

# Uporaba amonijaka kod goriva budućnosti na brodovima

---

**Anković, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:886374>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-26**



**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU**  
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU**

**POMORSKI ODJEL**

**PETAR ANKOVIĆ**

**UPORABA AMONIJAKA KAO GORIVA  
BUDUĆNOSTI NA BRODOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**DUBROVNIK, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU**

**POMORSKI ODJEL**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ BRODOSTROJARSTVO**

**UPORABA AMONIJAKA KAO GORIVA  
BUDUĆNOSTI NA BRODOVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor: Matko Bupić doc.dr.sc.

Komentor: Ivica Krmek dipl. ing.

Pristupnik: Petar Anković

**DUBROVNIK, 2024.**

## IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora.

Ime i prezime studenta:

Petar Anković

---

## **SAŽETAK**

Iz mnogobrojnih istraživanja proizlazi zaključak kako je amonijak jedan od vodećih goriva budućnosti. Naime, sva relevantna istraživanja dokazala su učinkovitost smanjenja emisije štetnih plinova prilikom njegove primjene u različitim sektorima, u svojstvu pogonskog goriva. Izuzetak od toga nije ni pomorska industrija u koju su već dugo vremena uvedene inovacije kao što su četverotaktni i dvotaktni motori pogonjeni amonijakom. Svrha korištenja ove tehnologije je smanjenje štetnog utjecaja pomorske industrije na ljudski okoliš, te smanjenje korištenja fosilnih goriva. Osnovni cilj ovog rada je analiza primjene amonijaka u pomorskoj industriji u svojstvu goriva budućnosti te prikaz dvaju oblika brodskih motora koji su pogonjeni amonijakom.

**Ključne riječi:** amonijak, gorivo, pomorska industrija

## **ABSTRACT**

Numerous studies have concluded that ammonia is one of the leading fuels of the future. Namely, all relevant research has proven the effectiveness of reducing the emission of harmful gases when it is used in various sectors, as a propellant. The maritime industry is no exception to this, in which they have been introduced for a long time, with innovations such as four-stroke and two-stroke engines powered by ammonia. The purpose of using this form of technology is to reduce the harmful impact of the maritime industry on the human environment and to reduce the use of fossil fuels. The main goal of this work is the analysis of the use of ammonia in the maritime industry as a fuel of the future and the presentation of two types of marine engines powered by ammonia.

**Key words:** ammonia, fuel, marine industry

# SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| Sažetak.....   | ii  |
| Abstract.....  | iii |
| 1. UVOD.....   | 1   |
| 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PROIZVODNJA AMONIJAKA.....                   | 3   |
| 2.1. Osnovna obilježja amonijaka.....                                    | 3   |
| 2.2. Proces proizvodnje i primjena amonijaka.....                        | 7   |
| 2.3. Ekološki utjecaj i zeleni amonijak.....                             | 9   |
| 3. AMONIJAK U POMORSKOJ INDUSTRIJI.....                                  | 12  |
| 3.1. Zakonodavni okvir i potreba za dekarbonizacijom.....                | 12  |
| 3.2. Primjena amonijaka na brodovima.....                                | 14  |
| 4. BRODSKI MOTORI S POGONOM NA AMONIJAK.....                             | 18  |
| 4.1. WARTISILA 25 AMMONIA Četverotaktni motor s pogonom na amonijak..... | 18  |
| 4.2. MAN B&W dvotaktni motor s pogonom na amonijak.....                  | 20  |
| 5. ZAKLJUČAK.....  | 26  |
| LITERATURA.....  | 27  |
| POPIS SLIKA.....   | 29  |
| POPIS TABLICA.....   | 30  |

## 1. UVOD

Gotovo sve međunarodne organizacije i udruženja u svom radu ističu zaštitu ljudskog okoliša kao jednu od ključnih komponenti održivog razvoja i očuvanja resursa za buduće generacije. Pritom, Međunarodna pomorska organizacija nije iznimka, već je i predvodnik značajnih promjena na području pomorske industrije. Direktive, zakoni, uredbe i preporuke pokrivaju područje učinkovite plovidbe u smislu smanjenja emisije štetnih plinova i onečišćenja ljudskog okoliša. Inicijativi se pridružila i Europska unija koja na svojem tlu i teritorijalnim morima propisuje razine emisije štetnih plinova koje su dozvoljene te uvodi praksu trgovanja emisijama kao i njihova drastičnog smanjenja u skorijoj budućnosti.

Tehnološke inovacije rezultirale su smanjenjem korištenja fosilnih goriva kao pogonskih te omogućile primjenu zelenih, obnovljivih izvora energije koji imaju nultu emisiju. U takve inovacije mogu se ubrojiti i motori koji za svoj pogon koriste amonijak. Iako njegove karakteristike i učinkovitost nisu u rangu s fosilnim gorivima, amonijak, posebno onaj proizveden iz obnovljivih izvora energije, predstavlja gorivo nulte emisije koje je primjenjivo na brodovima. Iako se trenutno gotovo sav proizvedeni amonijak koristi u poljoprivrednom sektoru, zabilježen je njegov značajan potencijal kada je u pitanju pomorska industrija, posebno u slučajevima kada se radi o zelenom amonijaku koji ne ostavlja ugljični otisak.

Osnovni cilj ovog rada je analiza primjene amonijaka u pomorskoj industriji u svojstvu goriva budućnosti te prikaz dvaju oblika brodskih motora koji su pogonjeni amonijakom kao gorivom.

Rad se sastoji od nekoliko poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja uvod. Drugo poglavlje prikazuje osnovna obilježja amonijaka i njegove proizvodnje pa je tako riječ o osnovnim karakteristikama, procesu proizvodnje i primjeni unutar svjetskog gospodarstva, te ekološkom utjecaju i zelenom amonijaku. Treće poglavlje rada bavi se primjenom amonijaka u pomorskoj industriji te se opisuje



zakonodavni okvir i potrebe za dekarbonizacijom svjetske flote te mogućnosti i načini primjene amonijaka kao pogonskog goriva na brodovima. Četvrtim poglavljem predstavljena su dva oblika suvremenih motora koji su pogonjeni amonijakom te njihova osnovna obilježja. Peto poglavlje rada predstavlja zaključak. Posljednja poglavlja rada čine popis korištenih referenci te popis slika i tablica prikazanih u radu.

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PROIZVODNJA AMONIJAKA

### 2.1. Osnovna obilježja amonijaka

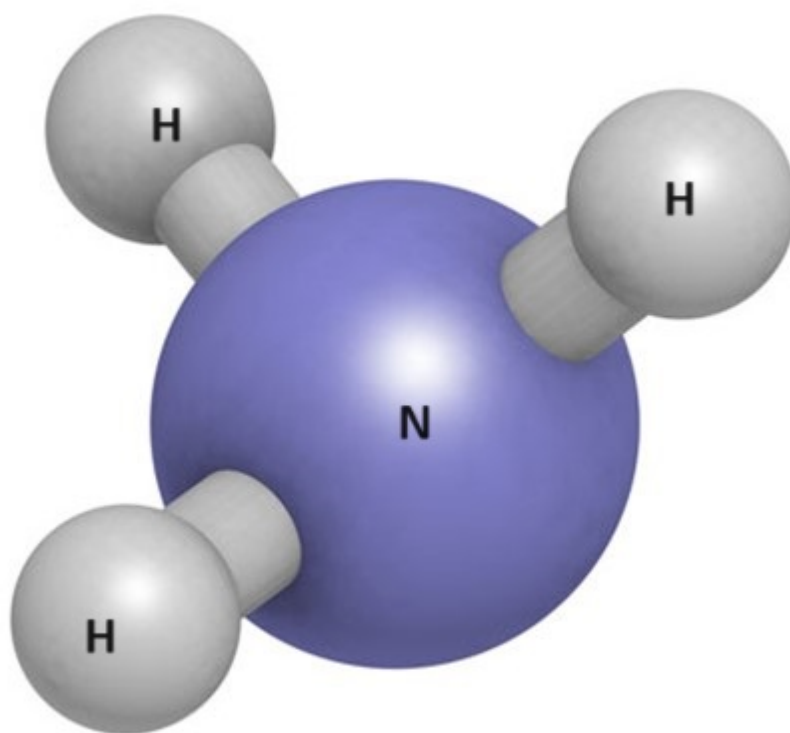
Amonijak ( $\text{NH}_3$ ) je spoj dušika i vodika, a pri atmosferskom tlaku i normalnim temperaturama bezbojan je plin karakterističnog oštrog mirisa. Pri višim tlakovima amonijak postaje tekućina, što olakšava njegov transport i skladištenje. Tipična toplinska vrijednost za amonijak je slična metanolu. Kao i kod većine alternativnih goriva, ima nižu energetske gustoću od rezidualnih i destiliranih goriva, tako da bi proizvodnja istog energetskeg sadržaja zahtijevala oko 2,4 puta više volumena u usporedbi s gorivima na bazi nafte [1].

