MEĐUNARODNA KONVENCIJA MARPOL 73/78**

Konvencija MARPOL 73/78 glavna je međunarodna konvencija koja pokriva sprječavanje zagađenja morskog okoliša brodovima iz operativnih ili slučajnih uzroka. To je kombinacija dva sporazuma usvojena 1973. i 1978. godine, a ažurirana izmjenama i dopunama tijekom godina.

Međunarodna konvencija za sprječavanje zagađenja s brodova usvojena je 2. studenog 1973. u IMO-u i obuhvaćala je zagađenje uljima, kemikalijama i štetnim tvarima u pakiranom obliku, otpadnim vodama i smećem. Protokol iz 1978. koji se odnosi na Međunarodnu konvenciju o sprječavanju onečišćenja s brodova (1978. MARPOL protokol) usvojen je na Konferenciji o sigurnosti tankera i sprječavanju zagađenja u veljači 1978. godine održana kao odgovor na niz nesreća tankera u 1976-1977. (Mjere koje se odnose na dizajn i rad tankera također su ugrađene u Protokol iz 1978. koji se odnosi na Konvenciju o sigurnosti života na moru iz 1974.).

Konvencija uključuje propise usmjerene na sprječavanje i minimiziranje zagađenja s brodova, kako slučajnog onečišćenja, tako i rutinskih operacija, i trenutno uključuje šest tehničkih priloga.

Posebna područja sa strogom kontrolom operativnih ispusta uključena su u većinu Priloga.

- Prilog I – Pravila o sprječavanju onečišćenja uljem.
- Prilog II – Pravila o sprječavanju onečišćenja štetnim tekućim tvarima koje se prevoze u trupu.
- Prilog III – Pravila o sprječavanju onečišćenja štetnim tvarima u pakiranom obliku.
- Prilog IV – Pravila o sprječavanju onečišćenja fekalijama.
- Prilog V – Pravila o sprječavanju onečišćenja otpacima .
- Prilog VI – Pravila o sprječavanju onečišćenja zraka s brodova [2].

### **2.1. MARPOL 73/78 PRILOG I**

Ovaj je prilog posvećen sprječavanju onečišćenja uljima s brodova i utvrđuje sveobuhvatna pravila i standarde za minimiziranje ispuštanja ulja i zaštitu morskog okoliša.

Svaki tanker za ulje od 150 bruto tonaže i veći i svaki drugi brod od 400 bruto tonaže i veći mora se podvrgnuti osnovnom pregledu prije stavljanja u službu ili prije nego li



mu je izdana svjedodžba prvi put. S pregledom se utvrđuje da je struktura, oprema, uređaji, pribor, sustavi i materijal zadovoljavaju zahtjevima ovog priloga. Svjedodžba se izdaje nakon osnovnog ili redovitog pregleda. Nju izdaje ili potvrđuje Uprava, osoba ili organizacija gdje Uprava snosi punu odgovornost za svjedodžbu.

Osim osnovnog pregleda, brod mora biti podvrgnut redovnim pregledima koji se obavljaju u rokovima koje određuje Uprava a oni ne smiju biti dulji od pet godina, među pregledu unutar tri mjeseca prije ili poslije datuma druge godišnjice ili unutar tri mjeseca prije ili poslije datuma treće godišnjice svjedodžbe, godišnjem pregledu unutar tri mjeseca prije ili poslije svakog datuma godišnjice Svjedodžbe te dodatnim, potpunim ili djelomičnim pregledima koji se obavljaju nakon popravka ili obnova.

Svjedodžba se izdaje na rok koji je utvrdila Uprava a ne smije biti dulji od pet godina.

Svaki brod od 400 bruto tonaže i veći mora imati tankove za prihvat ostatka ulja s kojima ne može drukčije postupati kao što su ostatci koji nastaju od pročišćavanja goriva i ulja ili izljeva ulja. Tankovi moraju biti odgovarajuće zapremnine, zavisno o vrsti postrojenja i duljini plovidbe.

Svaki brod od 400 bruto tonaže ali manji od 10000 bruto tonaže mora imati opremu za filtriranje ulja takvu da svaka ispuštena uljna mješavina ne sadrži više od 15 dijelova na milijun. Brodovi od 10000 bruto tonaže i više moraju imati jednaku opremu uz dodatak uređaja za uzbunu koji će pokazati kada se razina ne može održati te zaustavlja ispušt uljne mješavine ako pređe 15 dijelova na milijun [3].

## **2.2. KNJIGA O ULJIMA**

Knjiga o uljima na brodovima vitalni je pomorski dokument osmišljen kako bi osigurale brodovlasnicima, brodarima, časnicima detaljno sve dokumentirane aktivnosti povezane s uljem i operacije koje se obavljaju na plovilu. Njegova je glavna svrha osigurati poštivanje međunarodnih propisa, posebno MARPOL propisi iz Priloga I [4]. Knjiga služi kao sveobuhvatan zapis o raznim aktivnostima koje uključuju naftu, poput bunkera pogonskog goriva, transfera nafte, odlaganja zauljenih ostataka i održavanja opreme povezane s uljem. Točni i temeljiti unosi u knjigu ulja ključni su za dokazivanje brodskog pridržavanja standarda zaštite okoliša i njegove opredijeljenosti za sprečavanje onečišćenja mora i morskog okoliša.

### 2.2.1. Knjiga o uljima 1

Svaki tanker s bruto tonažom od 150 i više, kao i svaki brod s bruto tonažom od 400 i više, isključujući tankere za naftu, moraju posjedovati knjigu o uljima 1 (prostor strojarnice) [6].

Knjiga o uljima 1 trebala bi se popunjavati u svakoj prilici, po mogućnosti od spremnika do spremnika ili ako se zbiva bilo koja od navedenih radnji u strojarnici:

- Odlaganje ili ispuštanje kaljužne vode koja se nakuplja u strojarnici
- Ispuštanje čiste vode ili balasta iz tankova ulja
- Odlaganje i sakupljanje uljnih ostataka
- Balastiranje i čišćenje uljnih tankova
- Skladištenje ulja i goriva [5]

Svaka operacija mora biti brzo i sveobuhvatno dokumentirana u knjizi o uljima 1, osiguravajući da su svi bitni unosi za tu operaciju uredno ispunjeni (tablica 1). Po završetku svake operacije, odgovorni časnik koji nadgleda operaciju dužan je dostaviti svoje potpise, a brodski zapovjednik odgovoran je za potpisivanje svake ispunjene stranice. U slučajevima kada su uključeni unosi na službenom nacionalnom jeziku države zastave, ti će unosi imati prednost u slučaju sporova ili odstupanja. Svaki zastoј ili kvar opreme treba biti zapisan u knjizi o uljima 1. Knjiga o uljima 1 spremljena je na dostupno mjesto za inspekciju u bilo kojem trenutku, osim u slučaju tegljenja plovila bez posade, pri čemu se knjiga čuva na brodu. Period čuvanja knjige je 3 mjeseca od zadnjeg zapisa.

Ovlašteno tijelo vlade stranke prema trenutnoj Konvenciji ima pravo ispitati knjigu o uljima koja se nalazi na brodu bilo kojeg broda koji spada u područje primjene ovog priloga. Ovo ispitivanje može se dogoditi dok je brod prisutan u lučkim pristaništima odgovarajućeg tijela. Ovlašteno tijelo također ima pravo stvoriti duplikat svakog unosa u spomenutu knjigu. Uz to, mogu tražiti od zapovjednika broda da potvrdi da duplikat točno predstavlja izvorni unos. Bilo koji duplikat koji je brodski zapovjednik potvrdio kao vjernu reprodukciju unosa u brodsku knjigu ulja 1. dio, može se predstaviti kao dokaz informacija preneseno unutar unosa tijekom pravnog postupka. Postupak inspekcije knjige o uljnim zapisima 1. dijela i stvaranja ovjerenog duplikata od strane ovlaštenog tijela, kako je navedeno u ovom stavku, treba obaviti odmah kako bi se izbjeglo nepotrebno kašnjenje s brodom.

**TABLICA 1. Primjer upisa u knjigu o uljima 1 [7]**

Vrsta tanka	Lokacija		Volumen tanka (m <sup>3</sup> )
	Granica	Položaj	
Tank zauljenih ostataka	116-118	Lijeva strana broda	13,4
Tank svježeg uljnog taloga	120-121	Lijeva strana broda	6,0
Tank za zauljene nečistoće tekućeg ulja	120-121	Desna strana broda	6,0
Ukupni volumen			25,4 m <sup>3</sup>

### 2.2.2. Knjiga o uljima 2

Svaki tanker za naftu s bruto tonažom od 150 ili više mora posjedovati knjigu o uljima 2 (Prostor tereta). Format knjige o uljima 2, bilo da je integriran u službeni brodski dnevnik ili se vodi odvojeno, mora se pridržavati specifikacija detaljnih u Dodatku 3 ovog Priloga.

Knjiga o uljima 2 mora biti uredno ispunjena u svim slučajevima, slijedeći pristup kad god se dogodi bilo koja od sljedećih operacija tereta / balasta unutar broda:

- Balastiranje spremišnih tankova i čišćenje balastnih tankova
- Pražnjenje taložnih tankova
- Utovar naftnog tereta
- Transfer naftnog tereta tijekom plovidbe
- Čišćenje tankova uključujući pranje sirovom naftom
- Istovar naftnog tereta
- Pražnjenje balasta osim iz odvojenih balastnih tankova
- Zatvaranje svih ventila ili sličnih uređaja nakon ispuštanja taložnih tankova
- Zatvaranje svih ventila potrebnih za izolaciju određenih čistih tankova i pražnjenje cjevovoda nakon ispuštanja taložnog tanka
- Zbrinjavanje ostataka [8]

U slučaju tankera za naftu, kombinirana količina ulja i vode koja se koristi za potrebe čišćenja i koja je nakon toga vraćena u spremnik treba dokumentirati u knjizi o uljima II. Ako dođe do ispuštanja ulja ili uljne smjese ili ako se dogodi slučajno ili neuobičajeno pražnjenje ulja koje nije izuzeto tim propisom, detaljan prikaz koji sadrži okolnosti i opravdanja za pražnjenje mora biti dokumentiran u knjizi o uljima 2. Svaka radnja mora biti brzo i sveobuhvatno dokumentirana u knjizi o uljima, osiguravajući da su svi relevantni unosi koji odgovaraju toj operaciji temeljito ispunjeni (tablica 2).

