

ONEČIŠĆENJE MORA IZ ZRAKA EMISIJOM ISPUŠNIH PLINOVA

Sea pollution from air by the emission of exhaust gases

UDK 504.42]:341.2*347.8:621.43
Prethodno priopćenje
Preliminary communication

Sažetak

Ekologija i očuvanje ljudskog okoliša postali su onedavno jedan od najvažnijih segmenata u znanstvenom istraživanju. S obzirom na to da su se u prvom redu rješavala pitanja onečišćenja s kopna, danas se sve više i zahtjevnije obraća pozornost onečišćenjima mora iz raznih drugih izvora. Brodski je motor jedan od najvećih onečišćivača mora emisijama ispušnih plinova, pa se one s više međunarodnih konvencija i nacionalnih propisa pokušavaju ograničiti, nadzirati i spriječiti.

Ključne riječi: onečišćenje, zrak, emisije ispušnih plinova, konvencije, Marpol-anex.

Summary

Environmental protection of the nature and the human environment has recently become one of the most important segments of scientific research. Taking into consideration the fact that the issues of the pollution from shore have already been discussed, nowadays, ever-increasing and demanding attention has been shifted to sea pollution caused from various sources. Marine engine is one of the greatest sea pollutants by means of air, i.e. by the emission of exhaust gases, and it is attempted to be regulated, controlled and prevented by means of a series of international Conventions and national regulations.

Key words: pollution, air, exhaust gases emissions, Conventions, MARPOL-Annex.

1. Uvod

Introduction

Sveukupni razvoj u povijesti, znanstvena otkrića, rast globalne trgovine, industrijska i poljoprivredna revolucija, uz nedvojbene dobrobiti koje su donijele, sabrale su i većinu sadašnjih problema vezanih uz okoliš i njegovu održivost. Današnje se znanost, gospodarstvo, politika moraju prije svega pozabaviti zaštitom makar postojećega stanja.

Proizvođači brodskih dizelskih motora i znanstvenici istražuju mnoštvo tehnika kojima je osnovni cilj smanjenje dizelskih emisija u praktičnim okvirima, kao jednoga od segmenata globalnog onečišćenja. Razlog intenziviranja potrebe za rješanjem ovog problema jest sve veći porast onečišćenja zraka brodskim emisijama, i to zbog toga što je emisija stacionarnih proizvođača znatno smanjena donošenjem različitih ekoloških zakona. Ovak je problem tako postao primaran, pa se međunarodnima pridružuju i nacionalni propisi u pojedinim zemljama, i to osobito onima izrazitije izloženima brodskim emisijama i koje su bliže morskim plovnim putovima.

U ovom je radu dan pregled međunarodnih konvencija i regionalnih ugovora kojima se kontroliraju emisije ispušnih plinova i tehnologija i metode za njihovo smanjenje. Istraživanje emisije ispušnih plinova iz dizelskih motora sve je više izazov i za konstruktore motora i za proizvođače opreme za obradu ispušnih plinova.

*prof. dr. sc. Branka Milošević-Pujo, Sveučilište u Dubrovniku, Ćira Carića 4, Dubrovnik

**Nataša Jurjević, dipl. ing. brodogradnje, Sveučilište u Dubrovniku, Ćira Carića 4, Dubrovnik

2. Pravni aspekt onečišćenja mora ispušnim plinovima

Legal aspect of sea pollution by exhaust gases

Onečišćenje mora zrakom tek se u novije doba počelo međunarodno pravno regulirati. Do tog onečišćenja može doći na različite načine. Bilo da se štetne tvari nastale na kopnu prenose vjetrom u more, bilo da onečišćenje nastane izravno iz zraka. Uzrok mu mogu biti i djelatnosti na moru kao što su spaljivanje otpada i odašiljanje štetnih tvari s brodova u zrak. Zrak se sve više onečišćuje s razvojem industrije i korištenjem energijom u različite svrhe, čime dolazi i do globalnog zatopljenja.

Onečišćenje iz zraka uglavnom je regulirano međunarodnim i regionalnim ugovorima koji se odnose na onečišćenja s kopna i s brodova te ugovorima kojima se nadziru emisije štetnih tvari u atmosferu.