Amonijak odnosno  $\text{NH}_3$  također ima relativno uzak raspon zapaljivosti u usporedbi s nekim drugim gorivima koja se razmatraju, te je toksičan i vrlo reaktivan. Stoga, Međunarodni kodeks za konstrukciju i opremu brodova koji prevoze ukapljene plinove u rasutom stanju (IGC kodeks) navodi stroge zahtjeve za materijale koji se mogu koristiti za skladištenje i uporabu amonijaka i za značajke dizajna koje postrojenje treba smanjiti na najmanju moguću mjeru rizik od izlaganja osoblja trovanju amonijakom. Također navodi svu potrebnu osobnu zaštitnu opremu koja se koristi za sigurno upravljanje amonijakom kao gorivom [2].

Amonijak je široko korištena i komercijalno dostupna kemikalija. Amonijak se nalazi u prirodi i otrovan je u koncentriranom obliku. Klasificira se kao opasna tvar i podliježe strogim zahtjevima od strane objekata koji ga proizvode, skladište ili koriste u značajnim količinama. Prag mirisa za amonijak je vrlo nizak, u rasponu od 0,037 do 1,0 ppm, što znači da ga većina ljudi može otkriti u niskim koncentracijama koje ne predstavljaju rizik za zdravlje. U niskim koncentracijama, amonijak može biti iritantan za oči, pluća i kožu, a u visokim koncentracijama ili izravnim kontaktom odmah je opasan po život. Simptomi uključuju poteškoće s disanjem, bol u prsima, bronhospazam i, u najgorem slučaju, plućni edem, gdje tekućina ispunjava pluća i može dovesti do zatajenja

disanja. Dodir s kožom s visokim koncentracijama bezvodnog amonijaka može izazvati teške kemijske opekline. Izlaganje očima može uzrokovati bol i prekomjerno suzenje, uz ozljedu rožnice. Akutno izlaganje bezvodnom amonijaku u njegovom tekućem obliku može izazvati crvenilo, otekline, čireve na koži i ozeblina. Dođe li u dodir s očima može izazvati bol, crvenilo, oticanje spojnice, oštećenje šarenice i rožnice, glaukom i kataraktu [3].

Slika 1. Kemijska struktura amonijaka



Izvor: [1]

Kako je već spomenuto, amonijak je zapaljivi plin s uskim rasponom zapaljivosti. Njegov raspon zapaljivosti u suhom zraku je između 15,15% i 27,35%. Ima

temperaturu samozapaljenja od 651 °C. Rizik od požara amonijaka manji je u usporedbi s drugim gorivima upravo zbog njegova uskog raspona zapaljivosti, ali i relativno visoke energije paljenja (2-3 reda veličine veća od uobičajenih ugljikovodika) i niske laminarne brzine gorenja (više od četiri puta manje od metana [ $< 0,010$  m/s]). Međutim, postoji mogućnost nastanka požara amonijaka u pravim uvjetima, a sigurnosni principi zahtijevaju da se amonijak izolira od svih izvora paljenja. Osim izgaranja čistog amonijaka, potrebno je ispitati rizik od požara amonijaka kada se pomiješa s drugim gorivima i uljima za podmazivanje. Takve mješavine goriva mogu imati mnogo širi raspon eksplozivnosti [2].

Amonijak može reagirati s halogenima, međuhalogenima i oksidansima te može izazvati burne reakcije ili eksplozije. Stoga amonijak treba skladištiti na hladnom, dobro prozračenom mjestu, daleko od izvora paljenja i odvojeno od drugih kemikalija, osobito oksidirajućih plinova (klora, broma i joda) i kiselina. Mogu se koristiti sustavi za razrjeđivanje kako bi se izbjegao raspon zapaljivosti amonijaka. Nacionalni centar za biotehnoške informacije iz Sjedinjenih Američkih Država preporučuje da se mali požari koji uključuju amonijak mogu ugasiti suhim prahom ili korištenjem ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), a veliki požari amonijaka mogu se ugasiti raspršenom vodom, maglom ili pjenom, ali treba paziti da se spriječi zagađenje okoliša razrijeđenom vodom ili njezinim otjecanjem [3].

Tablica 1. Svojstva amonijaka

| Svojstvo amonijaka                              | Vrijednost    |
|---|---------------|
| Gustoća energije (MJ/L)                         | 12,7          |
| Latentna toplina isparavanja (MJ/kg)            | 188           |
| Toplina isparavanja (kJ/kg)                     | 1371          |
| Temperatura samozapaljenja (°C)                 | 651           |
| Minimalna energija paljenja (mJ)                | 680           |
| Gustoća tekućine (kg/m <sup>3</sup> )           | 600           |
| Adijabatska temperatura plamena pri 1 baru (°C) | 1800          |
| Molekularna težina (g/mol)                      | 17,031        |
| Talište (°C)                                    | -77,7         |
| Vrelište na 1 bar (°C)                          | -33,6         |
| Kritična temperatura (°C)                       | 132,25        |
| Kritični tlak (bar)                             | 113           |
| Raspon zapaljivosti u suhom zraku (%)           | 15,15 – 27,35 |
| Cetanski broj                                   | 0             |
| Oktanski broj                                   | 130           |

Izvor: [1]

Amonijak je nekompatibilan s raznim industrijskim materijalima, a u prisutnosti

vlage reagira i nagriza bakar, mjed, cink i razne legure stvarajući zelenkasto-plavu boju na materijalu. Materijale je, stoga, potrebno pažljivo odabrati posebno kada se amonijak koristi na brodovima. Željezo, čelik i specifične legure obojenih metala otporne na amonijak trebaju se koristiti za spremnike, cjevovode i strukturne komponente u kojima se koristi amonijak. IGC kodeks navodi i posebne zahtjeve za komponente cjevovoda, teretne tankove i opremu u kontaktu s tekućinom ili parama amonijaka [4].

## **2.2. Proces proizvodnje i primjena amonijaka**

Prema Geološkom institutu Sjedinjenih Američkih Država, svjetska proizvodnja amonijaka iznosi u prosjeku oko 150 milijuna metričkih tona. Prosječna cijena amonijaka procijenjena je na 230 USD po toni. Očekuje se da će se globalni kapacitet proizvodnje amonijaka povećati za ukupno 4% do 2025. godine. Amonijak ne sadrži ugljik i njegova sinteza iz obnovljivih izvora energije je proces također bez ugljika. Poput vodika, može se proizvesti iz fosilnih goriva korištenjem „zelenih“ metoda, što može značajno utjecati na njegovu troškovnu konkurentnost na tržištu goriva [2].

Trenutno se amonijak proizvodi u velikim količinama iz ugljikovodičnih goriva koja se koriste za proizvodnju vodika, procesom reformiranja metana s parom. Dušik potreban za proizvodnju izdvaja se iz zraka nakon ukapljivanja. Obnovljivi izvori energije mogu se koristiti za proizvodnju vodika iz elektrolize vode i kasnije sintetizirati na amonijak. U ovom slučaju, amonijak ima nulti intenzitet ugljika tijekom proizvodnje ili upotrebe. Ako se dovoljne količine mogu proizvesti korištenjem ugljično neutralne tehnologije, amonijak ima značajan potencijal pomoći u ispunjavanju ciljeva Međunarodne pomorske organizacija (IMO) u procesu smanjenja stakleničkih plinova do 2050. godine [2].

Amonijak ima veću volumetrijsku gustoću energije od ukapljenog vodika, bližu onoj metanola, što smanjuje potrebu za većim spremnicima. Zapremina spremnika za amonijaka bit će znatno manja od one za tekući vodik za iste

energetske potrebe, čak i više, s obzirom na količinu potrebne izolacije. Karakteristike amonijaka kao goriva omogućuju upotrebu spremnika tipa C ili prizmatičnih spremnika i zahtijevaju znatno nižu energiju ponovnog ukapljivanja u usporedbi s vodikom ili LNG-om [5].

Skladištenje amonijaka u industrijskim razmjerima obično je na  $-33,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ili niže jer to košta znatno manje od tlačenja. Energija potrebna za skladištenje može se proizvesti iz zelenih izvora kako bi se smanjio ukupni ugljični otisak. Amonijak se može skladištiti u tekućem obliku na 8,6 bara i na sobnoj temperaturi ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) na brodovima. Također, amonijak se može koristiti izravno kao tekuće gorivo u motorima, i to češće nego kao nosač vodika [3].

