

Mjerenje emisije ispušnih plinova iz brodskih motora

Markovina, Sandro

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:164:956058>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-21**

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**

SANDRO MARKOVINA

**MJERENJE EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA
IZ BRODSKIH MOTORA**

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO

MJERENJE EMISIJA ISPUŠNIH PLINOVA
IZ BRODSKIH MOTORA

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

Prof. dr. sc. Nikola Račić

STUDENT:

Sandro Markovina

(MB: 0171279472)

SPLIT, 2022.

SAŽETAK

Tema ovoga rada su emisije ispušnih plinova koje nastaju izgaranjem goriva pri radu brodskih motora, kako glavnog porivnog stroja, tako i pomoćnih motora. U radu su opisani zakoni doneseni od strane Međunarodne pomorske organizacije (IMO-a) kojima se reguliraju dozvoljene količine različitih ispušnih plinova, definirana su pravila prema kojima se izrađuju današnji moderni motori za službu brodskog postrojenja, navedeni su mjerni uređaji za kontrolu emisija ispušnih plinova kao i principi rada istih, a za primjer rada obavljeno je i mjerenje ispušnih plinova pomoću uređaja *Optima 7 NDIR* koje je detaljno opisano uz priložene rezultate mjerenja, kao i sami uređaj.

Ključne riječi: *emisije ispušnih plinova, brodski motori, Međunarodna pomorska organizacija, Optima 7 NDIR.*

ABSTRACT

The topic of this paper is exhaust emissions from the combustion of fuel during the operation of marine engines, both the main propulsion engine and auxiliary engines. The paper describes the laws passed by the International Maritime Organization (IMO) which regulate the permissible quantities of different exhaust gases, defines the rules according to which today's modern engines are made for the ship's service, lists the measuring devices for exhaust emission control as and the principles of their operation, and for an example of work, the measurement of exhaust gases was performed using the device *Optima 7 NDIR*, which is described in detail with the attached measurement results, as well as the device itself.

Keywords: *exhaust emissions, marine engines, International Maritime Organization, Optima 7 NDIR.*

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA (IMO PROPISI) | 2 |
| 2.1. DODATAK VI – PROPISI ZA SPRJEČAVANJE ONEČIŠĆENJA ZRAKA EMISIJOM ŠTETNIH PLINOVA | 3 |
| 2.1.1. Dušikovi oksidi (NO _x) – regulacija 13 | 3 |
| 2.1.2. Sumporni oksidi (SO _x) i štetne krute čestice (PM) – regulacija 14..... | 6 |
| 2.1.3. Ugljikovodici (HC) | 8 |
| 2.1.4. Hlapljivi organski spojevi (VOC) – regulacija 15..... | 8 |
| 2.1.5. Plinovi štetni za ozon (ODS) – regulacija 12 | 9 |
| 3. ZAHTJEVI TEHNIČKOG KODEKSA ZA BRODSKE MOTORE 10 | |
| 3.1. DEFINICIJE POJMOVA | 11 |
| 3.2. PREGLEDI I POTVRĐIVANJA | 13 |
| 3.3. POSTUPCI PRETHODNOG POTVRĐIVANJA MOTORA | 14 |
| 3.4. POSTUPCI ZA POTVRĐIVANJE MOTORA | 14 |
| 3.4.1. Tehnički zapisnik | 15 |
| 3.4.2. Norme za ispuštanje dušikovih oksida..... | 16 |
| 3.5. ISPITNI CIKLUSI I FAKTORI MASENOG UDJELA..... | 16 |
| 3.6. UVJETI MJERENJA ISPUŠTANJA NO _x NA ISPITNOM STOLU ZA MOTORE KOJI KORISTE TEKUĆE GORIVO ILI SUSTAV DVOJNOG GORIVA..... | 19 |
| 4. UREĐAJI ZA MJERENJE ISPUŠNIH PLINOVA | 23 |
| 4.1. VRSTE MJERENJA | 23 |
| 4.2. OPIS SENZORA..... | 25 |
| 4.2.1. Ne-disperzirani infracrveni senzor (NDIR)..... | 26 |
| 4.2.2. Elektro-kemijski senzor | 27 |
| 4.3. OPIS MJERNIH UREĐAJA OPTIMA 7 NDIR I TESTO 350 MARITIME28 | |
| 4.3.1. OPTIMA 7 NDIR..... | 28 |
| 4.3.2. TESTO 350 MARITIME | 30 |
| 5. PRIMJER MJERENJA ISPUŠNIH PLINOVA SA UREĐAJEM OPTIMA 7 NDIR | 33 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| 6. ZAKLJUČAK | 40 |
| LITERATURA | 41 |
| POPIS SLIKA..... | 43 |
| POPIS TABLICA..... | 44 |

1. UVOD

Godinama se brodovi koriste za prijevoz dobara i sa vremenom se ispostavilo da je to ujedno i najefikasniji način za obavljanje transporta, čime je potreba za izgradnjom kako većeg broja brodova, tako i brodova većih kapaciteta i različitih vrsta za različite vrste tereta bila sve veća. „*Svake godine broderska industrija transportira gotovo 2 milijarde tona sirove nafte, 1 milijardu tona željezne rude i 350 milijuna tona žitarica. Ove pošiljke ne bi bile moguće cestovnim, željezničkim ili zračnim putem*“ [1]. U današnje vrijeme postoji jako velik broj brodova, sa kojima dolazi i povećana količina ispušnih plinova koji nastaju prilikom izgaranja različitih goriva koja se koriste u brodskim motorima, kako porivnim tako i onim za pomoćne svrhe. Kako bi se onečišćenje okoliša sa plinovima izgaranja smanjilo, iste je potrebno pratiti i regulirati pomoću određenih zakona. U tu svrhu, Međunarodna pomorska organizacija (IMO) donijela je niz regulacijskih zakona koji propisuju određene količine za različite vrste plinova koji spadaju u emisije ispušnih plinova. Najviše se kontroliraju sljedeći štetni produkti izgaranja goriva: dušikovi oksidi (NO_x), sumporovi oksidi (SO_x), ugljikovodici (engl. *Hydrocarbons*, HC), ugljikov monoksid (CO), ugljikov dioksid ili „*staklenički plin*“ (CO_2), i štetne krute čestice (engl. *Particulate Matter*, PM). Osim toga, proizvođači motora koji se koriste u brodskom postrojenju smišljaju nove tehnologije i načine kako postići veću iskoristivost i manje emisije štetnih ispušnih plinova. Motori su nakon proizvodnje obavezni proći daljnja ispitivanja koja su određena u svrhu postizanja pouzdanosti, ali i da se vidi ispunjavaju li postavljene zahtjeve. Smišljaju se i novi, precizni uređaji koji mogu pratiti razne parametre ispušnih plinova, bilo direktno na brodu, ili daljinski sa kopna.

2. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA (IMO PROPISI)

Međunarodna pomorska organizacija (engl. *International Maritime Organization*, IMO) je agencija Ujedinjenih naroda koja je osnovana za promicanje pomorske sigurnosti. Formalno je osnovana međunarodnom konferencijom u Ženevi 1948., a postala je aktivna 1958. godine kada je IMO konvencija stupila na snagu. Izvorni naziv bio je Međuvladina pomorska savjetodavna organizacija (engl. *Inter-Governmental Maritime Consultative Organization*, IMCO), ali je naziv promijenjen 1982. u IMO. IMO trenutno grupira 175 država članica i 3 pridružena člana. IMO pravila o onečišćenju sa brodova sadržana su u Međunarodnoj konvenciji o sprječavanju onečišćenja s brodova (engl. *International Convention on the Prevention of Pollution from Ships*, MARPOL) poznatoj kao MARPOL 73/78. koja predstavlja prvi skup propisa o emisiji ispušnih plinova. Izvorna MARPOL konvencija potpisana je 17. veljače 1973., ali nije tada stupila na snagu. Sadašnja konvencija je kombinacija konvencije iz 1973. i protokola iz 1978. godine. Dana 27. rujna 1997., MARPOL konvencija je izmijenjena i dopunjena sa Dodatkom VI - Sprječavanje onečišćenja zraka [2].

Dodatak VI MARPOL-a postavlja ograničenja na emisije NO_x i SO_x iz ispušnih plinova s brodova, zabranjuje namjerne emisije tvari koje oštećuju ozonski omotač, regulira količinu sumpora (S) u gorivu, regulira količinu štetnih krutih čestica (PM) u ispušnim plinovima sa brodova bruto tonaže od 400 i više koji su uključeni u putovanja u luke ili priobalne terminale pod jurisdikcijom država koje su ratificirale Dodatak VI. Valja napomenuti da MARPOL direktno ne kontrolira količinu ugljičnog dioksida (CO₂) sa gore navedenim dodatkom, već se njegova količina pokušava umanjiti „*Indeksom projektiranja energetske učinkovitosti*“ (engl. *Energy Efficiency Design Index*, EEDI) kao i sa „*Planom upravljanja energetske učinkovitosti broda*“ (engl. *Ship Energy Efficiency Management Plan*, SEEMP). [3]

MARPOL 73/78 sastoji se od šest dodataka kojima se sprječava onečišćenje sa brodova raznim stvarima, a to su sljedeći:

- Dodatak I – Sprječavanje onečišćenja uljem
- Dodatak II – Sprječavanje onečišćenja štetnim tekućim tvarima koje se prevoze u razlivenom stanju
- Dodatak III – Sprječavanje onečišćenja štetnim tvarima koje se prevoze morem u upakiranom obliku

- Dodatak IV – Sprječavanje onečišćenja sanitarnim otpadnim vodama
- Dodatak V – Sprječavanje onečišćenja smećem
- Dodatak VI – Sprječavanje onečišćenja zraka [3].

Dodatak VI detaljnije je opisan u nastavku rada kroz nabrojene i opisane regulative donešene u svrhu smanjenja onečišćenja okoliša iz zraka putem štetnih plinova.

2.1. DODATAK VI – PROPISI ZA SPRJEČAVANJE ONEČIŠĆENJA ZRAKA EMISIJOM ŠTETNIH PLINOVA

Onečišćenje zraka sa brodova ne djeluje izravno kao, na primjer, izlivanje nafte sa brodova u more, već ono uzrokuje kumulativno djelovanje na kvalitetu zraka koja dalje utječe na život u tom području, a osim toga, javljaju se druge vremenske pojave poput jakih kiselih kiša koje donose dodatne loše posljedice za prirodni okoliš. U svrhu smanjenja takvih posljedica, kako za samu kvalitetu života, tako i za zaštitu okoliša, donesen je prijedlog novog dodatka, dodatak VI. Njegovo prvo usvajanje bilo je 1997, a stupio je na snagu 19. svibnja 2005. godine. Do danas, dodatak VI imao je nekoliko izmjena, tako je zadnja izmjena nastala kada je listopada, 2008. Odbor za zaštitu morskog okoliša (engl. *Marine Environment Protection Committee*, MEPC) usvojio izmijenjeni dodatak VI sa pripadajućim „*Tehničkim kodeksom (NO_x), 2008*“ (engl. *NO_x Technical Code, 2008*), a stupila je na snagu 1. srpnja, 2010. godine. Postavljena su ograničenja za glavne onečišćivače zraka koji se nalaze u ispušnim plinovima brodova, regulira se količina dušikovih oksida (NO_x) i sumpornih oksida (SO_x), regulira se količina sumpora (S) u gorivu, zabranjuju se emisije plinova koji štetno djeluju na ozonski omotač (engl. *Ozone Depleting Substances*, ODS), regulira se spaljivanje otpada na brodu u spaljivaču otpada (engl. *Incinerator*) i reguliraju se emisije lako hlapljivih organskih spojeva (engl. *Volatile Organic Compounds*, VOC). [4]

2.1.1. Dušikovi oksidi (NO_x) – regulacija 13

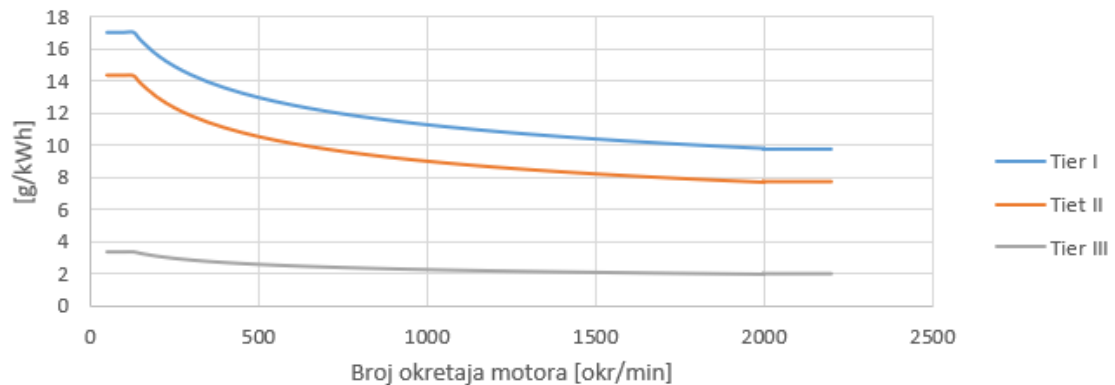
Kontrola emisija (NO_x) dizel motora postiže se zahtjevima za ispitivanje i certifikaciju koji dovode do izdavanja certifikata o Međunarodnoj prevenciji zagađenja zraka motorima (engl. *Engine International Air Pollution Prevention*, EIAPP) i naknadnom potvrdom usklađenosti u radu u skladu sa zahtjevima obveznih, propisa 13.8 i 5.3.2, odnosno „*Tehničkog kodeksa (NO_x), 2008*“ (rezolucija MEPC.177(58) izmijenjena i dopunjena Rezolucijom MEPC.382.(76)).