U tom smislu treba spomenuti Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution - LRTAP*¹), u kojoj se odredbama pokušava ograničiti ili smanjiti i spriječiti onečišćenje zraka uopće, pa samim tim i mora jer se time posredno onečišćuje i more.

Konvencija je donesena pod okriljem Gospodarske komisije za Europu Gospodarskog i socijalnog vijeća UN-a. Ona je općeg karaktera pa će obveze država biti detaljnije razrađene protokolima donesenima uz Konvenciju. Dosad su usvojeni:

1. Protokol u svezi s dugoročnim financiranjem programa suradnje za praćenje i procjenu dalekosežnoga prekograničnog prijenosa onečišćujućih tvari u zrak u Europi (EMEP),²
2. Protokol o smanjivanju emisija sumpora,³
3. Protokol o teškim metalima,⁴
4. Protokol o postojećim organskim onečišćivačima,⁵
5. Protokol o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona,⁶

6. Protokol o nadzoru emisija dušikovih oksida ili njihovih prekograničnih strujanja,⁷

7. Protokol o nadzoru emisija hlapivih organskih spojeva ili njihovih prekograničnih strujanja.⁸

Pod okriljem Konvencije osnovano je i nekoliko radnih tijela. To su: Komitet za nadzor nad provođenjem Konvencije, Radna skupina za učinke na okoliš, Upravni odbor EMEP-programa i Radna skupina za strategiju i izvješće.

Kao stranka Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka i Protokola o daljnjem smanjenju emisije sumpora, Hrvatska sudjeluje u Međunarodnom programu za računanje i kartiranje kritičnih opterećenja (ICP Mapping & Modelling of Critical Load and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends – ICP Modelling & Mapping).

Od 1990. godine ovaj se program provodi u koordinacijskom centru pri institutu (*Research for man and environment*) u Nizozemskoj u suradnji s nacionalnim centrima. Program je jedan od šest međunarodnih programa Radne skupine za učinke (*Working Group for Effects*). Programom se želi odrediti kritična razina koncentracije štetnih tvari a osobito kiselih plinova, sumpornog dioksida i dušikovih oksida, te procijeniti štetno djelovanje na ljudsko zdravlje i okoliš.

Zaštitom ozonskog omotača i smanjenjem štetnih emisija u zrak osim spomenutih Konvencija i Protokola bavi se i Bečka konvencija o zaštiti ozonskog omotača⁹ i, uz nju donesen, Montrealski protokol o tvarima koje oštećuju ozonski omotač.¹⁰

Bečka konvencija i Montrealski protokol važni su međunarodni instrumenti za zaštitu ekosustava cijele Zemlje, pa tako i mora i oceana. Naime, proteklih desetljeća došlo je do velikog porasta koncentracije ugljikova dioksida, metana, dušikova oksida i halogeniziranih spojeva, što je imalo za posljedicu oštećeni ozonski omotač; to sve dovodi do promjene klime i do globalnog zatopljenja.¹¹ Procjenjuje se da je ugljični dioksid najvažniji uzročnik zatopljenja i sudjeluje s čak 64% svih emisija, zatim je metan s 20%, dušikov oksid sa 6% i halogenizirani spojevi s 10%. Ne budu li se kontrolirale emisije ovih tvari, došlo bi do daljnjeg porasta temperature na Zemlji, čime bi čovjekov opstanak postao dvojbjen. U tom smislu Bečka konvencija obvezuje države da zaštite okoliš i ljudsko zdravlje od štetnih utjecaja što mogu nastati zbog oštećenja ozonskog omotača, i to tako da smanje i postupno prestanu s proizvodnjom štetnih tvari. Jednako tako Konvencija obvezuje države na

¹ Konvencija je donesena u Genevi 1979. godine, stupila je na snagu 16. 4. 1983. Vidi njezin tekst u *International Legal Materials (ILM)* 1979, sv. 18, br. 6, str. 1442.

Hrvatska je stranka Konvencije temeljem notifikacije o sukcesiji. (Vidi NN, MU, 12/93.)

O Konvenciji vidi više: A. E. Birnie Boyle, *International Law and Environment* Oxford, New York, 1992., str. 397-402.