Više od 80% globalne proizvodnje amonijaka koristi se za proizvodnju gnojiva jer je amonijak ključni međuproizvod za sve proizvode dušičnih gnojiva. Ostatak se koristi u raznim industrijskim primjenama. Globalna proizvodnja amonijaka iznosi oko 180 milijuna tona (Mt), a najveći dio se proizvodi u Kini. U posljednja dva desetljeća došlo je do rasta proizvodnih kapaciteta i proizvodnje amonijaka. Već su provedene značajne studije o budućim cijenama postfosilnih goriva poput zelenog amonijaka, a te se studije često temelje na različitim pretpostavkama. Budući razvoj proizvodnje zelenog amonijaka još uvijek je neizvjestan, što otežava usporedbu predviđenih cijena i plasmana na tržište [6].

Utvrđeni postupak za proizvodnju amonijaka, nazvan Haber-Bosch postupak, revolucionarizirao je upotrebu gnojiva prije više od jednog stoljeća. Proces je ipak vrlo energetski intenzivan. Trenutna proizvodnja amonijaka i dalje se temelji na fosilnim gorivima i doprinosi 1,8% globalnim emisijama  $\text{CO}_2$ . Proizvodnja se uglavnom oslanja na prirodni plin pri čemu se većina energije troši na proizvodnju vodika putem parnog reforminga metana (eng. *steam methan reforming*, SMR). Treba napomenuti i da su točni podaci o emisijama štetnih plinova iz proizvodnje amonijaka rijetki jer se često zbrajaju s ukupnim emisijama iz proizvodnje gnojiva. Izgaranje fosilnih goriva tijekom proizvodnje dovodi do emisije  $\text{CO}_2$  i metana. Većina amonijaka proizvedenog na globalnoj razini dalje se koristi za proizvodnju gnojiva poput uree ili nitrata. Za proizvodnju nitratnih gnojiva, dušična kiselina se proizvodi oksidacijom amonijaka što,

između ostalog, dovodi do emisija dušikovog oksida ( $N_2O$ ) [7].

Danas se amonijak proizvodi ubacivanjem prirodnog plina u parni reformator metana za proizvodnju vodika. Vodik služi kao ulaz u Haber-Bosch proces koji ga zajedno s dušikom ( $N_2$ ) iz zraka pretvara u amonijak pomoću katalizatora pod visokom temperaturom i tlakom. Postoje različite tehnologije odvajanja zraka za dobivanje dušika. Kriogena destilacija najčešća je tehnologija i koristi se za više od 90% današnje proizvodnje dušika. Zrak se odvaja na dušik i kisik pomoću takozvanih kriogenih jedinica za odvajanje zraka, iskorištavanjem njihovih temperatura vrelišta. Haber-Bosch proces i SMR imaju visoke razine tehnološke spremnosti (TRL) i energetske učinkovitost od 73% do 82%, odnosno 70% [6].

### **2.3. Ekološki utjecaj i zeleni amonijak**

Amonijak je povezan s globalnim ciklusom dušika, a višak amonijaka koji ulazi u zrak, vodu i tlo može doprinijeti onečišćenju zraka, zakiseljavanju i eutrofikaciji ekosustava ili klimatskim promjenama. Emisije štetnih plinova od korištenja amonijaka kao goriva za brodove uglavnom ovise o korištenju fosilnih ili obnovljivih izvora energije, dok emisije amonijaka ili druge povezane emisije variraju ovisno o tehnologiji koja se koristi na brodu. Kako bi se mogla razumjeti važnost ovih emisija za tehničke aspekte korištenja amonijaka kao goriva, važno je razumjeti i učinke emisija amonijaka (i povezanih emisija) [8].

Amonijak može doći u kontakt s morskim okolišem zbog izlivanja pri čemu se obično brzo otapa u vodi. Amonijak također može ispariti u atmosferu kao plin. Emisije amonijaka u zrak imaju neizravan učinak hlađenja. Također, amonijak je prethodnik aerosola i emisije amonijaka u zrak stoga pridonose stvaranju čestica koje imaju negativan utjecaj zračenja [7].

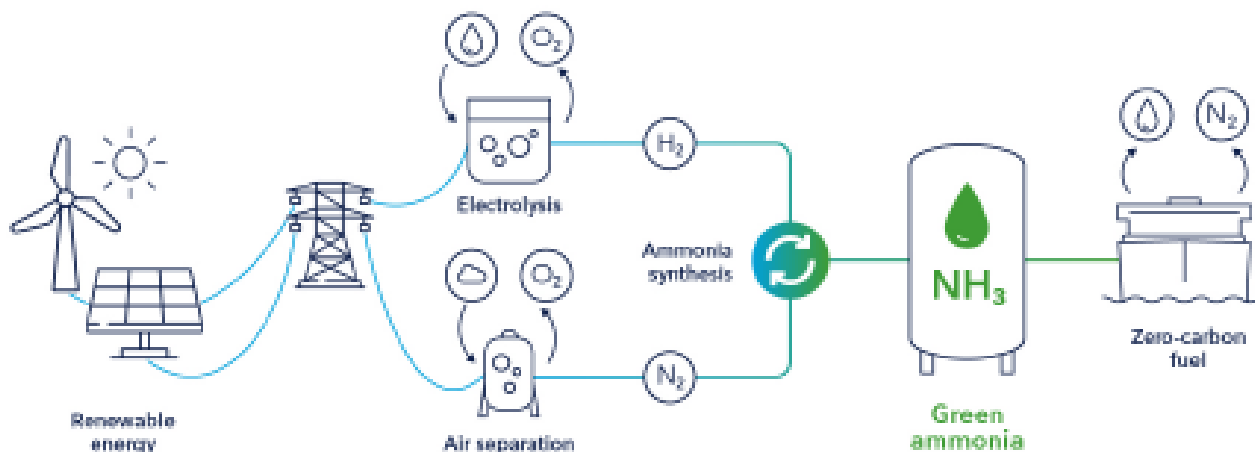
Emisije dušikovitih spojeva (amonijaka, amonijevih ili dušikovitih oksida) mogu doprinijeti učincima na okoliš koji su uzrokovani (pretjeranim) obogaćivanjem vodenog tijela ili tla hranjivim tvarima (kao što su dušik i fosfor) – proces koji se



naziva eutrofikacija. Prekomjerna opskrba hranjivim tvarima uzrokuje povećanje rasta algi koje se mogu akumulirati u velikom (ili čak štetnom) procesu cvjetanja algi. Te alge odumiru u masama i razgrađuju ih mikroorganizmi koji konzumiraju kisik. To povećava potrošnju kisika u vodenom tijelu i može rezultirati u zonama s nedostatkom ili osiromašenjem kisika. Ovi uvjeti mogu biti smrtonosni za ribice, rakove i druge oblike morskog života. Zone osiromašene kisikom primijećene su na mnogim mjestima poput zaljeva Chesapeake ili obala Baltičkog mora. Ova se područja ponekad nazivaju i „mrtve zone“, a obično se javljaju kada dođe do prekomjernog otjecanja hranjivih tvari iz poljoprivrede i slabog miješanja vodenog stupca. Općenito, eutrofikacija dovodi do promjena u strukturi i funkcioniranju cjelokupnog morskog ekosustava i nestabilnosti. Smanjenje zdravlja ekosustava dovodi do smanjene kvalitete usluga iz ekosustava kao što su ribarstvo, akvakultura i rekreacija [8].

S druge strane, u kontekstu dekarbonizacije važno je razumjeti da kada se govori o velikom potencijalu amonijaka za uporabu, misli se na zeleni amonijak. Akreditivi održivosti goriva razlikuju se ovisno o njegovu izvoru. Gorivo se, pritom, može kategorizirati kao „smeđe“ (proizvedeno iz fosilnih izvora), „plavo“ (proizvedeno iz fosilnih izvora s hvatanjem ugljika) ili „zeleno“ (proizvedeno iz obnovljivog vodika u procesu koji se zove elektroliza). Dok proizvodnja plavog amonijaka rezultira 85% manje emisija CO<sub>2</sub> od smeđih varijanti, samo je zeleni amonijak gorivo u potpunosti bez ugljika [9].