Regulacija 13 koja kontrolira količine NO_x u ispušnim plinovima iz brodskih motora odnosi se na dizel motore snage preko 130 kW koji se ugrađuju u brodove izgrađene 1. siječnja, 2000. godine ili kasnije, dok za motore koji se koriste isključivo u slučaju nužde, bez obzira na tonažu broda gdje su ugrađeni (npr. generatori, brodica za spašavanje) ova regulacija ne vrijedi. [5]

Regulacija je podijeljena u tri razreda (engl. *Tiers*):

- **Razred I (engl. *Tier I*)** – odnosi se na brodske motore ugrađene na brodovima koji su izgrađeni 1. siječnja, 2000. godine ili kasnije, ali se nakon 1. siječnja, 2011. godine njihova upotreba zabranjuje, osim ako njihova emisija NO_x ne prelazi sljedeće navedene granice:
 - a) 17,0 g/kWh, kad je broj okretaja motora manji od 130 okr/min.
 - b) $45,0 \cdot n^{(-0,2)}$ g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 130 okr/min, ali manji od 2000 okr/min.
 - c) 9,8 g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 2000 okr/min.
- **Razred II (engl. *Tier II*)** – upotreba brodskih motora ugrađenih na brodovima koji su izgrađeni nakon 1. siječnja, 2011. godine se zabranjuje, osim ako njihova emisija (NO_x) ne prelazi sljedeće navedene granice:
 - a) 14,4 g/kWh, kad je broj okretaja motora manji od 130 okr/min.
 - b) $44,0 \cdot n^{(-0,23)}$ g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 130 okr/min, ali manji od 2000 okr/min.
 - c) 7,7 g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 2000 okr/min.
- **Razred III (engl. *Tier III*)** - primjenjuje se samo na navedene brodove koji plove u područjima kontrole emisija ispušnih plinova (engl. *Emission Control Areas*, ECA) koja su uspostavljena za ograničavanje emisija NO_x, izvan takvih područja primjenjuju se kontrole razine „*Razred II*“. U skladu s pravilom 13.5.2, određeni mali brodovi ne podliježu ovim pravilima. Navedene granice emisija NO_x su sljedeće:
 - a) 3,4 g/kWh, kad je broj okretaja motora manji od 130 okr/min.
 - b) $9,0 \cdot n^{(-0,2)}$ g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 130 okr/min, ali manji od 2000 okr/min.
 - c) 2,0 g/kWh, kad je broj okretaja motora veći od 2000 okr/min. [5]

Dopuštena emisija NO_x prema MARPOL, Dodatak VI, regulacija 13

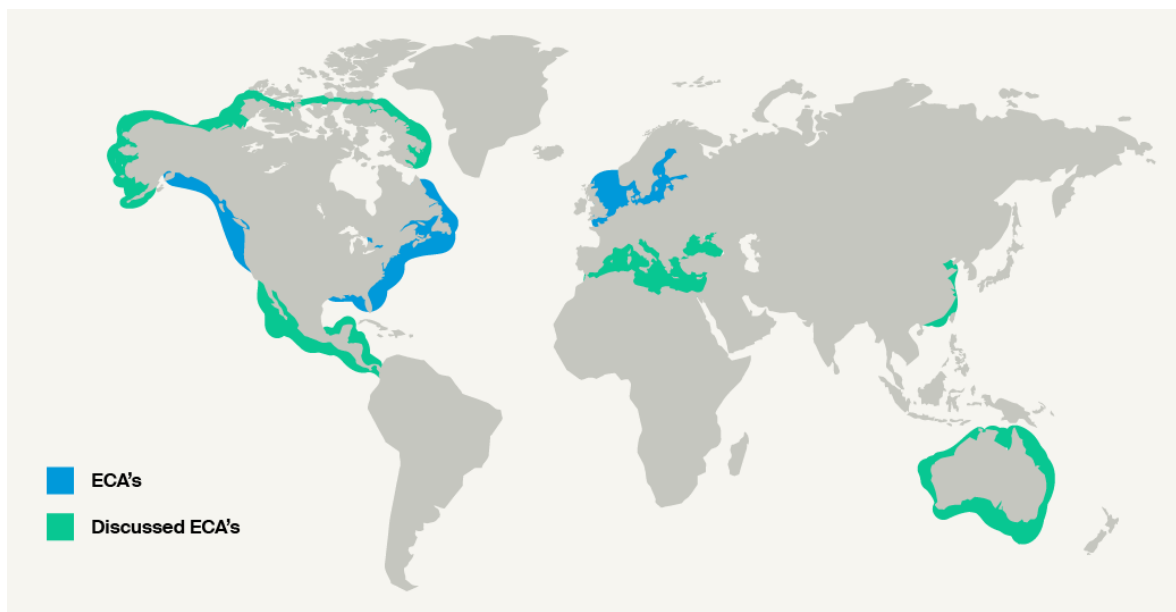


Slika 1. Dijagram dopuštenih emisija NO_x prema regulaciji 13

Navedene granice vrijede za brodske motore ugrađene na brodove koji su:

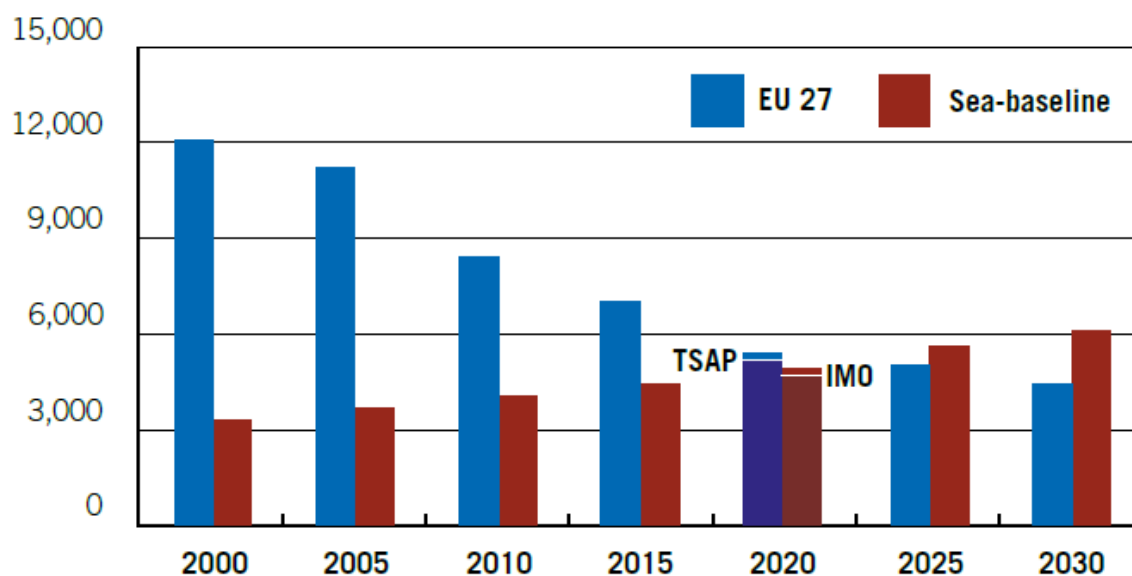
- izgrađeni 1. siječnja, 2016. godine ili kasnije, a plove (ECA) područjem Sjeverne Amerike i (ECA) područjem Karipskog mora Sjedinjenih Država;
- izgrađeni 1. siječnja, 2021. godine ili kasnije, a plove (ECA) područjem Baltičkog mora ili (ECA) područjem Sjevernog mora. [5]

Na slici 2. mjesta označena plavom bojom spadaju pod (ECA) područja, a mjesta označena zelenom bojom predstavljaju moguća buduća (ECA) područja (za područje Mediterana planira se primjena od 2025. godine).



Slika 2. Prikaz ECA područja [6]

O samoj količini emisija NO_x govori graf koji je prikazan na slici 3. Količina je izražena u kilo-tonama. Graf prikazuje emisije NO_x koje dolaze sa kopna (označeno *EU 27*), emisije (NO_x) koje dolaze iz morskog prometa (označeno *Sea-baseline*), količina emisije na koju cilja Europska Unija uvođenjem pravila o emisijama NO_x za kopneni promet (označeno *TSAP*) i očekivana količina emisije NO_x uvođenjem revidiranog *IMO-MARPOL*, dodatka VI (označeno *IMO*).



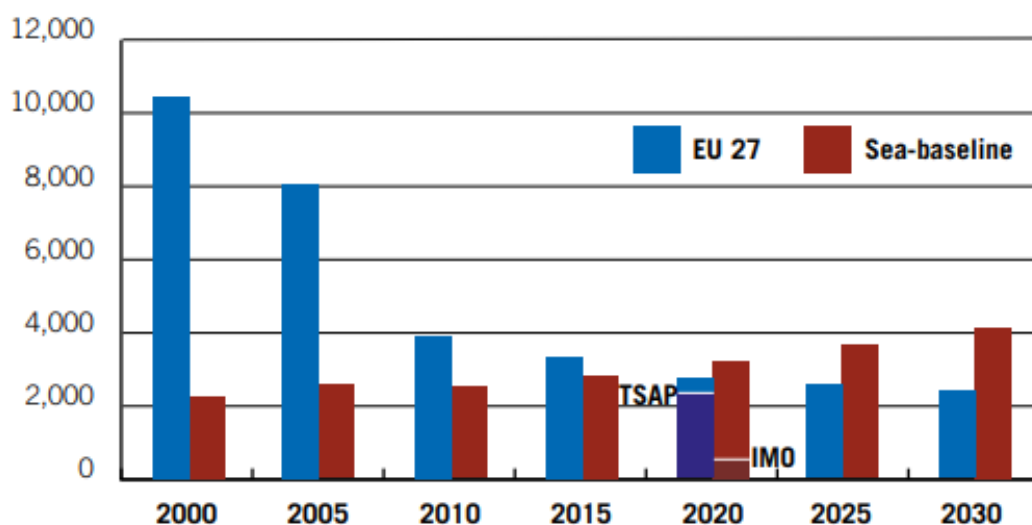
Slika 3. Prikaz količine emisije NO_x [7]

2.1.2. Sumporni oksidi (SO_x) i štetne krute čestice (PM) – regulacija 14

Regulacija 14 odnosi se na sva goriva, a njom se kontroliraju količine emisije SO_x kao i količine štetnih krutih čestica. Regulacija 14 direktno utječe na samu količinu sumpora u gorivu koje se koristi u glavnom porivnom stroju, ali i pomoćnim strojevima kao što su: generatori električne energije, generatori pare i generatori inertnog plina. Regulacija 14 se može podijeliti na dvije skupine. U jednu skupinu spadaju one regulacije koje se primjenjuju unutar područja kontrole emisija ispušnih plinova (ECA) uspostavljenih radi ograničavanja količine emisije SO_x i količine štetnih krutih čestica. U drugu skupinu spadaju one regulacije koje su primjenjive izvan takvih područja, a prvenstveno se postižu ograničavanjem maksimalnog sadržaja sumpora u gorivu dok se tovari, skladišti i naknadno koristi na brodu. Granice sumpora izražene su po masi ($\% m/m$), a količine su izmijenjene tijekom godina prema pravilima 14.1 i 14.4. [8]

- Dozvoljena količina sumpora u gorivu izvan područja kontroliranih emisija ispušnih plinova (ECA):
 - a) 4,50 % *m/m*, do 1. siječnja 2012.
 - b) 3,50 % *m/m*, na i nakon 1. siječnja 2012.
 - c) 0,50 % *m/m*, na i nakon 1. siječnja 2020.
- Dozvoljena količina sumpora u gorivu u područjima kontroliranih emisija ispušnih plinova (ECA):
 - a) 1,50 % *m/m*, do 1. srpnja 2010.
 - b) 1,00 % *m/m*, na i nakon 1. srpnja 2010.
 - c) 0,10 % *m/m*, na i nakon 1. siječnja 2015.

Na slici 4. vidimo graf koji prikazuje količinu emisija SO_x izraženu u kilo-tonama. Graf prikazuje emisije SO_x koje dolaze sa kopna (označeno *EU 27*), emisije SO_x koje dolaze iz morskog prometa (označeno *Sea-baseline*), količina emisije na koju cilja Europska Unija uvođenjem pravila o emisijama SO_x za kopneni promet (označeno *TSAP*) i očekivana količina emisije SO_x uvođenjem revidiranog *IMO-MARPOL*, dodatka VI (označeno *IMO*).



Slika 4. Prikaz količine emisije SO_x [7]

Štetne krute čestice (PM) sastoje se od organskih i anorganskih tvari koje su građene od molekula ugljika, pepela, teških metala, kondenzata sumpornih oksida, vode i ugljikovodika koji su djelomično izgorjeli. Većinu ukupne mase štetnih čestica čini čađa, ona se sastoji od anorganskih čestica koje u sebi imaju veliku količinu ugljika (crni dim). Pojava veće količine štetnih čestica posljedica je nepotpunog izgaranja goriva, kojem može biti uzrok nepravovremeno i/ili na bilo koji način nepravilno uštrcavanje goriva u cilindre motora, loše miješanje zraka i goriva, nedovoljna količina zraka, upotreba goriva sa velikom količinom

ugljika, i još mnogo toga. Štetne čestice koje nastaju od izgaranja brodskog goriva ne prelaze 10 mikrona (PM_{10}), tj. većina ih je veličine do 2.5 mikrona ($PM_{2.5}$) i čine fine čestice. Ono zbog čega se prati njihova količina jest njihova opasnost za ljude, mogu biti kancerogene i izazivati bolesti poput raka pluća i ostalih bolesti respiratornog sustava. Da se spriječi nastajanje velikih količina štetnih krutih čestica, pribjegava se korištenju goriva sa smanjenim udjelom sumpora i ugljika. Osim toga, koriste se metode ubrizgavanja goriva pod većim tlakom kako bi se pospješilo miješanje goriva sa zrakom (odnosno kisikom) i omogućilo što potpunije izgaranje, kao i metoda sa korištenjem ciklonskih separatora (efikasno samo za čestice veće od $0.5 \mu m$). [8]

2.1.3. Ugljikovodici (HC)

Emisije ugljikovodika su usko povezane sa emisijama štetnih krutih čestica (PM) jer nastaju na slične načine. Kao i kod štetnih krutih čestica, glavni uzročnik pojave emisija je nepotpuno izgaranje goriva, a nepotpunom izgaranju goriva uzroci mogu biti: nedovoljno visoke temperature sagorijevanja (općenito), istrošeni ventili, istrošeni rasprskajući goriva, nepravilno vrijeme ubrizgavanja goriva, začepljeni usisni filteri zraka, itd. U pomorskom prometu naftni tankeri predstavljaju najveće probleme s emisijama ugljikovodika koje se ispuštaju kroz ventile za smanjenje tlaka na spremnicima tereta, a obično se opisuju kao hlapljivi organski spojevi (VOC). Emisije se pokušavaju umanjiti jer ugljikovodici (HC) u atmosferi pomoću fotokemijske reakcije sa dušikovim oksidima (NO_x) tvore takozvani prizemni ozon ili smog. [9]

2.1.4. Hlapljivi organski spojevi (VOC) – regulacija 15

Regulacija 15 odnosi se na tankere (brodove za prijevoz tekućih tereta), a bavi se reguliranjem emisija hlapljivih organskih spojeva (VOC). Osim brodova za prijevoz tekućih tereta, regulacija još zahvaća i brodove za prijevoz plina koji imaju sustav za sigurno prikupljanje i zadržavanje ne-metanskih organskih hlapljivih spojeva na brodu, ili sustav za povrat istih na obalu (terminal). U okviru ove regulacije postoje dva aspekta kontrole lako hlapljivih organskih spojeva. U prvom, propisima 15.1 – 15.5 i 15.7, kontrola emisije VOC koja se emitira u atmosferu u odnosu na određene luke ili terminale postiže se zahtjevom za korištenjem sustava za kontrolu ispuštanja para (engl. *Vapour Emission Control System*, VECS). Tamo gdje je to potrebno, sustavi na brodu, kao i oni u lukama, moraju biti u skladu sa odredbom ((MSC/Circ.585) “*Standardi za sustave kontrole emisije para*”). Drugi aspekt ove uredbe, propis 15.6, zahtijeva da svi brodovi koji prevoze sirovu naftu imaju odobren i

učinkovito proveden plan upravljanja emisijama VOC specifičnim za brod koji pokriva barem točke navedene u uredbi. Smjernice u pogledu razvoja ovih planova dane su rezolucijom MEPC.185(59), a povezane tehničke informacije o sustavima i radu takvih sustava dane su u dokumentu MEPC.1/Circ.680 i MEPC.1/Circ.719. [10]

2.1.5. Plinovi štetni za ozon (ODS) – regulacija 12

Ovom regulacijom štiti se ozonski omotač na način regulacije količine raznih plinova koji imaju štetno djelovanje na njega. Pod regulaciju 12 spadaju klorofluorouglijci (CFC) takozvani „*freoni*“ i haloni kojima je glavna upotreba bila u rashladnim sustavima kao radni medij, ali i u protupožarnim sustavima kao sredstvo gašenja. Hidroklorofluorouglikovodici (HCFC) uvedeni su kao srednja zamjena za CFC, ali su i dalje klasificirani kao plinovi štetni za ozon. Kao dio svjetskog pokreta, proizvodnja i upotreba svih ovih materijala postepeno se gasi prema odredbama Montrealskog protokola.