**TABLICA 2. Primjer za tjedni unos u knjigu ulja za zauljene vode i tankove [7]**

Datum	Kod	Predmet	Zapisnik o radu/potpis časnika u službi
30/stu/2010	C	11,1	Tank otpadnog ulja
		11,2	13.4 m <sup>3</sup>
		11,3	6.3 m <sup>3</sup>
			(potpis odgovorne osobe)
30/stu/2010	C	11,1	Tank za zauljene nečistoće ulja
		11,2	6.0 m <sup>3</sup>
		11,3	3.2 m <sup>3</sup>
			(potpis odgovorne osobe)
30/stu/2010	C	11,1	Tank svježeg uljnog taloga
		11,2	6.0 m <sup>3</sup>
		11,3	1.0 m <sup>3</sup>
			(potpis odgovorne osobe)

Nakon dovršetka svake radnje, časnik odgovoran za nadzor radnje mora potpisati zapisnik za tu radnju, a zapovjednik broda dužan je potpisati svaku popunjenu stranicu knjige. Bilo koji kvar ili kvar sustava za nadzor i kontrolu ispuštanja ulja mora biti zabilježen.

Knjiga o uljima treba biti pohranjena na mjestu gdje se može lako pristupiti inspekciji u bilo kojem trenutku. Knjiga o uljima treba biti pohranjena na mjestu gdje se može lako pristupiti inspekciji u bilo kojem trenutku.

Ovlašteno tijelo stranke Konvencije ima pravo pregledati knjigu ulja 2 koja se nalazi na brodu bilo kojeg broda koji je predmet ovog Priloga. Ovo ispitivanje može se dogoditi dok je brod prisutan u lučkim ili obalnim terminalima odgovarajuće stranke. Ovlašteno tijelo

također ima ovlasti stvoriti duplikat bilo kojeg unosa u knjigu, a oni mogu tražiti od zapovjednika broda da potvrdi da duplikat točno predstavlja izvorni unos.

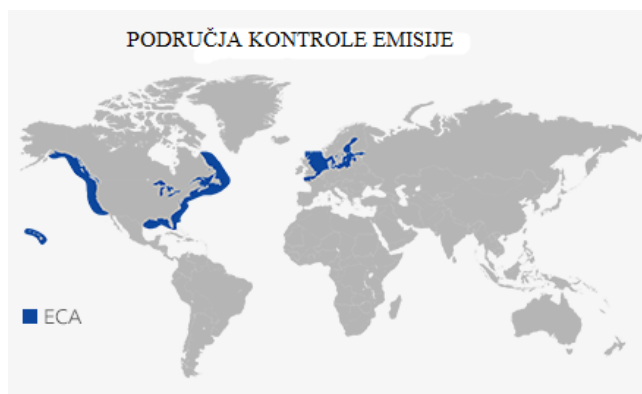
### 2.3. MARPOL 73/78 PRILOG VI

MARPOL prilog VI ključna je komponenta ugovora MARPOL ( Zagađenje mora ) koji je uspostavila Međunarodna pomorska organizacija. Ovaj prilog bavi se smanjenjem onečišćenja zraka s brodova, usredotočujući se prvenstveno na emisije sumpornih oksida i dušikovih oksida, kao i na čestice. Postavlja ograničenja sadržaja sumpora u brodskim gorivima i utvrđuje stroge propise za emisiju NO<sub>x</sub> iz brodskih motora, sa strožim zahtjevima u određenim područjima za kontrolu emisija. MARPOL prilog 6 igra vitalnu ulogu u promicanju ekološki održivih pomorskih praksi i poboljšanju kvalitete zraka ublažavanjem štetnih utjecaja onečišćenja povezanih brodarstvom na zdravlje ljudi i globalni ekosustav.

Tijekom godina postojanja ovog priloga, dolazilo je do brojnih izmjena pravilnika vezano za sadržaj sumpora u gorivu, pa se tako postotak dozvoljenih čestica sumpora kretao na sljedeći način:

- 4,50 % m/m do 1. siječnja 2012
- 3,50 % m/m nakon 1. siječnja 2012
- 0,50 % m/m nakon 1. siječnja 2020. [9]

Veliku važnost u svjetskom prometu imaju ECA (eng. Emmision Control Area) zone (slika 1) u kojima regulative su značajno strože.



**Slika 1. Prikaz SECA područja [10]**

To su područja u kojima je cilj svest na minimum zagađenja zraka ispušnim plinovima s brodova, a dopuštene količine ispušnih čestica su se kroz godine kretale prema sljedećim postotcima:

- 1,50% m/m do 1. srpnja 2010
- 1,00% m/m nakon 1. srpnja 2010
- 0,10% m/m nakon 1. siječnja 2015. [9]

S pronalaskom novih rješenja za smanjenje štetnih emisija poput goriva s niskim udiom sumpora, isto tako se i definiraju nekoliko potencijalnih izazova povezanih s gorivima s niskim sumporom i primjenom SECA (eng. *Sulphur Emission Control Area* ).



**Slika 2. Prikaz SECA područja [10]**

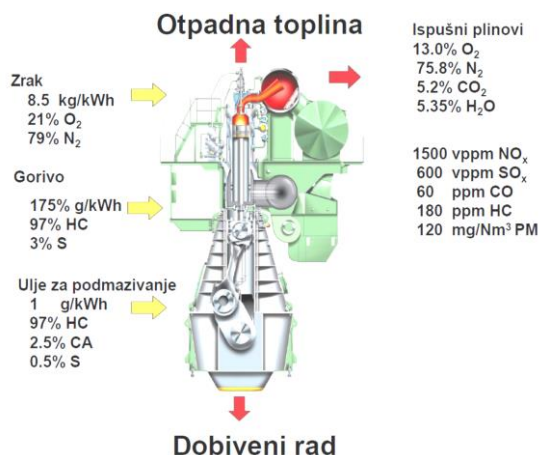
Ističu se zabrinutosti poput paljenja i izgaranja koje proizlaze iz smanjenog sadržaja sumpora, kao i pojačana prisutnost katalitičkih sitnih abrazivnih čestica koje mogu nanijeti štetu motoru. Nadalje, naglašavaju se mogućnost da toksične tvari kontaminiraju goriva, što bi moglo predstavljati rizik za članove posade i pojedince kako na brodu tako i na obali. Također postavlja se sumnja u sposobnost tržišta da osigura veliku opskrbu bunkera s niskim sumporom zbog uvođenja SECA Sjevernog mora. I na kraju, operativna prepreka koja se utvrdila uključuje sitnice preciznog određivanja vremena prelaska na mandatno gorivo za ulazak i rad unutar SECA (slika 2). Čak i ako je potrebno gorivo dostupno na brodu, neblagovremeni ili nepravilno izveden prijelaz mogao bi dovesti do kršenja SECA. [11]

### 3. ONEČIŠĆENJE ISPUŠNIM PLINOVIMA

Zagađenje iz ispušnih plinova koje brodovi ispuštaju značajna je briga za okoliš koja utječe i na kvalitetu zraka i na globalnu klimu. Ove emisije, koje se sastoje od sumpornih oksida, dušikovih oksida, čestica i stakleničkih plinova poput ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), rezultat su izgaranja fosilnih goriva u morskim motorima. Ti zagađivači ne samo da doprinose stvaranju smoga i respiratornim problemima u obalnim područjima, već imaju i dalekosežne posljedice. Na primjer, sumporne emisije mogu dovesti do zakiseljavanja oceana, šteteći morskim ekosustavima. Emisije  $\text{NO}_x$  nisu samo štetne za zdravlje ljudi, već doprinose stvaranju prizemnog ozona i doprinose globalnom zatopljenju. Uz to, oslobađanje  $\text{CO}_2$  i drugih stakleničkih plinova s brodova doprinosi ukupnom porastu koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi, pogoršavajući klimatske promjene. Rješavanje ovog višestrukog izazova zahtijeva međunarodne propise, tehnološki napredak i alternativna goriva kako bi se umanjili štetni učinci zagađenja ispušnih plinova koje stvaraju brodovi.

#### 3.1. GLAVNI ONEČIŠĆIVAČI ZRAKA

Glavni onečišćivači u emisiji ispušnih plinova se javljaju kao izravan rezultat procesa izgaranja u cilindru brodskog motora. Na slici 3 je prikazan tipičan sastav emisije ispušnih plinova. Važnu ulogu u određivanju sadržaja emisije ispušnih plinova ima kvaliteta goriva koja se koristi, dok se brzina okretaja motora pokazala kao jedan od glavnih čimbenika koji određuje količinu dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ) u emisiji ispušnih plinova.



Slika 3. Tipičan sastav emisije ispušnih plinova sporokretnog dvotaktnog motora [27]

U narednom tekstu će biti nešto više rečeno o svakom elementu emisije ispušnih plinova, a u Tablici 3 je prikazano podrijetlo elemenata.

**TABLICA 3. Podrijetlo glavnih elemenata emisije ispušnih plinova [12]**

Element emisije	Podrijetlo elementa emisije
SO <sub>x</sub>	Funkcija sadržaja sumpora u gorivu.
CO <sub>2</sub>	Funkcija procesa izgaranja.
CO	Funkcija omjera potrebne količine zraka za izgaranje i temperature izgaranja i mješavine zraka i goriva.
HC	Funkcija neizgorenog goriva i ulja za pomazivanje tijekom procesa izgaranja, a u velikoj mjeri ovisi i o samoj konstrukciji motora.
Čestice (čada)	Funkcija neizgorenog goriva i pepela iz goriva i ulja za podmazivanje.
NO <sub>x</sub>	Funkcija vršnih temperatura izgaranja, sadržaja kisika i dužine trajanja procesa izgaranja.

### 3.1.1. Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)

Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) je bezbojan plin bez mirisa i jedan od osnovnih produkata izgaranja dizelskih motora. Osnovni način smanjenja emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) je smanjenje specifičnog potroška goriva (SFOC) ili povećanje toplinske učinkovitosti. Alternativa je uporaba goriva sa niskim omjerom ugljika u odnosu na vodik, a što uvelike poskupljuje goriva za brodsku uporabu. Današnji veliki dvotaktni dizelski motori zadovoljavaju propisanu razinu ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), propisanu konvencijom MARPOL 1973/78, Poglavlje 4, Prilog VI, a buduća postroženja zakonskih odrednica je još uvijek moguće zadovoljiti tehničkim preinakama. Većina ispušnih plinova sadrži ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) kao posljedicu izgaranja ugljika (C) i kisika (O).

Maksimalna koncentracija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) će nastati prilikom stehiometrijskog izgaranja, tj. kada sveukupno gorivo reagira sa kisikom iz zraka prilikom izgaranja. Stvarna koncentracija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) ovisi o relativnom sadržaju ugljika (C), vodika (H) i drugih gorivih tvari unutar goriva. U tablici III su prikazane maksimalne vrijednosti ugljikovog dioksida (CO<sub>2, max.</sub>), za suhe ispušne plinove, kod uporabe standardnih vrsta goriva.