Slika 2. Proces proizvodnje i korištenja zelenog amonijaka



Izvor: [6]

Za proizvodnju „zelenog“ amonijaka na temelju obnovljive energije, vodik za Haber-Bosch proces proizvodi se elektrolizom vode s obnovljivom električnom energijom, a dušik se dovodi kriogenim odvajanjem zraka. Tehnologije elektrolize na niskim temperaturama, alkalna i protonska izmjenjivačka membrana, imaju razinu tehnološke spremnosti (eng. *Technology readiness level*, TRL) od 9 i 8 i učinkovitost od oko 65%. TRL elektrolizera krutog oksida je nešto niži, ali je učinkovitost veća i iznosi oko 80%. Učinkovitost za cijeli procesni lanac (niskotemperaturna elektroliza vode i Haber-Bosch postupak) iznosi 52%, ali se očekuju poboljšanja učinkovitosti elektrolizera, što bi dugoročno moglo dovesti do povećanja učinkovitosti od 60%. Postoje manje energetski intenzivne alternativne proizvodne metode u razvoju (npr. sinteza amonijaka u čvrstom stanju), ali one se ne smatraju komercijalnim i primjenjivim u velikim razmjerima, posebice u kratkom roku. Ukupna učinkovitost u konačnici ovisi o elektrolizi i lokaciji proizvodnje (npr. ako je potrebna daljnja otprema međuproizvoda ili krajnjeg proizvoda) [8].

### **3. AMONIJAK U POMORSKOJ INDUSTRIJI**

Pomorska industrija suočava se s izazovima u usvajanju novih tehnologija i operativnih praksi radi usklađivanja sa sve strožim međunarodnim, nacionalnim i lokalnim propisima usmjerenim na smanjenje sumpornih oksida (SO<sub>x</sub>), dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>), štetnih čestica (PM), ugljika (C) i emisije stakleničkih plinova (GHG) s brodova. Propisi koje su uveli Međunarodna pomorska organizacija (IMO), Europska unija, Agencija za zaštitu okoliša i drugi, osmišljeni su za smanjenje ovih emisija, a posebno s brodova [4].

#### **3.1. Zakonodavni okvir i potreba za dekarbonizacijom**

Europska unija (EU) je kroz Europski zakon o klimi postavila pravno obvezujuće ciljeve za smanjenje emisija za 55% u 2030. godini u odnosu na 1990. godinu i da se globalno postigne cilj klimatske neutralnosti do 2050. godine. EU to također vidi kao priliku za odvajanje gospodarskog rasta od korištenja resursa kako bi se stvorile mogućnosti za industriju čiste tehnologije. Green Deal dokument je koji je izrađen za identificiranje promjena potrebnih za postizanje ovih ambicija, a zakonski paket Fit for 55 predložen 2021. godine ključni je dio ovog plana [10].

U većini zakona, EU i FuelEU Maritime, postavljaju posebne zahtjeve za brodove i plovidbu. EU je usvojio reviziju EU ETS-a (EMISSION TRADING SYSTEM) koji od 2024. godine uključuje i brodarstvo. Isto predstavlja sustav ograničenja emisija i trgovine emisijama u kojem se ograničena količina emisijskih jedinica stavlja na tržište i njima se može trgovati. Ograničenje se smanjuje svake godine, u skladu s ciljem EU-a za 2030. godinu za smanjenje emisija od 55% u odnosu na 1990. godinu i s klimatskom neutralnošću do 2050. godine. Svaki brod tonaže iznad 5000 bruto tona (BT) koji prevozi teret ili putnike u komercijalne svrhe od 2024. godine u EU će morati nabaviti i predati dozvole za svoje emisije stakleničkih plinova, kao što je navedeno kroz sustav praćenja, izvješćivanja i verifikacije

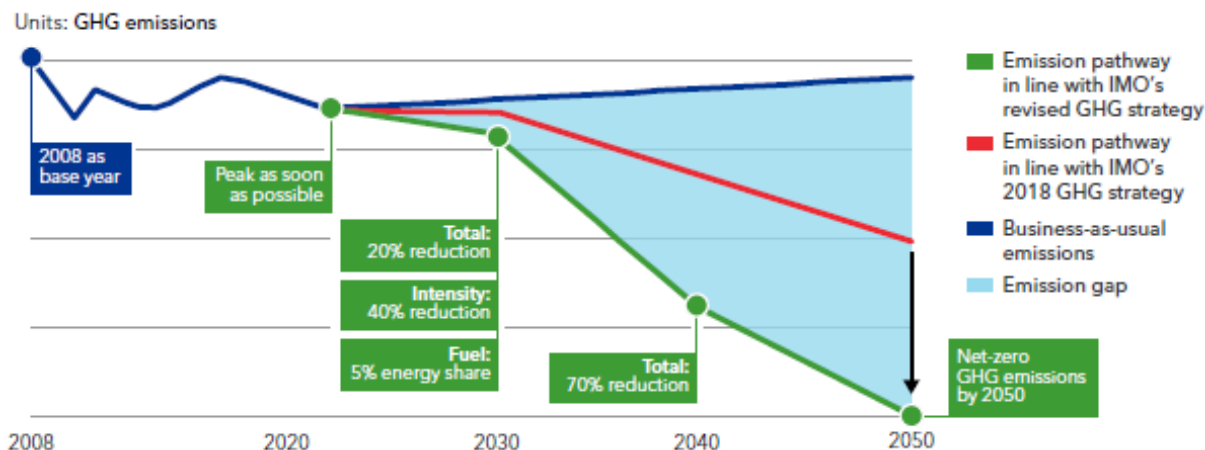
(MRV). Do 31. ožujka svake godine, počevši od 2025. godine, potrebno je upravnom tijelu zaduženom za nadzor dostaviti verificirano izvješće o emisijama štetnih plinova unutar cjelokupne brodarske kompanije. Izvješće o emisijama kompanije zbraja emisije u okviru EU ETS-a, prijavljene i verificirane za svaki brod i pod odgovornošću je kompanije tijekom izvještajnog razdoblja (odnosno kalendarske godine) [11].

U 2023. godini donesene su važne odluke u vezi s ambicijama i propisima o stakleničkim plinovima. IMO je revidirao svoju strategiju stakleničkih plinova, jačajući ambicije u pogledu međunarodnog brodarstva. Novi ciljevi uključuju smanjenje emisija od 20% do 2030. godine, smanjenje od 70% do 2040. godine (u usporedbi s razinama iz 2008. godine) i krajnji cilj postizanja neto nultih emisija do 2050. godine. Očekuje se da će novi propisi stupiti na snagu oko sredine 2027. godine, a EU je pristala uključiti brodarstvo u svoju shemu trgovanja emisijama (EU ETS) od 2024. godine [11].

Strategija stakleničkih plinova, usvojena i od strane IMO-a i od strane EU, sada se također bavi životnim ciklusom emisija stakleničkih plinova iz brodarstva, s općim ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova unutar granica energetske sustava međunarodnog brodarstva i sprječavanja prijenosa emisija na druge sektore [12].

Kako bi osigurao da brodarstvo dostigne te ambicije, IMO je odlučio provesti skup mjera koji se sastoji od dva dijela. Prvo, tehnički element koji će biti standard za brodsko gorivo temeljen na cilju koji regulira postupno smanjenje intenziteta stakleničkih plinova brodskog goriva. Drugo, ekonomski element koji će biti oblik pomorskog mehanizma određivanja cijena emisija stakleničkih plinova, potencijalno izravno povezan s mehanizmom intenziteta stakleničkih plinova. Razvoj mjera nastavit će se u IMO-u te će, prema dogovorenom vremenskom planu, biti usvojene 2025. godine, a stupiti na snagu sredinom 2027. godine [13].

Slika 3. Kretanje razina emisije stakleničkih plinova do 2050. godine



Izvor: [13]

Postizanje značajnog smanjenja emisija stakleničkih plinova u pomorstvu zahtijeva prijelaz na tehnologije, goriva i izvore energije s nultom ili gotovo nultom emisijom stakleničkih plinova. Ključna premisa u revidiranoj strategiji IMO-a za stakleničke plinove je da ovaj prijelaz ne bi trebao dovesti do povećanih emisija stakleničkih plinova u drugim sektorima. Na primjer, prelazak s konvencionalnog fosilnog goriva na amonijak doveo bi do gotovo nulte emisije stakleničkih plinova s broda (ostaje nesigurnost u pogledu emisija N<sub>2</sub>O), ali ovisno o putu proizvodnje amonijaka, može doći do značajnih emisija iz drugih sektora koji se odnose na njegov nastanak. Za neke načine proizvodnje goriva s visokim intenzitetom stakleničkih plinova, poput reformiranja metana, ukupne emisije mogu čak biti veće od proizvodnje i izgaranja fosilnih goriva [13].