Nakon 19. svibnja 2005. nije dopuštena nikakva upotreba sustava ili uređaja koji sadržavaju ili koriste klorofluorouglijke ili halone, te nije dopuštena nova instalacija istih na ili nakon tog datuma na postojećim brodovima. Slično tome, nije dopuštena ugradnja sustava ili opreme koji sadrži hidroklorofluorouglikovodike (HCFC) na brodovima izgrađenim 1. siječnja 2020. ili nakon tog datuma, niti je dopuštena nova instalacija istog na ili nakon tog datuma na postojećim brodovima.

Postojeći sustavi i oprema smiju nastaviti sa radom i mogu se nadopunjavati ako je to potrebno u svrhu funkcionalnog rada. Zabranjeno je namjerno ispuštanje plina u atmosferu, a kada se sustav servisira ili stavlja van pogona, plin je potrebno na kontroliran način prikupiti i pohraniti na za to predviđeno mjesto. Brodovi koji imaju sustave koji koriste plinove štetne za ozon (ODS) moraju imati međunarodni certifikat o sprječavanju onečišćenja zraka (engl. *International Air Pollution Prevention Certificate*, IAPPC), a osim toga, treba se voditi evidencijska knjiga plinova štetnih za ozon (engl. *ODS Record Book*) u kojoj se prate sve radnje vezane uz navedeni sustav kao što su: servisi, nadopunjavanje sustava, pražnjenje sustava, itd. [11]

3. ZAHTJEVI TEHNIČKOG KODEKSA ZA BRODSKE MOTORE

Svaki motor prije početka upotrebe, potrebno je testirati, odnosno podvrgnuti postupcima pregleda i potvrđivanja motora. Obavezni postupci za potvrđivanje motora, kao što su ispitivanje, pregled, potvrđivanje i dozvoljeni rezultati mjernih parametara navedeni su u „*Zahtjevi NO_x tehničkog kodeksa 2008.*“ prema tipu i snazi motora na kojem se provjera i obavlja. Svrha ovih pravila je dobivanje mjerodavnih rezultata mjerenja kao i mogućnost praćenja stvarnih, odnosno, realnih emisija ispušnih plinova, a posebno emisija dušikovih oksida (NO_x), po čemu je ovaj tehnički kodeks i dobio ime. Dušik u velikoj mjeri ne reagira sam od sebe u procesu izgaranja, već se jedan dio spaja sa kisikom i tako tvori razne dušikove okside. Dušikovi oksidi koje nalazimo u ispušnim plinovima su dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO₂), kolika količina tih oksida će nastati ovisi o temperaturi plamena i o količini već prisutnog (ako je to slučaj) organskog dušika u gorivu. Osim same temperature plamena tj. izgaranja, na stvaranje dušičnih oksida uvelike utječe i vrijeme, odnosno koliko dugo su dušik i kisik (kojeg više ima kod motora sa većim pretičkom zraka) izloženi visokim temperaturama u prostoru komore za izgaranje. Kod duljeg vremena izloženosti višim temperaturama, uz velike tlakove i veliku količinu dobave goriva, stvara se veća količina dušikovih oksida. Na temelju gore navedenih informacija, ako sagledamo rad sporokretnog dvotaktnog dizel motora, njegove radne parametre poput tlakova izgaranja, temperatura ispušnih plinova, vremena potrebnog za izmjenu radnog medija u cilindru motora, jasno je da sporokretni dizelski motori imaju veću tendenciju stvaranja NO_x u odnosu na brzokretne dizelske motore. [12]

„*NO_x tehnički kodeks 2008.* primjenjuje se na sve dizelske motore snage iznad 130 kW, koji su ugrađeni, ili su projektirani i namijenjeni za ugradnju, na bilo koji brod, koji podliježe zahtjevima odsjeka 7. i na koji se primjenjuje 7.3.2. U svezi sa zahtjevima za pregled i potvrđivanje prema 7.2.1, *NO_x tehnički kodeks 2008.* odnosi se samo na one zahtjeve koji se primjenjuju na usklađivanje motora s granicama ispuštanja dušikovih oksida.“ [12]

3.1. DEFINICIJE POJMOVA

U ovome dijelu opisani su, odnosno definirani pojmovi koji se javljaju kod zahtjeva tehničkog kodeksa za brodске motore, a sljedeći od bitnijih pojmova su:

- **Ispuštanje dušikovih oksida (NO_x)** – odnosi se na ukupno ispuštanje dušikovih oksida, izračunato kao ukupno maseno ispuštanje NO_x, a određeno je primjenom odgovarajućih ispitnih ciklusa i postupaka mjerenja navedenih u „*NO_x tehnički kodeks 2008.*“.
- **Značajna preinaka** – odnosi se na brodski dizelski motor, a dijeli se na:
 1. Za motore koji su ugrađeni na brodovima građenim dne 1. siječnja 2000. ili kasnije – svaka preinaka motora koja bi mogla prouzročiti da motor prekorači norme ispuštanja postavljene u (dio 7.3.2.). Rutinska zamjena sastavnih dijelova motora dijelovima navedenim u *tehničkom zapisniku*, koji ne mijenjaju svojstva ispuštanja, ne smatra se *značajnom preinakom*, bez obzira je li izmijenjen jedan dio ili više njih.
 2. Za motore koji su ugrađeni na brodove građene prije 1. siječnja 2000. – bilo koja preinaka provedena na motoru koja povećava njegova postojeća svojstva ispuštanja, ustanovljena *pojednostavljenim postupkom mjerenja*, opisanim u (dio 7.4.12.3), iznad dopuštenih vrijednosti prema (dio 7.4.12.3-4.10). Ove preinake obuhvaćaju, ali nisu ograničene na: izmjene u radu motora ili u njihovim tehničkim parametrima (npr. izmjene razvodnog vratila, sustava ubrizgavanja goriva, sustava zraka, oblika prostora izgaranja, ili fazno podešavanje motora). Primjena potvrđenih *odobrenih metoda* u skladu sa (dio 7.3.2.7.-1.1.), ili potvrđivanje u skladu sa (dio 7.3.2.7-1.2.), ne smatra se značajnom preinakom u smislu (7.3.2.2.).
- **Sastavni dijelovi** – odnosi se na zamjenjive dijelove koji utječu na svojstva ispuštanja NO_x, koji su povezani svojim brojem nacrti i dijela.
- **Podešavanje** – odnosi se na postavljanje nekog podesivog djela/uređaja koji utječe na svojstva ispuštanja NO_x iz motora.
- **Radne vrijednosti** – podaci o motoru, kao što su: najveći tlak izgaranja, temperatura ispušnih plinova, itd. iz dnevnika stroja koji su povezani sa svojstvima ispuštanja NO_x. Ovi su podaci ovisni o opterećenju.
- **EIAPP potvrda** - *Međunarodna potvrda za motor o sprečavanju onečišćenja zraka*, koja se odnosi na ispuštanje NO_x.

- **IAPP svjedodžba** - *Međunarodna svjedodžba o sprečavanju onečišćenja zraka.*
- **Brodski dizelski motor** - bilo koji klipni ili stapni motor s unutarnjim izgaranjem, koji radi na tekuće ili dvojno gorivo, na kojeg se primjenjuju zahtjevi (dio 7.3.2), uključujući sustave za dobavu goriva i složene sustave, ako se primjenjuju.
Ako je motor namijenjen za normalan pogon u plinskom načinu rada, tj. s plinom kao glavnim gorivom, uz samo male količine tekućega pilot goriva, tada se zahtjevima (dio 7.3.2) mora udovoljavati samo u tome načinu rada. Pogon na čisto tekuće gorivo, u slučaju prekida dobave plinskog goriva u slučaju kvara, izuzima se od tih zahtjeva, za plovidbu do sljedeće pogodne luke za popravak kvara.
- **Nazivna snaga** - najveća trajna snaga, prema oznakama na natpisnoj pločici i u *Tehničkom zapisniku* broskog dizelskog motora, na kojeg se primjenjuju (dio 7.3.2) i „*NOx tehnički kodeks 2008.*“.
- **Nazivna brzina vrtnje** - broj okretaja koljenastog vratila u minuti, koji odgovara nazivnoj snazi, prema oznakama na natpisnoj pločici i u *Tehničkom zapisniku* broskog dizelskog motora.
- **Snaga na kočnici** - snaga mjerena na koljenastom vratilu, ili njezin ekvivalent, kad je motor opremljen samo standardnim pomoćnim uređajima neophodnim za njegov rad na ispitnom stolu.
- **Uvjeti na brodu** – ima značenje:
 1. da je motor ugrađen na brod i spojen sa stvarnom opremom, koja se njime pogoni; i
 2. da je motor u radu, tj. da obavlja svoju namjenu.
- **Tehnički zapisnik** - zapis koji sadrži sve podatke o parametrima, uključujući sastavne dijelove i podatke o podešavanju motora koji mogu utjecati na ispuštanje NOx iz motora, u skladu sa (dio 7.4.7.).
- **Knjiga zapisa o parametrima motora** - dokument koji se koristi u svezi s *metodom provjere parametara motora* za upisivanje promjena svih parametara, uključujući sastavne dijelove i podešavanje motora, koji mogu utjecati na ispuštanje NOx iz motora.
- **Postojeći motor** - motor koji je predmet zahtjeva iz (dio 7.3.2.7.).
- **Odobrena metoda** - metoda za pojedinačni motor, ili niz motora, koja, kad se primijeni na motor, osigurava da motor udovoljava primjenjivim granicama ispuštanja NOx, kako je podrobno opisano u (dio 7.3.2.7.).

- **Zapisnik o odobrenoj metodi** - dokument koji opisuje *odobrenu metodu* i načine pregleda.

Definicije pojmova koje su korištene u ovom dijelu rada (poglavlje **3.1.**), kao i svaki brojem navedeni dio u definicijama za potrebe referenci, uzeti su iz pravilnika za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, odnosno literature navedene pod brojem [12].

3.2. PREGLEDI I POTVRĐIVANJA

Svaki brodski dizelski motor koji spada pod „*NO_x tehnički kodeks 2008.*“ trebao bi proći određene preglede kako bi ostvario pravo na certifikate i dokumentaciju koja omogućuje njegovo korištenje, odnosno koji služe kao dokaz, da su zadovoljeni svi propisi za ispuštanje emisija. Preglede možemo podijeliti na:

- **Pregled za prethodno potvrđivanje** – izvodi se tako da osigura da motor koji se ispituje, je konstruiran i opremljen na način, da udovoljava granicama ispuštanja emisija NO_x, a ispitivanja se izvode na ispitnom stolu. Ako se udovolji tim zahtjevima, Pomorska uprava može izdati „*Međunarodna potvrda za motor o sprječavanju onečišćenja zraka*“ (engl. *Engine International Air Pollution Prevention, EIAPP*).
- **Osnovni pregled za potvrđivanje** – obavlja se na brodu, nakon što se motor ugradi, a prije puštanja u pogon. Ovim pregledom se osigurava da je motor nakon ugradnje, te nakon svih preinaka (ako ih je bilo), još uvijek u skladu sa svim granicama ispuštanja emisija NO_x kao što je bio za vrijeme *pregleda za prethodno potvrđivanje*. Kao što i ime kaže, ovaj pregled spada pod osnovni pregled broda, te se njim utvrđuje može li se brodu izdati „*Međunarodna svjedodžba o sprječavanju onečišćenja zraka*“ (engl. *International Air Pollution Prevention, IAPP*). Osim izdavanja gore navedene svjedodžbe, moguće je napraviti i izmjenu već postojeće, sa napomenom o ugradnji novog motora.
- **Obnovni, godišnji i među pregledi** – ovi pregledi obavljaju se prema propisanim zahtjevima (vidi poglavlje 7.3.2., literatura [11]) u svrhu osiguranja i potvrđivanja da motor i dalje udovoljava granicama za ispuštanje emisija koje su propisane od strane „*NO_x tehničkog kodeksa 2008.*“.
- **Osnovni pregled za potvrđivanje motora** – ovaj pregled se mora obaviti na brodu svaki put nakon što je napravljena neka značajna preinaka na motoru, a u svrhu

osiguranja i potvrđivanja da preinačeni motor i dalje udovoljava granicama ispuštanja NO_x. Ovim pregledom omogućuje se izdavanje nove EIAPP potvrde, ali i izmjenju postojeće IAPP svjedodžbe. [12]