² Protokol je usvojen u Genevi 1984. stupio je na snagu 28. siječnja 1988. Hrvatska je stranka Protokola temeljem notifikacije o sukcesiji. (Vidi NN, Međunarodni ugovori, 12/93.)

Vidi tekst Protokola u *ILM* 1985, sv. 24, br. 3, str. 484.

³ Protokol je prihvaćen u Oslu 1994. godine, stupio je na snagu 5. kolovoza 1998. Republika Hrvatska je stranka Protokola od 27. travnja 1999. (Vidi NN, Međunarodni ugovori, 17/98. i 3/99.)

Tekst Protokola vidi u *ILM* 1989, sv. 27, br. 3, str. 707.

⁴ Usvojen je u Aarhusu 1998. godine. Do danas nije stupio na snagu. Hrvatska je stranka Protokola od 1998. godine. Vidi tekst Protokola u www.unece.org

⁵ Usvojen je u Aarhusu 1998. godine. Do danas nije stupio na snagu. Hrvatska je stranka Protokola od 1998. godine. Vidi tekst Protokola u *ibid.*

⁶ Protokol je usvojen u Goeteborgu 1999. Hrvatska mu je potpisnica. Protokol do danas nije stupio na snagu. Vidi tekst Protokola u *ibid.*

⁷ Protokol je prihvaćen u Sofiji 1988. godine. Stupio je na snagu 14. veljače 1991. godine. Hrvatska je stranka Protokola. Vidi tekst Protokola u *ILM* 1989, sv. 28, br. 1, str. 214.

⁸ Protokol je usvojen u Genevi 1991. Stupio je na snagu 29. rujna 1997. Hrvatska mu nije pristupila. Vidi tekst Protokola u *ILM* 1992, sv. 31, br. 3, str. 573.

⁹ Konvencija je usvojena u Beču 1985. godine. Stupila je na snagu 22. rujna 1988. Hrvatska je stranka Konvencije temeljem notifikacije o sukcesiji. (Vidi NN, Međunarodni ugovori, 12/93. Vidi tekst Konvencije u *ILM* 1985, sv. 26, br. 6, str. 1529.)

¹⁰ Protokol je prihvaćen u Montrealu 1987. godine. Stupio je na snagu 1. siječnja 1989. Hrvatska je stranka Protokola. Vidi tekst Konvencije u *ibid.*, str. 1550.

¹¹ Ozonski je omotač sloj koji štiti živa bića od štetnog djelovanja ultraljubičastih sunčevih zraka.

uporabu alternativnih tehnologija i opreme koje ne štete ozonskom omotaču. Bečka konvencija navodi i popis posebno štetnih tvari.¹² Konvencija je općeg karaktera, pa države preuzimaju detaljnije obveze protokolima donesenima uz Konvenciju. Tako je 1997. potpisan Montrealski protokol, kojim se ograničuje proizvodnja i uporaba tvari štetnih za ozonski omotač. Vrlo brzo nakon Montrealskog protokola nastala je potreba za njegovom izmjenom kako bi se uveo nadzor proizvodnje i uporabe onih štetnih tvari što ih on nije bio obuhvatio. Dopune su Protokola prihvaćene u Londonu 1990. i u Kopenhagenu 1992. godine,¹³ uz određene krajnje rokove za uklanjanje štetnih tvari. Zemljama u razvoju omogućeno je deset godina mirovanja za primjenu Protokola, nastojeći im u tome pomoći osnivanjem posebnog fonda koji formiraju razvijene zemlje, a radi pružanja tehničke suradnje i bržega prijenosa tehnologije kako bi se što skorije implementirao Protokol u nacionalno zakonodavstvo.¹⁴

Ako se ne zaustavi daljnje globalno zatopljenje, očekuje se da će klimatske promjene imati veliki učinak na topljenje ledenjaka i na porast razine mora i oceana, te samim tim na plavljenje priobalnog područja. Kad bi se to doista i dogodilo, rezultat bi bile nesagledive posljedice za zdravlje ljudi, ekosustave i, općenito, život na Zemlji.