### 3.2. Primjena amonijaka na brodovima

Amonijak kao gorivo ima dodatne izazove prije nego što postane komercijalno dostupan za pogon flote brodova. Iako postoje povijesne reference za korištenje amonijaka kao goriva u motorima s unutarnjim sagorijevanjem (IC motori), amonijak je još uvijek u ranim fazama razvoja za brodski pogon.

Gotovo svi motori na amonijak su još u razvoju, a također se istražuje upotreba amonijaka u gorivim ćelijama. Amonijak može biti gorivo bez ugljika i pružiti rješenja za dekarbonizaciju globalne flote. Unatoč tome, istražuju se troškovi proizvodnje goriva na bazi amonijaka i njihove sigurnosti za upotrebu u moru. Osim troškova prilagodbe infrastrukture, amonijak je otrovan za ljude i život u vodi, stoga se moraju poduzeti i značajne sigurnosne mjere [14].

Kada se koristi kao gorivo u IC motorima, izgaranje amonijaka pretežno proizvodi vodu i dušik. Nesagorjeli amonijak mora se pomno kontrolirati, a smjernice o prihvatljivim granicama kako bi se izbjeglo stvaranje oblaka ili opasnosti po ljudsko zdravlje mogu se izvući iz drugih regulatornih zahtjeva, gdje se mogu primijeniti ograničenja od 2-10 ppm. IMO ograničenja NOx također bi bila primjenjiva pri izgaranju amonijaka. Sustavi zadržavanja, distribucije i opskrbe gorivom moraju se temeljiti upravo na tim postojećim tehnologijama i propisanim zahtjevima. U tekućem stanju amonijak nije zapaljiv i ne može se zapaliti. Međutim, brzo isparava, a para ima uzak raspon zapaljivosti [4].

Razumijevanje zahtjeva za sigurno korištenje amonijaka, uključujući rad na niskim temperaturama, spremnike za skladištenje pod tlakom, zapaljive plinove i rad s korozivnim i otrovnim materijalima ključno je za rješavanje sigurnosnih opasnosti korištenja amonijaka kao broskog goriva. Neka od razmatranja pri korištenju amonijaka kao goriva na brodu navedena su u nastavku:

- Korozija;
- Kvar opreme:
- Kaskadni kvarovi (višestruki povezani kvarovi);
- Plan upravljanja sigurnošću;
- Obuka osoblja s ciljem smanjenja ljudskih pogrešaka. [5]

Također, spremnici amonijaka trebaju biti dizajnirani za kontrolu temperature i/ili tlaka ako se amonijak skladišti u rashlađenom stanju, budući da amonijak

kontinuirano isparava i stvara ispareni plin zbog povećanja topline, što povećava tlak u spremnicima ako se njime ne upravlja. Alternativno, amonijak se može skladištiti u spremnicima tipa C. Tipični izazovi s novim gorivom odnose se i na amonijak kada se koristi kao brodsko gorivo. To uključuje obuku posade, dostupnost amonijaka u lukama, usklađenost s ograničenjima pražnjenja u luci, ventilaciju spremnika i planiranje izloženosti ljudi iznad dopuštenih granica i slično. Ovim se izazovima treba pozabaviti tijekom studije identifikacije opasnosti prilikom projektiranja plovila [14].

Tablica 2. Prednosti i izazovi u korištenju amonijaka kao goriva za brodove

| Prednosti  | Izazovi  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bez ugljika - bez CO<sub>2</sub> ili čađe</li> <li>• Mali rizik od zapaljivosti – 15,15% do 27,35% u zraku</li> <li>• Za proizvodnju amonijaka može se koristiti električna energija dobivena iz obnovljivih izvora energije</li> <li>• Lako se pretvara u vodik i dušik</li> <li>• Može se skladištiti i transportirati kao tekućina s praktičnim tlakom i temperaturom</li> <li>• Etablirani komercijalni proizvod</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toksičnost</li> <li>• Infrastruktura dopreme goriva</li> <li>• Nedostatak propisa</li> <li>• Razvoj motora u fazi projektiranja</li> <li>• Trošak</li> <li>• Korozivnost za određene materijale</li> <li>• Loše karakteristike izgaranja za primjenu u IC motoru</li> <li>• Moguća potreba za visokim postotkom pilot goriva</li> <li>• Moguća povećana emisija NO<sub>x</sub></li> <li>• Moguće iskliznuće (slip) amonijaka</li> </ul> |

Izvor: [14]

Budući da amonijak ima nizak sadržaj energije, bit će potrebni veći spremnici za skladištenje, a njihov položaj na brodu bit će kritičan čimbenik dizajna. Kada se

amonijak koristi kao gorivo, promjene u rasporedu spremnika ovise o lokaciji i vrsti spremnika amonijaka i sustava za njegovo zadržavanje. Također se očekuje da će se i teretni kapacitet smanjiti na temelju upotrebe motora s izgaranjem na amonijak ili korištenog sustava gorivih ćelija s amonijakom. Dodatni prostor za gorivo, zbog manje gustoće energije, može zahtijevati veće brodove, smanjeni prostor za teret ili češće punjenje spremnika s gorivom [3].

Za spremnike s amonijakom, posebni rasporedi će varirati ovisno o stvarnom tlaku goriva i postavkama temperature goriva, a pritom veza između skladištenja goriva, pripreme goriva i potrošača goriva mnogo je više međuovisna nego kod konvencionalnih goriva. Ključno je da odluke o dizajnu opreme i sustava uzmu u obzir ovu međuovisnost. Za brodove s pogonom na amonijak, glavni sustavi koji zahtijevaju različite ili dodatne koncepte u dizajnu broda su sustav za skladištenje goriva amonijaka, sustav za opskrbu gorivom, sustav za rukovanje isparenim plinom, sustav za ponovno ukapljivanje, jedinica plinskog ventila, proizvodno postrojenje za dušik, sustave ventilacijskih cjevovoda, a za neke vrste spremnika za amonijak, dodatnu opremu za upravljanje temperaturom i tlakom u spremniku. Također mogu biti potrebni drenažni sustavi, osobna zaštitna oprema, neovisna ventilacija za prostore s amonijakom, ventilacija za ekstrakciju u hitnim slučajevima i zatvoreni sustavi goriva [14].

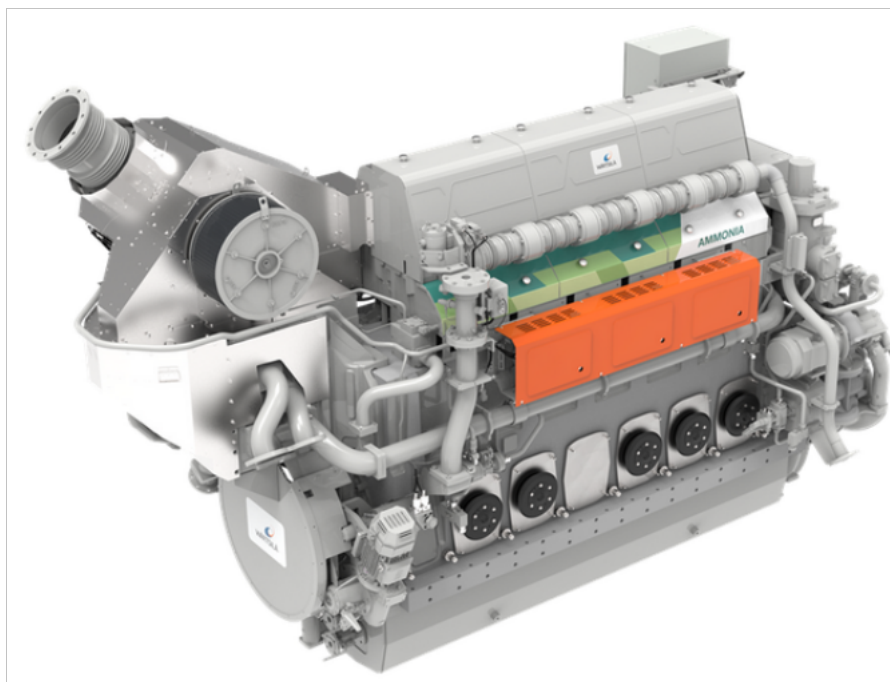


## 4. BRODSKI MOTORI S POGONOM NA AMONIJAK

### 4.1. WARTISILA 25 AMMONIA Četverotaktni motor s pogonom na amonijak

Wartsila 25 Ammonia prvo je rješenje temeljeno na 4-taktnom motoru za pogon na amonijak koje je komercijalno dostupno za pomorski sektor. Ovaj motor nudi značajnu prednost za provođenje održivih pomorskih operacija i to u suvremenom svijetu kada vlasnici brodova traže održive opcije ekološkog goriva. Wartsila 25 Ammonia rezultat je razvoja učinkovite tehnologije motora s dva goriva. Razvojni cilj bio je ispuniti tehničke i operativne zahtjeve za brodove s pogonom na amonijak, a sigurnosna razmatranja bila su ključni prioritet u dizajnu svih motora [15].