Za ostala, poznata ugljikovodična goriva maksimalna vrijednost ugljikovog dioksida (CO<sub>2, max.</sub>) se može izračunati prema izrazu

$$CO_{2, max.} = \frac{\text{broj } CO_2 \text{ molekula nastalih prilikom stehiometrijskog izgaranja}}{\text{ukupan broj molekula nastalih izgaranjem}} \quad (1)$$

za „suhe“ ispušne plinove



$$CO_{2,max.} = \frac{c}{c + \frac{h}{2} + \frac{79,1}{20,9} \cdot \left(c + \frac{h}{4}\right)} \% \quad (2)$$

za „vlažne“ ispušne plinove

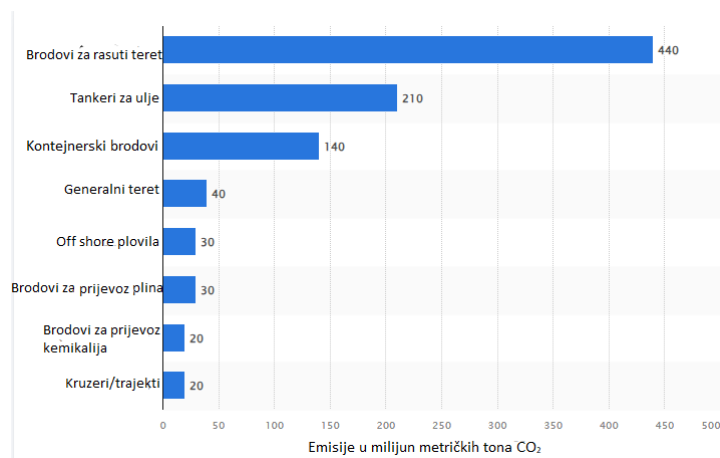
$$CO_{2,max.} = \frac{c}{c + \frac{79,1}{20,9} \cdot \left(c + \frac{h}{4}\right)} \% \quad (3)$$

gdje  $c$  i  $h$  predstavljaju broj atoma ugljika i vodika u svakoj molekuli ugljikovodičnog goriva. Ova dva izraza se razlikuju jer vlažni ispušni plin uključuje vodu, tj. vodenu paru proizvedenu tijekom izgaranja. Stvarna izmjerena koncentracija ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ) nikada neće odgovarati računalno dobivenoj maksimalnoj koncentraciji ugljikovog dioksida ( $CO_{2,max.}$ ), jer izrazi (2) i (3) ignoriraju niz stvarnih čimbenika kao što su vlaga u gorivu i gubitak ispušnih plinova uslijed propuštanja na strojnom sustavu. Korištenjem ovih izraza se prilično precizno može izračunati vrijednost maksimalne koncentracije ugljikovog dioksida ( $CO_{2,max.}$ ) čak i u slučaju kada se ne koriste čista ugljikovodična goriva.

Prema izrazu (4) se može izračunati koncentracija ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ) u emisiji ispušnih plinova, pod uvjetom da je poznata koncentracija kisika [ $O_2$ ] i maksimalna koncentracija ugljikovog dioksida ( $CO_{2,max.}$ ) ili vrsta goriva.

$$[CO_2] = \frac{CO_{2,max.} \cdot (20,9 - [O_2])}{20,9} \quad (4)$$

Na slici 3 prikazana je količina ispuštenog  $CO_2$  s različitih vrsta brodova.



**Slika 4. Emisija ugljičnog dioksida u svjetskom brodarstvu u 2020. godini, prema vrsti broda [14]**

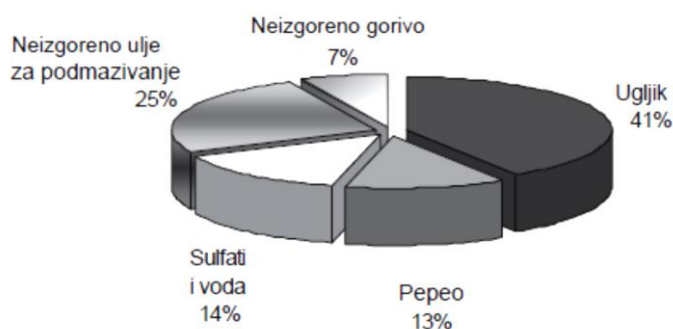
Brzo povećanje razine CO<sub>2</sub> zbog ljudskih aktivnosti, posebno izgaranja fosilnih goriva poput ugljena, nafte i plina, dovelo je do pojave koja je poznata kao antropogene ili klimatske promjene uzrokovane ljudima. CO<sub>2</sub> djeluje kao staklenički plin, hvatajući toplinu u atmosferi i doprinosi zagrijavanju planeta. Ovo zagrijavanje stvara širok spektar utjecaja na okoliš, uključujući porast razine mora, češće i jače toplotne valove, izmijenjene vremenske obrasce i poremećaje ekosustava i biološke raznolikosti. Kao takvo, upravljanje i smanjenje emisije CO<sub>2</sub> postalo je globalni prioritet u nastojanju da se ublaže štetni učinci klimatskih promjena i tranzicije ka održivijoj i otpornijoj budućnosti.

### 3.1.2. Ugljikovodici (HC)

Emisije ugljikovodika (HC) se u dizelskim motorima sastoje od raspadnutih molekula goriva ili izmjenjenih među-spojeva, a drugi su izvor ulja za podmazivanje. Tijekom perioda zakašnjelog paljenja smjese ugljikovodici se formiraju kao rezultat prebogate smjese gorivo-zrak ili kao rezultat nedovoljno izmješane smjese koja se nemože zapaliti i poduprijeti izgaranje. Kod ubrizganog goriva nakon perioda zakašnjelog paljenja smjese, dolazi do slabog miješanja goriva i produkata pirolize sa zrakom što rezultira prebogatom smjesom i gušenjem procesa izgaranja, a što u konačnici dovodi do nepotpunog izgaranja i emisije ugljikovodika (HC). Pri radu dizelskih motora s malim opterećenjem emisija ugljikovodika je znatna, a isto vrijedi i pri naglom povećanju opterećenja radi prebogate smjese uslijed tromosti turbopuhala. Primarne zone najveće proizvodnje emisije ugljikovodika (HC) se nalaze po obodu zone reakcije gdje je smjesa presiromašna da bi gorila; u gorivu koje je zaostalo u sapnici rasprskavača (u tom slučaju gorivo ulazi u cilindar pri veoma maloj brzini, tj. kapa u cilindar pri samome kraju procesa izgaranja); u jezgri i repu mlaza goriva. U atmosferi su ugljikovodici podvrgnuti fotokemijskoj reakciji sa dušikovim oksidima (NO<sub>x</sub>) tvoreći na taj način smog i prizemni ozon. Emisija ugljikovodika (HC) je normirana kao ukupni ugljikovodik THC (eng. **T**otal **H**ydro**C**arbons) ili kao bezmetanski ugljikovodici NMHC (eng. **N**on-**M**ethane **H**ydro**C**arbons). Veličina emisije ugljikovodika (HC) uvelike je ovisna o opterećenju motora, parametrima okoline i o sistemu prednabijanja i ubrizgavanja. Vidljivo je da postoji čvrsta veza između čađe i ugljikovodika, barem što se tiče povećanja opterećenja [15].

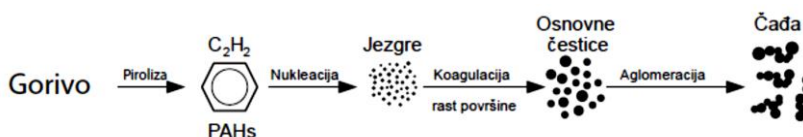
### 3.1.3. Čestice i čađa

Emisija čestica PM (eng. Particular Metters) koja nastaje izgaranjem u dizelskom motoru se uglavnom sastoji od neizgorenog goriva i ulja za podmazivanje. Veličina čestica se kreće od čak 20 nm pa do uobičajenih 10  $\mu\text{m}$  što jasno pokazuje da su štetni za respiratorne organe kako ljudi tako i životinja. Emisija čestica se obično dijeli na topive organske frakcije SOF (eng. Soluble Organic Fraction) i na netopivu ili suhu frakciju IF (eng. Insoluble or Dry Fraction), a koja se obično koristi za procjenu količine čađi. Postotak čestica i čađe u ukupnoj emisiji ispušnih plinova varira ali se obično kreće od 40-50%. Ostali čimbenici emisije čestica i čađe su: neizgoreni dijelovi goriva i ulja za podmazivanje, voda, čestice metala nastale trenjem strojnih elemenata, pepeo iz goriva i ulja za podmazivanje i sulfati iz goriva. Na slici 30 je prikazan tipičan sastav emisije čestica i čađe. Količina frakcije sumporna kiselina-sulfati je otprilike proporcionalna udjelu sumpora u gorivu. Udio čestica nastao uslijed neizgorenog goriva i ulja za podmazivanje varira od motora do motora, a uvelike ovisi i o samoj kondiciji motora, a može se kretati od manje od 10% pa sve do 90% masenog udjela neizgorenog goriva i ulja za podmazivanje [15].



**Slika 5. Shematski prikaz sastava emisije čestica i čađe velikih dvotaktnih sporokretnih motora [15]**

*Tvorba čađe prema Acetilen hipotezi*



**Slika 6. Shematski prikaz procesa nastanka čađe [15]**

Gornja slika prikazuje korake u procesu formiranja čađe iz plinske faze u čvrste aglomerirane, tj. nakupljene čestice. Čađa se formira od neizgorenog goriva koje nukleira iz parne faze u čvrstu fazu u područjima koja su bogata gorivom, pri povišenoj temperaturi. Ugljikovodici ili druge dostupne molekule mogu se kondezirati ili ih može apsorbirati čađa, ovisno o okolnim uvjetima. Razvoj tekuće ili parne faze ugljikovodika do čvrstih

čestica čađe, kao i mogući povratak na produkte plinovite faze uključuje šest uobičajenih identificiranih procesa, a imenovane su kao:

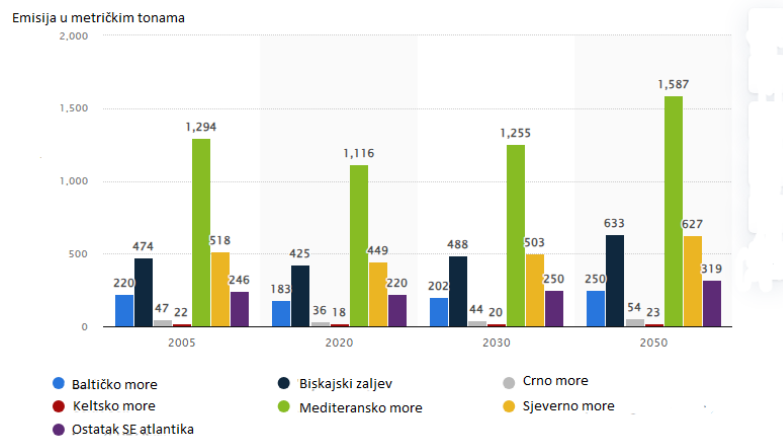
- Piroliza: endotermni proces koji mijenja molekularnu strukturu goriva uz prisustvo visoke temperature uslijed čega nastaju policiklički aromatski ugljikovodici PAHs (eng. **P**olycyclic **A**romatic **H**ydrocarbons) kao preteća čađe;
- Nukleacija: spontano formiranje jezgre ili nano čestica od lako hlapljivih supstanci kao što su ugljikovodici;
- Rast površine: proces dodavanja mase na površinu nukleiranih (jezgrenih) čestica čađe;
- Koagulacija: proces gdje se osnovne čestice sudaraju i stapaju u veće čestice;
- Aglomeracija (nakupljanje): proces u kojem se čestice drže zajedno te formiraju velike skupine primarnih čestica u lančanim strukturama,
- Oksidacija: proces koji se javlja u svakoj fazi procesa, pri temperaturama višim od 1300° K pri kojima čađa izgara u prisutnosti oksidirajućih vrsta, te nastaju plinoviti produkti kao što su ugljikov monoksid (CO), ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) i voda (H<sub>2</sub>O).