3.3. POSTUPCI PRETHODNOG POTVRĐIVANJA MOTORA

Prije ugradnje brodskog dizelskog motora na brod, trebao bi biti podešen tako da udovoljava primjenjivim granicama ispuštanja NO_x, imati izmjerena ispuštanja NO_x na ispitnom stolu u skladu sa propisima navedenim u pravilniku za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, a osim navedenog, trebao bi biti odrađen pregled za prethodno potvrđivanje od strane Pomorske uprave, što potvrđuje izdana EIAPP potvrda. U slučaju da se pregled obavlja na motorima koji su proizvedeni serijski, ovisno o odobrenju Pomorske uprave, može se usvojiti koncept *obitelji motora* ili *skupine motora*, gdje se ispitivanje zahtjeva samo za motor koji je *predstavnik* skupine motora. Ako je motor, zbog svoje veličine, konstrukcije ili isporuke, nemoguće ispitati na ispitnom stolu u svrhu prethodnog potvrđivanja, tada proizvođač motora mora podnijeti zahtjev Pomorskoj upravi za obavljanje ispitivanja na brodu. Proizvođač odnosno podnositelj zahtjeva dužan je dokazati Pomorskoj upravi da uvjeti ispitivanja na brodu u potpunosti udovoljavaju svim zahtjevima za ispitivanje na ispitnom stolu. Odstupanja izmjerenih veličina ni u kojem slučaju se ne smiju tolerirati, a za motore na kojima se obavlja ispitivanje na brodu u svrhu izdavanja EIAPP potvrde, primjenjuje se jednak postupak kao da se motor ispituje na ispitnom stolu. Takav pregled za prethodno potvrđivanje može se prihvatiti za pojedinačni motor ili skupinu motora, ali se ne smije prihvatiti kao pregled za potvrđivanje *obitelji motora*. [12]

3.4. POSTUPCI ZA POTVRĐIVANJE MOTORA

Nakon ugradnje brodskog dizelskog motora na brod, mora se odrediti u kojoj mjeri je bio podvrgnut naknadnim podešavanjima i/ili preinakama, koje su mogle uzrokovati promjenu u ispuštanju NO_x. Iz tog razloga, nakon ugradnje motora, a prije izdavanja IAPP potvrde, potrebno je obaviti pregled motora i utvrditi je li bilo preinake, i ako je to slučaj, u kojoj mjeri je napravljena. Svaki brodski dizelski motor koji je ugrađen na brod mora imati *Tehnički zapisnik* kojeg priprema podnositelj zahtjeva za potvrđivanje, a kojeg odobrava Pomorska uprava. Zahtijeva se da isti prati motor na brodu tijekom njegovog radnog vijeka. Za slučaj da je ugrađen uređaj za smanjenje ispuštanja NO_x i potreban je za udovoljavanje granicama ispuštanja NO_x, može se obaviti neposredno mjerenje i nadzor emisija kako bi se

osigurao brz način provjere parametara i usklađenosti prema pravilima. Za slučaj da gore navedeni uređaj koristi neki radni medij kao što je: urea, amonijak, para, voda, ili određene dodatke gorivu kako bi se smanjile emisije, potrebno je predvidjeti sustav za nadzor istih, a tehnički zapisnik treba sadržavati podatke koji omogućavaju dokazivanje kako je potrošnja istih usklađena s postizanjem prihvatljivih rezultata emisija NO_x. Ako brod ima ugrađeno više motora i svi parametri, kao dijelovi i podesivi uređaji, udovoljavaju vrijednostima zapisanim u tehničkom zapisniku, treba se prihvatiti da motori rade unutar granica ispuštanja NO_x, te se brodu izdaje IAPP svjedodžba. U slučaju da se na motorima provede bilo kakvo podešavanje koje je izvan dopuštenih granica koje se nalaze u tehničkom zapisniku, brodu se može izdati IAPP svjedodžba samo nakon obavljanja mjerenja sa pojednostavljenim postupkom, ili nakon obavljanja ispitivanja na ispitnom stolu, kojim će se potvrditi da su emisije u dozvoljenim granicama. Pomorska uprava može skratiti i smanjiti opseg dijelova za pregled u skladu sa „*NO_x tehničkim kodeksom 2008.*“ za motor kojem je izdana EIAPP potvrda, ali ipak, potpuni pregled se treba obaviti za barem jedan cilindar i/ili jedan motor u *obitelji* ili *skupini motora*, ako je primjenjivo. Ovo smanjenje opsega dijelova može se provesti samo ako se smatra (očekuje) da svi ostali cilindri i/ili motori rade na isti način kao i pregledani motor i/ili cilindar. Uz gore navedeno smanjenje opsega, kao alternativu pregleda ugrađenih dijelova, Pomorska uprava može napraviti taj dio posla i na rezervnim dijelovima ukrcanim na brodu, uz uvjet da su oni identični kao i ugrađeni dijelovi. [12]

3.4.1. Tehnički zapisnik

Tehnički zapisnik omogućuje da Pomorska uprava može što lakše i uspješnije obavljati preglede brodskih motora, na način da pruža uvid u određenu dokumentaciju parametara bitnih za potvrđivanje motora. Osnovni podaci koji moraju biti sadržani u tehničkom zapisniku su sljedeći:

1. Identifikacija dijelova, podešavanja i radnih vrijednosti koji utječu na ispuštanje emisija NO_x kao i bilo koji uređaj i/ili sustav (ako se koristi) za smanjenje istih.
2. Identifikacija potpunog opsega dopuštenih podešavanja.
3. Osnovne podatke o radnim karakteristikama motora (nazivna brzina vrtnje, nazivna snaga).
4. Sustav koji se koristi za provjeru ispuštanja NO_x za usporedbu i utvrđivanje sukladnosti sa granicama ispuštanja istih.
5. Kopije izvještaja sa ispitnim podacima, ako se radi o *skupini motora*, tada govorimo o ispitnim podacima *motora predstavnika*.

6. Oznaku, opis i ograničenja za motor koji je pripadnik *skupine motora*.
7. Specifikacije rezervnih dijelova i sklopova, čijom će se upotrebom prema tim specifikacijama, nastaviti udovoljavati granicama ispuštanja emisija NO_x.
8. EIAPP potvrda. [12]

3.4.2. Norme za ispuštanje dušikovih oksida

Ispuštanje dušikovih oksida određeno je granicama prema ukupnom masenom ispuštanju NO_x, koje je izmjereno i izračunato u skladu sa postupcima navedenim i opisanim u „NO_x tehničkom kodeksu 2008.“ i treba biti manje ili jednako proračunatoj vrijednosti za određenu nazivnu brzinu vrtnje motora. Proračun se vrši koristeći odgovarajuće cikluse ispitivanja, a za vrijeme ispitivanja mora se koristiti ispitno gorivo. Izračunata vrijednost ispuštanja za motor, zaokružena na jedno decimalno mjesto, treba biti navedena u EIAPP potvrdi motora. Ako je motor pripadnik *skupine* ili *obitelji motora*, proračunate i izmjerene vrijednosti ispuštanja koje se uspoređuju sa zadanim granicama, odnose se na motor koji je kao *predstavnik*, a rezultati ispuštanja motora koji se nalaze u jednoj od gore navedenih grupa, moraju biti jednaki sa rezultatima *predstavnika*. Granična vrijednost se uzima za najviše brzine nazivne vrtnje motora. [12]

3.5. ISPITNI CIKLUSI I FAKTORI MASENOG UDJELA

Svaki motor treba proći određene cikluse ispitivanja kako bi se motor potvrdio, odnosno, kako bi se potvrdilo da emisije NO_x udovoljavaju granicama koje su određene prema tehničkim zapisima motora. Ciklusi ispitivanja tablično su opisani u nastavku rada.

Tablica 1. Ispitni ciklus E2 [12]

| Ispitni ciklus E2 | | |
|--------------------|-------|-----------------------|
| Brzina vrtnje | Snaga | Faktor masenog udjela |
| 100% | 100% | 0,20 |
| 100% | 75% | 0,50 |
| 100% | 50% | 0,15 |
| 100% ^{a)} | 25% | 0,15 |

Tablica 1. opisuje parametre ispitnog ciklusa koji se primjenjuju kod poriva pri stalnoj brzini vrtnje, a odnosi se i na dizel-električne pogone kao i na sve brodske vijke s upravljivim usponom krila. Kod nekih slučajeva, motori sa velikim promjerima cilindara, a koji su namijenjeni za ispitni ciklus E2, zbog velikih masa pokretnih dijelova, ne mogu normalno obavljati rad pri malim opterećenjima na nazivnoj brzini vrtnje. Takvi slučajevi spadaju pod napomenu a) i tada se proizvođač motora mora obratiti Pomorskoj upravi kako bi se ispitni ciklus za razinu od 25% snage s obzirom na brzinu vrtnje izmijenio. Izmijenjena brzina vrtnje za gore navedeni ispitni ciklus, treba biti što bliža nazivnoj brzini vrtnje motora.

Tablica 2. Ispitni ciklus E3 [12]

| Ispitni ciklus E3 | | |
|-------------------|-------|-----------------------|
| Brzina vrtnje | Snaga | Faktor masenog udjela |
| 100% | 100% | 0,20 |
| 91% | 75% | 0,50 |
| 80% | 50% | 0,15 |
| 63% | 25% | 0,15 |

Tablica 2. prikazuje parametre za ispitni ciklus kod brodskih motora koji rade prema krivulji broskog vijka.

Tablica 3. Ispitni ciklus D2 [12]

| Ispitni ciklus D2 | | |
|-------------------|-------|-----------------------|
| Brzina vrtnje | Snaga | Faktor masenog udjela |
| 100% | 100% | 0,05 |
| 100% | 75% | 0,25 |
| 100% | 50% | 0,30 |
| 100% | 25% | 0,30 |
| 100% | 10% | 0,10 |

Kod brodskih pomoćnih motora koji rade pri konstantnoj brzini vrtnje, primjenjuje se ispitni ciklus D2 prema parametrima opisanim u tablici 3.

Tablica 4. Ispitni ciklus C1 [12]

| Ispitni ciklus C1 | | |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Brzina vrtnje | Zakretni moment | Faktor masenog udjela |
| Nazivna | 100% | 0,15 |
| | 75% | 0,15 |
| | 50% | 0,15 |
| | 10% | 0,10 |
| Srednja | 100% | 0,10 |
| | 75% | 0,10 |
| | 50% | 0,10 |
| Praznog hoda | 0% | 0,15 |

Kada se koriste brodski pomoćni motori koji imaju promjenjivu brzinu vrtnje, kao i promjenjivo opterećenje, tada se primjenjuje ispitni ciklus C1 prikazan tablicom 4. sa zadanim parametrima. Iznos zakretnog momenta za gore navedeni ispitni ciklus dobije se u postocima, koji odgovara omjeru zahtijevanog momenta i momenta ostvarenog na pripadajućoj brzini vrtnje.

Srednju brzinu vrtnje za ispitni ciklus C1 propisuje proizvođač motora uz sljedeće zahtjeve:

- Motori koji su projektirani za rad u rasponu brzina vrtnje prema krivulji maksimalnog opterećenja, srednja brzina vrtnje treba odgovarati maksimalnom momentu koji se pojavljuje između 60% i 75% nazivne brzine vrtnje.
- Ako je deklarirana brzina vrtnje koja odgovara najvećem zakretnom momentu manja od 60% nazivne brzine vrtnje, tada se srednja brzina vrtnje uzima kao 60% nazivne brzine vrtnje.
- Ako je deklarirana brzina vrtnje koja odgovara najvećem momentu veća od 75% nazivne brzine vrtnje, tada se srednja brzina vrtnje uzima kao 75% nazivne brzine vrtnje.

- Motori koji nisu projektirani za rad u rasponu brzina vrtnje prema krivulji punog opterećenja u stacionarnom stanju, srednja brzina vrtnje će biti između 60% i 70% nazivne brzine vrtnje. [12]

3.6. UVJETI MJERENJA ISPUŠTANJA NO_x NA ISPITNOM STOLU ZA MOTORE KOJI KORISTE TEKUĆE GORIVO ILI SUSTAV DVOJNOG GORIVA

U ovome dijelu rada (poglavlje 3.6) opisani su neki od osnovnih uvjeta mjerenja emisija NO_x na ispitnom stolu, kao i neke od osnovnih formula koje se koriste tijekom proračuna. Svi uvjeti su propisani od strane „NO_x tehnički kodeks 2008.“, a u svrhu dobivanja što točnijih rezultata mjerenja. Važno je napomenuti da je nužno pridržavanje propisanih uvjeta, jer jedino se tako može doći do mjerodavnih rezultata, koji su nužni za potvrđivanje ispitivanog motora. Informacije koje su korištene u ovom dijelu rada (poglavlje 3.6) uzete su iz izvora pod brojem literature [13], odnosno iz „NO_x tehnički kodeks 2008.“ gdje se mogu pronaći detaljne informacije i opis ispitivanja i mjerenja.

Prije samog početka ispitivanja ispuštanja emisija NO_x na ispitnom stolu, potrebno je osigurati uvjete mjerenja, koji su propisani „NO_x tehničkim kodeksom 2008“ za svaku vrstu mjernog ciklusa kao i za tip motora na kojem se mjerenje obavlja. Ovi postupci trebaju se primijeniti na bilo koje osnovno ispitivanje u svrhu odobrenja brodskog motora, neovisno gdje se ono obavlja.

Za vrijeme testiranja, motori moraju biti opremljeni sa svim svojim pomoćnim uređajima, koji bi se koristili i u navigaciji. Svi volumeni, kao i volumni protoci, trebaju biti računati na osnovu poveznice sa 273 K (0 °C) i 101.3 kPa. Potrebno je izmjeriti apsolutnu temperaturu (T_a) usisnog zraka za motor, a suhi atmosferski tlak (p_s) se računa prema sljedećoj formuli:

$$p_s = p_b - 0,01 \cdot \varphi_a \cdot p_a \text{ (kPa)}$$

Gdje je: p_b – barometarski tlak, kPa

ϕ_a – relativna vlažnost usisnog zraka motora, %

p_a - tlak zasićene pare usisnog zraka motora određen pomoću vrijednosti temperature za usisni zrak, mjeren na istim mjestima gdje se mjeri p_b i ϕ_a, kPa.

Potrebno je odrediti parametar uvjeta ispitivanja (f_a), koji se razlikuje za motore bez prednabijanja i motore sa prednabijanjem.

