

# Utjecaj onečišćenja atmosfere s brodova na ljudsko zdravlje

---

**Brkić, Dolores**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:193685>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru  
Odjel za zdravstvene studije  
Sveučilišni prijediplomski studij  
Sestrinstvo



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru  
Odjel za zdravstvene studije  
Sveučilišni prijediplomski studij Sestrinstva

Utjecaj onečišćenja atmosfere s brodova na ljudsko zdravlje

Završni rad

Dolores Brkić

Student/ica:

Mentor/ica:  
prof.dr.sc. Jelena Čulin

Komentor/ica:  
prof.dr.sc. Marijana Matek Sarić

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Dolores Brkić**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Utjecaj onečišćenja atmosfere s brodova na ljudsko zdravlje** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 18. prosinca 2023.

## **SAŽETAK**

Kvaliteta zraka jedan je od važnih problema suvremenog društva. Posljedice onečišćenja zraka za ljude i okoliš uključuju povećanu učestalost pojave respiratornih i kardiovaskularnih bolesti, te acidifikaciju i eutrofikaciju. Stoga je neophodno poduzimati mjere kojima bi se smanjile emisije štetnih tvari u atmosferu. Iako je pomorski promet s aspekta očuvanja okoliša najpovoljniji način transporta ljudi i roba, ipak emitira velike količine onečišćujućih tvari. Najveći štetni utjecaj na zdravlje ljudi imaju dušikovi oksidi, sumporovi oksidi i lebdeće čestice. Onečišćenje zraka uzrokovano pomorskim prometom, naročito u lukama, značajno utječe na morbiditet, smrtnost i ekonomske učinke lokalnih zajednica. U radu su opisani štetni utjecaji tvari emitiranih s brodova na zdravlje ljudi, te najvažnije mjere za smanjenje emisija. Prikazana je uloga medicinskih sestara/tehničara u provođenju mjera za ublažavanje posljedica onečišćenja.

**KLJUČNE RIJEČI:** onečišćenje, atmosfera, pomorski promet, zdravlje.

## **SUMMARY**

The impact of atmospheric pollution from ships on human health

Air quality is one of the important problems of modern society. The consequences of air pollution for people and the environment include an increased incidence of respiratory and cardiovascular diseases, as well as acidification and eutrophication. Therefore, it is necessary to take measures to reduce emissions of harmful substances into the atmosphere. Although maritime transport is the most favorable way of transporting people and goods from the point of view of environmental protection, it still emits large amounts of pollutants. Nitrogen oxides, sulfur oxides, and floating particles have the greatest harmful effect on human health. Air pollution caused by maritime traffic, especially in ports, significantly affects the morbidity, mortality, and economic effects of local communities. The paper describes the harmful effects of substances emitted from ships on human health and the most important measures to reduce emissions. The role of nurses/technicians in the implementation of measures to mitigate the consequences of pollution is presented.

**Keywords:** pollution, atmosphere, maritime transport, health

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| <b>1. UVOD</b> .....  | 1  |
| <b>2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA</b> .....   | 3  |
| <b>2.1. ZAKONSKA REGULATIVA ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U ZRAKU U REPUBLICI HRVATSKOJ</b> ..... | 6  |
| <b>2.2. UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA ONEČIŠĆENJE ZRAKA</b> .....                        | 8  |
| <b>3. UČINCI ŠTETNIH TVARI U ISPUŠNIM PLINOVIMA NA Ljudsko ZDRAVLJE</b> .....           | 12 |
| <b>3.1. LEBDEĆE ČESTICE</b> .....   | 13 |
| <b>3.2. UGLJIKOV MONOKSID</b> .....   | 14 |
| <b>3.3. DUŠIKOV DIOKSID</b> .....   | 14 |
| <b>3.4. SUMPOROV DIOKSID</b> .....  | 15 |
| <b>3.5. OZON</b> .....  | 15 |
| <b>3.6. HLAPLJIVI ORGANSKI SPOJEVI</b> .....  | 16 |
| <b>4. MJERE ZA SMANJENJE EMISIJA S BRODOVA U ATMOSFERU</b> .....                        | 17 |
| <b>4.1. TEHNIKE ZA SMANJENJE EMISIJE ŠTETNIH TVARI U ISPUŠNIM PLINOVIMA</b> .....       | 19 |
| <b>4.2. PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE I ALTERNATIVNIH GORIVA</b> ....            | 20 |
| <b>5. ULOGA MEDICINSKE SESTRE/TEHNIČARA</b> .....                                       | 22 |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....   | 25 |
| <b>7. LITERATURA</b> .....  | 26 |

## 1. UVOD

Zdrav okoliš je jedan od glavnih uvjeta za očuvanje zdravlja ljudi i kvalitete života. Razvojem gospodarstva čovjek je podigao svoj životni standard, ali je poremetio unos i izmjenu tvari u okolišu. Doveo je do opterećenja okoliša različitim štetnim tvarima koje mogu negativno utjecati na zdravlje ljudi. Potreba i zadaća modernog društva je uvesti i pridržavati se mjera zaštite okoliša u svim sferama života, osobito u transportu, industrijskoj proizvodnji i ostalim gospodarskim sektorima (1).

U usporedbi sa svim drugim načinima prijevoza, pomorski promet je optimalan način prijevoza (po toni prijenosa tereta) u smislu isplativosti i nižih emisija u okoliš. Svjetska gospodarstva povezuju prometno opterećeni pomorski putovi. Pomorskim prometom prevozi se oko 10 milijardi tona tereta godišnje diljem svijeta, što čini 80% ukupne količine prevezenog tereta. Očekuje se i daljnji porast količina tereta, te se prema nedavnim procjenama predviđa rast potražnje za pomorskim prijevozom za 40% do 2050. godine u odnosu na 2019. godinu (2). Kada govorimo o podacima za Europsku uniju (EU), gotovo 90% uvozne i izvozne robne trgovine se odvija pomorskim prometom, u 2021. ukupna težina robe prevezene u/iz glavnih luka u EU pomorskim prometom iznosila je 1,8 milijardi tona. Dodatno, bilježi se i stalni porast broja putnika na putničkim brodovima i brodovima za kružna putovanja (3).

S brodova se emitiraju u more i zrak značajne količine onečišćujućih tvari, te je porast pomorskog prometa praćen porastom negativnog utjecaja pomorstva na okoliš. Primjerice, podaci o emisijama ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) ukazuju da je od 1971. godine do 2019. godine utjecaj pomorstva na klimatske promjene i posljedično zdravlje ljudi i okoliš dvostruko porastao. Prema procjenama, do 2050. godine emisije CO<sub>2</sub> pomorskog sektora mogle bi porasti za 90 do 130% (4).

Onečišćeni zrak povezuje se s nizom štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje uključujući respiratorne, metaboličke i kardiovaskularne bolesti, moždani udar, rak pluća, smanjenu plodnost, prijevremeni porod, smanjenu porođajnu težinu i preranu smrtnost (2). Pomorstvo značajno doprinosi degradaciji kvalitete zraka, naročito u lučkim područjima, te narušenom zdravlju stanovnika. Na primjer, istraživanje utjecaja pomorskog prometa na smrtnost stanovnika 8 mediteranskih gradova procjenjuje da je 5,5 prijevremenih smrti godišnje na svakih 100 000 stanovnika posljedica emisija s brodova (3).

U ovom završnom radu opisan je utjecaj pomorskog prometa na zdravlje ljudi. Tema drugog poglavlja je onečišćenje zraka. Ukratko je prikazana relevantna zakonska regulativa, te



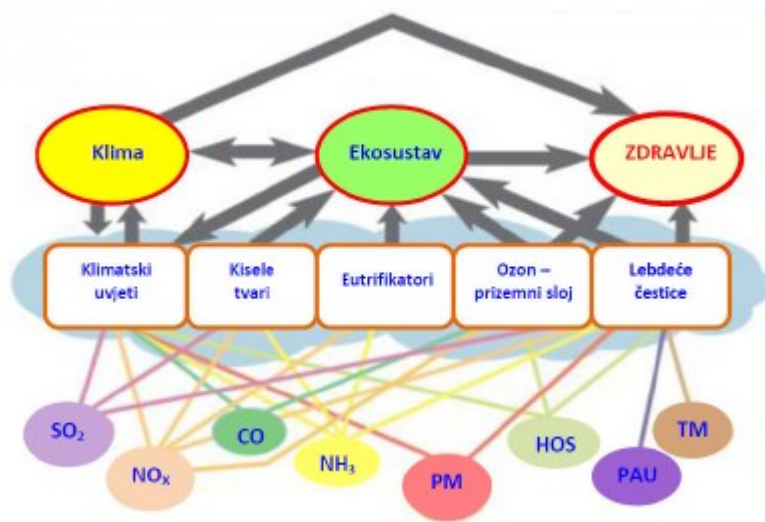
je dan prikaz utjecaja pomorskog prometa na onečišćenje zraka. U trećem poglavlju navedeni su učinci štetnih tvari u ispušnim plinovima na ljudsko zdravlje. Čvrto poglavlje prikazuje mjere za smanjenje emisija s brodova u atmosferu. U petom poglavlju raspravlja se o ulozi medicinskih sestara/tehničara u rješavanju ovog problema.

