

Dr. sc. Vjekoslav Koljatić
Odjel za pomorstvo Sveučilišta u Rijeci
Studentska 2, Rijeka

Pregledni rad
UDK 504.064:629.5.03

UTJECAJ ISPUŠNIH PLINOVA IZ BRODSKIH MOTORA NA ONEČIŠĆENJE ATMOSFERE

S obzirom na dostignuti stupanj onečišćenja okoliša, problem životne sredine u središtu je zanimanja jer se onečišćenje atmosfere približava graničnim veličinama pri kojima priroda više neće moći kompenzirati negativne učinke onečišćenja okoliša bez trajnih štetnih posljedica. Istraživanja pokazuju da atmosfera neće moći prihvaćati sve veće količine onečišćivača iz industrije i prometnih sredstava uključujući brodove, bez težih poremećaja u ekosustavu. U ovom radu prikazuje se utjecaj ispušnih plinova iz brodskih dizel-motora na onečišćenje atmosfere.

Ključne riječi: onečišćenje atmosfere; ispušni plinovi; brodski motori.

1. UVOD

Brod treba projektirati u smislu najmanjih troškova u vijeku eksploatacije, čak i kada to znači povećanje kapitalnih ulaganja radi ostvarenja zaštite okoliša i sigurnijih operacija broda. Zaštita morskog okoliša i sigurnost broda moraju biti stalna zadaća svih zainteresiranih strana: brodogradilišta, brodarskih društava, klasifikacijskih zavoda, rezališta brodova, a prije svih posade i tehničke službe koja upravlja brodovima.

U prvih dvadeset godina 21. stoljeća trebalo bi se uspostaviti ekološko društvo, čemu bi trebalo podrediti i profit u poslovanju. Inače prijete opasnost da bi sadržaj ugljik (IV)-oksida (CO_2) mogao doseći koncentraciju od 510 ppm, koja je dovoljna za gušenje ljudskih bića. Zbog toga neprekidno treba težiti pronalaženju rješenja za smanjenje ili potpuno uklanjanje većine onečišćivača atmosfere, uključujući emisije ispušnih plinova iz brodskih energetskih postrojenja.

Mnogim bitnim čovjekovim potrebama mogu udovoljiti materijalna dobra i usluge koje pruža gospodarstvo. Gospodarstvo ima moć da očuva ili opustoši okoliš i redovito čini i jedno i drugo, ali treba shvatiti da nema dugoročna gospodarskog rasta ako nije ekološki održiv. Dva najveća globalna ekološka, i ne samo ekološka, problema suvremenog društva jesu promjena klime i smanjivanje ozonskog omotača.

2. UTJECAJ EMISIJE NA OKOLINU

Prema statističkom godišnjaku UN-a za 1996. godinu, ukupna tonaža svjetske flote iznosila je $430 \cdot 10^6$ BT s ukupnim energetske potencijalom od $747 \cdot 10^9$ kW, a onečišćenje zraka emisijom dimnih plinova, samo od dizel-motora svjetske flote iznosilo je $37 \cdot 10^6$ t, što je svega 1,2% ukupnog onečišćenja atmosfere iz prometnih sredstava. Prije razmatranja bilo koje metode za smanjenje emisije ispušnih plinova, potrebno je procijeniti štetnost i stvarnu veličinu emisije u atmosferu.

Onečišćenje zraka djeluje na respiratorni, cirkulatorni i nervni sustav ljudske populacije. U mnogim slučajevima uzrokuje pogoršanje prijašnjih bolesti ili degradaciju zdravstvenog stanja, čineći osobe osjetljivijima na infekcije ili razvoj kroničnih respiratornih bolesti.

Onečišćenje litosfere i hidrosfere velikim je dijelom posljedica onečišćenja atmosfere, koje djeluje posredno i neposredno na čovjeka. Ono može izazvati: lokalnu promjenu temperature i relativne vlažnosti zraka, smanjenje insolacije, stvaranje fotokemijskog smoga, povećanje oblačnosti, pojavu kiselih kiša, smanjenje ozonskog omotača, pojavu ozona pri tlu, efekat staklenika, promjenu klime i otapanje polarnog leda.