Najučinkoviti način smanjenja emisije čestica (PM) je uporaba kvalitetnijeg goriva, a što iziskuje znatne dodatne troškove. Smanjenje emisije čestica (PM) može se postići povećanjem tlaka ubrizgavanja goriva što dovodi do kvalitetnijeg miješanja goriva i zraka, a također i naknadnom obradom emisije ispučnih plinova.

#### **3.1.4. Dušikovi oksidi**

Osim čestica i čađe, dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) su najznačajniji zagađivači u emisiji ispušnih plinova. Dušikove okside (NO<sub>x</sub>) tvore dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>). Dušikov monoksid (NO) je zastupljen s gotovo 90% volumnog udjela, dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>) sa oko 5% volumnog udjela, dok se dušikov (I) oksid (N<sub>2</sub>O), dušikov trioksid (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i dušikov pentoksid (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) javljaju u tragovima. Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) su jako ovisni o temperature izgaranja, lokalnoj koncentraciji kisika i dužini trajanja procesa izgaranja. Od ostalih ovisnosti valja spomenuti vrijeme ubrizgavanja goriva, temperatura ispirog zraka, kvaliteta smjese i kvalitetu goriva. Istraživanja pokazuju da se dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) većim dijelom formiraju tijekom difuzijskog perioda izgaranja, a manjim dijelom tijekom homogene faze. Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) mogu također biti uzročnici tvorbe ozona (O<sub>3</sub>), odnosno kruga reakcija, kojeg neki autori nazivaju i “vražjim krugom”. Dušikov monoksid (NO) nastao izgaranjem u cilindru motoru nestabilan je i lako prelazi u dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>).

Velike količine dušikovih oksida dolazi s brodova, što je i prikazano na slici 4.



**Slika 7. Emisije NOx s brodova u Europi od 2005. do 2050. [14]**

Zbog pretežne tvorbe dušikova monoksida (preko 90 %) pri izgaranju u dizelskim motorima, razmatra isključivo tvorba dušikovog monoksida (NO). Kod mjerenja obično se mjeri samo emisija dušikovog monoksida (NO). U procesu izgaranja dušikov monoksid (NO) može nastati na četiri različita načina [16, 17, 18]:

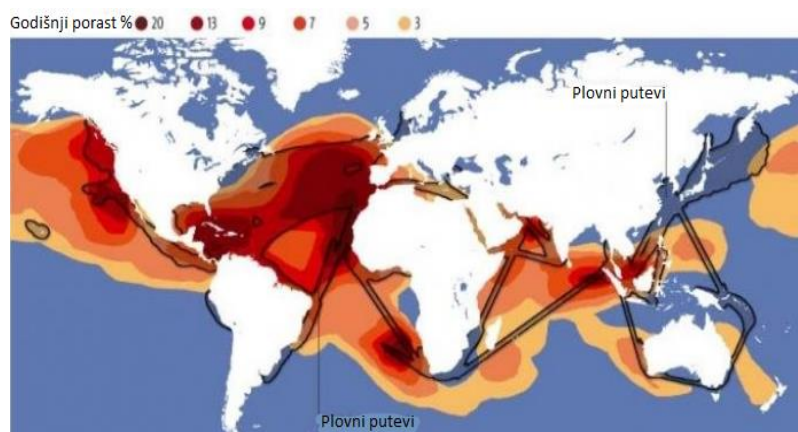
- kao termički dušikov monoksid (NO);
- kao brzi, tj. promptni dušikov monoksid (NO);
- kao dušikov monoksid (NO) iz dušik (I) oksida (N<sub>2</sub>O);
- kao dušikov monoksid (NO) iz goriva.

U atmosferi NOx može dovesti do stvaranja prizemnog ozona i pridonijeti stvaranju sitnih čestica, koje obje imaju štetne učinke na zdravlje ljudi, uzrokujući respiratorne probleme i pogoršavajući kardiovaskularne probleme [13]. Emisije NOx također igraju ulogu u stvaranju kisele kiše koja oštećuje ekosustave i vodene sredine. Štoviše, NOx ima globalne posljedice jer doprinosi atmosferskim reakcijama koje utječu na iscrpljivanje ozona i klimatske promjene. Kao takvi, naponi na kontroli i smanjenju emisija NOx od vitalnog su značaja za očuvanje kvalitete zraka, zdravlja ljudi i ukupne dobrobiti planete.

### 3.1.5. Sumporovi oksidi

Sumporni oksidi obuhvaćaju skupinu spojeva, prije svega sumpornog dioksida (SO<sub>2</sub>), koji imaju značajne utjecaje na okoliš. Iako prirodni izvori poput vulkanske aktivnosti oslobađaju SOx, ljudske aktivnosti, posebno izgaranje fosilnih goriva, značajno

doprinosu njihovoj emisiji, pa su tako najveća područja emisije SO<sub>x</sub>-a s brodova prikazana na slici 5.



**Slika 8. Emisija SO<sub>x</sub> s brodova u svjetskom prometu [19]**

Emisija SO<sub>x</sub> dovodi do stvaranja sulfatnih aerosola i sitnih čestica, što može naštetiti kvaliteti zraka i ljudskom zdravlju uzrokujući respiratorne probleme i pogoršavajući kardiovaskularne uvjete. Ovi spojevi također doprinose fenomenu kisele kiše [13] koja oštećuje ekosustave, tlo, vodena tijela i izgrađene strukture. Uz to, SO<sub>x</sub> igra ulogu u atmosferskoj kemiji i može utjecati na klimatske obrasce utječući na stvaranje oblaka i odražavajući sunčevu svjetlost, utječući tako na lokalnu i globalnu klimu. Napori u suzbijanju emisija SO<sub>x</sub> ključni su za ublažavanje štetnih učinaka na kvalitetu zraka, zdravlje, ekosustave i šire okruženje.

Ograničenje sadržaja sumpornih oksida (SO<sub>x</sub>) je uglavnom u nadležnosti država koje propisuju područja SECAs (eng. *Sulphur Emission Control Areas*), a o čemu je bilo više govora u prethodnom poglavlju.

Osim snižavanjem sadržaja sumpora u gorivu desumporifikacijom emisije ispušnih plinova, uspješno se provodi i mokrom filtracijom ispušnih plinova. Ispušni plinovi se prvo provode kroz prigušnik gdje se hlade do temperature zasićenja, a zatim se sumporni oksidi (SO<sub>x</sub>) ispiru, tj. neutraliziraju uz pomoć vezanog kalcija u vapnenom mlijeku.

Sumporni oksidi (SO<sub>x</sub>) koji su se formirali u ispušnim plinovima su korozivni, ali su dijelom neutralizirani djelovanjem aditiva u cilindarskom ulju za podmazivanje.

U atmosferi se sumporni oksidi (SO<sub>x</sub>) vežu s vlagom u obliku sumporne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), koja se potom izlučuje putem kiselih kiša.

## 4. ONEČIŠĆENJE MORA ULJIMA I METODE SPRIJEČAVANJA ONEČIŠĆENJA

Zagađenje uljima i naftnim derivatima predstavlja značajan izazov za okoliš koji proizlazi iz slučajnih izlivanja, kroničnog istjecanja i nepravilnog odlaganja naftnih derivata. Ovi incidenti, često uzrokovani ljudskim aktivnostima poput brodarstva, bušenja na moru i industrijskih operacija, rezultiraju ispuštanjem sirove nafte ili rafiniranih proizvoda u kopneni i vodeni okoliš. Zagađenje naftom i uljem može imati razorne posljedice, štete morskim ekosustavima, vodenom životu i obalnim staništima. Trajno prisustvo nafte može dovesti do dugoročnih ekoloških poremećaja, oblaganja biljaka i životinja, začepjenja vitalnih staništa i onečišćenja lanaca hrane. Uz to, izlivanje nafte ima ekonomske posljedice, utječući na industrije poput ribarstva, turizma i lokalne zajednice koje ovise o čistim i zdravim ekosustavima. Učinkovite mjere prevencije, strogi propisi, poboljšane strategije reagiranja i napredak u tehnologijama čišćenja ključni su za ublažavanje utjecaja onečišćenja naftom i očuvanje osjetljivih ekosustava i dobrobiti ljudi.

### 4.1. SEPARATORI ZAULJENIH VODA

Separatori ulja i vode predstavljaju najvažniji pomoćni uređaj na brodovima. Njegova primarna funkcija leži u obradi kaljužne vode, što u konačnici daje vodu koja ispunjava potrebne standarde za zakonito ispuštanje s broda. Svi tankeri 150 BT ili više, kao i svaki drugi brod 400 BT ili više mora biti opremljen ovim uređajem.

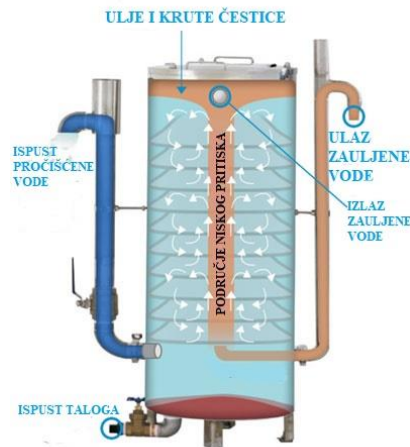
S dolaskom MARPOL konvencije, zahtjevi koje je konvencija nalogala su bili da udio čestica ulja u vodi ne prelazi 100 ppm (eng. *parts per million*). S postroženjima koja su dolazila s godinama, 1992. se ta brojka spustila na 15 ppm [20].