## 2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA

Onečišćeni zrak se opisuje kao zrak čija je kvaliteta narušena djelovanjem onečišćujućih tvari u koncentracijama koje mogu značajno utjecati na kvalitetu življenja, zdravlje ljudi ili dijelove okoliša. Onečišćujuće tvari opisuju se kao bilo koja tvar koja se nalazi u zraku, a štetno djeluje na okoliš ili zdravlje ljudi u cijelosti. Izvori onečišćenja zraka dijele se na dvije grupe: prirodni i antropogeni izvori. Prirodni izvori su seizmičke aktivnosti, erupcije vulkana, šumski požari, pustinjske oluje, meteorska prašina, isparavanja vegetacije i slično. Antropogeni izvori su povezani s ljudskim djelatnostima poput dobivanja i pretvorbe energije, industrije, poljoprivrede, prometa, obrade i odlaganje otpada itd. Umjetni (antropogeni) izvori obuhvaćaju motore s unutrašnjim izgaranjem, postrojenja za izgaranje krutog ili tekućeg goriva koja se koriste u kućanstvu i industrijskim aktivnostima, strojevi, vozila itd. Izvori onečišćenja dijele se na pokretne i nepokretne izvore emisije. Nepokretni izvori se dijele na: točkaste u kojima se onečišćujuće tvari ispuštaju u zrak kroz za tu svrhu namijenjene ispuste (postrojenja, pogoni, tehnološki procesi, uređaji, građevine itd.) i difuzne (onečišćujuće tvari ispuštaju se u zrak bez dimnjaka ili ispusta (površine, uređaji). Pokretni izvori obuhvaćaju prijevozna sredstva koja u zrak ispuštaju onečišćujuće tvari: poljoprivredni strojevi, motorna vozila, lokomotive, zrakoplovi, plovni objekti. Svaki od navedenih izvora može biti napravljen na način da manje zagađuje okoliš, odnosno da ne ispušta u zrak onečišćujuće tvari iznad graničnih vrijednosti (1).

Onečišćujuće tvari u zraku dijele se na dvije vrste: primarne onečišćujuće tvari koje se emitiraju izravno u atmosferu (iz dimnjaka ili vozila) i sekundarne onečišćujuće tvari koje nastaju u atmosferi kao posljedica kemijskih reakcija (npr. lebdeće čestice). Mogu se podijeliti s obzirom na štetan učinak prema klimi, zdravlju čovjeka ili ekosustavu, odnosno na kisele tvari, prizemni ozon, krute čestice i tvari koje utječu na promjenu klime (1). Na slici 1 prikazane su najvažnije onečišćujuće tvari i njihov utjecaj na okoliš i ljude.

Onečišćenje zraka u svijetu jedan je od glavnih uzroka bolesti koje nastaju iz okoliša te ima i značajne ekonomske posljedice. Oko 91% stanovništva živi na područjima gdje je razina kvalitete zraka ispod smjernica Svjetske zdravstvene organizacije. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, onečišćenje zraka je dovelo do 7 milijuna smrtnih slučajeva u svijetu prema podacima objavljenim 2021. godine, od čega je 500 000 za europsku regiju (5).



Slika 1. Onečišćujuće tvari u zraku i mogući utjecaj na zdravlje ljudi, klime i ekosustava (1)

Budući da mjerenja koncentracija svih onečišćujućih tvari u zraku koje mogu negativno utjecati na kvalitetu života i zdravlja ljudi nisu moguća najčešće se provode mjerenja kojima se određuje prisutnost i količina sljedećih tvari: sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ), dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ), ukupni dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ), ugljikov monoksid ( $\text{CO}$ ), prizemni ozon, lebdeće čestice ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ), benzen, olovo, kadmij, živa, arsen, benzo(a)piren. Temeljem analize rezultata mjerenja u urbanim područjima uočeno je da je sve češće prisutno prekoračenje standarda kvalitete zraka uslijed onečišćenja lebdećim česticama,  $\text{NO}_x$  i ozonom. Bez obzira što zemlje članice EU provode niz mjera za smanjenje emisija onečišćujućih tvari u zraku i dalje su prisutna prekoračenja dozvoljenih vrijednosti (1).

Sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ) je bezbojan plin oštrog mirisa i kiselog okusa. Njegovim otapanjem u vodi u atmosferi nastaje sumporasta kiselina (6). Sumporov dioksid, sulfatni aerosoli i lebdeće čestice koje sadrže sulfate putem suhog i mokrog taloženja dopijevaju u okoliš. Preko 90%  $\text{SO}_2$  u zraku potječe iz antropogenih izvora, u prvom redu sagorijevanja goriva koje sadrže sumpor (nafta i naftne derivati, ugljen).

Dušikovi oksidi su spojevi dušika i kisika koji nastaju oksidacijom atmosferskog dušika koji čini 80 % zraka: didušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dušikov monoksid, ( $\text{NO}$ ), didušikov dioksid  $\text{N}_2\text{O}_2$ , didušikov trioksid ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ), dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ), didušikov tetraoksid ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) dušikov pentoksid ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ). Dušikov dioksid koristi se kao indikator onečišćenja dušikovim oksidima. Najzastupljeniji su  $\text{NO}$  (bezbojan plin) i  $\text{NO}_2$  (crveno-smeđi plin zagušljiva mirisa) zajedničkog

naziva NO<sub>x</sub>. Antropogeni izvori NO<sub>x</sub> su izgaranja goriva u stacionarnim i mobilnim ložištima. NO<sub>x</sub>, posebno NO<sub>2</sub>, prekursori su ozona i sekundarnih aerosola. Nadalje, NO<sub>x</sub> može reagirati s hlapljivim organskim spojevima i proizvesti fotokemijski smog. NO<sub>x</sub> mogu lako prijeći velike udaljenosti od izvora proizvodnje, te onečišćenja koje uzrokuju (smog, kisele kiše, itd.) mogu imati utjecaj vrlo daleko od izvora.

Lebdeće čestice su smjese krutih i/ili tekućih čestica raspršenih u zraku s kemijskim i fizičkim karakteristikama koje se razlikuju ovisno o lokaciji, godišnjem dobu i vremenskim uvjetima (7). Najčešći kemijski spojevi i elementi u sastavu lebdećih čestica su: sulfati, amonijak, nitrati, anorganski ioni ako što su ioni kalija, natrija, magnezija, klorid, elementarni i organski ugljik, policiklički aromatski ugljikovodici, metali i slično. Također se nalaze i biološke komponente kao što su mikrobnji spojevi i alergeni. Čestice se mogu izravno emitirati u zrak ili se formiraju u atmosferi iz plinovitih prekursora kao što su: NO, SO<sub>2</sub>, amonijak i nemetanski hlapljivi organski spojevi. Veličina lebdećih čestica, koja određuje transport i uklanjanje iz zraka te utjecaj na zdravlje, varira od nekoliko nanometara do desetaka mikrometara. U svrhu procjene kvalitete zraka pokazatelji opisuju lebdeće čestice koje su relevantne za zdravlje i odnose se na masenu koncentraciju čestica promjera od 10 do 2,5 μm (PM<sub>10</sub>, grube čestice) i čestica promjera manjeg od 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>, fine čestice). Fine lebdeće čestice uključuju ultrafine čestice koje su promjera manjeg od 0,1 μm. Lebdeće čestice između 0,1 μm i 1 μm mogu ostati u atmosferi danima ili tjednima, te su iz toga razloga podložne prekograničnom prijenosu putem zraka.

Hlapljivi organski spojevi (engl. *volatile organic compounds*, VOCs) su organski kemijski spojevi koji se nalaze u raznim proizvodima iz kojih lako isparavaju i dolaze u okoliš pod normalnim uvjetima (8). VOCs imaju povećanu hlapljivost, pokretni su i vrlo otporni na razgradnju, te se mogu transportirati na velike udaljenosti u okolišu. Najčešći VOCs su aromatski ugljikovodici, kao što su benzen, toluen, ksilen, etil benzen te halogenirani ugljikovodici. Pored udisanja, putovi izlaganja VOCs uključuju i kontaminirane vode (putem pića, kupanja, plivanja itd). VOCs mogu biti prirodni (biljke, močvare) i antropogeni koji nastaju putem procesa u kućanstvima ili industriji (korištenje gnojiva, pesticida, korištenje nafte itd). Određeni VOCs identificirani su kao staklenički plinovi koji mogu utjecati na globalno zatopljenje.

## **2.1. ZAKONSKA REGULATIVA ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U ZRAKU U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Aktualni Zakon o zaštiti zraka je na snazi od 28. 5. 2022. godine, te sadrži odredbe koje su u skladu s relevantnim aktima EU. Zakonom se između ostalog određuju mjere zaštite i poboljšanja kvalitete zraka, te regulira praćenje i procjenjivanje kvalitete zraka.