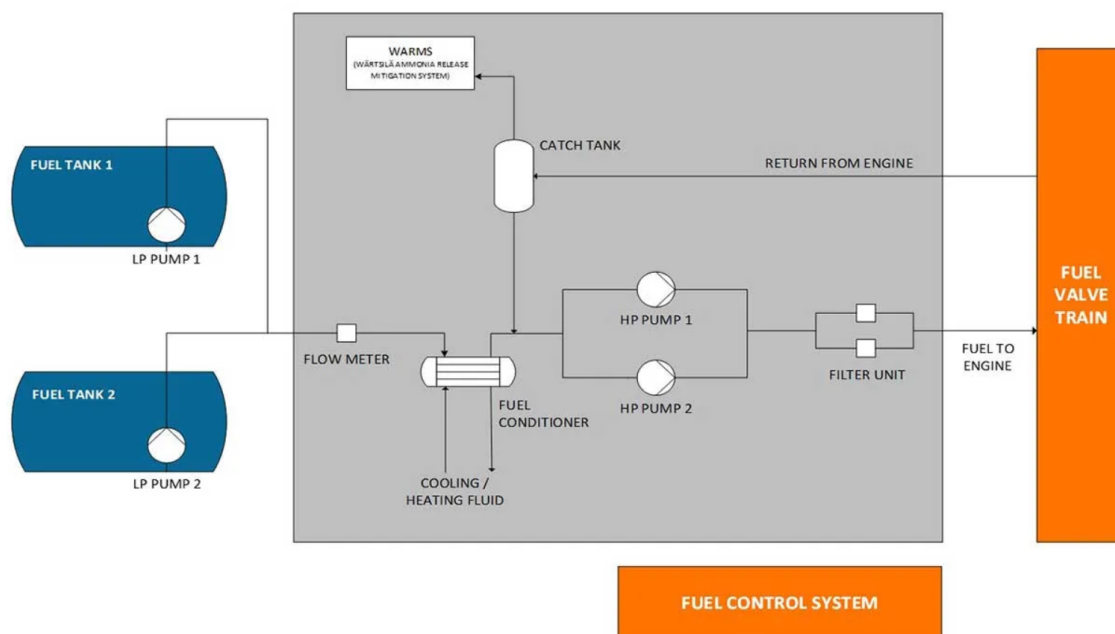
Slika 4. Wartsila 25 Ammonia četverotaktni motor s pogonom na amonijak



Izvor: [15]

Uz motor, potpuno rješenje uključuje sustav za opskrbu plinom AmmoniaPac, Wartsila sustav za ublažavanje ispuštanja amonijaka (WARMS) i Wartsila NOx reduktor (NOR) za optimalnu naknadnu obradu ispušnih plinova. Sigurnost i učinkovitost ključne su za dizajn rješenja, maksimizirane visokosofisticiranim sustavom automatizacije i ugovorom o održavanju kako bi se osigurale sigurne i učinkovite operacije na brodu. Sigurno i neometano usvajanje amonijaka kao novog goriva za članove posade dodatno je podržano specijaliziranom obukom i globalnom podrškom 24/7. Primjena amonijaka temelji se na Wartsila dobro provjerenom LNG sustavu, koji je u primjeni već duži niz godina i koji se pokazao vrlo pouzdanim. Motor Wartsila 25 Ammonia dizajniran je za jednostavno usvajanje održivih goriva i, sada, uz njegovu prethodnu sposobnost rada na dizel, LNG ili na plin ili tekuća biogoriva bez ugljika, njegovim specifikacijama dodaje se i amonijak. Zbog toga je Wartsila 25 Ammonia potpuno nova generacija motora okrenuta prema budućnosti te kombinira radnu učinkovitost s ekološkom održivošću [16].

Slika 5. Dijagram sustava goriva



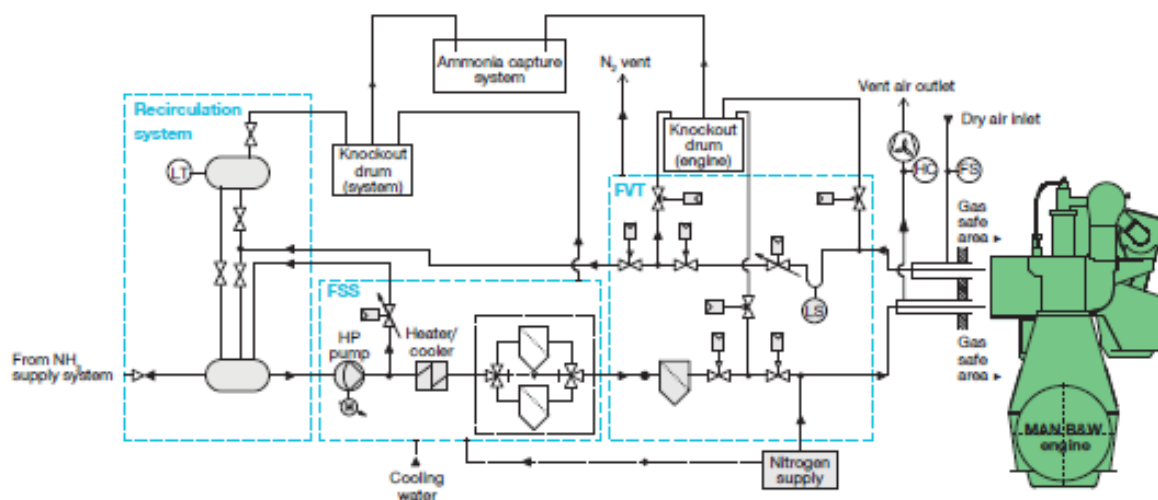
Izvor: [16]

## 4.2. MAN B&W dvotaktni motor s pogonom na amonijak

Prilikom projektiranja motora kojim se upravlja promijenjenom fizikom izgaranja zbog kemijskog sastava novog goriva, potrebno je temeljito istraživanje utjecaja na sve zamislive parametre dizajna motora kako bi se kupcima pružio učinkovit i siguran motor i sustav opskrbe gorivom. Trenutno, MAN Energy Solutions provodi istraživanja kako bi procijenio karakteristike izgaranja i oslobađanja topline amonijaka. Nalazi istraživanja usmjerit će razvoj specifičnih svojstava sustava ubrizgavanja goriva i razjasniti prirodu emisija dvotaktnih motora pri radu na amonijak [17].

Amonijak je otrovna tvar i moraju se poduzeti odgovarajuće sigurnosne mjere kako bi se zaštitila posada broda, ali i okoliš. Uz ispunjavanje ovih zahtjeva, MAN Energy Solutions na tržište donosi tehnologiju koja je projektirana da se prilagodi vještinama i radnim rutinama posade i resursima na brodu. To se postiže bez temeljne promjene rada broda. Prednost sporohodnog dvotaktnog motora s pogonom na amonijak je u tome što neće iz temelja promijeniti gradnju ili rad trgovačkih brodova, pa je stoga na raspolaganju jednostavno i dobro osmišljeno rješenje koje zadovoljava zahtjeve ovog novog goriva [17].