Poradi kontrole i utjecaja na klimatske promjene smanjenjem emisija opasnih tvari u zrak, donesena je u Rio de Janeiru 1992. godine Konvencija UN-a o promjeni klime.¹⁵ U njezinoj primjeni države su obvezne surađivati u izradi nacionalnih i regionalnih programa mjera za ublažavanje klimatskih promjena kontrolom emisija plinova koji pridonose globalnom porastu temperature, a nisu obuhvaćeni Montrealskim protokolom.¹⁶ Uz Konvenciju donesen je i Protokol u Kyotu 1997. godine.¹⁷

Prema nekim mišljenjima, s primjenom se Protokola zakasnilo jer njime predviđene mjere neće biti dostatne s obzirom na to da je na Zemlji sve više znakova globalnog zatopljenja. Ipak, stupanjem na snagu Protokola, smatra se, plinovi koji izazivaju učinak staklenika reducirat će se za čak 60%, čime bi se stabilizirale svjetske klimatske prilike.

Nakon ruske ratifikacije Protokola i njegova stupanja na snagu, sve će industrijske zemlje potpisnice sporazuma do 2012. godine smanjiti količine plinova koji izazivaju učinak staklenika - za 5% ispod razine iz 1990. godine.

Prema nekim podacima udio Rusije u emisiji tih plinova iznosi 17%. S druge strane, činjenica je da

Protokol nije potpisao SAD, a sam sudjeluje u onečišćenju zraka s 36% svih emisija.¹⁸ Kina, ni ostale zemlje u razvoju, nije dužna smanjiti ispušne plinove iako je ratificirala Protokol iz Kyota. Sve ove činjenice znatno umanjuju njegovu učinkovitost. Međutim, samo njegovo stupanje na snagu ipak je veliki korak naprijed u nastojanju da se smanje štetne emisije.

2.1. Konvencije koje se izravno bave onečišćenjem mora iz zraka

Conventions dealing with sea pollution from air

Osim konvencija općeg karaktera koje se odnose na onečišćenje zraka, pa tako posredno i mora zrakom, onečišćenjem mora iz zraka posebno se bavi Konvencija o pravu mora iz 1982. godine,¹⁹ i to njezin članak 212. Pritom, države su ovlaštene donijeti nacionalne antipolucijske propise radi sprječavanja, smanjivanja i nadziranja onečišćenja mora iz zraka ili posredno zrakom.

Prilikom donošenja propisa države moraju voditi računa o međunarodno priznatim pravilima i standardima i preporučenoj praksi. One se obvezuju primijeniti nacionalne propise i međunarodna pravila o sprečavanju onečišćenja zraka na području pod njihovim suverenitetom, na brodovima koji viju njihovu zastavu i na zrakoplovima upisanima u upisnik na njihovu području poštujući pri tome pravila zračne plovidbe.²⁰ U pogledu donošenja općih i regionalnih pravila, Konvencija upućuje države da ta pravila utvrđuju preko ovlaštenih međunarodnih organizacija ili na diplomatskoj konferenciji.²¹

Uz okvirne odredbe Konvencije o pravu mora onečišćenjem mora emisijama s brodova posebno se bavi MARPOL-konvencija²², i to njezin Prilog VI., podijeljen u tri dijela unutar kojih je 19 pravila. Prvo poglavlje odnosi se na konačnu aplikaciju pravila, definicije i slično. Drugo poglavlje daje upute za potrebne preglede, certifikaciju i inspekcijske kontrole. Treće je poglavlje posvećeno operacijskim zahvatima koji se

¹⁸ Vidi www.unfccc.int

¹⁹ Konvencija o pravu mora usvojena je u Montegu Bay 1982. Stupila je na snagu 16. studenog 1994, nakon što je tajnik UN-a primio šezdesetu ispravu o ratifikaciji. Vidi tekst Konvencije u NN, Međunarodni ugovori, 9/00.

²⁰ Vidi članak 222. Konvencije o pravu mora.

²¹ Vidi članak 212, stav 3. Konvencije.

²² Konvencija je donesena u Londonu 1973. godine a na Konferenciji o sigurnosti tankera u Londonu 1978. donesen je Protokol koji čini sastavni dio Konvencije.