Prema Zakonu o zaštiti zraka, članak 39, „Sprječavanje i smanjivanje onečišćivanja zraka provodi se:

- kroz postupak izrade prostornih planova
- propisivanjem emisijskih kvota odnosno nacionalnih obaveza smanjivanja za pojedine onečišćujuće tvari u zraku koje uzrokuju nepovoljne učinke zakiseljavanja, eutrofikacije i fotokemijskog onečišćenja
- propisivanjem graničnih vrijednosti emisija iz nepokretnih izvora i graničnih vrijednosti u vezi sa sastavom određenih proizvoda i/ili drugih značajki kvalitete proizvoda
- promjenom mjera zaštite zraka utvrđenih o prihvatljivosti zahvata za okoliš i/ili rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša odnosno sukladno zakonu kojim se uređuje zaštita okoliša
- primjenom najboljih raspoloživih tehnika
- poticanjem uvođenja mjera energetske učinkovitosti
- poticanjem primjene čistih tehnologija i obnovljivih izvora energije
- provedbom mjera iz akcijskih planova za poboljšanje kvalitete zraka iz kratkoročnih akcijskih planova“ (9).

Za praćenje kvalitete zraka određuju se minimalni broj i lokacije mjernih mjesta. Temeljem rezultata praćenja i procjenjivanjem kvalitete zraka utvrđuju se kategorije kvalitete zraka, te se izrađuje godišnje izvješće.

Kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi, ekosustava, vegetacije i unaprijedila kvaliteta života podzakonskim aktom, Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku, određene su granične i ciljne vrijednosti za određene onečišćujuće tvari u zraku:

- sumporov dioksid
- dušikove okside
- dušikov dioksid
- ugljikov monoksid

- lebdeće čestice PM10
- lebdeće čestice PM2,5
- olovo, kadmij, arsen, nikal i benzo(a)piren u PM10
- ukupnu plinovitu živu
- benzen
- sumporovodik
- amonijak
- metanal (formaldehid)
- merkaptane
- ukupnu taložnu tvar
- sadržaj olova, kadmija, arsena, nikla, žive, talija i benzo(a)pirena u ukupnoj taložnoj tvari i
- prizemni ozon (10).

Granične vrijednosti koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zraku iznose:

- SO<sub>2</sub>
  - vrijeme usrednjavanja 1 sat: granična vrijednost je 350 µg/m<sup>3</sup>
  - tokom godine granična vrijednost ne smije biti prekoračena više od 24 puta
  - vrijeme usrednjavanja 24 sata: granična vrijednost je 125 µg/m<sup>3</sup>
  - tokom godine granična vrijednost ne smije biti prekoračena više od 3 puta
- CO
  - maksimalna dnevna vrijednost: 10 mg/m<sup>3</sup>
- NO<sub>2</sub>
  - vrijeme usrednjavanja 1 sat: 200 µg/m<sup>3</sup>
  - granična vrijednost ne smije biti prekoračena više od 18 puta tokom godine
- benzen
  - vrijeme usrednjavanja kalendarska godina: 5 µg/m<sup>3</sup>
- PM10
  - vrijeme usrednjavanja 24 sata: 50 µg/m<sup>3</sup>
  - granica ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom godine
  - vrijeme usrednjavanja kalendarska godina: 40 µg/m<sup>3</sup> (10).

## 2.2. UTJECAJ POMORSKOG PROMETA NA ONEČIŠĆENJE ZRAKA

Emisije iz pomorskog prometa izravno utječu na zdravstvene probleme i imaju nepovoljne učinke na ekosustav. Širok raspon onečišćujućih tvari koje se emitiraju u atmosferu s brodova utječu negativno na stvaranje smoga, kisele kiše i doprinose eutrofikaciji.

Brod je značajan izvor čestica aerosola (lebdеće čestice: PM10, PM2,5) i plinovitih zagađivača (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs, CO<sub>x</sub>), posebno u blizini luka i okolnih obalnih područja, uključujući gusto naseljene lučke gradove. Naime, gotovo 70% emisija s brodova događa se unutar 400 km od obale što uzrokuje smanjenje kvalitete zraka u obalnim područjima i lukama. Osim toga zagađivači koji potječu s brodova mogu se transportirati nekoliko stotina kilometara. Samim time dolazi do problema kvalitete zraka na kopnu. Kako se topljenje arktičkog leda nastavlja, pomorstvo bi moglo biti još štetnije za klimu i okoliš jer će se otvoriti novi prometni putovi u području koje je možda osjetljivije od drugih na nove i sve veće emisije (11).

Pomorstvo je u okviru projekta Svjetske zdravstvene organizacije pod nazivom Zdravstveni rizici onečišćenja zraka u Europi provedenog 2013. prepoznato kao problem broj tri od šest najvećih kategorija izvora emisije onečišćenja zraka u zatvorenom prostoru, nakon cestovnog prometa, te grijanja i klimatizacije (12).

Utjecaj pomorstva na okoliš i zdravlje ljudi sve se intenzivnije proučava. Pritom se koriste različite metode i tehnike, koje s vremenom napreduju i daju sve točnije rezultate procjena emisija s brodova, te njihovog učinka (5). Brojne studije istražuju štetni utjecaj emisija na zdravlje i život ljudi, te povezane zdravstvene troškove. Primjerice, proučavan je utjecaj na zdravlje pomorskog prometa u Europi i zdravstveni troškovi povezani s onečišćenjem zraka. Procijenjeno je da je 7%, odnosno 12% od ukupnih troškova povezanih s onečišćenjem zraka u 2000. godini, odnosno 2020. godini povezano sa zagađenjem od brodskog prometa. Nadalje, predviđen je pad od 36% ukupnih relativnih vanjskih troškova između 2000. do 2020. godine kao posljedica promjene zakonske regulative povezane s naporima za smanjenje emisija sumpora s brodova. Procjenjivan je utjecaj emisija brodova u i oko Baltičkog mora i Sjevernog mora. Istražene su potencijalno izgubljene godine života sa i bez brodskih emisija. Rezultati su ukazali na porast od 0,1-0,2 izgubljene godine života u područjima koja su blizu glavnih brodskih putova. Istraživanja ukazuju na pozitivne promjene do kojih dolazi primjenom strožih standarda emisija. Procjena utjecaja primjene goriva s niskim sadržajem sumpora na javno zdravlje i klimu u pomorskom prometu pokazala je da bi se na globalnoj razini mogla smanjiti preuranjena smrtnost i morbiditet za 34%, odnosno 54% (5).

Dokazan je štetan utjecaj pomorstva na zdravlje stanovništva koji živi u blizini luka. Emisija onečišćujućih tvari u lukama proizlazi iz različitih izvora izravno ili neizravno povezanih s radom luke (13). S obzirom da u lukama postoji nekoliko modela prijevoza, kao što su brodovi, teretni kamioni, željeznička lokomotiva, oprema za rukovanje teretom, dizalice i slično, rad luka pridonosi emisijama lebdećih čestica, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, VOCs. Niz napora je uloženo u smanjenje onečišćenja zraka sa kopna, no oprema koja se koristi u pomorskom prometu nije tako strogo regulirana kao što je u cestovnom prometu. Emisije u lukama su povezane i s lučkom logistikom (utovar, istovar, manevriranje, boravak broda u luci).

U određenim lučkim talijanskim gradovima uočeno je da brodovi za kružna putovanja emitiraju više NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>, nego li ukupni broj osobnih automobila. Razina sumporovog dioksida je i dalje znatno viša u usporedbi s cestovnim prijevozom čak i nakon uvođenja najvećeg dopuštenog udjela sumpora u brodskim gorivima od 0,5% 2020. godine. Prema sadašnjim podacima najbolji brodski standard sumpora prema kojem gorivo korišteno u područjima kontrole emisija (ECA) ne smije imati udjel sumpora veći od 0,10% m/m je i dalje 100 puta lošiji od europskog standarda sumpora za cestovni benzin ili dizel (0,001%) koji je na snazi više od 15 godina (13).

Utjecaj pomorstva na onečišćenje atmosfere, odnosno utjecaj aktivnosti tijekom plovidbe i aktivnosti u luci procjenjuje se izračunavanjem udjela izmjerenih koncentracija onečišćujućih tvari koje su povezane s lučkim područjem, procjenom prostornih (simulacijski model) ili vremenskih (uzorkovanje s visokom vremenskom razlučivosti u okolnom zraku) varijacija u vrijednostima koncentracija ili istraživanjem specifičnih kemikalija. Metodologija koja se koristi za izračunavanje emisija bazirana je na različitim pretpostavkama i informacijama koje se temelje na lokalnoj ili nacionalnoj razini. Procjena je strogo vezana uz dostupnost informacija o aktivnosti broda (gorivo, vrsta motora, kretanje brodova) (13).