- a) Formula za računanje parametara uvjeta ispitivanja za motore bez prednabijanja, koji koriste tekuće gorivo ili sistem dvojnog goriva:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7}$$

- b) Formula za računanje parametara uvjeta ispitivanja za motore sa prednabijanjem, koji koriste tekuće gorivo ili sistem dvojnog goriva:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1,5}$$

Kako bi se ispitivanje priznalo kao valjano za potvrđivanje motora, zasebnih, ali i onih koji su pripadnici *skupine* ili *obitelji motora*, parametar uvjeta ispitivanja (f_a) treba biti:

$$0,93 = f_a = 1,07$$

Svi motori koji su spremni za ugradnju na brod i korištenje, a koji koriste okolnu morsku vodu kao medij za hlađenje, bilo direktnim ili indirektnim putem, trebali bi biti sposobni raditi sa udovoljenim granicama emisija NO_x koje su propisane u „*NO_x tehnički kodeks 2008*“ pri okolnoj temperaturi morske vode od 25°C. Sustav usisavanja svježeg zraka u motor koji se koristi za vrijeme ispitivanja trebao bi osigurati $\pm 300 \text{ Pa}$ od najveće vrijednosti koju navodi proizvođač motora, a koja odgovara trenutku kada motor ima najveću nazivnu brzinu vrtnje i maksimalno opterećenje. Za vrijeme ispitivanja treba se koristiti ispušni sustav koji osigurava povratni tlak ispušnih plinova $\pm 650 \text{ Pa}$ od najveće vrijednosti koju navodi proizvođač motora, a koja odgovara trenutku kada motor ima najveću nazivnu brzinu vrtnje i maksimalno opterećenje. Sustav hlađenja motora koji se koristi na ispitnom stolu treba imati dovoljan kapacitet koji će osigurati normalan rad motora, na temperaturama koje propisuje proizvođač motora. Gorivo koje se koristi za vrijeme ispitivanja može uvelike utjecati na rezultate mjerenja emisija NO_x , iz tog razloga, potrebno je koristiti propisano referentno gorivo, ali ako nije dostupno, preporuča se koristiti gorivo pod oznakom *ISO 8217:2005*. Temperatura goriva koje se koristi treba odgovarati temperaturi koju navodi sam proizvođač motora, a temperatura se mjeri na točno određenoj poziciji koja je također određena od strane proizvođača. Ako se protok ispušnih plinova računa pomoću količine zraka i goriva, metoda treba biti u skladu sa priznatim međunarodnim standardom.

Formula za računanje protoka ispušnih plinova (q_{mEW}):

$$q_{mEW} = q_{mAW} + q_{mf} \text{ (kg/h)}$$

Gdje je: q_{mAW} – maseni protok usisnog vlažnog zraka, kg/h

q_{mf} – maseni protok goriva, kg/h

Prije početka uzimanja uzorka ispušnih plinova, motor na kojem se obavljaju ispitivanja, trebao bi postići svoju radnu temperaturu koju propisuje proizvođač motora.

Temperatura ispušnih plinova ne smije biti niža od $190^{\circ}C$ za vrijeme mjerenja količine ugljikovodika, i/ili niža od $70^{\circ}C$ ako se mjeri količina drugih plinova odvojeno od ugljikovodika.

Osim postizanja radne temperature motora koji se ispituje, potrebno je obaviti kalibraciju mjernog uređaja.

Između kraja ciklusa mjerenja i početka novoga ciklusa mjerenja, važno je da se nazivna brzina vrtnje motora održava približno jednakom, odnosno, treba se održavati brzina vrtnje koja odgovara $\pm 1\%$ od nazivne brzine vrtnje motora navede od strane proizvođača motora. Specifični zakretni moment tijekom ispitnih ciklusa mora se održavati tako da prosječni zakretni moment tijekom ispitivanja iznosi $\pm 2\%$ od nazivnog momenta pri nazivnoj brzini vrtnje motora.

Ako su se mjerenja protoka ispušnih plinova (q_{mew}) obavljala bez da je uračunata količina vlage u zraku kojeg ispitivani motor usisava i koristi za svoj rad, potrebno je obaviti suho/mokru korekciju (c_w), ona se obavlja pomoću sljedeće formule:

$$c_w = k_w \cdot c_d \text{ (ppm)}$$

Gdje je: k_w – faktor suho/mokre korekcije za usisani zrak

c_d – koncentracija u ispušnim plinovima (za stanje bez vlage), ppm

Kako količina emisije NO_x uvelike ovisi o vlažnosti, kao i o temperaturi okoline u kojoj se ispitivanja obavljaju, potrebno je napraviti korekciju za vlažnost i temperaturu. Količina vlage za referentnu temperaturu propisana je u „*NO_x tehničkom kodeksu 2008.*“ i ne smije

biti veća od 10,71 kg/h za temperaturu od 25 °C. Treba naglasiti da se voda ili vodena para, ubrizgana u struju usisanog zraka, smatra kao sustav kontrole emisija NO_x i ona se ne uzima u obzir kod korekcije vlažnosti. Voda koja se kondenzira u hladnjaku prednabijenog zraka tlačnog sa turbopuhalom, može bitno promijeniti vlažnost usisanog zraka i iz tog razloga je bitno uzeti u obzir kod računanja korekcije vlažnosti. Formule za korekciju vlažnosti razlikuju se za motore bez prednabijanja (bez turbopuhala) i motora sa prednabijanjem (sa turbopuhalom).

- a) Formula za računanje korekcije vlažnosti za motore koji samozapaljenje ostvaruju kompresijom, a ne koriste prednabijanje svježeg zraka (k_{hd}):

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0,0182 \cdot (H_a - 10,71) + 0,0045 \cdot (T_a - 298)}$$

Gdje je: T_a – temperatura zraka na ulazu u filter zraka, (K)

H_a – apsolutna vlažnost (sadržaj vlage) usisanog zraka u odnosu na 1 kg suhog zraka, (g/kg)

- b) Formula za računanje korekcije vlažnosti za motore koji samozapaljenje ostvaruju kompresijom, a koji koriste prednabijanje svježeg zraka (k_{hd}):

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0,012 \cdot (H_a - 10,71) - 0,00275 \cdot (T_a - 298) + 0,00285 \cdot (T_{sc} - T_{SCRef})}$$

Gdje je: T_{sc} – temperatura prednabijenog zraka, (K)

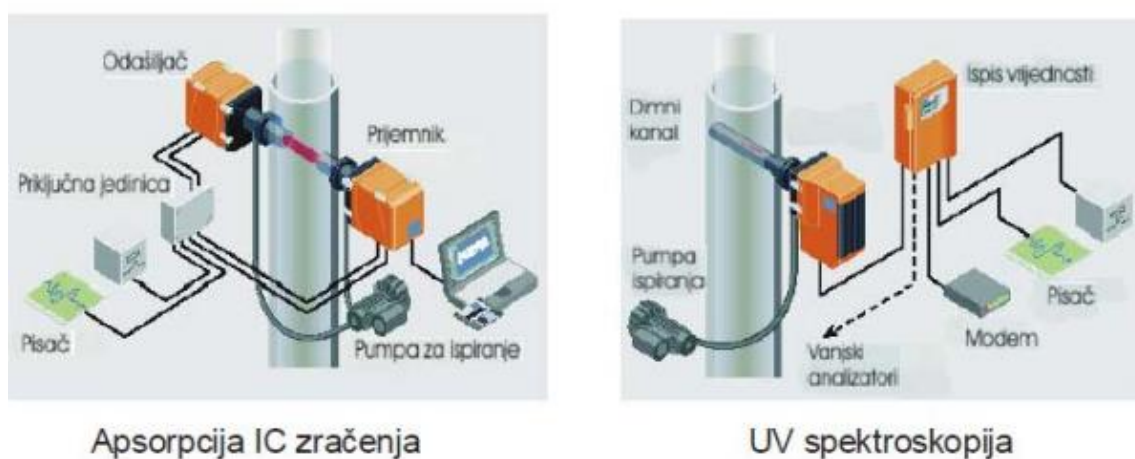
T_{SCRef} – referentna temperatura prednabijenog zraka koja odgovara za temperaturu morske vode od 25 °C, a koju propisuje proizvođač motora na kojem se vrši ispitivanje, (K)

4. UREĐAJI ZA MJERENJE ISPUŠNIH PLINOVA

Mjerenje ispušnih plinova kod brodskih motora jako je bitna radnja koja se izvodi u svrhu kontrole štetnih čestica plinova izgaranja, a pored toga, puno nam govori o samom načinu rada motora, da li je njegovo izgaranje potpuno ili nepotpuno, te u kojem području radnog ciklusa ostvaruje najbolje rezultate. Postoji mnogo vrsta mjernih uređaja, koji koriste različite načine vršenja mjerenja, ali svi moraju biti u skladu sa pravilima „*MARPOL dodatak VI*“ i „*NO_x tehnički kodeks 2008.*“ kako bi bili mjerodavni u davanju rezultata. U nastavku su opisani principi rada mjernih uređaja, kao i sami uređaji koji se koriste u današnjici.

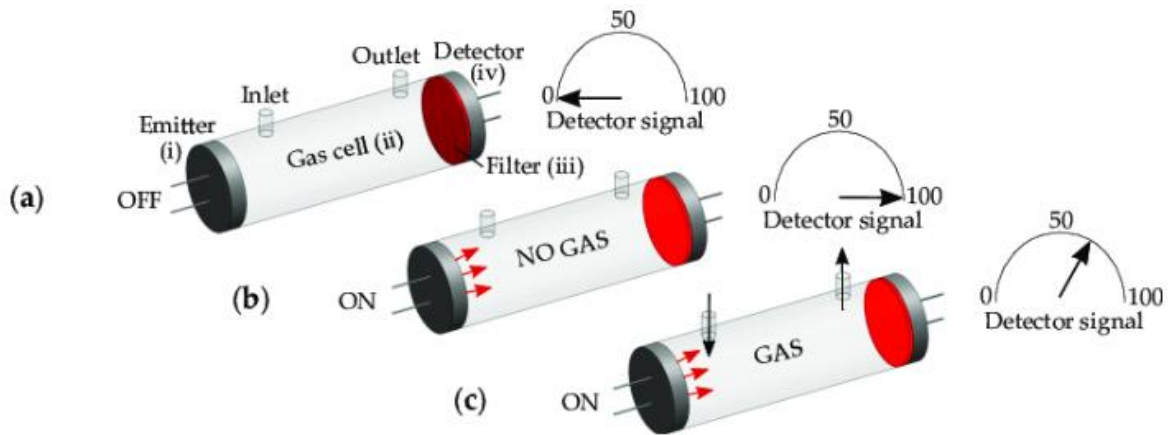
4.1. VRSTE MJERENJA

Po principu vršenja mjerenja, mjerni uređaji se mogu općenito podijeliti u dvije skupine. Prva skupina uređaja bi bila ona kod kojih uređaji ne uzimaju direktno uzorak emisije ispušnih plinova, već se mjerenje obavlja instaliranim „*pick-up*“ senzorima koji rade na osnovu praćenja intenziteta monokromatske svjetlosne zrake koja se emitira poprečno kroz cijev ispušnog sistema, na gore navedeni senzor. Na sljedećoj slici prikazan je primjer instaliranja uređaja koji mjerenja obavlja na gore navedeni način.



Slika 5. Primjer mjerenja pick-up senzorom [14]

Na slici 6. prikazan je primjer smanjenja odzivnog signala „pick-up“ senzora kroz medij u cijevi.

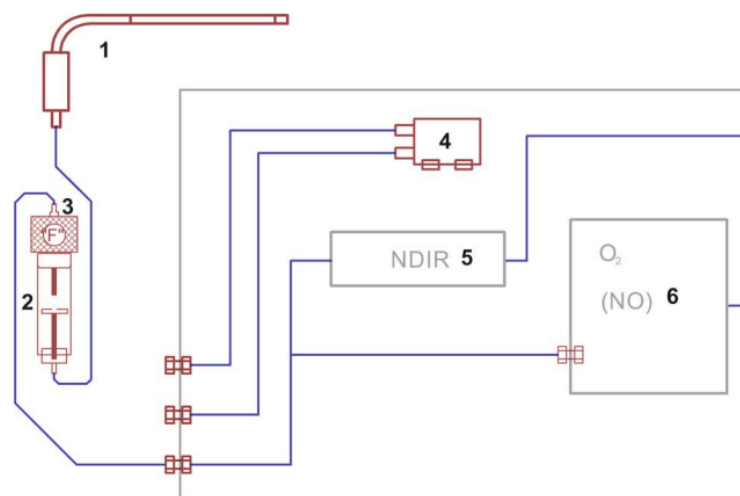


Slika 6. Odziv signala kroz medij [15]

Slika prikazuje:

- (a) – emiter signala je isključen, zbog toga nema detekcije signala
- (b) – emiter je uključen, u cijevi nema medija, detektirani signal je maksimalan
- (c) – emiter je uključen, u cijevi je medij, detektirani signal se smanjio

U drugu skupinu uređaja za mjerenje ispušnih plinova spadaju oni uređaji koji direktno uzimaju uzorak emisije ispušnih plinova. Uzorak ispušnih plinova se usisava i tlači u uređaj pomoću pumpe, a prije ulaska u uređaj, uzorak se hladi, bilo prirodnim putem ili prolaskom kroz izmjenjivač temperature, zatim odlazi u odvajač kondenzata, odnosno odvaja se voda, a ostatak obrađenih plinova odlazi do različitih senzora gdje se na različite načine određuje sastav i količina usisanih plinova. Na slici 7. prikazan je dijagram toka plinova za uređaj *Optima 7 NDIR* koji mjerenja obavlja direktnim uzimanjem uzorka ispušnih plinova.



Slika 7. Dijagram toka plinova za Optima 7 NDIR [16]

Tablica 5. Opis elemenata sa slike 7. [16]

| Pozicija | Objašnjenje |
|----------|-------------------------|
| 1 | Uzeti uzorak |
| 2 | Odvajač kondenzata |
| 3 | Filter |
| 4 | Senzor tlaka |
| 5 | NDIR senzor |
| 6 | Elektro-kemijski senzor |

4.2. OPIS SENZORA

Uređaji za mjerenje emisija ispušnih plinova mogu koristiti različite vrste senzora, ovisno o željenoj vrsti mjerenja, kao i o samom sastavu ispušnih plinova, a svaki od njih ima svoj način obavljanja svoje funkcije rada. O vrsti senzora ovisit će detekcija vrste plina, količina ali i točnost mjerenja.