Vidi tekst Konvencije u International Legal Materials, 1973, sv.12, br. 6, str.1319. i International Legal Materials, 1978, sv. 17, str. 546. Hrvatska je stranka Konvencije temeljem notifikacije o sukcesiji; vidi NN, MU, 1/92. Sastavni dio Konvencije čini 6 pravila, a to su: Pravilo I. Sprečavanje onečišćenja mora uljem, stupilo je na snagu 2. 10. 1983., Pravilo II. Sprečavanje onečišćenja štenim tvarima u različenom stanju, stupilo je na snagu 6. 4. 1987., Pravilo III. Sprečavanje onečišćenja štetnim tvarima u pakiranom obliku, stupilo je na snagu 1. 7. 1992., Pravilo IV. Sprečavanje onečišćenja otpacima s brodova, stupilo je na snagu 27. 9. 2003., Pravilo V. Sprečavanje onečišćenja fekalijama s brodova, stupilo je snagu 31. 12. 1988., Pravilo VI. Sprečavanje onečišćenja zraka emisijama s brodova, do danas nije stupio na snagu. Predviđa se stupanje na snagu 19. 5. 2005, nakon što je 18.5.2004. Samoa kao petnaesta država potpisala Prilog, on obvezuje 59,92% svjetske tonaže prema podacima www.imo.org od 30.10.2004.

¹² Tvari koje Bečka konvencija navodi kao posebno štetne su: ugljikovi spojevi, posebno ugljični monoksid, ugljični dioksid, metan, dušični spojevi, spojevi klor a i spojevi broma.

¹³ Hrvatska je ratificirala dopune Montrealskog protokola, London, 1990. (Vidi NN, MU, 11/93.) i Kopenhagen, 1992. (Vidi NN MU, 1/8/96.)

¹⁴ Vidi Lončarić-Horvat, *Osnove prava okoliša*, Zagreb, 1998, str. 207. Hrvatska je temeljem članka 5. Montrealskog protokola svrstana među zemlje koje imaju desetogodišnje mirovanje za primjenu Protokola.

¹⁵ Konvencija je stupila na snagu 1994. godine. Hrvatska je stranka članica Konvencije od 1996. godine. (Vidi NN, MU, 2/96.) Vidi tekst Konvencije u ILM 1992, sv. 31, br. 4, str. 851.

¹⁶ Vidi članak 4, stav 1. Konvencije

¹⁷ Protokol u Kyotu stupio je na snagu u listopadu 2004. nakon što ga je ratificirala Rusija. Vidi tekst Protokola u ILM 1998., sv. 37, br. 1, str. 32. Hrvatska do danas nije potpisala Protokol iako su sve europske države ujedno i članice Konvencije o promjeni klime, osim Monaca i Lihtenštajna, već ratificirale Protokol.

odnose na kontrolu mjerenja i smanjenje emisija, a pokrivaju sljedeća područja:

- ODS – tvari su koje sudjeluju u smanjenju ozona (*Ozone Depleting Substances*), a uključuju i halone. Zabranjene su namjerne emisije ovih tvari, a na novogradnjama se zabranjuje instalacija uređaja koji ih sadrže. Ovim se pravilom udovoljilo potrebi da i pomorska industrija bude u skladu sa zahtjevima Montrealskog protokola.
- NO_x – emisija dušičnih oksida, regulirana je zasebnim pravilima: "Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines" (NO_x Technical Code).
- SO_x – emisija sumpornih oksida, za koju Konvencija zahtijeva da sadržaj sumpora u gorivu ne smije premašiti 4,5%. Dopušteni su i dodatni regionalni zahtjevi, pa se tako u tzv. područjima povećane kontrole SO_x-a (SECA²³) dopušta sadržaj sumpora od samo 1,5%, tj. 6 g SO_x/kWh, ili se alternativno mora ugraditi sustav za pročišćivanje ispušnih plinova, ili valja ograničiti emisiju na neki drugi način.
- VOC – emisija hlapivih organskih spojeva (*Volatile Organic Compounds*), za koje se zahtjevi prvenstveno odnose na reguliranje emisije u luci i terminalima.
- Brodskim incineratorima – zabranjuje se spaljivanje određenih proizvoda. Spaljivači smeća ugrađeni nakon 1.1.2000. moraju biti odobreni prema zahtjevima MEPC 59(33) rezolucije.²⁴
- Prihvatnim uređajima – obalnim sustavima prihvaćaju se ostaci nakon izgaranja i čišćenja, i to prije svega tvari koje sudjeluju u smanjenju ozona.
- Posebni se zahtjevi tiču odobalnih objekata.