Meteorološke anomalije i eventualna promjena klime na Zemlji mogu se pojaviti kao posljedica prekomjerna toplinskog onečišćenja atmosfere i promjene sastava zraka (CO_2). Zbog onečišćenja zraka, klima se mijenja u smislu zatopljanja jer sprečava prodor toplinskog zračenja (IR) u svemir, zbog apsorpcije i refleksije te otapanja polarnog leda dolazi do zahlađenja odnosno iniciranja drugog ledenog doba i smanjenja insolacije. Smanjenje IR zračenja u svemir mogao bi uzrokovati CO_2 , a smanjenje prodora solarne energije na Zemlju čvrste čestice čiji se sadržaj u zraku povećava zadnjih desetljeća. Uz to, ne zna se što bi se moglo dogoditi ako bi se poremetila ravnoteža količine CO_2 i krutih čestica u atmosferi.

Teški metali su inhibitori bioloških procesa s otrovnim učincima, a djeluju trovanjem enzima koji su uključeni u biokemijske reakcije. Učini su višestruki, od smanjenja bioraznolikosti ekosustava mora, preko pomora ribe do prestanka funkcije rada bubrega i povećane pojave karcinoma u ljudi.

Onečišćivači atmosfere mnogobrojni su i različita porijekla. Plinovi i pare koji se ispuštaju u atmosferu kao posljedica ljudskih aktivnosti jesu i sumporovodik (H_2S), amonijak (NH_3), klorovodik (HCl), otapala i benzinski ugljikovodici – parafini, olefini, aromati. Te tvari, izravno emitirane iz izvora, nazivaju se primarnim onečišćivačima zraka.

Međutim, primarni onečišćivači ne uvjetuju sveukupne učinke onečišćenja samostalno. Njihovim međusobnim reakcijama i reakcijama sa sastojcima zraka nastaju novi spojevi, tzv. sekundarni onečišćivači zraka kao što su: dušični suboksid (N_2O), vodikov nitrat (HNO_3), sulfatne čestice (H_2SO_4) i sulfid (SO_3), te aldehidi iz ugljikovodika, koji uzrokuju stvaranje smoga, pojavu kiselih kiša, meteorološke i klimatske promjene i oštećenja vegetacije. Uz to djeluju iritirajuće na oči i dišne organe. Smanjenje onečišćenja zraka sastoji se uglavnom u smanjenju emisije primarnih onečišćivača.

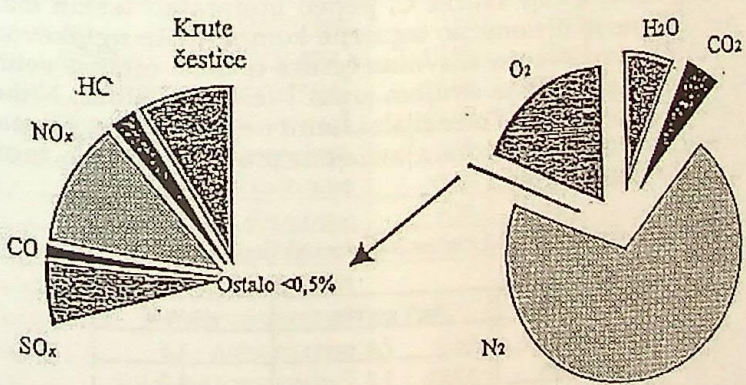
3. ONEČIŠĆIVAČI ATMOSFERE S BRODOVA

Emisija ispušnih plinova s pomorskih brodova razmjerno je malena u odnosu prema ostalim transportnim sredstvima (tablica 1.). Onečišćenje zraka ipak je veliko (tablica 2.) i zato ga treba podvrći lokalnoj i međunarodnoj kontroli. Pažnja je usredotočena na emisiju NO_x i SO_x, a budući da nije stupio na snagu Prilog VI. MARPOL 73./78. konvencije, pojedine su države donijele unilateralne propise koji se odnose na na sadržaj sumpora (S) u gorivu i veličinu emisije dušičnih oksida (NO_x) – (SAD i Francuska: S= 4,5%; NO_x= 150 ppm).