U Europi, prema podacima iz 2019. godine pomorstvo je bilo izvor 90% emisija SO<sub>2</sub>, 45% emisija lebdećih čestica PM<sub>2,5</sub>, 28% emisija lebdećih čestica PM<sub>10</sub> i 35% emisija NO. Iako se koncentracija onečišćujućih tvari smanjuje kako je udaljenost broda od luke veća, prisutan je značajan utjecaj na zdravlje. Ultrafine čestice s brodova za krstarenje i trajekata dovode do specifičnih zdravstvenih problema radnika u luci i stanovništva uz obalu. U cijelom svijetu je 14 500 do 37 500 preuranjenih smrti vezanih uz PM<sub>2,5</sub> emitiranih iz izvora povezanih s pomorstvom, najviše u područjima gdje je pored visokih koncentracija lebdećih čestica prisutna i visoka gustoća naseljenosti. Prosječna koncentracija PM<sub>2,5</sub> u lučkim područjima je od 9,7 µg/m<sup>3</sup> do 19,5 µg/m<sup>3</sup> u Europi. Zabilježene koncentracije u Europi su niže nego li u



određenim azijskim lučkim gradovima gdje su najčešće vrijednosti između 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  do 62,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Projekcije ukazuju da bi primjena globalne gornje granicu od 0,5% sumpora u gorivu mogla dovesti do globalnog smanjenja morbiditeta i preuranjene smrtnosti zbog pomorskog prometa za 54%, odnosno 34%. No, procjenjuje se da će i dalje biti 250 000 preuranjenih smrti povezane s pomorstvom i 6,4 milijuna slučajeva astme u dječjoj dobi godišnje unatoč mjerama za smanjenje količine sumpora u gorivu (13).

Pomorski promet utječe na zdravlje ne samo putem narušavanja kvalitete zraka, već i utjecajem na klimu (11). Brodovi emitiraju oko 11% ukupnog  $\text{CO}_2$  iz prometnog sektora. Modeliranje utjecaja emisija s brodova na atmosfersku kemiju i klimu vrlo je složen proces i obuhvaća različite vremenske i prostorne skale, te koncept klimatskih promjena koji ne obuhvaća samo globalnu srednju temperaturu. Sumporovi oksidi imaju vrijeme zadržavanja u atmosferi od nekoliko dana, a klimatski odgovor se događa kroz desetljeća zbog toplinske inercije oceana. Suprotno tome, učinak  $\text{CO}_2$  trajati će nekoliko stoljeća, a ostatak će trajati puno duže zbog sporog uklanjanja viška  $\text{CO}_2$ . Priroda doprinosa klimatskim promjenama je složena: osim zagrijavanja zbog emisija  $\text{CO}_2$ , emisije  $\text{SO}_2$  s brodova uzrokuju hlađenje djelovanjem na atmosferske čestice i oblake, dok  $\text{NO}_x$  povećavaju razine stakleničkog plina ozona, a smanjuju razine stakleničkog plina metana, tako uzrokujući zagrijavanje odnosno hlađenje. Rezultat je da je neto globalno srednje radijacijsko djelovanje iz pomorskog sektora bilo izrazito negativno, odnosno dovelo do globalnog učinka hlađenja 2009. godine. Međutim, primjenom novih propisa o  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ , kojima se smanjuju onečišćenje zraka i njegovi štetni učinci na zdravlje i zakiseljavanje vode/tla, smanjit će se učinci hlađenja ovog sektora. Smanjenje emisija sumpora u sektoru pomorskog prometa zbiva se paralelno sa smanjenjem emisija sumpora iz kopnenih izvora koje se provodi u Europi i SAD-u kao odgovor na kisele oborine. Međutim, jedna važna razlika je da smanjenja emisija  $\text{SO}_2$  s brodova odvijaju iznad oceana. Zbog sposobnosti površine da reflektira svjetlost (relativni albedo učinak), postoje razlozi za očekivati da bi učinci smanjenja  $\text{SO}_2$  iz brodskog prometa (po jedinici emisije) mogli biti jači od smanjenja na kopnu. Uzimajući u obzir ova smanjenja, brodski promet će, u odnosu na utjecaje prije primjene propisa, dati učinak "dvostrukog zagrijavanja": jedan od povećanja emisija  $\text{CO}_2$ , a drugi od smanjenja emisija  $\text{SO}_2$ . Stoga će se nakon nekoliko desetljeća ukupni klimatski učinak pomorskog prometa pomaknuti s hlađenja na zagrijavanje.

Pored tvari koje negativno utječu na kvalitetu zraka, s brodova su se emitirale i tvari koje oštećuju ozon (TOOS) (9). Kemikalije koje uništavaju zaštitni ozonski omotač Zemlje su: klorofluorouglijci, haloni, ugljikov tetraklorid, metil bromid, metil kloroform, nezasićeni

klorofluorouglikovodici i nezasićeni bromouglikovodici. Proizvodnja i kontrola ovih kemikalija definirana je Montrealskim protokolom o tvarima koje oštećuju ozonski omotač. Postoje i druge tvari koje dovode do oštećenja ozonskog omotača, no njihovi utjecaji su manji. Potencijal oštećenja ozona je mjera koja definira koliko štete neka kemikalija može prouzročiti ozonskom omotaču u usporedbi sa sličnom masom triklorofluorometana (CFC-11). Kao osnovna vrijednost za mjerenje potencijala oštećenja ozona koristi se CFC-11, s potencijalom oštećenja ozona od 1,0. Što je broj veći, kemikalija može više oštetiti ozonski omotač. Bromotrifluorometan ima potencijal oštećivanja ozona od 10,0, a CO<sub>2</sub>, koji je prirodni staklenički plin, ima potencijal oštećivanja ozona od 0. Temeljem Montrealskog protokola postupno je zabranjena proizvodnja i uporaba TOOS. Primjerice, u Australiji i drugim razvijenim zemljama kemikalije s najvećim potencijalom oštećivanja ozona su ukinute u periodu između 1991. i 1995. godine. Određene tvari koje oštećuju ozon i dalje se koriste s obzirom da još uvijek nema odgovarajuće alternative za zamjenu. Haloni su potrebni za trenutno suzbijanje požara u ograničenim prostorima poput podmornica i zrakoplova.

### **3. UČINCI ŠTETNIH TVARI U ISPUŠNIM PLINOVIMA NA LJUDSKO ZDRAVLJE**

Kada govorimo o očuvanju zdravlju, uvijek je u središtu osoba, njene potrebe i svi čimbenici koji mogu utjecati na zdravlje. Prevencija bolesti i promicanje zdravlja prvi su i najvažniji koraci u provođenju holističkog pogleda na čovjeka kao aktivnog i zdravog bića (6). Osobe različito reagiraju na vanjske utjecaje koje je potrebno kontrolirati kako bi se očuvalo zdravlje. Okolišni čimbenici koji utječu na zdravlje ljudi su: voda, hrana, zrak, izloženost kemijskim, biološkim i fizikalnim agensima (1). Ako se održava kvaliteta prirodnog okruženja osigurat će se i dobrobit za ljude putem smanjenja pojave različitih bolesti i osiguranja kvalitetnijeg života. Stoga je potrebno dugoročno pratiti stanje okoliša i zdravlje ljudi kako bi se zaštitili svi dijelovi ekosustava i spriječilo onečišćenje koje nastaje kao posljedica ljudskog djelovanja. Negativni utjecaj na zdravlje ljudi imaju onečišćenje zraka, tla, hrane i vode, gospodarenje otpadom, buka, zračenje i čimbenici stanovanja.

Postoji veliki broj različitih zdravstvenih učinaka, te je potrebno razlikovati dvije vrste koje su štetne po zdravlje: učinci s graničnim vrijednostima i učinci bez graničnih vrijednosti (1). Za učinke s graničnim vrijednostima postoje koncentracije, odnosno doze štetnih tvari, ispod kojih se ne javljaju. Granične vrijednosti su propisane zakonom te definiraju maksimalne dopuštene koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari u okolišu. Kada se prekorači doza štetne tvari ispod koje nema štetnog učinka, kod osobe se počinju javljati posljedice čija ozbiljnost raste s porastom doze u rasponu od slabih prolaznih simptoma do smrti. Učinci bez graničnih vrijednosti opisuju se kao učinci za koje nema tako niske razine izloženosti koja ih ne bi mogla izazvati. Na primjer, za karcinogene tvari se vjeruje da nema graničnih vrijednosti gdje one ne bi imale štetan učinak. Bilo koja izloženost ovim tvarima, bez obzira na dozu i razinu izloženosti može uzrokovati pojavu tumora.