3. Kontrola emisija brodskih ispušnih plinova – primjena Priloga VI. MARPOL-konvencije

Control of the emission of vessel's exhaust gases - application of VI. of MARPOL Convention Annex

Kad se govori o onečišćenju zraka s broda, prvenstveno se misli na emisije štetnih plinova s brodova kojima je glavni pogonski sustav dizelski motor. Sporohodni dizelski motori čine osnovu pogona većini velikih trgovačkih brodova (tankera, brodova za prijevoz rasutog tereta...).

Kako bi se postigla što veća efikasnost brodskih dizelskih motora, skraćuje se vrijeme izgaranja goriva u cilindru, pa se motoru s dugim stapajem povećava kompresijski omjer. To dovodi do izgaranja goriva u

cilindru pri višim temperaturama, što uzrokuju pojavu štetnih plinova.

Sumpor je jedan od sastojaka goriva sporohodnih dizelskih motora; povećanje kvalitete goriva, tj. smanjenje udjela sumpora u gorivu, poskupljuje proizvodnju i time povisuje cijenu. Srednjohodni dizelski motori, kao i plinske turbine, rabe kvalitetnija goriva, pa time smanjuju onečišćenje, ali imaju i manji stupanj iskoristivosti. Desumporizacija goriva na brodu ili "čišćenje" ispušnih plinova nakon izgaranja goriva skuplji su, zahtijevaju dodatni prostor i manipulaciju ostatnim produktima.

Ovakva ograničenja visoke iskoristivosti i povećanih ekoloških zahtjeva otvaraju, međutim, potrebu za razvojem novih pogonskih postrojenja. Putnički i ro-ro brodovi danas zato imaju prihvatljiviji elektromotorni pogon, intenzivno se radi i na razvoju nove generacije plinskih turbina, a i kombinirani pogonski sustavi nisu više iznimka.

Istodobno veliki proizvođači dizelskih motora užurbano rade na novim rješenjima radi smanjenja štetnih emisija; formiraju se timovi stručnjaka čiji je jedini cilj motor visoke iskoristivosti, rentabilnosti i ekološke prihvatljivosti.

Emisija NO_x-a prepoznata je kao najštetnija, pa se novi propisi odnose upravo na smanjenje te emisije, dok su propisi za smanjenje ostalih emisija tek u razvoju.

Glavni onečišćivači iz dizelskih motora su (kao, uostalom, i ostalih motora s unutrašnjim izgaranjem):

- dušikovi oksidi (NO_x) – njihova emisija utječe na stvaranje smoga i kiselih kiša. U atmosferi s hlapivim organskim spojevima i ostalim reaktivnim plinovima, a uz sunčevo zračenje, sudjeluje u stvaranju prizemnog ozona. Emisija dušikovih oksida neprestano raste kao rezultat povećanoga prometa; ona, naime, uglavnom nastaje kao posljedica izgaranja bilo kojega tekućeg goriva.
- sumporni oksidi (SO_x) – sumporni dioksid SO₂ poznat je kao "kisel" plin jer njegovom transformacijom nastaju kiseli sastojci što se izdvajaju iz atmosfere u obliku kiselih kiša. Emisija SO₂ ovisi izravno o kvaliteti goriva, tj. sadržaju sumpora u njemu.
- ugljični monoksid (CO) – posljedica nepotpunog izgaranja goriva, utječe na stvaranje smoga i ozonskih rupa. Današnji motori imaju vrlo malu emisiju ugljičnog monoksida poradi visoke koncentracije kisika i efikasnoga procesa izgaranja.
- ugljikovodici (HC) – sadržaj ugljikovodika u ispušnim plinovima ovisi o vrsti goriva, ugađanju i konstrukciji motora. Samo mali dio HC napustit će proces neizgoren – utječe na efekt staklenika.
- ugljični dioksid (CO₂) – iako nije otrovan, posvećuje mu se posebna pozornost kao osnovnom uzroku stvaranja efekta staklenika. Motori s visokim stupnjem iskoristivosti i uporaba goriva s niskim udjelom ugljika preduvjet su da se smanje te emisije.