Različite su posljedice djelovanja onečišćivača s brodova u vremenu (sec, min, desetljeće i stoljeće) i prostoru (lokalno, regionalno i globalno). Na slici 1. Prikazana je emisija ispušnih plinova s pomorskog broda. Emisija ispušnih plinova iz brodskih dizel-motora uglavnom sadrži N₂, O₂, CO₂ i vodenu paru uz male količine CO, SO_x, NO_x, HC i čvrste čestice. Sličan je sastav emisije u uvjetima ustaljena i prijelazna stanja pogona, međutim moguće su razlike u kvantiteti.

Tablica 1. Potrošnja energije u prometu i emisije u atmosferu [3]

	željeznički	brodski	cestovni	zračni
Primarna energija (KJ/t-Nm)	677	423	2890	15839
CO ₂ (kg)	18,45	13,5	95,2	542,7
CH (kg)	0,03	0,02	0,15	1,0
NO _x (kg)	0,1	0,2	1,8	2,75
CO (kg)	0,023	0,06	1,08	0,63



Slika 1. Udjeli emisije s ispušnim plinovima [1]

Ugljikovodici, čvrste čestice i mikroonečišćivači zraka imaju posebnu važnost u ovom radu jer još uvijek nema dovoljno podataka za brodske motore ili su podaci dobiveni na probnom stolu, što ne odgovara stvarnom stanju.

Tablica 2. Prosječni faktori emisije za srednje i sporookretne dizel-motore [2]

emisija	kg/t goriva	g/kWh
NO _x	57* 57**	17* 12**
CO	7,4	1,6
HC	2,4	0,5
CO ₂	3170	660
SO ₂	20 x %S	4,2 x %S
* sporookretni	** srednjeokretni	S-sadržaj sumpora - maseni

3.1. Utjecaj ugljikovodika i čvrstih čestica

Emisija ugljikovodika u ispušnim plinovima sastoji se uglavnom od neizgorelih ili djelomično izgorelih čestica goriva i ulja za podmazivanje. U stvarnosti ta emisija sadrži mnogo pojedinačnih organskih sastojaka ovisno o kemijskoj konfiguraciji C, H, O, N i S, ali malih koncentracija. Pojedini sastojci mogu biti prisutni u pari, u česticama ili se mogu raspodijeliti između faza isparavanja, kondenzacije i polimerizacije težeći stalnoj promjeni raspodjele. Ugljikovodici djeluju na zdravlje, od pospanosti i iritacije očiju do visoke otrovnosti, mutagenosti i karcinogenosti. Količine ugljikovodika u ispušnim plinovima ovise o karakteristikama izgaranja i termodinamskoj učinkovitosti dizel-motora, na koju bitno utječe opterećenje motora i uvjeti pogona. Ugljikovodici koji potječu iz brodskih energetske postrojenja od izgaranja goriva opasni su onečišćivači atmosfere, pogotovo aromatski ugljikovodici. Njihova štetnost proizlazi iz sudjelovanja u tvorbi fotokemijskog smoga i iz neposredna štetnog utjecaja na ljudsko zdravlje, a koncentracija iznad 30 µg/m³ izaziva teže poremećaje krvne slike.

Čestice u ispušnim plinovima složena su mješavinu anorganskih i organskih supstancija koje sadrže C, pepeo minerala i teških metala te različite neizgorene ili djelomično izgorene komponente ugljikovodika iz goriva i ulja za podmazivanje. Glavnina čestica iz dizel-motora veličine su manje od 1 mm, a prenose se strujom zraka i teško se talože. Njihove su količine prikazane u tablici 3. Potencijalni štetni učini mogu se, prema tome, dogoditi udaljeno od mjesta izvora, a javljaju se problemi disanja, te otrovni, mutageni i karcinogeni učini.

Tablica 3. Faktori emisije čvrstih čestica [3]

gorivo	kg/t goriva	g/kWh
teško dizel	7,6	1,5
lako dizel	1,2	0,2

Veličina emisije čestica ovisi o procesu izgaranja, pri čemu je pojava dima gruba mjera kvalitete izgaranja. Međutim, njihova je kvantifikacija

otežana s obzirom na prirodu složenosti emisije čestica. Mnogi nazivi dobiveni su iz uzorkovanja i metoda kvantifikacije, a uključuju ukupno lebdeće čvrste čestice. Kao mjera za koncentraciju čvrstih čestica upotrebljava se i Boschov dimni broj (20% neprozirnosti = 1).