Vezano uz utjecaj na zdravlje uočeno je da onečišćenje zraka djeluje ovisno o životnoj dobi, u rasponu od prenatalne dobi sve do odrasle životne dobi (1). Vrlo je značajan utjecaj onečišćujućih tvari tokom najranije dobi jer može ostaviti trajne štetne učinke za budućnost. Budući da zdravstveni učinci onečišćujućih tvari prisutnih u zraku variraju od relativno blagih iritacija očiju, grla i nosa do vrlo ozbiljnih bolesti, te smrti, potrebno je naglasiti da prema dostupnim istraživanjima kod većine stanovništva prevladavaju manje ozbiljni učinci. Na slici

2 prikazana je piramida učinaka onečišćenosti zraka na zdravlje ljudi (1).



Slika 2. Zastupljenost učinaka onečišćenosti zraka na zdravlje ljudi (1)

### 3.1. LEBDEĆE ČESTICE

Lebdeće čestice PM10 i PM2,5 obuhvaćaju inhalacijske čestice koje su toliko male da ulaze u torakalnu regiju dišnog sustava. Njihov utjecaj na zdravlje je detaljno proučavan i dokumentiran (7). Mehanizam utjecaja lebdećih čestica na dišni sustav je sljedeći: prilikom disanja krupnije čestice prašine se zaustavljaju u sluznici i dlačicama gornjeg dišnog sustava, no sitnije čestice prolaze kroz gornji dišni put te se talože na stjenkama bronhija, a one najsitnije prolaze sve do donjih dišnih putova (pluća i alveola). Ovisno o topljivosti tvari ovisi i dubina prodiranja, što je tvar topivija ona lakše prolazi kroz sluznicu i lakše se resorbira u dišnom sustavu.

Posljedice koje mogu nastati nakon kratkotrajnog (sati, dani) i dugotrajnog (mjeseci, godine) izlaganja uključuju:

- respiratorni i kardiovaskularni morbiditet (pogoršanje astme, pojava respiratornih simptoma i povećanje broja prijema u bolnicu)
- smrtnost od kardiovaskularnih i respiratornih bolesti i od raka pluća.

Iako postoje dokazi o učincima kratkotrajne izloženosti PM10 na zdravlje respiratornog sustava, za mortalitet, naročito kao posljedicu dugotrajne izloženosti je veći rizični faktor izloženost PM2,5. Prema procjenama dnevna smrtnost od svih uzroka povećava se za 0,2-0,6

% za izloženost od  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM<sub>10</sub>. Dugotrajna izloženost PM<sub>2,5</sub> povezuje se a povećanjem smrtnosti od kardiopulmonalnog zastoja za 6 do 13% za izloženost od  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM<sub>2,5</sub>. Epidemiološke studije su utvrdile povezanost između smanjenja očekivanog životnog vijeka, preuranjene smrtnosti i poboljšavanja od kardiovaskularnih, cerebrovaskularnih i respiratornih bolesti uzrokovanih dugotrajnom izloženosti PM<sub>2,5</sub> (5).

Vrlo osjetljiva populacija su osobe s određenim plućnim bolestima ili srčanim bolestima, te djeca i starije osobe. Izloženost djeteta lebdećim česticama utječe na razvoj pluća kod djece, što obuhvaća reverzibilne nedostatke u funkciji pluća kao i kronično smanjenje brzine rasta pluća i dugoročni deficit funkcije pluća. Ne postoje dokazi o sigurnoj izloženosti ili pragu ispod kojeg nema štetnog učinka na zdravlje. Budući da je izloženost sveprisutna i nenamjerna, prisutnost lebdećih čestica u velikoj mjeri utječe na zdravlje (7).

### **3.2. UGLJIKOV MONOKSID**

Akutna i kronična izloženost CO u zatvorenom prostoru povezana je s različitim simptomima: od glavobolje do smrti (14). Istraživanje provedeno u SAD o nenamjernim smrtnim slučajevima povezanim s CO pokazalo je da je najviše smrtnih slučajeva zabilježeno tokom zime, a većina je uzrokovana ispušnim plinovima automobila. Pored akutne izloženosti, kronična izloženost također štetno djeluje na zdravlje, naročito na kardiovaskularni sustav. Zabilježeni su učinci izloženosti povećanoj koncentraciji CO poput povećane učestalosti angine pectoris, različitih kardiorespiratornih smetnji, glavobolje, pojave šećerne bolesti itd. Primjerice, uočeno je da su u Valenciji u Španjolskoj tokom zimskih mjeseca imali povećan broj posjeta hitnom prijemu povezanih s kroničnom opstruktivnom plućnom bolesti, što je povezano s povećanom razinom CO u zraku. Emisija CO značajno je smanjena uvođenjem katalizatora za motorna vozila. Njihovo uvođenje rezultiralo je 1975. godine smanjenjem emisija CO za 76,3%. Ostali izvori CO su uređaji koji koriste fosilna goriva. Stoga je izloženost CO i dalje važan javnozdravstveni problem.

### **3.3. DUŠIKOV DIOKSID**

Izloženost NO<sub>2</sub> dovodi do posljedica koje variraju od blagih respiratornih simptoma pri niskim koncentracijama do smrti u zatvorenom prostoru, pri visokim koncentracijama (14).

Simptomi ljudi izloženih NO<sub>2</sub> uključuju dispneju, kašalj i hemoptizu. Toksične razine NO, NO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O mogu se javiti se na farmama u silosima u satima ili danima nakon što su napunjeni svježim organskim materijalom. Zabilježene su pojave iritacija respiratornog trakta, plućnog edema, sindroma akutnog respiratornog distresa, obliteracijskog bronhiolitisa i smrti kod radnika u silosima. Pojedina istraživanja ukazuju na povezanost ambijetalnim koncentracijama NO<sub>2</sub> i ukupne, odnosno kardiovaskularne te respiratorne smrtnosti. Postoje studije koje povezuju izloženosti NO<sub>2</sub> u zatvorenom prostoru s pojavom akutnih respiratornih simptoma, hospitalizacijama zbog problema s respiratornim sustavom, bolestima gornjih dišnih puteva, učestalosti astme. Neka su istraživanja pokazala da izloženost NO<sub>2</sub> povećava rizik od razvoja respiratornih infekcija. U djece s astmom, povezana je izloženosti NO<sub>2</sub> iz okoline s rizikom rizik od virusnih infekcija gornjih dišnih putova. Značajna povezanost između razine onečišćenja NO<sub>2</sub> i posjete klinikama zbog infekcije donjih dišnih puteva zabilježena je kod pacijenata starijih od 65 godina. Dušikov dioksid koji ima značajnu ulogu u stvaranju ozona i sekundarnih lebdećih čestica, čime se njegov štetan utjecaj na zdravlje značajno povećava.

### **3.4. SUMPOROV DIOKSID**

Udisanje SO<sub>2</sub> ponajviše utječe na respiratorni sustav. Izloženost SO<sub>2</sub> je povezana s raznim simptomima poput dispneje, kašlja, sekrecije sluzi, iritacije očiju, nosa i grla, te pogoršanjem postojećih kardiovaskularnih i respiratornih bolesti poput astme i bronhitisa (14). Istraživanja povezuju smanjenu funkciju pluća, povećanu prevalenciju respiratornih simptoma i poremećaja, te ranu smrtnost s dugotrajnim izlaganjem SO<sub>2</sub> u okolnom zraku. Na primjer, dugotrajna izloženost SO<sub>2</sub> povezana je sa smanjenjem vrijednosti forsiranog ekspiratornog volumena u 1s, a smanjenje je bilo jače izraženo kod pojedinaca kod kojih su ranije zabilježene niže vrijednosti. Djeca, starije osobe i oni koji već imaju respiratorne probleme, kao što su astmatičari, posebno su osjetljivi. U višim koncentracijama dovodi do trovanja u kratkom periodu.

### **3.5. OZON**

Ozon je zagušljiva mirisa, bezbojan plin i izrazito oksidacijsko sredstvo te je toksičan za ljude. Prizemni ozon je sekundarna onečišćujuća tvar koja nastaje u nižim slojevima atmosfere fotokemijskim reakcijama prekursora: NO i VOCs. Tokom udaha ozon dolazi u

kontakt sa svim dijelovima respiratornog sustava i dobro se resorbira, oštećuje epitel i dovodi do upalnih procesa i povećane osjetljivosti na alergene (1). Udisanje prizemnog ozona može izazvati niz zdravstvenih problema, uključujući bol u prsima, kašalj, iritaciju grla i gušenje. Može pogoršati bronhitis, emfizem i astmu. Ozon također može smanjiti funkciju pluća i izazvati upalu sluznice pluća. Ponovljeno izlaganje može trajno ostaviti ožiljke na plućnom tkivu (15).

Već i niske razine ozona uzrokuju negativne zdravstvene učinke. Utječe na djecu, osobe s respiratornim bolestima, starije i osobe koje rade poslove na otvorenom. Djeca su najrizičnija skupina s obzirom da im se pluća razvijaju, te izloženost ozonu može štetno djelovati na način da može uzrokovati razvoj astme.