Tablica 6. Vrste senzora i princip rada [14]

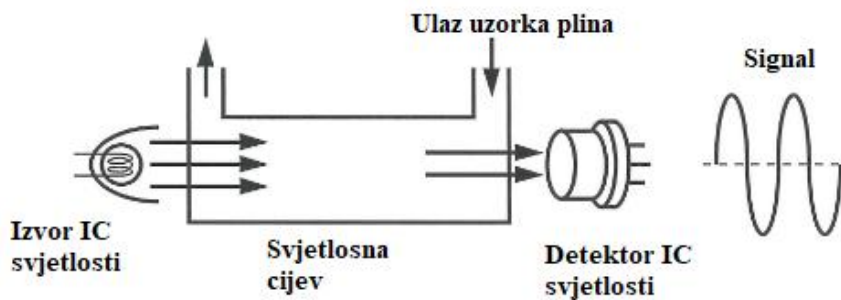
| Senzor | Princip rada |
|-----------------|--|
| Elektrokemijski | Djelovanje energije između kemijske reakcije i električne energije |
| Kalorimetrički | Razvijanje topline uslijed reakcije |
| Fotometrički | Apsorpcija ultraljubičastog (UV) i infracrvenog (IC) zračenja |
| Paramagnetski | Paramagnetska svojstva kisika |
| Ionizacijski | Mjerenje energije nastale uslijed ionizacije čestica |

Tablica 7. Vrste senzora i vrste plinova koje mogu izmjeriti [14]

| Senzor | NO _x | SO _x | CO ₂ | CO | HC | O ₂ | H ₂ S |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|----|----------------|------------------|
| Elektrokemijski | X | | X | X | | X | X |
| Kalorimetrički | | | | X | X | | |
| Fotometrički (IC) | X | X | X | X | X | | |
| Fotometrički (UV) | X | X | | | | | |
| Paramagnetski | | | | | X | | |
| Ionizacijski | | | | | X | | |

4.2.1. Ne-disperzirani infracrveni senzor (NDIR)

Ne-disperzirani infracrveni senzor (engl. *Non-dispersive infrared*, NDIR) je jedan od bitnijih senzora u današnjici koji ima veliku primjenu kod mjerenja emisija ispušnih plinova. Princip rada ovih senzora je jednostavan, senzor se sastoji od infracrvenog izvora, komore za uzorke ili tzv. svjetlosne cijevi, svjetlosnog (optičkog) filtera i detektora infracrvenog svjetla. Izvor infracrvene svjetlosti stvara svjetlosni snop raspona 2-8 μm usmjeren je kroz komoru za uzorke prema detektoru. Prolaskom svjetlosti kroz plin koji je uzet kao uzorak događa se apsorpcija dijela valnih duljina svjetlosti (Beer-Lambertov zakon). Prije dolaska do detektora sa kojim se mjeri prigušenje valnih duljina, svjetlost prolazi kroz optički filter, kojim se valne duljine filtriraju i ostaju samo one koje odgovaraju plinu čija se koncentracija mjeri, npr. za CO₂. Uređaj ima još jednu zatvorenu komoru u kojoj se nalazi referentni plin, to obično bude dušik. Signal sa detektora ide preko multipleksera na analogno-digitalni pretvarač nakon čega se signal može očitati na digitalnom kontroloru [16]. Na slici 8. prikazana je pojednostavljena shema NDIR senzora.



Slika 8. Pojednostavljena shema NDIR senzora [18]

4.2.2. Elektro-kemijski senzor

Elektrokemijski senzor može biti izveden sa dvije ili tri elektrode. Senzor sa dvije elektrode koristi se za mjerenje količine kisika (O), dok se za mjerenje količine plinova poput dušikovog oksida (NO), dušikovog dioksida (NO₂), ugljičnog monoksida (CO), sumpornog dioksida (SO₂) i hidrogen sulfida (H₂S) koriste tri elektrode.

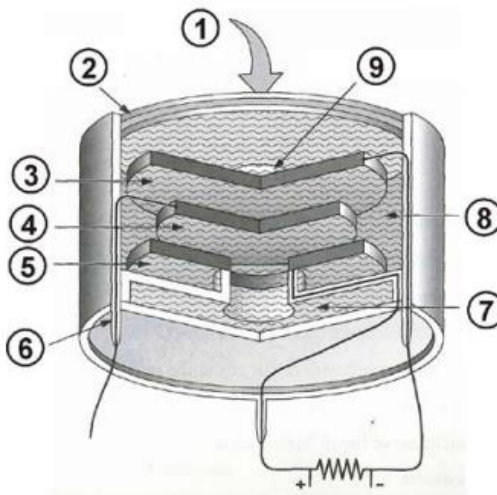
Tri elektrode koje senzor koristi su:

- S – elektroda koja se koristi kao osjetnik (radna elektroda)
- C – protu elektroda koja se koristi kao pomoćni vodič
- R – elektroda koja se koristi kao referentna

Elektrokemijski senzori rade na principu tehnologije difuzije plina. Prednost ovoga načina rada je ta što se signal generira proporcionalno i linearno prema koncentraciji volumena (% ili ppm) plina koji se ispituje.

Kada plin koji se analizira dođe u kontakt sa osjetnom (radnom) elektrodom, stvara se reakcija na površini elektrode u obliku oksidacije (kod CO, SO₂, NO) ili redukcije (kod NO).

Na slici 9. prikazan je elektrokemijski senzor u presjeku.



Slika 9. Prikaz elektrokemijskog senzora u presjeku [16]

Tablica 8. Opis elemenata sa slike 9. [16]

| Pozicija | Objašnjenje |
|----------|-------------------------------|
| 1 | Uzorak plina |
| 2 | Filter čestica |
| 3 | Osjetna (radna) elektroda |
| 4 | Referentna elektroda |
| 5 | Protu elektroda |
| 6 | Priključna igla |
| 7 | Spremnik elektrolita |
| 8 | Elektrolit |
| 9 | Kapilarno-difuzijska pregrada |

Senzor stvara konstantni izlazni strujni signal u mikro-amperima (μA) koji se prati i analizira, a trenutna jačina signala (intenzitet) ovisi o volumnoj koncentraciji plina koji se koristi kao uzorak. [16]

4.3. OPIS MJERNIH UREĐAJA OPTIMA 7 NDIR I TESTO 350 MARITIME

U ovome dijelu prikazani su i opisani dva mjerna uređaja koji se često mogu naći u primjeni za mjerenje emisija ispušnih plinova kako kod brodskih postrojenja, tako i u kopnenim postrojenjima i industriji. Oba uređaja obavljaju mjerenje na način direktnog uzimanja uzorka ispušnih plinova iz kojeg se odvaja voda i dalje ide prema sensorima. Slikovito su prikazani i opisani dijelovi uređaja, a navedeni su i mjerni parametri za oba uređaja.

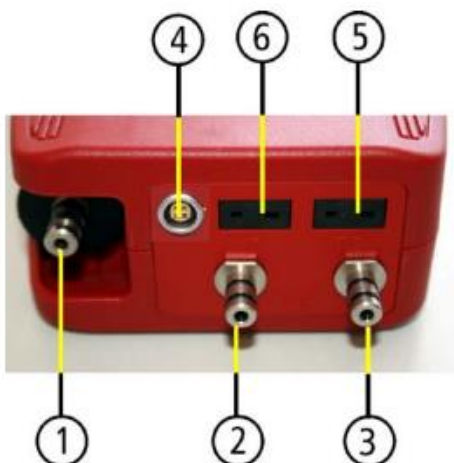
4.3.1. OPTIMA 7 NDIR

Optima 7 NDIR analizator plinova je uređaj koji se koristi za mjerenje pet vrsta ispušnih plinova. Mjerenje obavlja na način da usisava ispušne plinove koje šalje kroz elemente do senzora (vidi sliku 7.). Uređaj radi pomoću infracrvenog senzora (NDIR) sa kojim može mjeriti CO, CO₂ i HC, a pomoću elektrokemijskog senzora mjeri O₂ i NO_x. Osim sastava ispušnih plinova, uređaj može mjeriti i temperaturu plinova, tlak plinova kao i diferencijalni tlak. Uređaj nije namijenjen za kontinuirana mjerenja. [16]



| | |
|---|--------------------|
| 1 | Zaslon |
| 2 | Odvajač kondenzata |
| 3 | Tipkovnica |

Slika 10. Prikaz Optima 7 NDIR mjernog uređaja [16]



| | |
|---|---|
| 1 | Priključak sonde za uzorke Odvajač kondenzata |
| 2 | Tlačni priključak 1 (usis) |
| 3 | Tlačni priključak 2 (diferencijalni tlak) |
| 4 | AUX priključak |
| 5 | Temperaturni priključak 1 (temperatura okoline) |
| 6 | Temperaturni priključak 2 (temperatura ispušnih plinova) |

Slika 11. Priključci Optima 7 NDIR mjernog uređaja [16]



Slika 12. Odvajač kondenzata na uređaju Optima 7 NDIR [16]

Tablica 9. Tehničke specifikacije mjernog uređaja Optima 7 NDIR [16]

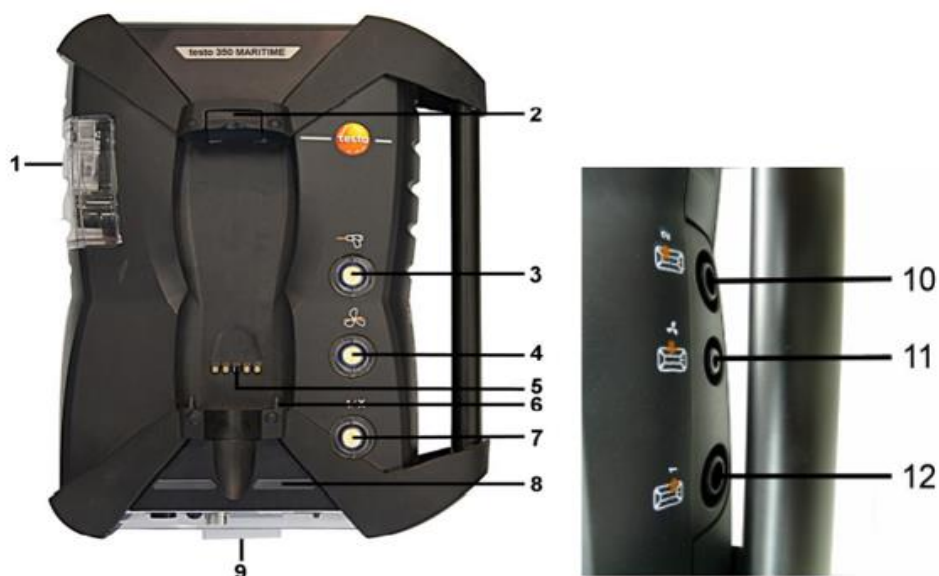
| | Raspon mjerenja | Točnost mjerenja | Vrijeme mjerenja |
|-------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| CO₂ | 0-20 vol. % | ± 0,4 % | < 40 s |
| CO | 0-10 vol. % | ± 0,03 % | < 40 s |
| HC | 0-20 000 ppm | ± 10 ppm | < 40 s |
| O₂ | 0-21,0 vol. % | ± 0,2 % | < 20 s |
| NO | 0-1000 ppm | ± 5 ppm | ≤ 30 s |
| T_{ispušnih plinova} | 0-800 °C | ± 2 °C | X |
| T_{okoline} | 0-100 °C | ± 1 °C | X |
| p_{ispušnih plinova} | ± 200 hPa | ± 0,02 hPa | X |

4.3.2. TESTO 350 MARITIME

Testo 350 Maritime je profesionalni uređaj izrađen tako da udovoljava zahtjevima od strane „MARPOL dodatak VI“ i „NO_x tehnički kodeks 2008.“ koji se koristi za mjerenje emisija ispušnih plinova. Sastoji se od kontrolne jedinice (slika 13.) i mjerne jedinice (slika 14.) koja sadrži pumpu za direktno uzimanje uzorka ispušnih plinova, senzore za mjerenje temperature i tlaka ispušnih plinova, 6 različitih senzora koji se koriste za mjerenje plinova poput NO, NO₂, SO₂, CO, CO₂ i O₂. [19]



Slika 13. Kontrolna jedinica mjernog uređaja Testo 350 Maritime [19]



| | |
|----|---|
| 1 | Posuda za kondenzat |
| 2 | Tipka za otključavanje/zaključavanje kontrolne jedinice |
| 3 | Filter za analizirani plin |
| 4 | Filter ulaznog svježeg zraka |
| 5 | Kontaktni spoj za kontrolnu jedinicu |
| 6 | Vodilice za zaključavanje položaja kontrolne jedinice |
| 7 | Filter zraka kod miješanja plinova |
| 8 | Prikaz stanje |
| 9 | Etiketirani podaci uređaja |
| 10 | Izlaz plina 1 |
| 11 | Ulaz svježeg zraka |
| 12 | Izlaz plina 2 |

Slika 14. Mjerna jedinica uređaja Testo 350 Maritime [19]

Tablica 10. Tehničke specifikacije mjernog uređaja Testo 350 Maritime [19]

| Mjerni parametar | Raspon mjerenja | Točnost mjerenja |
|-------------------------------|-----------------|---|
| O_2 | 0-25 vol. % | Prema „Marpol dodatak VI“ ili „NO _x tehnički kodeks 2008.“ |
| CO | 0-3000 ppm | |
| CO ₂ | 0-40 vol. % | |
| NO | 0-3000 ppm | |
| NO ₂ | 0-500 ppm | |
| SO ₂ | 0-3000 ppm | |
| $T_{\text{ispušnih plinova}}$ | - 40 – 1000 °C | ± 5 K |
| $p_{\text{ispušnih plinova}}$ | 600-1150 hPa | ± 5 hPa pri 22°C |

Slika 15. prikazuje izjavu o sukladnosti kojom se potvrđuje da su na mjernom uređaju Testo Maritime 350 obavljena ispitivanja te da udovoljava propisanim zakonima i standardima, a prikazani su i rezultati točnosti mjerenja uslijed kalibracije mjernog uređaja.



Declaration No.
0003 / 2018

Be sure. 

Be sure. 