3.2. Mikroonečišćivači

Naziv mikroonečišćivači, općenito, odgovara onim onečišćivačima koji su prisutni u tragovima (ppb) i izazivaju različite štetne učine i u tako malim koncentracijama. Mikroonečišćivači koji se nalaze u ispušnim plinovima dizel-motora, obuhvaćaju organske mikroonečišćivače i teške metale. Organski mikroonečišćivači sadrže tragove poliaromatskih ugljikovodika (PAH), dioksine (PCDD) i furane (PCDF). S obzirom na proces izgaranja, u mnogim je slučajevima dokazana prisutnost PAH-a, za koje je poznato da imaju karcinogeno svojstvo.

Tablica 4. Izmjereni mikroonečišćivači i analitička promjenljivost PAH i nitro PAH-a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pri različitim opterećenjima motora s obzirom na njihovu maksimalnu trajnu snagu

proba/ snaga (%MTS)	A = 81%	B=77%	C=76%	D=79%
PAH				
penanthrene	45,00	52,00	51,00	50,00
anthracene	0,12	0,14	0,13	0,09
fluoranthene	12,00	13,00	15,00	14,00
pyrene	21,00	23,00	30,00	27,00
3,6-dimethylphenanthrene	7,00	8,20	9,90	9,30
triphenylene	12,00	20,00	26,00	28,00
benzo(b)fluorene	8,20	11,00	0,87	11,00
benzo(b)anthracene	2,90	4,50	0,65	0,55
chrysene	6,20	9,80	2,60	4,60
benzo(e)pyrene	1,30	3,50	0,45	3,50
perylene	0,42	0,19	0,04	0,13
Benz(b)fluoranthene	0,58	0,58	0,37	0,59
benzo(k)fluoranthene	0,14	0,18	0,07	0,20
benzo(a)pyrene	0,25	0,31	0,21	0,37
dibenzo(a,j)anthracene*	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
dibenzo(a,l)pyrene*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
dibenzo(a,h)anthracene*	<0,09	0,52	1,10	0,92
benzo(g,h,i)perylene	0,38	0,52	0,79	0,77
3-methylcholanthrene	0,03	0,09	0,09	0,12
ideno(1,2,3-c,d)pyrene	0,28	<0,04	0,45	0,54
anthanthrene*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
nitro-PAH				
2 - nitrofluorene*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1 - nitropyrene	0,69	0,75	0,71	1,00
1,6 - dinitropyrene*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
1,8 - dinitropyrene*	<0,62	<0,62	<0,63	<0,60

* nije nađena iznad granice analitičkog određivanja

Jako mutageni nitratni PAH identificirani su tek nedavno i vjeruje se da potječu od kemijske reakcije između PAH i NO_x koji se nalaze u sastavu ispušnih plinova. Otrovne emisije polikloriranih bifenila (PCB), polikloriranih dibenzodioksina (PCDD) i polikloriranih dibenzofurana (PCDF) također su pronađene u ispušnim plinovima dizel-motora. PCDF spadaju među najotrovnije supstancije koje su naskoro identificirane.

3.3. Teški metali

Teški metali uključuju mnoge elemente kao što su: kadmij (Cd), krom (Cr), bakar (Cu), živa (Hg), nikal (Ni), cink (Zn) te olovo (Pb) i metaloidni arsen (As) i selenij (Se). Prisutnosti tih elemenata u ispušnim plinovima općenito odražava koncentraciju u korištenom gorivu. Sadržaj teških metala u gorivu odražava se na komponente goriva, a elementi koji se nalaze u gorivu teško se mogu odstraniti separiranjem na brodu.

Određivanje teških metala u ispušnim plinovima provedeno je pomoću analize sadržaja teških metala u gorivu i procjenom da je njihov sadržaj jednak sadržaju u ispušnim plinovima budući da ne postoji značaj- nija alternativa. Svi su elementi analizirani pomoću spektroskopske emisije plazme, izuzevši živu (Hg) i selen (Se), za što je korišten atomski spektograf [1].

Rezultati analiza teških metala dobiveni su iz goriva koje se koristi na brodovima. Na temelju prosječnih vrijednosti koncentracija elemenata u tragovima za teško i lako dizel-gorivo, izračunate su godišnje emisije važnih teških metala i metaloida u ispušnim plinovima, koji su prikazani u tablici 5. i ujedno su uspoređeni s antropogenim i prirodnim izvorima u svijetu.