Proučavanjem danih emisija uočeno je da je udio utjecaja ugljikovodika i ugljičnog monoksida s brodova

²³ SECA_s – SO_x Emission Control Areas – područje je zasad ograničeno na samo Baltičko more, ali se za 2006/2007. pripremaju i Sjeverno more i Kanal.

²⁴ MEPC 59(33) – IMO preko Marine Environment Protection Committee donosi upute za implementaciju Annexa VI.

nizak u usporedbi s drugim tehničkim pogonima, a također, zbog superiornije termalne iskoristivosti dizelskog procesa, niska je i emisija ugljičnog i sumpornog dioksida. Sva je pozornost u brodarstvu zato prebačena na smanjenje dušikovih oksida (NO_x).

3.1. Kontrola i smanjenje emisija NO_x

Control and decreasing emission of NO_x

Dušikovi oksidi iz dizelskih ispuha nastaju oksidacijom molekularnog dušika (N₂) zrakom izgaranja na visokim temperaturama (termički NO_x) i oksidacijom dušika u gorivu.

Formiranje termalnog NO_x-a ovisi o koncentraciji dušika i kisika, o temperaturi i vremenu. Proces je vrlo složen i uključuje stotine reakcija. Presudni su i lokalni uvjeti zbog nehomogenosti zbivanja u komori izgaranja. Bitno je zaključiti da što je viša temperatura tijekom dužeg vremena, nastat će više termalnog NO_x. On je ujedno i glavni činitelj cjelokupne emisije NO_x; ona nastala oksidacijom iz goriva sudjeluje samo s 10 - 20%.

NO_x-kodom određena su za motore snage veće od 130 kW ova ograničenja:

$$\begin{aligned} \text{NO}_x \text{ (g/kWh)} &= 17 & n < 130, \\ &= 45 \cdot n^{-0.1} & 130 < n < 2000, \\ &= 9,8 & n > 130, \end{aligned}$$

gdje je n brzina vrtnje motora (okr/min).

Tehnike smanjenja NO_x mogu se podijeliti na tri osnovne kategorije: obradu prije uporabe goriva, unutarnje ili primarne metode i sekundarne metode.

Obrada prije uporabe goriva uglavnom se bazira na smanjenju dušika u gorivu, tj. na njegovoj denitraciji, ali zasad za to nema praktičnih metoda.

Unutarnje ili primarne metode mijenjaju konfiguraciju samog motora i u nekom obliku djeluju izravno na proces izgaranja u njemu. Stvarni stupanj smanjenja ovisi o tipu motora i metodi smanjenja, i varira od 10 do 50%.

Postoji veći broj načina da se smanji emisija s pomoću modifikacije procesa izgaranja; jedan je od njih smanjeni tlak izgaranja. Ovim će se postupkom usporenim uštrcavanjem smanjiti skok temperature i tako zastupljenost NO_x, ali će to neminovno utjecati na visoku potrošnju goriva.

Na parcijalni tlak reagenata kisika i dušika može se utjecati samo promjenom specifične količine zraka koji ulazi u motor ili promjenom omjera kisika i dušika. Omjer se mijenja recirkulacijom ispušnog plina (EGR - *exhaust gas recirculation*). Ako se 15% ispušnog plina recirkulira, rezultat je da će se koncentracije kisika u zraku s 21% smanjiti na 18% pa će utjecaj na sastav NO_x biti znatan.

Smanjenje emisije štetnih plinova postiže se prilagodbom sapnice rasprskaača. Tijekom ispitivanja,²⁵ naime, dokazano je da različiti tipovi rasprskaača, tj. intenzitet uštrcavanja goriva, znatno utječu na stvaranje NO_x, CO i na potrošnju goriva.

MAN B&W je na novim motorima uveo novi rasprskaač kliznog tipa. Ovi tipovi održavaju motor čistim, postižu manje emisije (smanjuje se količina ugljikovodika i krutih čestica za 30%) i manju potrošnju goriva. Rabe se za tipove motora s više od 600 mm promjera cilindra.