### **3.6. HLAPLJIVI ORGANSKI SPOJEVI**

Hlapljivi organski spojevi negativno utječu na okoliš i ljudsko zdravlje. Mogu biti prisutni i u zatvorenom i u otvorenom prostoru. Vrlo hlapljivi organski spojevi (VVOCs) toksični su pri vrlo niskim koncentracijama i predstavljaju veći rizik za okoliš i ljude u odnosu na VOCs. Izlaganje VVOCs uzrokuje niz problema ovisno o koncentraciji i vremenu izlaganja. Pojedini spojevi mogu izazvati pospanost, vrtoglavicu, napade, komu, izazvati tumore jetre i bubrega kod miševa i štakora (8).

Hlapljivi organski spojevi također mogu uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme. Mogu uzrokovati akutne simptome kao što su: iritacija nosa, grla, očiju, glavobolja, mučnina, vrtoglavica, alergijske kožne reakcije, ali mogu utjecati i na unutrašnje organe kao što su bubrezi i jetra. Mogu dovesti do neuroloških poremećaja ili demencije (16). Povezuju se s pojavom leukemije, astme, bronhitisa, kardiovaskularnih bolesti, smanjene porođajne težine (17). Oksidacija VOCs-a doprinosi stvaranju ozona kada je prisutna sunčeva svjetlost i NO<sub>2</sub> (18).

#### 4. MJERE ZA SMANJENJE EMISIJA S BRODOVA U ATMOSFERU

Da bi se postigao učinak međunarodno dogovorenih instrumenata za ublažavanje posljedica onečišćenja zraka, pomorska industrija mora odigrati svoju ulogu u smanjenju emisija onečišćujućih tvari poduzimanjem mjera za temeljne promjene s njima povezanih postupaka i procesa.

Na globalnoj razini pravna regulativa pomorstva uglavnom je u nadležnosti Međunarodne pomorske organizacije (IMO), specijalizirane agencije Ujedinjenih naroda odgovorne za sprječavanje onečišćenja mora s brodova i sigurnost pomorstva (12). IMO ponajprije regulira utjecaj pomorskih aktivnosti na okoliš uvođenjem međunarodnih konvencija. Glavni instrument osmišljen od strane IMO-a je Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova (MARPOL). Namjera MARPOL-a je sprječavanje i svođenje na najmanju moguću mjeru slučajnog i namjernog onečišćenja uzrokovanih brodovima. MARPOL uključuje šest priloga, od kojih Prilog VI regulira onečišćenje zraka i energetske učinkovitost. Prilog VI utvrđuje ograničenja globalnih emisija SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i PM te uvodi područja kontrole emisija u kojima se primjenjuju stroži standardi. Također su propisane mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova. U Hrvatskoj brodari ne nastoje samo udovoljiti standardima koje propisuju međunarodne konvencije i domaći propisi u skladu s preporukama Odbora za zaštitu morskog okoliša (engl. *Marine Environment Protection Committee*, MEPC) specijaliziranog tijela IMO-a za zaštitu morskog okoliša, nego i uvode dobrovoljne instrumente politike zaštite okoliša (19).

Pored instrumenata koje propisuje IMO, postoji niz drugih, obaveznih i dobrovoljnih instrumenata na globalnoj, regionalnim, nacionalnim i lokalnim razinama. Mnogi uvedeni instrumenti pridonose boljem razumijevanju doprinosa pomorskog prometa klimatskim promjenama i onečišćenju zraka i podizanju svijesti o važnosti osmišljavanja i provedbe mjera za povećanje energetske učinkovitosti u dizajniranju novih brodova. Gossling i suradnici ocijenili su dostupne instrumente 2021. godine i zaključili da nijedan globalni program nije usmjeren na ograničavanje ukupnih emisija CO<sub>2</sub> (4). Za strategiju IMO za ograničavanje emisija stakleničkih plinova smatraju da neće imati zadovoljavajući učinak. Sličnu ocjenu daju i instrumentima za smanjenje emisija sumpora. Naime, postavlja se pitanje je li samo ograničenje količine sumpora u gorivu dovoljno da se smanje zdravstveni problemi budući da se očekuje porast potrošnje goriva. Predlažu da se strože mjere donose na lokalnoj razini, na razini luke.



Radi usklađivanja ciljeva gospodarskog razvoja i održivosti, smanjenja pritiska na okoliš i učinaka na javno zdravlje potiče se koncept zelene luke, luke održivog razvoja. U takvim lukama resursi se učinkovito koriste i smanjuju se emisije štetnih tvari i buke. Primjerice, emisije s brodova u lukama se smanjuju na način da se kao gorivo koristi plin i smanjuje brzina plovila u luci. Također se potiče brodove da u lukama koriste električnu energiju iz javne mreže, umjesto električne energije iz vlastitog pogona.

U Europi su pojedine vlade i regulatorne agencije i organizacije uvele inicijative za poboljšanje kvalitete zraka u lučkim područjima, čime se minimalizira utjecaj na ljudsko zdravlje i klimu. Europska udruga morskih luka (ESPO) predložila je postupni pristup smanjenju lučkih emisija, počevši od vezova u urbanim područjima a potom se fokusirajući na ispušne plinove brodova za kružna putovanja i trajekata. Takav pristup je u skladu s Europskim zelenim planom kojemu je cilj da do 2050. godine Europa postane prvo područje u svijetu s nultom emisijom, i da se do 2030. godine smanje emisije za 50% u usporedbi s razinama iz 1990. godine (13). Pored toga, pomorski promet je uključen u međunarodni sustav za trgovanje emisijama stakleničkih plinova u EU. Nadalje, Direktiva 2014/97/EU o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva promiče korištenje alternativnih goriva u pomorskom sektoru nalažući državama članicama da osiguraju odgovarajući broj stanica (fiksni ili mobilni) za punjenje ukapljenog prirodnog plina u glavnim Transeuropske prometne mreže (TEN-T) do kraja 2025. godine.

Kako bi se smanjilo onečišćivanje zraka dostupne su različite tehnologije i mjere. Jedan od načina kako smanjiti utjecaj pomorstva na okoliš je modificiranje dizajna i održavanja trupa broda, porivnog sustava i ostalih uređaja. Poboljšanje utjecaja broda na okoliš može se postići:

- smanjenjem korištenja materijala, naročito štetnih, i energije za vrijeme gradnje broda
- korištenjem učinkovitog postrojenja
- poboljšanjem cjelokupnog dizajna broda
- ponovnim korištenjem brodskih dijelova i pribora tijekom održavanja broda.

Neke od mjera koje se mogu poduzimati su primjerice uporaba lakših materijala za izradu kontejnera s ciljem smanjenja težine broda, optimizacija učinkovitosti propelera, promjena izgleda trupa radi smanjenja otpora broda, korištenje otpadne topline itd. (20). Također se mogu primjenjivati alternativna goriva i obnovljivi izvori energije. Tijekom putovanja mogu se optimizirati brzina i plan plovidbe. Smanjenje brzine (eng. *slow steaming*) vrlo je česta praksa u posljednje vrijeme čijom se primjenom postižu smanjenje količine upotrijebljenog goriva i emisija ispušnih plinova.

#### 4.1. TEHNIKE ZA SMANJENJE EMISIJE ŠTETNIH TVARI U ISPUŠNIM PLINOVIMA

Kako bi se udovoljilo zahtjevima Priloga VI MARPOL-a osmišljene su različite metode sa svojstvenim prednostima i nedostacima. Kako bi se smanjila emisija  $\text{SO}_2$  mogu se koristiti pročišćivači sumpora koju omogućuju uporabu goriva s većim udjelom sumpora od dozvoljene koja su jeftinija od goriva s niskim sadržajem sumpora. Postoje tri vrste mokrih pročišćivača: sustav sa zatvorenom petljom slatkovodne vode, sustav sa otvorenom petljom morske vode i hibridni sustav koji može raditi i sa zatvorenom i s otvorenom petljom. Ovisno o pročišćivaču, prirodno alkalna morska voda ili slatka voda s doziranim natrijevim hidroksidom dolazi u kontakt s ispušnim plinom i na odgovarajući način se tretira prije ispuštanja u ocean ili vraćanja u sustav. Kao suhi pročišćivač se koristi kalcijev hidroksid. Problem mogu biti troškovi koji su potrebni za uklanjanje sumporovih oksida (6).