Tablica 5. Godišnje emisije teških metala i metaloida u atmosferu [1]

	procjena pomorske industrije* (t)	u svijetu # (t)	
		antropogeni	prirodni
arseni	55	18820	12000
kadmij	26	7570	1300
krom	20	30480	44000
kobalt	36	-	-
bakar	50	35370	28000
olovo	15	332350	12000
živa	3	3560	2500
nikal	3043	55650	30000
selen	37	-	-
kositar	12	-	-
vanadij	8900	200000	65000
cink	90	13880	45000

* temeljeno na prosječnoj koncentraciji teškog i lakog dizel-goriva, pomnoženo s procijenjenim potroškom goriva za brodove u svijetu na godinu (100 i 40 Mt).

procjena srednje emisije na godinu [3]

- podaci nisu dostupni

Iz predstavljenih podataka očito je da su u usporedbi s proračunatim emisijama u svijetu, značajne samo emisije nikla (Ni) i vanadija (V). Ti su elementi izravan rezultat prirodna sastava sirove nafte iz koje se dobiva gorivo za pomorske brodove i njihove se emisije ne mogu izbjeći pri korištenju tako dobivenih goriva.

4. ZAKLJUČAK

Usporedba emisije ispušnih plinova iz brodskih dizel-motora s emisijama u pojedinim državama dokazuje njihov utjecaj na onečišćenje atmosfere na regionalnom planu. Emisije NOX i SO2 slične su emisijama u Francuskoj, Španjolskoj i Engleskoj, a emisije CO i ugljikovodika beznačajne su u usporedbi s emisijama u pojedinim državama. Na taj je način dokazana opravdanost istraživanja emisije s brodova, zatim slijedi donošenje propisa – tekst Priloga VI. MARPOL 73./78. konvencije je usvojen, a njegovo stupanje na snagu ne očekuje se prije 2005.

Jedna od zadaća našega doba jest ne samo da se gospodarski proizvodi – brod u cijelini i usluge prijevoza u pomorstvu prihvate i troše, nego i da se posljedice takve djelatnosti drže pod kontrolom. Ako se misli na budućnost, što je naša obveza prema mladim naraštajima, potrebno je prihvatiti cikličke procese na kojima se temelji cijela priroda. Smatra se, u većini slučajeva, da je preteško istodobno služiti potrebama gospodarstva i okoliša. Uistinu je to moguće, ali treba mijenjati shvaćanja i navike ljudi jer se u tehnici uvijek pronađu svrsishodna rješenja. Stoga pomorsko gospodarstvo mora posvetiti punu pozornost ekološkim potrebama. Zarada (profit) gubi svaki smisao ako je loša kvaliteta života. Financijski rezultati jesu važni, ali isto tako i ekološki jer uspješno poslovanje treba mjeriti ne samo profitom već i ekološkom uspješnošću. "Zelenija" budućnost ostat će puka utopija ako se ne samo pomorsko gospodarstvo, već sveukupne aktivnosti čovječanstva i ekolozi ne potrudu da je kroz dijalog i dogovor ne pretvore u stvarnost.

LITERATURA

- [1] V. D. Most, Calculation and Registration of Emission from Shipping, EMEP Workshop on Emission from Ships, Oslo, June 1996.
- [2] United States Environmental Protection Agency, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP42, 4th Edition 1995.
- [3] EUROSTAT, Environmental Statistics 1991, Statistical Office of the European Communities, Luxemburg 1992.

Summary

EXHAUST GAS INFLUENCE FROM SHIP ENGINES ON THE
ATMOSPHERE POLLUTION

According to come up with a degree of the environmental pollution, the issue of life mean is in the focus of interest, because atmosphere pollution, approaches to limits of value in which the nature will not able to compensate negative pollution effects without permanent harmful consequences. The invesitigation shows that the atmosphere will not futher accept more and more pollution amount from industry and trafic including ships, without heavy disorder of eco-system. The influence of exhaust gas from ship diesel engines on the atmosphere pollution is presented in this paper.

Key words: atmosphere pollution; exhaust gas; ship's engines.