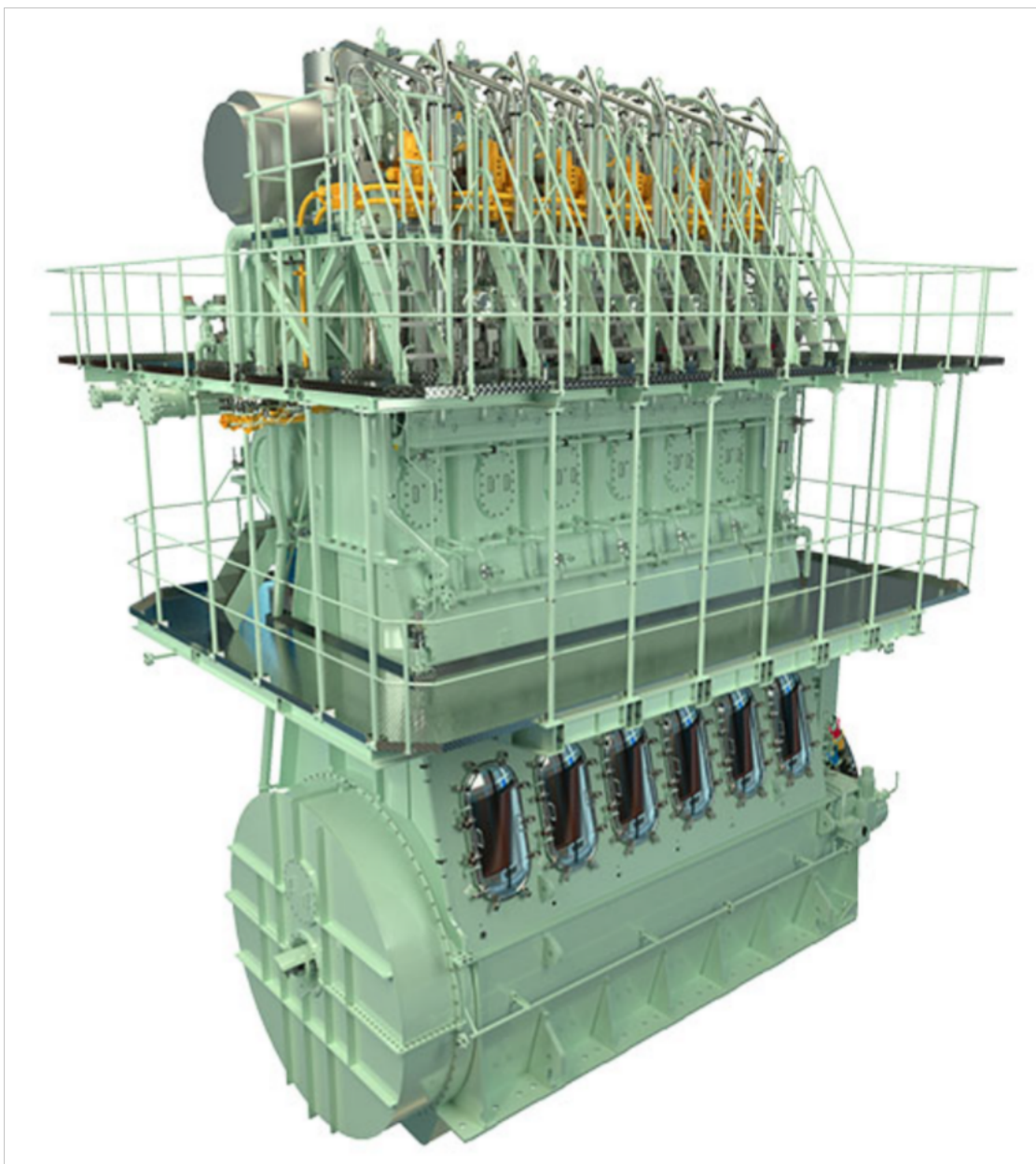
Slika 6. Sustav opskrbe amonijakom i njegove glavne osobine



Izvor: [17]

Tijekom rada s dvostrukim gorivom, dovod goriva amonijaka u motor dolazi iz spremnika za pohranu, putem sustava za dovod goriva. Kako bi se održali potrebni uvjeti za gorivo u motoru, mali dio goriva amonijaka kontinuirano recirkulira u sustavu opskrbe gorivom preko sustava za recirkulaciju. Kada motor nije u načinu rada s dva goriva, dvostruki blok i odzračni (block and bleed) sustavi smanjuju tlak i potpuno izoliraju sustave za gorivo unutar strojarnice od sustava za dovod i povrat goriva. Prije svakog pokretanja sustavi se tlače dušikom kako bi se provjerila nepropusnost sustava. Kada se rad s dvostrukim gorivom zaustavi, tlak dušika potiskuje gorivo amonijaka iz motora u sustav recirkulacije. Kada je sekvenca pročišćavanja dovršena, ponovno se osigurava izolacija sustava strojarnice od dovodnih i povratnih sustava. Tijekom cijele operacije, ventilacijski sustav s dvostrukom stijenkom iz postojećih motora s dva goriva MAN Energy Solutions-a detektira svako curenje goriva amonijaka i usmjerava ga dalje od strojarnice u odvojeni sustav za hvatanje amonijaka [17].

Slika 7. MAN B&W dvotaktni motor s pogonom na amonijak



Izvor: [17]

Recirkulirano gorivo amonijaka zagrijavat će se u motoru tijekom rada. Kako bi se izbjegli dvofazni uvjeti, određena količina goriva amonijaka se recirkulira u namjenski recirkulacijski vod. Ista recirkulacijska cijev obnavlja gorivo amonijak iz motora kad god se zaustavi rad s dvojn timerivom. Recirkulirano gorivo može sadržavati tragove brtvenog ulja iz ventila za ubrizgavanje. Recirkulacijski vod

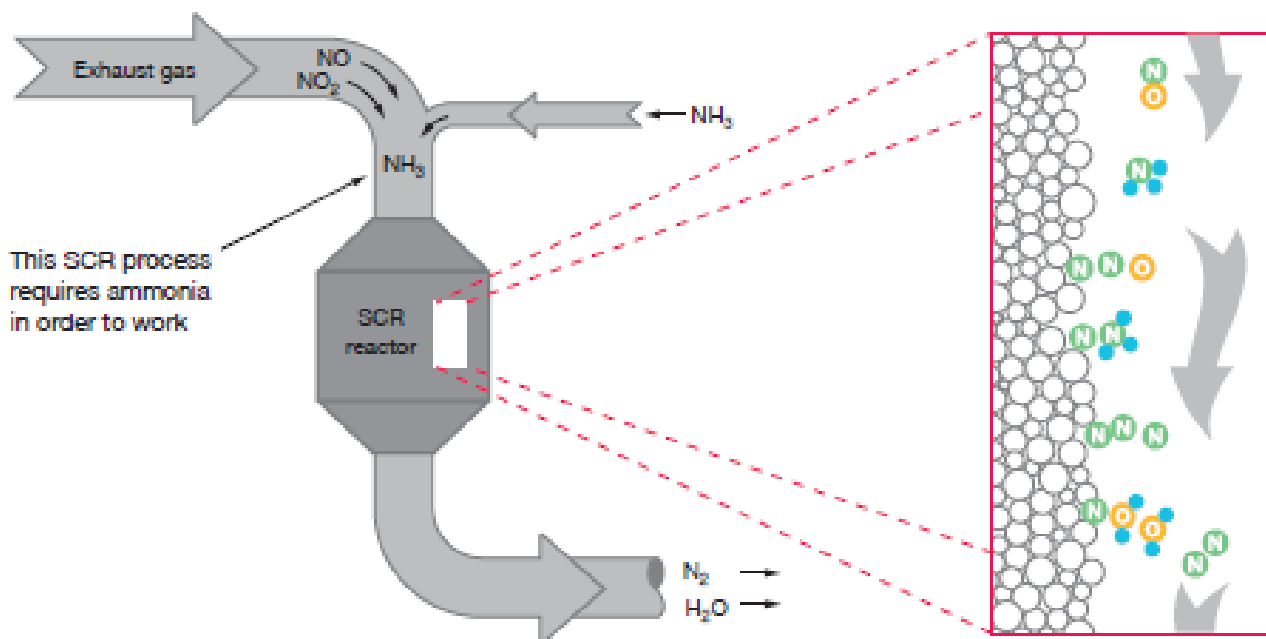
eliminira rizik od kontaminacije spremnika za skladištenje goriva uljem. Recirkulacijski vod također odvaja i ispušta dušik iz obnovljenog amonijačnog goriva. Također, sustav opskrbe gorivom sadrži i opremu potrebnu kako bi se osiguralo da amonijak bude potreban za isporuku goriva amonijaka u motor na potrebnoj temperaturi, tlaku i kvaliteti. U većini slučajeva sustav opskrbe gorivom ima visokotlačnu pumpu, grijač, filtre, ventile i upravljačke sustave za održavanje tlaka i temperature goriva amonijaka pri različitim potrošnjama motora [17].

Razvod ventila za gorivo (FVT) je sučelje između motora i pomoćnih sustava. Svrha FVT-a je osigurati sigurnu izolaciju motora tijekom gašenja i održavanja te omogućiti funkciju pročišćavanja dušikom. Softverski upravljački sustav motora aktivno nadzire i upravlja ventilima u FVT-u. Ova funkcija osigurava sigurno okruženje motora nakon gašenja. Dušik mora biti dostupan za pročišćavanje motora nakon rada na dva goriva, za oslobađanje plina prije održavanja i za ispitivanje nepropusnosti nakon održavanja. Kapacitet sustava dušika mora biti i dovoljno velik da isporuči određeni protok pri tlaku višem od tlaka u servisnom spremniku. Potreban protok ovisi o veličini motora [17].