Osim toga, uređaji za odjeljivanje mogu imati mogućnost grijanja zauljene vode u svrhu lakšeg odjeljivanja, a proces grijanja se provodi isključivo parom.

#### 4.1.1. Gravitacijski separator

Radi na principu specifičnog razdvajanja temeljenog na gravitaciji, separator (slika 6) ima ulogu kao osnovna pomoćna komponenta na brodovima. Slabija strana ovog uređaja je, uslijed valjanja broda, lošija separacija gravitacijom te se slabije koristi na brodovima. Djelujući na pretpostavci diferencijalne gustoće tekućina, ovaj mehanizam orkestrira proces u kojem voda, zbog svoje veće specifične težine, gravitira prema dolje,

dok ulje ima manju specifičnu težinu, izlazi na površinu vode [20]. Sastoji se od brojnih ploča protkanih oleofilnim svojstvima, dizajniranih da privuku ulje, a separator olakšava koalescenciju mješavina ulje i voda. Nakon prolaska kroz sustav dolazi do postupnog združivanja ulja na donjim stranama ploča, tvoreći različite kapljice. Te se kapljice odvajaju od ploča i skupljaju na površini komore. Nakon toga, nakupljeno ulje se uspinje u rezervoar za naftu, da bi se na kraju moglo pustiti s broda u kasnijem trenutku.



**Slika 9. Gravitacijski separator ulja [21]**

#### 4.1.2. Centrifugalni separator zauljenih voda

Centrifugalni separator zauljenih voda je uređaj koji odvaja čestice ulja od vode rotacijom. Obično se sastoji od cilindričnog spremnika koji se rotira velikom brzinom unutar većeg, stacionarnog spremnika.

Mješavina ulja i vode se pumpom dodaje u spremnik za odvajanje pod određenim kutem, čime se stvara rotirajući vrtlog. Filtriranje je rezultat ravnoteže sila koje se javljaju na tekućinama koje se nalaze u vrtlogu. Ulje, koje ima manju specifičnu težinu, ostaje u sredini vrtnje, dok se voda odvaja na rubove i izlazi iz separatora kroz otvore. Preostale čestice ulja odvođe se kroz usisni otvor na sredini spremnika.

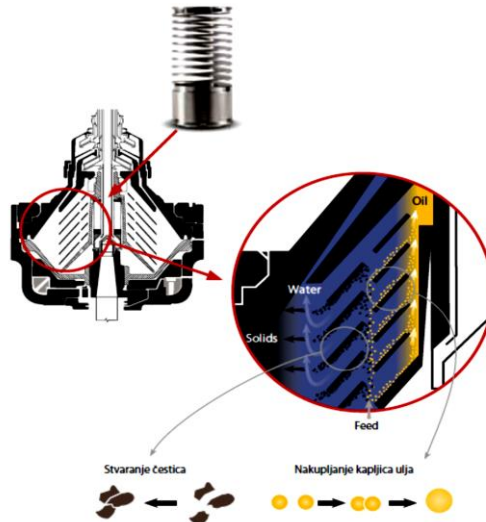
U centrifugalnom separatoru sila gravitacije je do tisuću puta veća nego kod drugih separatora, stoga je proces odvajanja ulja puno bolji i uspješniji. [22]

Ovaj tip separatora ima mnoge prednosti nad ostalima, a to su:

- Jača sila gravitacije – brže i kvalitetnije odvajanje;
- Manje radnih dijelova;
- Niska cijena održavanja;



- Kompaktna veličina;
- Jednostavnost korištenja i održavanja;
- Visoke performanse;
- Filter za automatsko čišćenje.



**Slika 10. Centrifugalni separator zauljenih voda [22]**

Na slici 7 je prikazan je automatski centrifugalni separator s ugrađenim grijačem. Napojna pumpa promjenjive brzine dovodi zauljene vode u filter gdje se veće čestice nečistoća odvajaju, a emulzija nastavlja kroz grijač. U grijaču se temperatura emulzije podiže na 60 - 70 °C, kako bi se ostvarila optimalna učinkovitost odvajanja. Nakon grijača, troputni elektromagnetski ventil usmjerava emulziju prema nastavku procesa separacije ako su svi uvjeti, kao što su temperatura, tlak i brzina, zadovoljeni. U slučaju da uvjeti nisu zadovoljeni, ventil preusmjerava emulziju natrag u kaljužni tank. Zatim emulzija koja udovoljava uvjetima dolazi do pločastog djelitelja koji ju ubrzava i uvodi u prostor za odvajanje uz minimalnu količinu pjene, što uvjetuje povećanje učinkovitosti, jer se kapljice ulja ne razdvajaju. Ovdje dolazi do procesa centrifugiranja brzinom od 8000 okretaja u minuti, a ulje i emulzija odvojeni od vode konstantno se odvođe kroz izlaz za ulje. Čvrste tvari sakupljene na stjenkama separatora te se u unaprijed određenim intervalima odvođe u taložni ili otpadni tank. Pumpa za vodu konstantno odvođi pročišćene zauljene vode kroz izlaz za vodu, a daljnja destinacija zauljenih voda ovisi o koncentraciji ulja. Ako je koncentracija veća od 15 ppm zauljene vode se vraćaju u tank zauljenih voda.

## **5. TEHNIKE ZA OTKLANJANJE I SPRIJEČAVANJE ŠTETNIH EMISIJA**

Za smanjenje ispuštanja štetnih tvari s brodova koriste se dvije različite metode: primarne i sekundarne metode. Primarni pristupi usredotočeni su na sprečavanje stvaranja štetnih tvari unutar samog motora, dok sekundarne metode imaju za cilj ublažavanje ili iskorjenjivanje već nastalih štetnih emisija. U primarne metode spadaju: emulzifikacija, optimizacija rada motora, ovlaživanje ispirnog zraka, recirkulacija ispušnih plinova.

U sekundarne metode spada: selektivna katalitička redukcija.

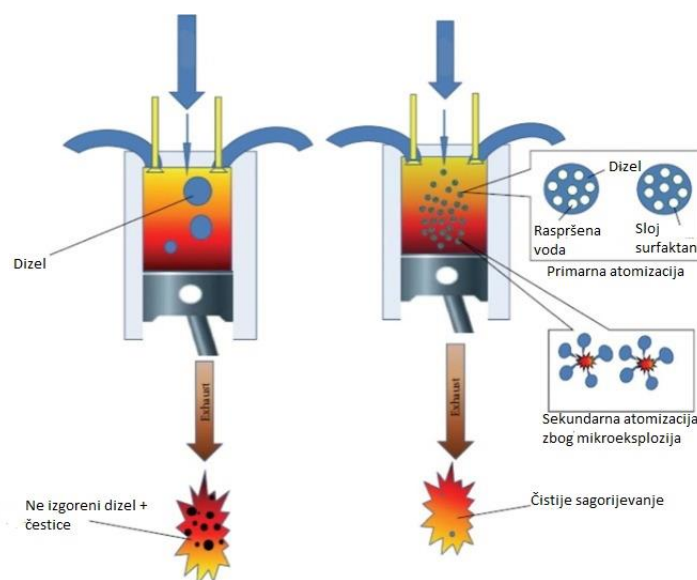
### **5.1. Primarne metode za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>-a**

#### **5.1.1. Emulzifikacija**

Uvođenje vode u dizelske motore obično koristi tri primarna pristupa: izravno ubrizgavanje u komoru za izgaranje pomoću standardnog injektora, zapaljenje vode u usisni zrak motora, i stvaranje emulzija vode i dizela. Daljnjim ispitivanjima ovih metoda podvukle su se prednosti uključivanja vode u dizelsko gorivo, otkrivajući istodobno smanjenje emisija dušikovih oksida i čestica. Među tim pristupima, emulzifikacija goriva pojavljuje se kao posebno obećavajuća, jer daje željene karakteristike emisije bez potrebe za naknadnom ugradnjom motora [23]. Nadalje, fenomen mikroeksplozije koji uključuje čestice vode tijekom izgaranja pojačava atomizaciju i olakšava bolje miješanje smjese zraka i goriva, pridonoseći učinkovitijim procesima izgaranja (slika 8). Emulzija sadrži dvije djelomično nemiješive tekućine, gdje se jedna tekućina raspršuje kao sićušne sferne kapljice unutar druge. To stvaranje emulzije postiže se visokoenergetskim tehnikama emulgiranja koje olakšavaju površinski aktivna sredstva, poznata i kao površinski aktivne tvari. Takve visokoenergetske metode obuhvaćaju mehaničko miješanje, homogenizatore visokog tlaka, ultrazvučne i nadzvučne vibracije.

Kada se ispituju emisije ispušnih plinova i dušikovih oksida, postaje očito da ultrazvučne i nadzvučne vibracije imaju štetniji utjecaj u usporedbi s emulzijama stvorenim mehaničkim tehnikama homogenizacije. U praktičnim primjenama, rad motora koji koristi emulziju vode i goriva nudi potencijal za postizanje značajnog smanjenja emisija dušikovih oksida do oko 50%. Ovo smanjenje podrazumijeva potrebnu količinu vode od približno jedan posto za svaki postotak smanjena dušikovih oksida. Međutim,

praktična primjena emulzija nailazi na ograničenje povezano s kapacitetom isporuke sustava ubrizgavanja. Kada je cilj integrirati emulzije bez nužnih modifikacija na motoru (na primjer, zamjenjujući postojeće gorivo u postojećim motorima), najveći dopušteni sadržaj vode i stupanj smanjenja NOx ograničeni su na oko 10-20%. Čak i unutar ovih parametara, radni učinak motora možda neće dostići nazivnu snagu, umjesto da djeluje u blago deratiziranom stanju [24].