S ciljem smanjenja emisije  $\text{NO}_x$ , primjenjuju se dvije vrste metoda. Primarne metode djeluju na izvor emisije i ograničavaju nastajanje, a sekundarne metode reduciraju emisije već nastalih  $\text{NO}_x$ . U komori za izgaranje se može raspodjela spreja optimizirati bez promjene temperature, te time i pouzdanosti motora zamjenom tradicionalnih ventila za gorivo s kliznim ventilima za gorivo s niskim udjelom  $\text{NO}_x$ . Dodavanjem vode u komoru za izgaranje prije nego li započne proces izgaranja, komora se održava hladnom, te se smanjuje nastajanje  $\text{NO}_x$ . Motor koji koristi vlažni zrak smanjuje proizvodnju  $\text{NO}_x$  za vrijeme izgaranja miješanjem zagrijanog zraka s vodenom parom. Ovom tehnologijom se emisija  $\text{NO}_x$  može smanjiti do 80%. Tehnologija recirkulacije ispušnih plinova filtrira, čisti, hladi i vraća dio ispušnih plinova u komoru za izgaranje. Kako su specifični toplinski kapaciteti glavnih komponenti ispušnih plinova veći od zraka, postiže se manja toplinska proizvodnja  $\text{NO}_x$  kao rezultat niže temperature izgaranja. Osim toga ispušni plinovi sadrže manje kisika, te je posljedično smanjena oksidacija dušika. Recirkulacija ispušnih plinova dokazana je tehnologija za dizelske motore na kopnu, no može se koristiti i kod brodova. Selektivna katalitička redukcija je tehnika s najvećom mogućnošću smanjenja emisije  $\text{NO}_x$ . Ovaj sustav naknadne obrade ispušnih plinova smanjuje emisiju  $\text{NO}_x$  za više od 80%. Koristi se tekuća ureja koja  $\text{NO}_x$  pretvara u elementarni kisik i dušik koji više nisu štetni za zdravlje ljudi (6).

Smanjenje emisija lebdećih čestica provodi se na način da se fizički hvataju čestice iz struje ispušnih plinova dizel motora dok prolaze kroz filter. Za izradu filtra mogu se koristiti keramička ili metalna vlakna, sicilijev karbid i kordierit. Kada se čestica ulovi, filter se može regenerirati pasivno ili aktivno kako bi se spalila ili uklonila nakupljena čađa. Osim fizičkog

hvatanja može se koristiti kemijska reakcija za oksidaciju CO, ugljikovodika u plinovitoj fazi i topljive organske frakcije dizelskih čestica u CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O upotrebom katalizatora. Elektrostatički precipitator je sustav naknadne obrade koji uklanja čestice iz struje ispušnih plinova uz pomoć inducirane elektrostatske sile (6).

#### **4.2. PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE I ALTERNATIVNIH GORIVA**

Primjena obnovljivih izvora energije umjesto korištenja fosilnih goriva pridonosi smanjenju emisija ispušnih plinova (21). Oblici energije koji se mogu koristiti na brodovima su sunčeva energija, energija vjetra, energija mora (valova, plime i oseke, morskih struja) vodikova energija, energija iz biomase. Uređaji za primjenu obnovljivih izvora energije u pomorstvu mogu se ugraditi u postojeću flotu putem rekonstrukcije postojećih brodova ili tijekom dizajna i gradnje novih brodova.

Među mjerama usmjerenim na primjenu alternativnih izvora energije s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova najviše se pažnje pridaje korištenju vjetra, solarnih panela i biogoriva. Primjenom tehnologija za vjetrom potpomognutu propulziju, koje koriste vjetar umjesto fosilnih goriva za proizvodnju dijela potrebne energije mogu se značajno smanjiti emisije štetnih plinova. Međutim, mogućnost korištenje jedara, zmajeva, turbina za prikupljanje energije vjetra jako ovisi o tipu broda i namjeni. Takve mjere su najučinkovitije za manje brodove na specifičnim rutama s velikim potencijalom vjetra. Ključne prednosti primjene energije vjetra su minimalne emisije ugljika, manja izloženost promjenjivosti cijena fosilnih goriva. Glavne nedostatke predstavljaju promjenljivost brzine vjetra i teškoće u maksimalnom iskorištavanju pogonskog potencijala prilikom plovidbe uz vjetar ili u njegovoj blizini.

Solarna energija je jedna od opcija za smanjenje potrošnje goriva na brodovima. Budući da je ukupna količina energije koja se može generirati ovim mjerama na brodu ograničena potrebnom površinom za smještanje solarnih panela i pohranjivanje dobivene energije solarni paneli postavljeni su na različitim vrstama brodova, te proizvode električnu energiju za pogon pomoćnih uređaja.

Biogoriva imaju visok potencijal za širu primjenu u pomorstvu. Međutim, primjena biogoriva ovisi o brojnim čimbenicima, uključujući globalnu dostupnost održivih izvora biomase za proizvodnju biogoriva. Mogu se koristiti biodizel, biometan, bioetanol, biometanol, biljno ulje, hidrogenirano biljno ulje, dimetil eter. Pored činjenice da su količine biogoriva

dostupnog za primjenu ograničene, primjenu u pomorstvu otežava i manjak iskustva s rukovanjem i skladištenjem, te cijena koja je viša od fosilnih goriva.

## 5. ULOGA MEDICINSKE SESTRE/TEHNIČARA

Zdravstveni profesionalci redovito susreću pacijente zabrinute za svoje zdravlje uslijed štetnih učinaka zagađenja zraka. Prvenstveno se odnosi na osobe koje boluju od kroničnih bolesti poput astma, kronične opstruktivne plućne bolesti, dijabetes, srčano zatajenje i slično. Posebna pažnja posvećuje se izloženosti djece zagađenom zraku jer predstavlja značajan rizik za razvoj kroničnih oboljenja tijekom djetinjstva, s potencijalnim dugoročnim utjecajem i u odrasloj dobi (22).

Medicinske sestre/tehničari mogu imati vrlo važnu ulogu u očuvanju zdravlja okoliša iz brojnih razloga. U svom radu, osiguravaju sigurno okruženje te štite ljude uklanjanjem ili smanjenjem štetnih utjecaja i opasnosti. Posjeduju bogato iskustvo u suradnji s osobama različitih kultura, socioekonomskog statusa i rase. Medicinske sestre/tehničari imaju iskustva u komunikaciji s širokom populacijom ljudi s ciljem poboljšanja zdravlja (različite rase, kulture, ovisno o socioekonomskom statusu). Skrbe o zdravlju osoba svih životnih dobi i različitog psihofizičkog zdravlja: od trudnica i novorođenčadi do pacijenata s potrebama za palijativnom skrbi te onih na kraju života. Suraduju s članovima njihovih obitelji te drugim ljudima u zajednici te na taj način imaju mogućnost pomoći im u razumijevanju promjena koje se događaju u okolišu i kako one utječu na zdravlje. Imaju razvijene kompetencije za donošenje odluka vezanih uz primjenu proizvoda i postupaka s obzirom na njihov utjecaj na okoliš u okruženju u kojem žive i rade. Pojedine medicinske sestre/tehničari sudjeluju u osmišljavanju i provedbi instrumenata za provedbu ciljeva politike zaštite okoliša i aktivno rade na zagovaranju politike zaštite okoliša na razini države. Nadalje, medicinske sestre/tehničari s visokim stupnjem obrazovanja mogu provoditi istraživanja vezana uz zdravlje i okoliš (23).

Niz zdravstvenih organizacija prepoznaje važnost uloge medicinske sestre/tehničara u očuvanju zdravog okoliša. Svjetska zdravstvena organizacija navodi da su medicinske sestre/tehničari ključni u promoviranju zdravog okruženja u zajednici. U svojem radu medicinske sestre/tehničari trebaju biti svjesne određenih načela vezanih uz očuvanje i poboljšanje zdravlja okoliša, te ih treba integrirati u praksu, obrazovanje i istraživanje.

Načela sestrinske skrbi u djelovanju povezanim sa zdravljem okoliša su:

- poznavanje utjecaja okoliša na zdravlje ljudi ključno je za sestrinsku praksu
- prilikom odabira proizvoda i postupaka koji ne štete okolišu ili ljudskom zdravlju medicinske sestre/tehničari odlučuju temeljem načela predostrožnosti
- medicinske sestre/tehničari imaju pravo raditi u sigurnom i zdravom okruženju

- zdrav okoliš se održava pomoću multidisciplinarnе suradnje
- izbor materijala, tehnologije, proizvoda i prakse u okruženju koje utječe na sestrinsku praksu bazira se na najboljim dostupnim znanstvenim dokazima
- prilikom promicanja zdravog okoliša potrebno je voditi računa o različitim sustavima vrijednosti, uvjerenjima, okolnostima i kulturama pacijenata i njihovih obitelji
- medicinske sestre/tehničari trebaju aktivno sudjelovati u ocjeni kvalitete okruženja u kojemu žive i rade
- medicinske sestre/tehničari i drugi zdravstveni radnici, pacijenti i zajednice trebaju imati relevantne i pravovremene informacije o potencijalno štetnim proizvodima, zagađivačima, kemikalijama i opasnostima kojima su izloženi
- medicinske sestre/tehničari sudjeluju u istraživanju najboljih praksi za promicanje zdravog i sigurnog okoliša
- medicinske sestre/tehničari trebaju imati podršku prilikom zagovaranja načela zdravlja okoliša u sestrinskoj praksi (23).