EU-Konformitätserklärung
EU declaration of conformity

Für die nachfolgend bezeichneten Produkte und Zubehör:
We confirm that the following products and related accessory:
Messsystem testo 350 MARITIME_V2

Measuring System (Set) Best.: / Order No.: 0563 3503
Control Unit Material Nr.: / Material No.: 0632 3511 50
Serien Nr. / Serial No.: 03497188

wird bestätigt, dass sie den wesentlichen Schutzanforderungen entsprechen und bei bestimmungsmäßiger Verwendung den grundlegenden Anforderungen folgender Richtlinie entsprechen:
corresponds with the main protection requirements and, if used according to their intended purpose, comply with the essential requirements of the directive:

| Richtlinien / directives | | |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> MED 2014/90/EU | <input checked="" type="checkbox"/> EMV / EMC 2014/30/EU | <input checked="" type="checkbox"/> RoHS 2011/65/EU |

Zur Beurteilung der Erzeugnisse wurden folgende Normen herangezogen:
For assessment of the product following standards have been called upon:

| Normen / standards | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> DIN EN 50270:2015 | <input checked="" type="checkbox"/> DIN EN 50581:2013 |

Das Produkt wurde auf Einhaltung folgender Richtlinien und Prüfnormen geprüft:
This equipment has been tested to verify compliance with the following regulations and testing standards:

Richtlinien und Prüfnormen / regulations and testing standards
Applicable tests according to DNV GL Class Guidelines DNVGL-CG-0339, November 2016 and MARPOL Annex VI and the NOx Technical Code 2008

Gemäß / as per:
Typ Prüfung (Modul B) Zertifikatsnummer MEDB0000328
Type Examination (Module B) certificate No. MEDD000017Z
Überwachungszertifikat-/Bericht (Modul D) Nr. TAA00001K0
Surveillance certificate/report (Module D) No.
Type Approval-Zertifikat Nr.
Type Approval certificate No.

| Konformitätsbewertungsstelle / conformity assessment body | |
|---|---|
|  DNV GL SE |  0098 / 20 |

Diese Erklärung wird für: / This declaration is given in responsibility for:
Testo SE & Co. KGaA
Testo-Straße 1
79853 Lenzkirch / Germany
www.testo.com

abgegeben durch / by:
Peter Kräuter (Name / name) Frank Eder (Name / name)
Head of Supply Chain Management (Position in the company of the manufacturer) Head of Research & Development – Devices (Position in the company of the manufacturer)
Lenzkirch, 24.07.2020 (Ort, Datum / place, date)

Signature: Peter Kräuter (left), Frank Eder (right)

Kalibrier-Protokoll
Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificado de taradura • Informe de calibración

Gerät / Module type / Type de modèle / Prodotto / Modelo: T350 MAR
Seriennummer / Serial No. / No. de série / No. Serie strumento / n° de serie: 62395822

| Temperaturmessung Temperature measurement Mesure de température Misura della temperatura Medición de temperatura | Sollwert Reference Référence Valore campione Referencia | Istwert Actual value Valeur effective Valore misurato Valor medido | zulässige Abweichung Permissible deviation Différence admissible Scostamento ammesso Desviación permitida |
|--|---|--|---|
| Verbrennungslufttemp. / Ambient air temp. Température d'air de combustion Temperatura aria comburente Temperatura ambiente | 100.0 °C | 100.1 °C | +- 0.5 °C |
| Abgastemperatur / Flue gas temperature Température des fumées Temperatura fumi Temperatura gases | 100.0 °C | 100.0 °C | +- 0.5 °C |
| Zug-/Druckmessung Draft/pressure measurement Mesure de tirage/de pression Misura della pressione/ tiraggio Medición de trío/ presión | 8.00 hPa | 7.99 hPa | +- 0.12 hPa |

Gasmeßwerte / Gas values / Valeurs de gaz mesurées / Parametri di misura del gas / Gases patrón

| Reg. Nr. Reg. No. Reg. No. Num. reg. n° certí | Gas Gas Gaz Gas Gas | Sollwert Reference Référence Valore campione Referencia | Istwert Actual value Valeur effective Valore misurato Valor medido | zulässige Abweichung Permissible deviation Différence admissible Scostamento ammesso Desviación permitida |
|---|---------------------------------|---|--|---|
| 20195211 | NO2 | 100.1 ppm | 102.1 ppm | +- 5.0 ppm |
| 20201440 | NO | 150 ppm | 148 ppm | +- 8 ppm |
| 20190567 | CO2 | 16.99 % | 17.07 % | +- 0.40 % |
| 20195088 | CO2 | 38.5 % | 38.5 % | +- 0.7 % |
| 20200627 | O2 | 5.01 % | 5.04 % | +- 0.20 % |
| 20201905 | O2 | 2.51 % | 2.54 % | +- 0.20 % |
| 20201440 | O2 | 0.00 % | 0.00 % | +- 0.20 % |
| 20200027 | CO | 401 ppm | 401 ppm | +- 20 ppm |
| 20201905 | CO | 701 ppm | 696 ppm | +- 35 ppm |
| 20201440 | CO | 100 ppm | 104 ppm | +- 10 ppm |
| 20192725 | SO2 | 100 ppm | 97 ppm | +- 5 ppm |

Datum/Date/Date/Data/Fecha: 24.07.2020 Prüfer/Inspector/Vérificateur/Verificatore/Verificador: 744

Slika 15. Izjava o sukladnosti za mjerni uređaj [19]

5. PRIMJER MJERENJA ISPUŠNIH PLINOVA SA UREĐAJEM OPTIMA 7 NDIR

Mjerenja emisija ispušnih plinova u svrhu ovoga rada obavljena su pomoću uređaja Optima 7 NDIR, a mjerenja su odrađena na dizelskom motoru marke FAMOS koji ima nazivnu brzinu vrtnje od 1500 *o/min* i nazivne snage 139 *KS* (~103 *kW*). Motor je namijenjen za pogon generatora, odnosno proizvodnju električne energije. Na slici 16. i slici 17. prikazan je motor kao i njegova pločica sa osnovnim tehničkim podacima.



Slika 16. Prikaz dizelskog motora marke FAMOS



Slika 17. Tehnički podaci dizelskog motora marke FAMOS

Za vrijeme mjerenja, motor je radio u praznom hodu (bez otpora generatora električne energije), mjerenja su obavljena pri radnoj temperaturi motora, za tri režima rada. Prvi režim rada je bio pri niskom broju okretaja (~ 800 o/min), drugi režim rada je bio pri srednjem broju okretaja ($\sim 1100-1200$ o/min), a treći režim rada je bio pri maksimalnom broju okretaja (~ 1500 o/min). Plinovi koji su se mjerili sa uređajem Optima 7 NDIR su: O_2 (vol. %), CO_2 (vol. %), CO (vol. %), NO (ppm) i HC_4 (ppm). Temperatura okoline je iznosila 21 °C. Vrijeme uzimanja uzorka za svaki režim rada iznosio je 60 sekundi.



Slika 18. Prikaz mjernog uređaja i njegove instalacije za obavljanje mjerenja



Slika 19. Mjerni uređaj za vrijeme rada

Za rezultate mjerenja uzeta je srednja vrijednost izmjerenih veličina za mjerene plinove, a rezultati su prikazani u sljedećim tablicama za svaki od tri režima rada posebno.

Tablica 11. Izmjerene vrijednosti za prvi režim rada motora (~ 800 o/min)

| Mjerni parametar | Izmjerena vrijednost | Mjerna jedinica |
|-----------------------|----------------------|-----------------|
| O₂ | 18,65 | <i>vol. %</i> |
| CO₂ | 1,27 | <i>vol. %</i> |
| CO | 0,073 | <i>vol. %</i> |
| NO | 124,17 | <i>ppm</i> |
| HC₄ | 8,45 | <i>ppm</i> |

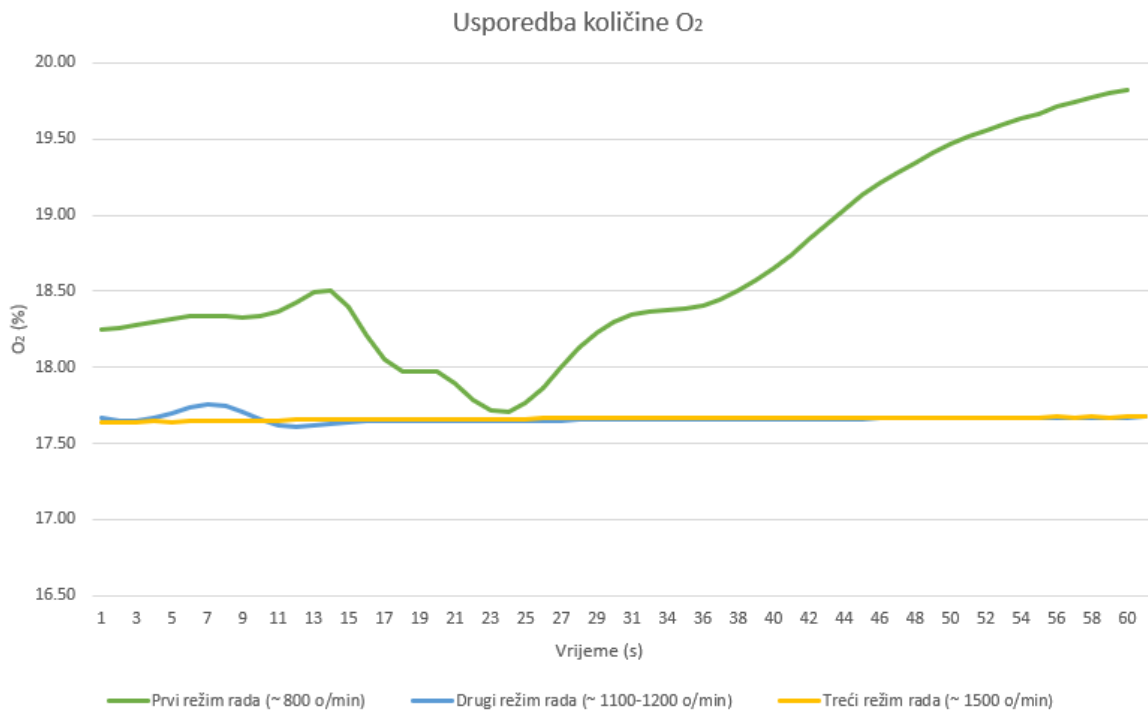
Tablica 12. Izmjerene vrijednosti za drugi režim rada motora (~ 1100-1200 o/min)

| Mjerni parametar | Izmjerena vrijednost | Mjerna jedinica |
|-----------------------|----------------------|-----------------|
| O₂ | 17,66 | <i>vol. %</i> |
| CO₂ | 1,71 | <i>vol. %</i> |
| CO | 0,081 | <i>vol. %</i> |
| NO | 151,45 | <i>ppm</i> |
| HC₄ | 15,32 | <i>ppm</i> |

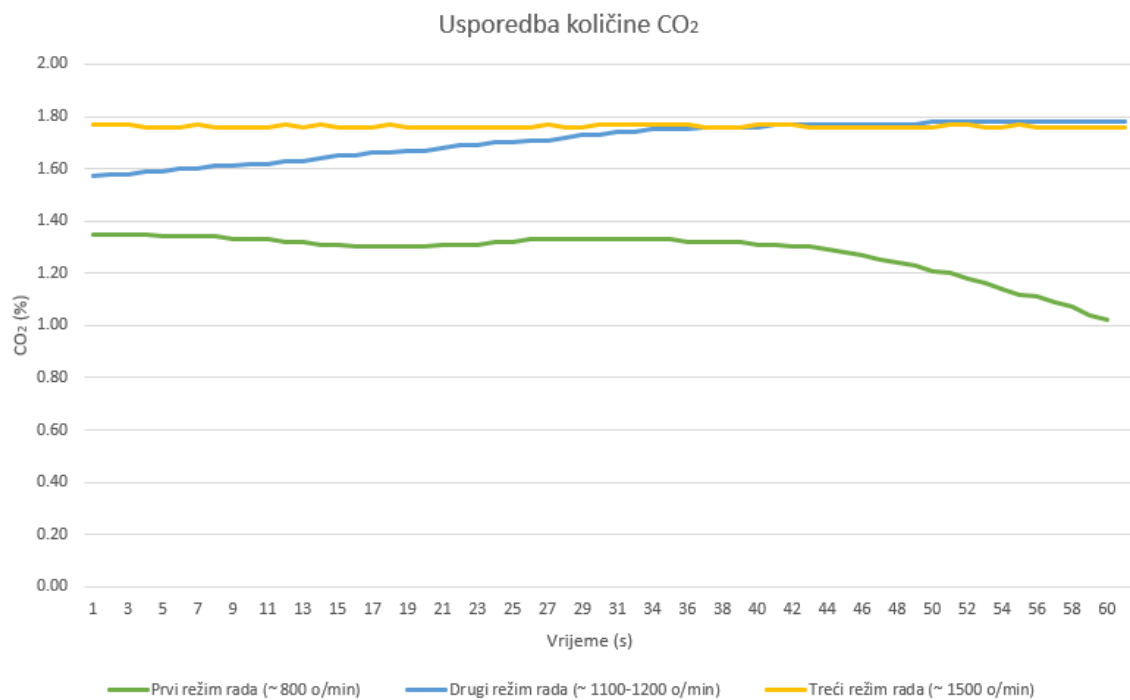
Tablica 13. Izmjerene vrijednosti za treći režim rada motora (~ 1500 o/min)

| Mjerni parametar | Izmjerena vrijednost | Mjerna jedinica |
|-----------------------|----------------------|-----------------|
| O₂ | 17,58 | <i>vol. %</i> |
| CO₂ | 1,76 | <i>vol. %</i> |
| CO | 0,069 | <i>vol. %</i> |
| NO | 149,9 | <i>ppm</i> |
| HC₄ | 14,63 | <i>ppm</i> |

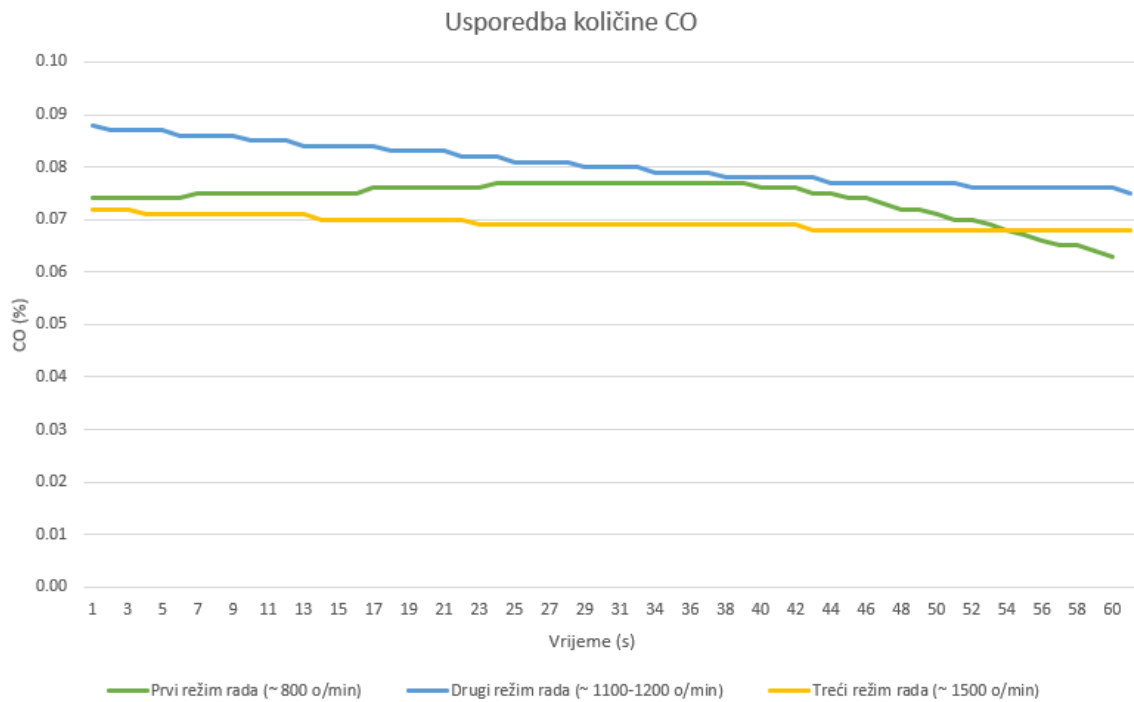
Na sljedećim slikama prikazani su i grafovi na kojima su vidljive razlike između sva tri režima rada dizelskog motora za svaki od mjerenih plinova pojedinačno.