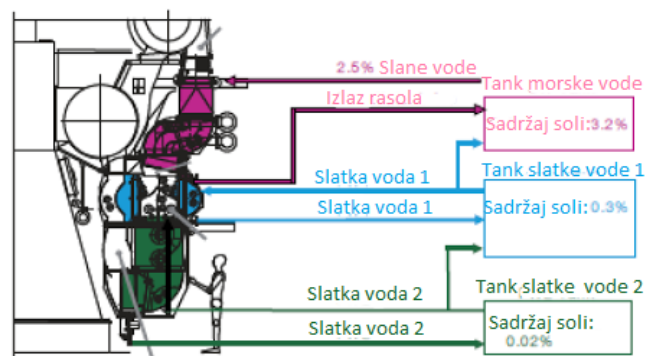


**Slika 11. Prikaz izgaranja prilikom ne korištenja i korištenja emulzifikacije [25]**

### 5.1.2. Ovlaživanje ispirog zraka

Jedna tehnika za smanjenje temperature, poznata kao SAM (eng. *Scavenge Air Moisturizing*) od strane MAN-a i obično se naziva tehnologijom humid Air Motor, uključuje povećanje razine vlage u usisnom zraku. SAM to postiže pomoću morske vode za hlađenje i vlaženje zraka koji izlazi iz usisnog kompresora. Nakon toga koristi se slatka voda za uklanjanje soli iz sustava prije nego što može oštetiti motor. Za primjenu ovog sustava potrebni su posebno dizajnirani dijelovi, specijalizirani materijali i pomoćni strojevi za upravljanje vodom za vlaženje. Te elemente orkestrira programski logički kontroler kako bi se osigurao učinkovit rad. Ovaj sustav sadrži stupanj ubrizgavanja morske vode, gdje se uvodi višak morske vode kako bi se zasitio i ohladio vrući zrak koji se ispušta iz kompresora. Ova faza morske vode odgovorna je za gotovo 100% vlaženje zraka za čišćenje, osiguravajući svu potrebnu vodu za postupak vlaženja. Faze 1 i 2 slatke vode dizajnirane su tako da imaju minimalan utjecaj na temperaturu zraka za čišćenje, koji

u osnovi djeluje na temperaturi koja je blizu neutralnosti u odnosu na zrak za čišćenje. Oni također stvaraju skromnu količinu slatke vode koja je ovisna o odabranim operativnim parametrima. Ove faze slatke vode služe prvenstveno kao faze pročišćavanja kako bi se uklonila sol koja može pratiti zrak iz faze morske vode (slika 9). Ako bi se sol kontinuirano akumulirala u slatkovodnim fazama, to bi na kraju moglo dovesti do neprihvatljive razine sadržaja soli. Da bi se to spriječilo, zasićeni zrak se hladi pomoću hladnjaka za zrak, stvarajući dodatnu slatku vodu za stupanj 2. Taj višak slatke vode zatim se usmjerava natrag uzvodno na strani spremnika SAM sustava, učinkovito omogućavajući kontrolu nad sadržajem soli u slatkovodnim fazama [30].

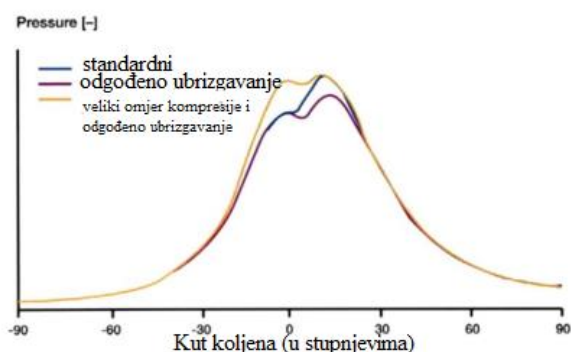


**Slika 12. Sadržaj soli pri 100% opterećenja [27]**

### 5.1.3. Optimizacija rada motora

- Povećanje omjera kompresije i odgođeno vrijeme ubrizgavanja

Kao česta metoda optimiziranja rada motora koristi se povećanje omjera kompresije skupa s odgođenim vremenom ubrizgavanja. Slika 10 prikazuje povezanost između pojačanog omjera kompresije i odgođenog vremena ubrizgavanja. Unatoč dijeljenju veličine vršnog tlaka sa standardnim motorima i događanju oko istog kuta koljena, proces izgaranja u tim motorima lagano kasni. Slijedom toga, takvi motori podliježu smanjenoj kompresiji već zapaljenih plinova, što dovodi do nižih postignutih temperatura u usporedbi sa standardnim motorima. Ova skraćena izloženost povišenim temperaturama koristi motoru minimiziranjem napona povezanog s toplinom. Nadalje, povišeni omjer kompresije istodobno pokreće pojačanu potrošnju goriva, što je rezultat odgođenog vremena ubrizgavanja.



**Slika 13. Tlak u cilindru u slučaju standardnog omjera kompresije i povećane kompresije s odgođenim vremenom ubrizgavanja [27]**

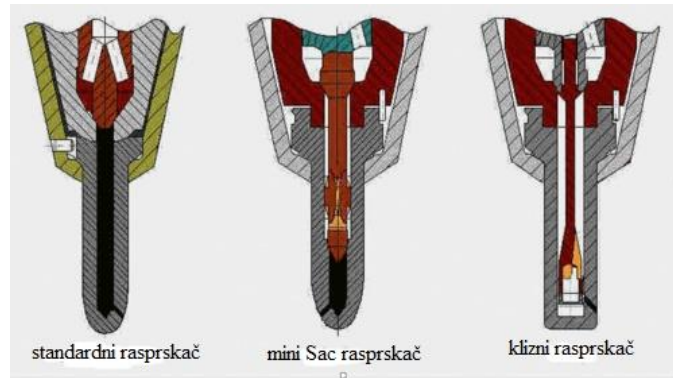
Kroz sveobuhvatna istraživanja tvrtki otkrio je značajan uvid. Povišenjem omjera kompresije s 15,5 na 17 u motorima srednje okretne brzine i istodobnim podešavanjem vremena početka ubrizgavanja kako bi se ublažio značajan porast tlaka izgaranja cilindra, otprilike 20 bara, značajni ishodi su postignuti. Ova strateška promjena daje značajno smanjenje koncentracije dušikovih oksida, smanjujući se s 12 na 8 grama po kilovat-satu (g/kWh), sve uz održavanje konzistentne razine specifične potrošnje goriva [26]. Ovo otkriće naglašava potencijal preciznog inženjeringa za istodobno poboljšanje okolišnih performansi i operativne učinkovitosti. Sličan ishod se dobije i na motorima s malim okretnim brzinama. Sinergija podizanja omjera kompresije i uvođenje kašnjenja vremena ubrizgavanja daje značajne rezultate. Primjenom ove strategije vidljivo je smanjenje do 25% u maksimalnoj koncentraciji emisija dušikovih oksida, a cijelo vrijeme ima marginalni porast od oko 1% u specifičnoj potrošnji goriva. Ovo pojačanje omjera kompresije može se ostvariti izmjenama kompresione komore ili ranim zatvaranjem ispušnog ventila, što dovodi do povećane mase plinova izgaranja unutar cilindra. Ova povećana masa plina dopušta smanjenje vršnih temperatura izgaranja, istodobno povećavajući dostupnost kisika tijekom stvaranja dušičnih oksida.

- Modifikacije na ubrizgaču goriva

Smanjenje emisije dušikovih oksida kod sporokretnih dizelskih motora postiže se korištenjem dva ili tri ubrizgivača goriva postavljenih blizu vanjskog ruba komore za izgaranje. Svaki ubrizgač ima sapnicu na kojoj je veliki broj rupica za ubrizgavanje. Međudjelovanje sapnica i raspršenog goriva uvelike utječe na stvaranje NO<sub>x</sub>-a i njegovu količinu. Ukoliko sapnica ima manji broj rupica nego što bi trebala, koncentracija NO<sub>x</sub>-a raste zbog visoke koncentracije kisika i kasnijih interakcija između područja visoke

temperature. Ukoliko je broj rupica srednji, stvara se niska količina kisika između njih zbog stvaranja izoliranih visoko temperaturnih zona blizu jedna drugoj rupici. A ukoliko je broj rupica velik, stvaranje NO<sub>x</sub>-a i njegova količina je znatno manja jer brzina interakcije među ubrizganim gorivom je jako brza. Optimalni broj rupica na sapnici određuje nisku količinu NO<sub>x</sub>-a. Prilikom izgaranja goriva stvaraju se područja s povećanim tvorevinama NO<sub>x</sub>-a. Tvrtke svojim istraživanjima zaključile su da veliku ulogu igra položaj zone izgaranja s obzirom na metalne glave cilindra i površine klipa. Mjesta gdje su temperature najveće su upravo točka najbliža glavi cilindra i površini klipa. Uvođenjem poboljšanog hlađenja glave cilindra i klipa, gdje se snižavaju temperature tih površina, dobiva se niži sadržaj NO<sub>x</sub>-a u ispušnim plinovima. Ipak, pretjeranim hlađenjem može se dovesti do pretjeranog stvaranja čađe, no idealno smanjenje sadržaja NO<sub>x</sub>-a dovodi i do optimalnog sadržaja čađe. [26]

Danas česta pojava u brodskim motorima su rasprskaci kliznog tipa. Klizni rasprskac služi za uklanjanje takozvanog "sac volumena", gdje se učinkovito smanjuje potrošnja goriva i također se eliminira svako kapanje, tj. propuštanje iz mlaznice ventila za gorivo, a njegova razlika u odnosu na standardni se može vidjeti na slici 11.



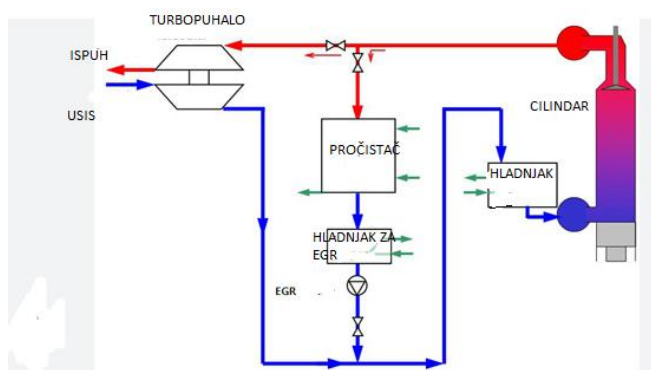
**Slika 14. Prikaz varijacija rasprskaca [29]**

U usporedbi s tradicionalnim ventilima, klizni rasprskaci imaju mogućnost smanjenja NO<sub>x</sub>. Smanjeni volumen inherentno pojačava proces izgaranja, što dovodi do manje naslaga unutar plinskih putova i ukupnog smanjenja emisija, uključujući ugljikovodike, dušikove okside (i čestice). Uz to, pojačano izgaranje značajno smanjuje vidljive uvjete ispušnih plinova. Suprotno tome, motori opremljeni kliznim rasprskacima dobivaju značajnu prednost u doba u kojem je plovidba smanjenom brzinom postala industrijski standard, zahvaljujući poboljšanim performansama s malim opterećenjem u

pogledu stvaranja čađe. Ova prednost smanjuje ili čak eliminira potrebu za radom s velikim okretajima radi čišćenja ispušnih kanala. [28]