Za održavanje sigurne strojarnice, od vitalne je važnosti otkriti bilo kakvo curenje iz sustava za gorivo amonijaka i usmjeriti ih na sigurno mjesto. To je dovelo do dizajna sustava za gorivo s amonijakom i cjevovoda unutar strojarnice s dvostrukim stijenkama. Konstantan protok ventilacijskog zraka održava se u vanjskoj cijevi u skladu sa zahtjevima IMO. Sustav je već dio drugih MAN B&W dizajna motora s dva goriva. Sustavi koji koriste amonijak moraju biti projektirani sa sustavom za hvatanje amonijaka (ACS) kako bi se spriječilo ispuštanje amonijaka u okolinu. Sustav se sastoji od bubnja za izbacivanje gdje će se osloboditi tlak amonijaka. Brzo isparavanje rezultira amonijakom u tekućoj i parovitoj fazi u bubnju. Tekuća faza se gura natrag u separator dušika, a amonijak u fazi pare se hvata u nekoliko kolona napunjenih vodom. Količina emisije amonijaka kontrolirana je ukupnim volumenom vode u kolonama. Tijekom rada ACS-a dio vode se odvodi i zamjenjuje slatkim vodom. Očekuje se da će razina emisije NO<sub>x</sub> kod dvotaktnog motora koji radi na

amonijak biti na razini usporedivoj s konvencionalnim sporohodnim dizel motorom. Međutim, put proizvodnje NOx tijekom izgaranja prilično je drugačiji od konvencionalnog motora, a time je pojačana i osjetljivost na promjene u performansama motora. Očito, amonijak će biti ekološki prihvatljivo gorivo samo ako se emisije poznate iz konvencionalnog motora ne zamijene samo drugim vrstama štetnih emisija. Naravno, važan je dio razvojnih napora MAN Energy Solutions-a kako bi se osiguralo da samo vrlo niske razine bilo koje problematične emisije izlaze iz motora na amonijak, te da novo gorivo neće stvoriti novi problem za pomorsku industriju. Kako bi se smanjile emisije dušikovih oksida (NO i NO<sub>2</sub>, koji se obično nazivaju NOx) i kako bi se ispunili regionalno različiti propisi o emisijama, motori tvrtke MAN Energy Solutions opremljeni su, primjerice, naprednom tehnologijom selektivne katalitičke redukcije (SCR). SCR sustav koji koristi amonijak uveden je 1990-ih u četiri broda za rasuti teret. U iščekivanju ishoda prvih rezultata ispitivanja motora, povećanje volumena SCR-a i potrošnje amonijaka može biti potrebno za postizanje usklađenosti u načinu rada. SCR tehnologija je ujedno i naknadni proces obrade, gdje se NOx koji nastaje tijekom izgaranja uklanja iz ispušnih plinova katalitičkom redukcijom [17].

Slika 8. Proces selektivne katalitičke redukcije



Izvor: [17]

Obično se potreban amonijak (redukcijsko sredstvo) dodaje ubrizgavanjem otopine uree ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ) u ispušni plin, međutim, amonijak se može ubrizgati kao katalizator umjesto uree. Jedna od prednosti ovoga je da plovilo na amonijak već nosi amonijak. Potrošnja amonijaka za SCR sustav bit će vrlo mala u usporedbi s potrošnjom amonijaka kao goriva [17].



## 5. ZAKLJUČAK

Rastuće potrebe za prelaskom s fosilnih goriva na zelenu energiju rezultirale su razvojem i korištenjem novih, suvremenih oblika goriva i tehnologija koje se primjenjuju sa svrhom smanjenja stakleničkih plinova te onečišćenja cjelokupnog okoliša.

Korištenje amonijaka jedno je od „zelenih rješenja“, koje je našlo svoju primjenu u pomorskoj industriji, unatoč činjenici da je razvoj motora i tehnologije koju pogoni amonijak još uvijek u fazi intenzivnog razvoja. Međutim, od ključne je važnosti pratiti i poštovati sve propise i zahtjeve koje pred pomorsku industriju stavlja IMO zajedno s drugim međunarodnim organizacijama te utjecati na povećanje učinkovitosti mjera zaštite okoliša.

Do sada su razvijena dva oblika motora koji kao pogonsko gorivo koriste amonijak a koji su svoju primjenu našli u pomorstvu. Njihova osnovna obilježja svakako podupiru ciljeve dekarbonizacije svjetske pomorske flote te usvajanje svih obveznih direktiva. Očekuje se kako će se u budućnosti još veća pažnja pridavati ovom području, a sama tehnologija skupa s motorima značajnije napredovati.

## LITERATURA

1. American Bureau of Shipping, (2020) Ammonia as marine fuel.
2. Dimitriou, P., Javaid, R. (2020) A review of ammonia as a compression ignition engine fuel, *International Journal of Hydro Energy* 45, 7098-7118
3. Armijo, J. Philibert, C. (2019). Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy. Case study of Chile and Argentina.
4. Kobayashi, H. Hayakawa, A., Somarathne, K., Okafor, E. (2018). Science and technology of ammonia combustion. *Proceedings of the Combustion Institute*. 37, 10-18.
5. Valera-Medina, A., Xiao, H., Owen-Jones, M., David, W.I.F., Bowen, P.J. (2018) Ammonia for power, *Progress in Energy and Combustion Science* 69, 63-102, Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.07.001> (15.06.2024.)
6. Ash, N. (2019) Scarborough, T. Sailing on Solar, Could green ammonia decarbonise international shipping?. *Environmental Defense Fund*..
7. van Damme, M., Clarisse, L., Whitburn, S., Hadji-Lazaro, J., Hurtmans, D., Clerbaux, C., Coheur, P.F. (2018): Industrial and agricultural ammonia point sources exposed. *Nature* 564 (34), 99–103.
8. Zincir, B. (2020) A Short Review of Ammonia as an Alternative Marine Fuel for Decarbonised Maritime Transportation, *Conference Paper at International Conference on Energy, Environment and Storage of Energy*.
9. Brinks, H., Chryssakis, C., (2022) Smells like sustainability: Harnessing ammonia as ship fuel, *DNV*
10. DNV, (2024) *Maritime Forecast to 2050*., Norway: Hovik
11. European Union. (2023). Sustainable maritime fuels (FuelEU Maritime Initiative). Dostupno na:

- [https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2021/0210\(COD\)&l=en](https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2021/0210(COD)&l=en) (15.06.2024.)
12. Lindstad, E., Lagemann, B., Riialand, A., Gamlem, G., Valland, A. (2021). Reduction of maritime GHG emissions and the potential role of E-fuels. Pergamon.
  13. IMO. (2020). Fourth IMO GHG study. IMO.
  14. Hansson, J., Brynolf, S., Fridell, E., Lehtveer, M. (2020) The Potential Role of Ammonia as Marine Fuel—Based on Energy Systems Modeling and Multi-Criteria Decision Analysis. Sustainability 12, 32-65.
  15. Wartsila (2024). Meet the Wartsila 25 Ammonia, Dostupno na: <https://www.wartsila.com/marine/wartsila-25-ammonia> (15.06.2024.)
  16. Wartsila (2023) Wärtsilä continues to set the pace for marine decarbonisation with launch of world-first 4-stroke engine-based ammonia solution, Dostupno na: <https://www.wartsila.com/media/news/15-11-2023-wartsila-continues-to-set-the-pace-for-marine-decarbonisation-with-launch-of-world-first-4-stroke-engine-based-ammonia-solution-3357985> (15.06.2024.)
  17. MAN Energy solutions, (2023) MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia, Denmark: Copenhagen.

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Kemijska struktura amonijaka.....                                   | 4  |
| Slika 2. Proces proizvodnje i korištenja zelenog amonijaka.....              | 10 |
| Slika 3. Kretanje razina emisije stakleničkih plinova do 2050. godine.....   | 14 |
| Slika 4. Wartisila 25 Ammonia četverotaktni motor s pogonom na amonijak..... | 18 |
| Slika 5. Dijagram sustava goriva.....  | 19 |
| Slika 6. Sustav opskrbe amonijakom i njegove glavne osobine.....             | 20 |
| Slika 7. MAN B&W dvotaktni motor s pogonom na amonijak.....                  | 22 |
| Slika 8. Proces selektivne katalitičke redukcije.....                        | 24 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Svojstva amonijaka.....   | 6  |
| Tablica 2. Prednosti i izazovi u korištenju amonijaka kao goriva za brodove..... | 16 |