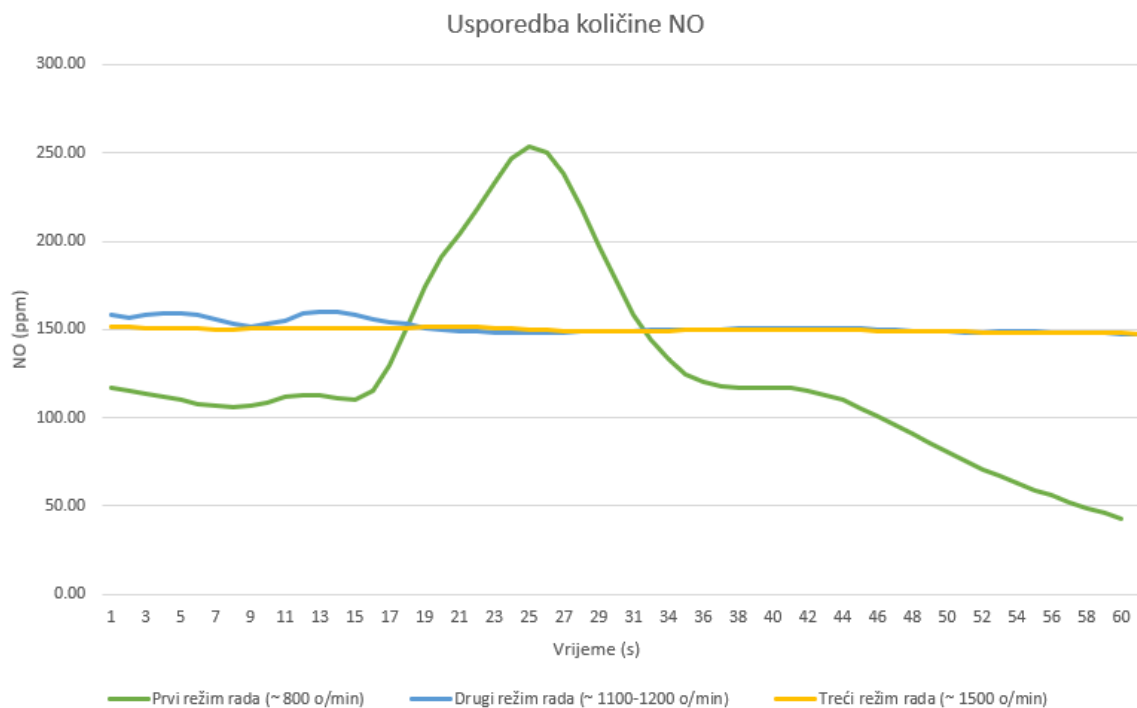
Slika 20. Graf izmjerene količine O₂



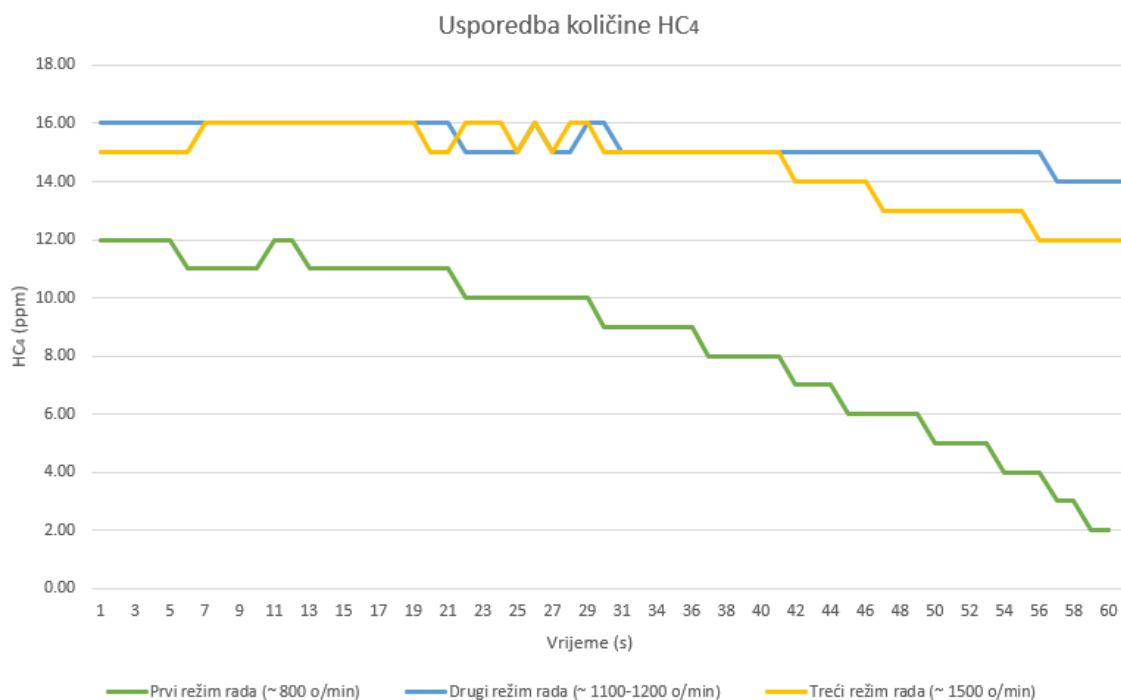
Slika 21. Graf izmjerene količine CO₂



Slika 22. Graf izmjerene količine CO



Slika 23. Graf izmjerene količine NO



Slika 24. Graf izmjerene količine HC₄

Iz priloženih rezultata mjerenja za tri režima rada dizelskog motora, vidljivo je da se povećavanjem broja okretaja, ne tolikom velikom količinom, mijenjaju i izmjerene vrijednosti. Iz priloženog se također vidi da su se najveće promijene vrijednosti događale na prelasku iz prvog režima rada (~ 800 *o/min*) u drugi režim rada (~ 1100-1200 *o/min*). Veće oscilacije na pojedinim linijama u grafovima, rezultat su trenutne promijene broja okretaja, koja je nastala uslijed pokušaja da se ručnom regulacijom dobave goriva isti održe kontinuiranim.

6. ZAKLJUČAK

U današnjici, kako u kopненоj, tako i u pomorskoj industriji, pokušava se što je više moguće smanjiti onečišćenje i zagađenje. U pomorskoj industriji, tokom godina, donešen je niz zakona kojima se regulira onečišćenje mora i okoliša, a koji obuhvaćaju direktna (izlivanje i ispuštanje štetnih tvari sa broda u more), ali i indirektna onečišćenja (regulacija emisije ispušnih plinova). Postoji više načina smanjenja onečišćenja, uvođenjem posebnih zona u kojima se mora koristiti propisano gorivo, ili konstrukcijska rješenja na brodovima. Osim konstrukcijskih rješenja za niz sustava na brodu, donešeni i prihvaćeni zakoni, donose i nova pravila za konstrukciju samih brodskih motora koji se koriste na brodovima. Posljedica toga je niz pregleda i ispitivanja, kako prije same ugradnje na brod, tako i nakon ugradnje na brod, pri točno propisanim uvjetima ali i načinima ispitivanja, a sve kako bi se utvrdilo da li motor udovoljava propisanim granicama ispuštanja emisija. Pridržavanjem svih uvjeta ispitivanja, udovoljavanjem propisanim granicama, motorima se izdaju potrebne dozvole za korištenje koje potvrđuju da je sve u skladu sa zakonima. Kako bi se pratile emisije ispuštanja sa brodova, današnja tehnologija nudi niz uređaja, sustavno instaliranih ili prijenosnih, koji omogućavaju mjerenja i praćenja ispušnih emisija što u konačnici omogućuje, ne samo kontrolu emisija ispušnih plinova, već i kontrolu rada, odnosno stanje motora nad kojim se vrše mjerenja. Primjerom mjerenja koje je obavljeno u svrhu ovoga rada prikazano je koliko nam današnja tehnologija pruža mogućnosti i olakšava pojedine poslove nadzora i kontrole parametara (u ovom slučaju parametri emisije ispušnih plinova), a osim toga, daje i samu sliku o utjecaju promijene režima rada motora.

LITERATURA

- [1] <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/> (pristupljeno 26.2.2022.)
- [2] <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php> (pristupljeno 26.2.2022.)
- [3] Slišković M.: *Zaštita mora i morskog okoliša*, Skripta za internu upotrebu, Pomorski fakultet u Splitu, 2021.
- [4] <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx> (pristupljeno 4.3.2022.)
- [5] [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx) (pristupljeno 6.3.2022.)
- [6] <https://home.kuehne-nagel.com/-/knowledge/emission-control-areas> (pristupljeno 6.3.2022.)
- [7] http://www.cleanshipping.org/download/111128_Air%20pollution%20from%20ships_New_Nov-11%283%29.pdf (pristupljeno 21.3.2022.)
- [8] [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx) (pristupljeno 31.3.2022.)
- [9] <https://greenship.org/about/emission-wiki/hydrocarbons/> (pristupljeno 1.4.2022.)
- [10] <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Circ-680.pdf> (pristupljeno 1.4.2022.)
- [11] [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ozone-depleting-substances-\(ODS\)-%E2%80%93Regulation-12.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ozone-depleting-substances-(ODS)-%E2%80%93Regulation-12.aspx) (pristupljeno 3.4.2022.)
- [12] Pravila za statutarnu certifikaciju pomorskih brodova, *Dio 22*, 2015.
- [13] <https://www.liscr.com/sites/default/files/NOx%20Technical%20Code%202008%2C%20as%20amended.pdf> (pristupljeno 6.7.2022.)
- [14] <https://repositorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A606/datastream/PDF/view> (pristupljeno 8.7.2022.)
- [15] https://www.researchgate.net/figure/Optical-gas-sensor-based-on-the-Beer-Lamberts-law-a-No-signal-detected-when-the_fig1_332997482 (pristupljeno 8.7.2022.)
- [16] Optima 7 NDIR uređaj za mjerenje emisija ispušnih plinova – manual za korištenje
- [17] https://hmn.wiki/hr/Nondispersive_infrared_sensor (pristupljeno 10.7.2022.)
- [18] <https://www.gastec.co.jp/en/product/detail/id=2206> (pristupljeno 10.7.2022.)

[19] Testo 350 Maritime uređaj za mjerenje emisija ispušnih plinova- manual za korištenje

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Dijagram dopuštenih emisija NO _x prema regulaciji 13 | 5 |
| Slika 2. Prikaz ECA područja [6] | 5 |
| Slika 3. Prikaz količine emisije NO _x [7] | 6 |
| Slika 4. Prikaz količine emisije SO _x [7] | 7 |
| Slika 5. Primjer mjerenja pick-up senzorom [14]..... | 23 |
| Slika 6. Odziv signala kroz medij [15] | 24 |
| Slika 7. Dijagram toka plinova za Optima 7 NDIR [16] | 24 |
| Slika 8. Pojednostavljena shema NDIR senzora [18]..... | 27 |
| Slika 9. Prikaz elektrokemijskog senzora u presjeku [16]..... | 27 |
| Slika 10. Prikaz Optima 7 NDIR mjernog uređaja [16] | 29 |
| Slika 11. Priključci Optima 7 NDIR mjernog uređaja [16]..... | 29 |
| Slika 12. Odvajač kondenzata na uređaju Optima 7 NDIR [16] | 29 |
| Slika 13. Kontrolna jedinica mjernog uređaja Testo 350 Maritime [19]..... | 30 |
| Slika 14. Mjerna jedinica uređaja Testo 350 Maritime [19]..... | 31 |
| Slika 15. Izjava o sukladnosti za mjerni uređaj [19] | 32 |
| Slika 16. Prikaz dizelskog motora marke FAMOS | 33 |
| Slika 17. Tehnički podaci dizelskog motora marke FAMOS..... | 34 |
| Slika 18. Prikaz mjernog uređaja i njegove instalacije za obavljanje mjerenja | 35 |
| Slika 19. Mjerni uređaj za vrijeme rada | 35 |
| Slika 20. Graf izmjerene količine O ₂ | 37 |
| Slika 21. Graf izmjerene količine CO ₂ | 37 |
| Slika 22. Graf izmjerene količine CO | 38 |
| Slika 23. Graf izmjerene količine NO | 38 |
| Slika 24. Graf izmjerene količine HC ₄ | 39 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Ispitni ciklus E2 [12] | 16 |
| Tablica 2. Ispitni ciklus E3 [12] | 17 |
| Tablica 3. Ispitni ciklus D2 [12] | 17 |
| Tablica 4. Ispitni ciklus C1 [12] | 18 |
| Tablica 5. Opis elemenata sa slike 7. [16] | 25 |
| Tablica 6. Vrste senzora i princip rada [14] | 25 |
| Tablica 7. Vrste senzora i vrste plinova koje mogu izmjeriti [14] | 26 |
| Tablica 8. Opis elemenata sa slike 9. [16] | 28 |
| Tablica 9. Tehničke specifikacije mjernog uređaja Optima 7 NDIR [16] | 30 |
| Tablica 10. Tehničke specifikacije mjernog uređaja Testo 350 Maritime [19] | 31 |
| Tablica 11. Izmjerene vrijednosti za prvi režim rada motora (~ 800 <i>o/min</i>) | 36 |
| Tablica 12. Izmjerene vrijednosti za drugi režim rada motora (~ 1100-1200 <i>o/min</i>) | 36 |
| Tablica 13. Izmjerene vrijednosti za treći režim rada motora (~ 1500 <i>o/min</i>) | 36 |