#### 5.1.4. Recirkulacija ispušnih plinova

Recirkulacija ispušnih plinova (EGR) učinkovita je tehnika za ublažavanje emisija NO<sub>x</sub> upravo na njihovom izvoru. Ponovnim uvođenjem otprilike 30% ispušnih plinova u proces izgaranja, EGR povećava toplinsku sposobnost i smanjuje sadržaj kisika tijekom izgaranja. Posljedično, to dovodi do smanjenja vršne temperature plamena, što zauzvrat minimizira stvaranje dušikovih oksida. EGR služi kao vrijedna strategija za smanjenje emisija i poboljšanje ekoloških performansi procesa izgaranja. Da bi se zaštitio motor od potencijalnih oštećenja sumpora i čađe prilikom recirkulacije ispušnih plinova, plin se hladi unutar uređaja za pročišćavanje pomoću vode za pranje. Međutim, ključno je da se ova voda za pranje naknadno obrađuje u sustavu za pročišćavanje vode kako bi se ispunili strogi zahtjevi koje je Međunarodna pomorska organizacija postavila. Za razliku od selektivne katalitičke redukcije opreme koja se obično ugrađuje nizvodno od motora, Recirkulacija ispušnih plinova oprema je integrirana izravno u motor (slika 12). Ova integracija rezultira kompaktnim EGR sustavom, a procesi ugradnje i puštanja u pogon su vrlo brzi i pouzdani. [31]



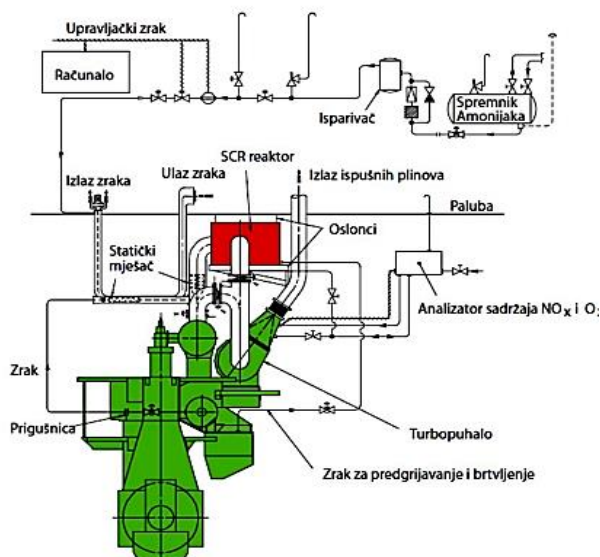
Slika 15. Prikaz sistema za recirkulaciju ispušnih plinova [32]

## 5.2. Sekundarne metode za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>-a

### 5.2.1. Selektivna katalitička redukcija ( SCR )

Selektivna katalitička redukcija SCR (eng. *Selective Catalytic Reduction*) koristi se za značajno smanjenje razine dušičnih oksida u ispušnim plinovima motora korištenjem katalizatora i reducirajućim sredstvom. U taj se postupak u struju ispušnih plinova uvodi otopina vode uree, koja služi kao redukcijsko sredstvo. Nakon ubrizgavanja u vrući ispušni

plin, voda unutar otopine uree isparava. Povišena temperatura također pokreće toplinsko raspadanje uree ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) u amonijak (NH<sub>3</sub>) i ugljični dioksid. Nakon toga, emisije NO<sub>x</sub> unutar ispušnih plinova prolaze kroz transformaciju, reagirajući s amonijakom na katalitičkoj površini da formira molekularni dušik (N<sub>2</sub>) i vodu (H<sub>2</sub>O). Ova kemijska reakcija učinkovito smanjuje štetne emisije NO<sub>x</sub>. Katalitički elementi nalaze se unutar metalne konstrukcije reaktora smještene unutar linije ispušnih plinova. Ishod reakcije sastoji se od čistog dušika i vode, a obje su glavne komponente okolnog zraka. U ovom procesu ne nastaju tekući ili kruti nusproizvodi. Učinkovitost katalitičke redukcije ovisi o nekoliko čimbenika, uključujući doziranje reducirajućeg sredstva, količinu elemenata katalizatora i temperaturu ispušnih plinova. Tipično je moguće postići razinu smanjenja NO<sub>x</sub> do 90% pomoću ove metode [33]. Na slici 13 je prikazan shematski prikaz selektivnog katalitičkog reaktora.



**Slika 16. Prikaz selektivnog katalitičkog reaktora [27]**

Tijekom procesa redukcije, NO<sub>x</sub> se reducira na N<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O a reakcija može se predstaviti na sljedeći način:



Optimalna temperatura procesa leži između 320 - 500 °C , ovisno o katalizatoru. Oksidi metala kao što su vanadij, volfram, molibden ili drugi često se koriste kao katalizatori u SCR, često podržani na nosivom materijalu titanovog oksida [34]. Postizanje optimalne smjese u sloju katalizatora i održavanje molarnog omjera 1: 1 za NH<sub>3</sub> prema



NO<sub>x</sub> presudni su u procesu SCR. Ovi parametri procesa ključni su za osiguravanje najcjelovitije reakcije i, posljedično, sprečavanje ispuštanja neželjenih emisija amonijaka, istovremeno učinkovito smanjujući emisiju NO<sub>x</sub>. posebna pažnja je bitna tijekom faza pokretanja i gašenja SCR. Kada se sustav zatvara ili kada temperatura padne ispod određene kritične razine, ključno je prekinuti ubrizgavanje amonijaka. Ova mjera opreza poduzima se kako bi se spriječilo nakupljanje amonijevog bisulfata, što može dovesti do obrane i deaktivacije katalizatora. Pravilno upravljanje ubrizgavanjem NH<sub>3</sub> tijekom temperaturnih fluktuacija od vitalnog je značaja za osiguravanje dugoročne učinkovitosti SCR sustava i održavanje njegovih performansi.

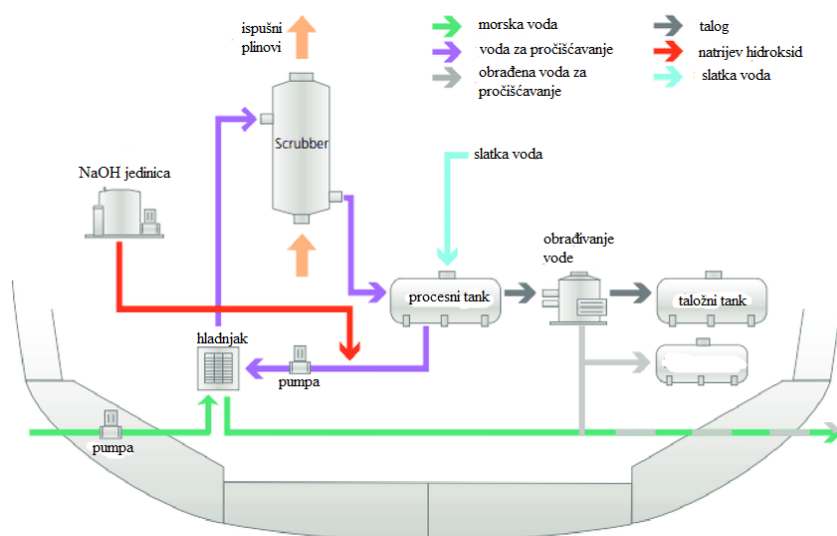
### **5.3. Metode smanjivanja sumporovih oksida**

U područjima u kojima strogi propisi reguliraju emisiju SO<sub>x</sub>, sukladnost se može postići: upotrebom goriva s malim sumporom ili primjenom uređaja za pročišćavanje SO<sub>x</sub> (eng. scrubber) za čišćenje ispušnih plinova. Postoje nekoliko vrsta pročistača a to su sustav otvorenog kruga, zatvorenog kruga i hibridne varijante. Temeljna tehnologija u tim sustavima ostaje dosljedna: kako ispušni plin ulazi u sustav, prolazi proces ubrizgavanja vode. Ova interakcija rezultira pretvorbom SO<sub>x</sub> u sumpornu kiselinu. U sustavima otvorenog kruga svojstvena lužnatost morske vode učinkovito neutralizira kiselinu. Sustavi zatvorenog kruga, s druge strane, koristi natrijev hidroksid kako bi postigao ovu neutralizaciju. Hibridni pristup omogućuje prijelaze između rada zatvorenog kruga, koji se obično koriste u luci ili tijekom manevriranja uz pomoć natrijevog hidroksida i rada otvorenog kruga, koja se oslanja isključivo na morsku vodu pri plovidbi morem.

Sustav u konfiguraciji otvorenog kruga, koristi morsku vodu za uklanjanje SO<sub>x</sub>-a iz ispuha. Ispušni plin unosi ulazi u pročistač, gdje prolazi kroz postupak prskanja vodom u tri različite faze. Unutar ovog okruženja sumporni oksid prisutan u ispuhu podvrgava se kemijskoj reakciji s vodom, što rezultira stvaranjem sumporne kiseline. Sustav djeluje bez potrebe za dodatnim kemikalijama, jer lužnatost morske vode učinkovito neutralizira kiselinu. Prije ispuštanja u more, voda za pranje iz pročišćivača podvrgava se strogom tretmanu i nadzoru na ulazu i izlazu. Ovaj pažljiv postupak osigurava da se ispuštena voda pridržava propisanih kriterija ispuštanja okoliša i tako ne šteti okolišu.

Pročistač zatvorenog kruga djeluje unutar sustava zatvorene petlje, gdje se voda za pročišćavanje kontinuirano cirkulira unutar uređaja za pročišćavanje (slika 14). Iz ovog se kruga izvlači samo minimalan dio, a dodaje se slatka voda i lužine. Postiže se impresivna

učinkovitost smanjenja SO<sub>x</sub> za 97,15%, što rezultira znatnim smanjenjem sadržaja sumpora u gorivu s 3,5% na 0,1%.



**Slika 17. Prikaz „scrubbera“ zatvorenog kruga [19]**

Postupak pročišćavanja započinje crpljenjem vode za pročišćavanje iz mokrog kartera do gornjeg dijela uređaja za pročišćavanje, gdje se naknadno prska u protok ispušnih plinova putem specijaliziranih mlaznica. Dodatnu vodu uvodi se u sredinu pročišćivača, povećavajući učinkovitost uklanjanja SO<sub>x</sub>. Voda za pročišćavanje prolazi kroz cijev, skupljajući i uklanjajući emisije SO<sub>x</sub>, toplinu i druge komponente ispušnih plinova dok se spušta na dno.

PH vrijednost vode za pročišćavanje, samim time i optimiziranje čišćenja, se održava pomoću sistema za automatsko doziranje lužina. Točna potrošnja slatke vode varira ovisno o specifičnim uvjetima, ali kao gruba procjena 0,2 m<sup>3</sup>/MWh može poslužiti kao osnovna vrijednost. Ovo punjenje slatke vode bitno je za nadoknadu gubitaka uslijed isparavanja vode.