Medicinske sestre/tehničari mogu imati ključnu ulogu u procjeni, dijagnosticiranju, planiranju i provođenju intervencija prilikom izloženosti zagađivačima zraka. Naime, medicinske sestre/tehničari se educiraju o rizicima povezanim s izloženosti kemikalijama na svojem radnom mjestu, domu ili školi. Proučavaju izvore onečišćenja i putove izlaganja i ulaska u tijelo kao što su pijenje vode, gutanje hrane, prodiranje kroz kožu ili udisanje. Stoga na različite načine mogu pomoći pacijentu, obitelji i zajednici u naporima da se smanji izloženost i povezani rizik.

Među najvažnije sestrinske intervencije koje su usmjerene na smanjenje utjecaja onečišćenog zraka na zdravlje spada edukacija pacijenta o primjerenim postupcima i načinima pridržavanja preporuka. Brojne mjere pojedinac može provoditi sam ukoliko je dobro upućen. Stoga medicinske sestre/tehničari mogu sudjelovati u pripremi i osiguravanju edukativnih videozapisa, brošura i postera o kvaliteti zraka. Specifična područja na koja je medicinska sestra/tehničar usmjerena tijekom edukacije i liječenja su: izbjegavanje izloženosti po određenom vremenu i lokacijama, razumijevanje pojmova vezanih uz razine onečišćujućih čestica u zraku i korištenje zaštitnih sredstava. U samom početku medicinska sestra/tehničar educira pacijente o indeksima kvalitete zraka i o razinama koje su ugrožavajuće za zdravlje, odnosno pomaže pacijentima da razumiju i znaju očitati zdravstvene indekse ili upozorenja o kvaliteti zraka. Osobito je važno da znaju prepoznati upozorenja vezana uz kvalitetu zdravlja putem medija ili tijekom određenih hitnih situacija, te isticati važnost njihova pridržavanja.

Tijekom edukacije ključan je individualan pristup prema svakom pojedincu ovisno o njegovim sposobnostima i okolnostima u kojima živi i djeluje. Primjerice, može se savjetovati korištenje pročišćivača zraka koji koriste visoko učinkoviti sustav za filtriranje čestica zraka kako bi se smanjili simptomi izloženosti u području visokog zagađenja. Prilikom određenih zagađenja ili incidenata preporučuje se korištenje maski za lice (23).

Uz navedeno, medicinske sestre/tehničari mogu sudjelovati u procjeni, intervencijama i programima koji se odnose na poboljšanje kvalitete zraka u školama, bolnicama ili drugim organizacijama. Mogu biti i aktivno uključeni u istraživanja koja proučavaju zdravstvene rizike povezane s unutrašnjim ili vanjskim onečišćenjem zraka poput učestalosti pojave astme ili raka pluća u populaciji u blizini luka s intenzivnim onečišćenjem, ali i šire (22).

Područje sestrinske prakse u kojemu medicinska sestra/tehničar može djelovati je smanjenje rizika od onečišćujućih tvari putem aktivizma i angažmana u formiranju te provedbi instrumenata politike zaštite zraka. Različite forme aktivizma i angažman mogu se provoditi na različitim razinama: na radnom mjestu, lokalnoj razini u vlastitoj zajednici ili na globalnoj razini. Kako bi to mogli provoditi medicinske sestre/tehničari moraju biti upoznati s ciljevima i načelima politike, zakonima i ostalim propisima vezanim uz izlaganja onečišćujućim tvarima (23).

## 6. ZAKLJUČAK

Pomorski promet se sve češće primjenjuje za prijevoz roba i putnika, te se u budućnosti očekuje daljnji porast pomorskog sektora. Poznat je niz štetnih učinaka pomorskog prometa na zdravlje ljudi, ali i na okoliš. Među problemima povezanim s odnosom pomorstva i okoliša ističu se emisije ispušnih plinova u atmosferu. Učinak onečišćujućih tvari s brodova naročito je izražen u lučkim područjima.

Sve dobne skupine ljudi su izložene štetnim česticama u zraku, a pojedine skupine poput djece, starijih i osoba s plućnim bolestima su pod povećanim rizikom od razvoja bolesti. Izlaganje onečišćujućim tvarima u zraku, naročito nižim koncentracijama u duljem vremenskom periodu, vrlo je teško izbjeći, te je potrebno ulagati napore za smanjenje njihovih emisija.

Osmišljeni su brojni instrumenti (regulatorni, tržišni i dobrovoljni) kojima se nastoji smanjiti onečišćenje atmosfere s brodova. Njihova primjena i učinkovitost povezana je s razinom svjesnosti u društvu, te je potrebno je aktivirati zajednicu kako bi se smanjio rizik od pojave bolesti i smrtnosti povezanih s emisijama s brodova. Medicinske sestre/tehničari mogu imati značajnu ulogu pri tome. Preduvjet je da su educirani i da imaju podršku nadređenih.



## 7. LITERATURA

1. Sofilić T. Zdravlje i okoliš. Sisak: Metalurški fakultet; 2015.
2. Mueller N, Westerby M, Nieuwenhuijsen M. Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review. *Environmental Research*. 2023;216:114460.
3. Viana M, Rizza V, Tobías A, Carr E, Corbett J, Sofiev M, i ostali. Estimated health impacts from maritime transport in the Mediterranean region and benefits from the use of cleaner fuels. *Environment International*. 2020;138:105670
4. Gössling S, Meyer-Habighorst C, Humpe A. A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness. *Ocean & Coastal Management*. 2021;212:105824.
5. Nunes RAO, Alvim-Ferraz MCM, Martins FG, Peñuelas AL, Durán-Grados V, Moreno-Gutiérrez J, et al. Estimating the health and economic burden of shipping related air pollution in the Iberian Peninsula. *Environment International*. 2021;156:106763.
6. Bacalja B, Krčum M, Videk M. Effects of air pollution from ships on human health. *Journal of International Scientific Publications*. 2021;15:170-175.
7. World Health Organization. Health effects of particulate matter. Dostupno na: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health?gclid=EAIaIQobChMIzuo07Le8gQMVXJeDBx3D1wbmEAAAYASAAEgJsofD\\_BwE](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=EAIaIQobChMIzuo07Le8gQMVXJeDBx3D1wbmEAAAYASAAEgJsofD_BwE), pristupljeno: 10.10.2023.
8. David E, Niculescu VC. Volatile Organic Compounds (VOCs) as Environmental Pollutants: Occurrence and Mitigation Using Nanomaterials. *IJERPH*. 2021;18(24):13147.
9. Narodne novine, br. 127/19, 57/22, Zakon o zaštiti zraka. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka>, pristupljeno:14.9.2023.
10. Narodne novine, br. 127/19, Uredba o onečišćujućim tvarima u zraku. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_10\\_117\\_2521.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_10_117_2521.html), pristupljeno: 15.10.2023.
11. Fuglestvedt J, Berntsen T, Eyring V, Isaksen I, Lee DS, Sausen R. Shipping Emissions: From Cooling to Warming of Climate—and Reducing Impacts on Health. *Environmental Science & Technology* . 2009;43(24):9057–62.

12. Contini D, Merico E. Recent Advances in Studying Air Quality and Health Effects of Shipping Emissions. *Atmosphere*. 2021;12(1):92.
13. Merico E, Cesari D, Gregoris E, Gambaro A, Cordella M, Contini D. Shipping and Air Quality in Italian Port Cities: State-of-the-Art Analysis of Available Results of Estimated Impacts. *Atmosphere*. 2021;12(5):536.
14. Chen TM, Kuschner WG, Gokhale J, Shofer S. Outdoor Air Pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon Monoxide Health Effects. *The American Journal of the Medical Sciences*. 2007;333(4):249–56.
15. Golubić J. *Promet i okoliš*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 1999.
16. Shuai J, Kim S, Ryu H, Park J, Lee CK, Kim GB, i ostali. Health risk assessment of volatile organic compounds exposure near Daegu dyeing industrial complex in South Korea. *BMC Public Health*. prosinac 2018;18(1):528.
17. Alford KL, Kumar N. Pulmonary Health Effects of Indoor Volatile Organic Compounds—A Meta-Analysis. *IJERPH*. 2021;18(4):1578.
18. Fink L, Karl M, Matthias V, Oppo S, Kranenburg R, Kuenen J, et al. Potential impact of shipping on air pollution in the Mediterranean region – a multimodel evaluation: comparison of photooxidants NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2023;23(3):1825–62.
19. Zelenika R, Fabac J, Pavlić Skender H, Zekić Z. Uloga ekološke politike u pomorskom brodarstvu. *Pomorski zbornik*. 2010; 46:61-75.
20. Bright Hub Engineering. Green Ship Design for Ship Building. Dostupno na: <https://www.brighthubengineering.com/naval-architecture/62859-what-is-a-green-ship/>, pristupljeno: 15.10.2023.
21. The International Renewable Energy Agency. Renewable energy options for shipping. Dostupno na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\_Tech\_Brief\_RE\_for-Shipping\_2015.pdf, pristupljeno:15.12.2023.
22. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. Dostupno na: <https://iris.who.int/handle/10665/345329>, pristupljeno: 8.10.2023.
23. Alliance of Nurses for Healthy Environments. *Environmental health in nursing*. 2016.