Dovod slatke vode za nadopunu izravno je povezan s mokrim karterom ili modulom crpke za pročišćavanje vode. Uz to, slatka voda dolazi u separator kapljica na vrhu pročišćivača za potrebe periodičnog ispiranja.

Natrijev hidroksid automatski se uvodi u cirkulaciju vode za pročišćavanje kako bi se održao optimalni pH procesa, čime se osigurava učinkovitost uklanjanja SO<sub>x</sub>. Primarne komponente sustava za dovod lužina obuhvaćaju pumpu lužina, mehanizam za kontrolu lužnatog dovoda i spremnik lužina. Potrošnja natrijevog hidroksida, mjerena težinom,

obično se kreće između 6% do 15% potrošnje loživog ulja dizelskog motora, ovisno o faktorima kao što su sadržaj sumpora i učinkovitost čišćenja.

Da bi se uklonile akumulirane nečistoće iz vode za pročišćavanje, mali dio ispusta se izvlači i usmjerava na jedinicu za pročišćavanje vode koja razbija emulziju. Ovo ozračivanje sadrži manje tragove ulja i nusprodukata izgaranja, a njegov pH vrijednost obično varira oko neutralnog. Čisti otpad koji nastaje tijekom postupka obrade, ili se ispušta preko broda, ili se usmjerava u spremnik otpadnih voda kad se izbjegne prekomjerno ispuštanje. Strogo praćenje kvalitete otpadnih voda sustavno se provodi prije bilo kakvog pražnjenja [35].

## 6. ZAKLJUČAK

Zaključno, u ovom završnom radu istražili su se kritični aspekti ublažavanja onečišćenja mora uzrokovanih uljima i ispušnim plinovima, koji predstavljaju značajne prijetnje okolišu našim oceanima. Dubinskim ispitivanjem međunarodnih propisa, tehnoloških inovacija i najboljih praksi u pomorskoj industriji očito je da postoji sveobuhvatan okvir za rješavanje ovih pitanja. Analiza metoda prevencije, poput MARPOL Aneksa I i VI, istaknula je važnost regulatornih mjera za kontrolu zagađenja uljima i smanjenje emisije štetnih ispušnih plinova s brodova. Nadalje, napredak u tehnologiji, uključujući upotrebu gravitacijskih separatora, centrifugalnih separatora i sustava za čišćenje ispušnih plinova, pokazao je izvedivost učinkovite kontrole zagađenja. Međutim, ključno je prepoznati da izazovi i dalje postoje u učinkovitoj primjeni ovih propisa i tehnologija. To zahtijeva stalnu suradnju vlada, pomorske industrije i organizacija za zaštitu okoliša kako bi se osigurala usklađenost i daljnje inovacije. U širem kontekstu, naglašava se na hitnu potrebu za stalnim istraživanjem i razvojem tehnologija i politika za sprečavanje zagađenja kako bi se riješili novi izazovi u pomorskom sektoru. Kako krećemo naprijed, naša je zajednička odgovornost da zaštitimo naše oceane i sačuvamo ih kao vitalni resurs za sadašnje i buduće generacije.

## LITERATURA

- [1] Milošević-Pujo, Branka; Jurjević, Nataša: Onečišćenje more iz zraka emisijom ispušnih plinova, sveučilište u Dubrovniku, 2004., str. 178-184
- [2] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL 73/78)
- [3] [https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180227\\_184444\\_zec\\_ZMMO\\_-\\_Marpol\\_v20.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180227_184444_zec_ZMMO_-_Marpol_v20.pdf) (6.9.2023.)
- [4] <https://www.classnk.com/hp/pdf/activities/statutory/ism/flag/marshall/No.2-13-3.pdf> (9.8.2023)
- [5] <https://www.sertica.com/modules/oil-record-book-part-1/#gref> (9.8. 2023.)
- [6] Oil record book, Wartsilla
- [7] <https://www.ukpandi.com/media/files/imports/13108/bulletins/7329-tch-bulletin35amd.pdf> (13.9.2023.)
- [8] [http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex\\_I/r36.htm](http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_I/r36.htm), (13.8.2023.)
- [9] <https://www.egcsa.com/regulatory/marpol-annex-vi-regulation-14/> (16.8.2023.)
- [10] <https://www.meoexamz.co.in/> (5.9.2023.)
- [11] Marpol Annex VI - New risks and challenges for owners and charterers, Gard, 2007.
- [12] D. DeMers, G. Walters, „Guide to Exhaust Emission Control Options“, Land & Sea Systems, Bristol, UK.
- [13] Horvat, Ivana: Utjecaj ispušnih plinova na zdravlje i okoliš, Osijek, 2018.
- [14] <https://www.statista.com/>
- [15] C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis, „Diesel Engine Transient Operation - Principles of Operation and Simulation Analysis“, Springer-Verlag Ltd., London, UK, 2009.
- [16] G. Woschni, “Verbrennungsmotoren”, Technische Universität München, Lehrstuhl und Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugen, München, 1988.
- [17] N.Škifić, „Analiza utjecajnih parametara opreme na značajke dizelskog motora“, Doktorska disertacija, Sveučilište u rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, 2003.
- [18] T. Senčić, “Analiza mogućnosti smanjenja emisija čađe i NOx na suvremenim sporohodnim dizelskim dvotaktnim motorima“, Doktorska disertacija, Sveučilište u rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, 2010.
- [19] <https://www.researchgate.net/>

- [20] Ozretić, Velimir: Brodski pomoćni strojevi i uređaji, Split, 1996., str. 499-504
- [21] <https://cleanawater.com.au/information-centre/guide-to-vertical-gravity-separators-vgs> (16.9.2023.)
- [22] Bilge water compliance issues Alfa Laval
- [23] Vellaiyan, Suresh: The role of water-in-diesel emulsion and its additives on diesel engine performance and emission levels, India, 19.7.2016.
- [24] [https://dieselnet.com/tech/engine\\_water.php](https://dieselnet.com/tech/engine_water.php) (23.8.2023.)
- [25] Hielscher Ultrasonic technology. Ultrasonic Emulsions for Water-in-Diesel Combustion
- [26] Goldsworthy L., Design Of Ship Engines For Reduced Emissions Of Oxides Of Nitrogen, Australian Maritime College, 2002.
- [27] Lalić, Branko: Optimiziranje rada brodskog porivnog dizelskog motora u svrhu ispunjenja novih zahtjeva o ispušnim emisijama, Split, studeni, 2013.
- [28] <https://www.maritimeprofessional.com/news/slide-fuel-valve-success-story-235355> (27.8.2023.)
- [29] <https://quizlet.com/588191561/diesels-fuel-injection-sulzer-jerk-pumps-flash-cards/> (16.9.2023.)
- [30] <https://www.meoexamz.co.in/2020/05/secondary-nox-reduction-measures.html> (28.8.2023.)
- [31] [https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/process-solutions/marine-exhaust-gas-solutions/purennox/reducing-nox-emissions-from-ship-exhaust\\_white-paper\\_en.pdf](https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/process-solutions/marine-exhaust-gas-solutions/purennox/reducing-nox-emissions-from-ship-exhaust_white-paper_en.pdf) (2.9.2023.)
- [32] Global.Kawasaki.com
- [33] [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-\(scr\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-(scr)) (2.9.2023.)
- [34] <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/selective-catalytic-reduction> (2.9.2023)
- [35] Wartsilla SOx scrubber systems

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz SECA područja [10].....	7
Slika 2. Prikaz SECA područja [10].....	8
Slika 3. Tipičan sastav emisije ispušnih plinova sporokretnog dvotaktnog motora [12].....	9
Slika 4. Emisija ugljičnog dioksida u svjetskom brodarstvu u 2020. godini, prema vrsti broda [14] .....	11
Slika 5. Shematski prikaz sastava emisije čestica i čađe velikih dvotaktnih sporokretnih motora [15] .....	13
Slika 6. Shematski prikaz procesa nastanka čađe [15] .....	13
Slika 7. Emisije NO <sub>x</sub> s brodova u Europi od 2005. do 2050. [14].....	15
Slika 8. Emisija SO <sub>x</sub> s brodova u svjetskom prometu [19].....	16
Slika 9. Gravitacijski separator ulja [21] .....	18
Slika 10. Centrifugalni separator zauljenih voda [22].....	19
Slika 11. Prikaz izgaranja prilikom ne korištenja i korištenja emulzifikacije [25] .....	21
Slika 12. Sadržaj soli pri 100% opterećenja [27] .....	22
Slika 13. Tlak u cilindru u slučaju standardnog omjera kompresije i povećane kompresije s odgođenim vremenom ubrizgavanja [27].....	23
Slika 14. Prikaz varijacija rasprskavača [29] .....	24
Slika 15. Prikaz sistema za recirkulaciju ispušnih plinova [32].....	25
Slika 16. Prikaz selektivnog katalitičkog reaktora [27].....	26
Slika 17. Prikaz „scrubbera“ zatvorenog kruga [19] .....	28

## **POPIS TABLICA**

TABLICA 1. Primjer upisa u knjigu o uljima 1 [7] .....	5
TABLICA 2. Primjer za tjedni unos u knjigu ulja za zauljene vode i tankove [7] .....	6
TABLICA 3. Podrijetlo glavnih elemenata emisije ispušnih plinova [12] .....	10



## POPIS KRATICA

IMO (engl. <i>International maritime organisation</i> )	Međunarodna pomorska organizacija
MARPOL (engl. <i>International convention for the prevention of pollution from ships</i> )	Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova
SO <sub>x</sub>	Sumporov oksid
NO <sub>x</sub>	Dušikov oksid
HC	Ugljikovodici
OILPOL (engl. <i>International convention for the prevention of pollution of the sea by oil</i> )	Međunarodna konvencija za sprječavanje onečišćenja mora uljima
ECA (engl. <i>Emission control area</i> )	Područja kontrole emisija
SECA (engl. <i>Sulphur emission control area</i> )	Područje kontrole sumporne emisije
% m/m	Postotak po masi
CO <sub>2</sub>	Ugljikov dioksid
NO <sub>2</sub>	Dušikov dioksid
SO <sub>2</sub>	Sumporov dioksid
BT	Bruto tona
PPM (engl. <i>parts per million</i> )	Dijelova na milijun
g/KWh	Gram/kilovat sat
SAM (engl. <i>Scavenge Air Moisturizing</i> )	Ovlaživanje ispirnog zraka
EGR (engl. <i>Exhaust gas recirculation</i> )	Recirkulacija ispušnih plinova
SCR (engl. <i>Selective catalytic reduction</i> )	Selektivna katalitička redukcija
NH <sub>2</sub> 2CO	Urea
NH <sub>3</sub>	Amonijak
H <sub>2</sub> O	Voda
MWh	Megavat-sat