S promjenom karakteristika uštrcavanja goriva (jednostruko ili dvostruko uštrcavanje i/ili tlak/vrijeme) može se birati prema potrebi između ekonomičnosti goriva ili niske emisije NO_x. Istraživanja pokazuju da je u ovoj fazi razvoja moguće smanjiti NO_x oko 20% uz smanjenu potrošnju goriva za 3,5%.

Sljedeći način da se smanji emisija postiže se uštrcavanjem vode ili vlaženjem. Voda se može dodati u komoru izgaranja kroz odvojene sapnice ili slojevitim uštrcavanjem vode i goriva iz istog rasprskaača goriva.

Prednosti izravnoga uštrcavanja vode su:

- smanjena emisija NO_x od 50 do 60%,
- vrijednosti NO_x za motor na brodski dizel (MDO) obično su 4 - 6 g/kWh, a kad radi na teško gorivo (HFO), obično su 5 - 7 g/kWh,
- nema negativnih utjecaja na ostale dijelove motora,
- motor također može raditi i kad se ne zahtijeva rad s uštrcavanjem vode,
- motor se može vratiti na rad "bez vode" pri bilo kojem opterećenju,
- prostor koji je potreban za ugradnju ovog sustava je minimalan,
- troškovi ugradnje i cijena sustava vrlo su niski,
- omjer uštrcavanja vode i uštrcavanja goriva obično su od 4:10 - 7:10.

Drugi način da se ubaci voda u prostor izgaranja je vlaženje ispirnog zraka. Međutim, znajući da previše vode u ispirnom zraku može štetiti cilindru, ova se metoda donedavno nije primjenjivala.²⁶ Voda se pod tlakom dodaje u ulazni zrak poslije kompresora turbopuhala. Zbog visokih temperatura komprimiranog zraka, voda trenutno isparuje i ulazi u cilindar kao para, pa s time smanjuje temperatura izgaranja i nastanak NO_x i do 50%. Ovakav je sustav unekoliko i djelotvorniji od sustava izravnoga uštrcavanja, ali mu je nedostatak velika potrošnja vode.

Sekundarne metode podrazumijevaju smanjenu razinu emisije bez promjene konstrukcije motora, tj. uklanjanje

²⁵ MAN B&W – provodi intenzivna istraživanja kako bi se povećala kvaliteta njegovih motora; tako je na ispitnom motoru 4T50MX ugrađena elektroničko-hidraulična kontrola uštrcavanja goriva s vremenskim usklađivanjem ispušnog ventila, čime je znatno smanjena emisija NO_x. (Vidi www.manbw.com)

²⁶ Wärtsilä je prvi pilot-projekt ovakva sustava primijenila 2003. godine. Sustav je poznat pod imenom CASS – Combustion Air Saturation System, vidi www.warstila.com.

NO_x iz ispušnih plinova u sustavu koji prerađuje sastojke ostale nakon izgaranja.

Najzanimljivija sekundarna metoda je selektivno katalitičko smanjenje (SCR) NO_x.²⁷ Ona može smanjiti razinu NO_x više od 95% uz dodatak amonijaka ili uree u ispušni plin prije nego on uđe u katalitički pretvarač. Na taj se način emisija svodi na neopasne supstancije što se mogu normalno pronaći u zraku koji udišemo.

S pomoću ove metode ispušni se plin miješa s amonijakom (NH₃) prije prolaska kroz sloj specijalnih katalizatora na temperaturi od 290 do 450 °C, čime se NO_x ponovno pretvara u neopasni dušik i vodu (N₂ i H₂O). Kisik je pri tome u procesu. Ako je temperatura previsoka, NH₃ će prije izgarati nego reagirati s NO/NO₂. Pri previše niskoj temperaturi reakcija će biti spora i kondenzacijom amonijevih sulfata uništavati će se katalizator.

Količina uštrcanoga NH₃ u cijev ispušnih plinova nadzire se procesnim računalom koje dozira NH₃ u odnosu na NO_x što ga proizvodi motor ovisno o opterećenju. Odnos između proizvedenog NO_x i opterećenja motora mjeri se tijekom pokusnog rada na ispitnom stolu. Dobiveni odnos programira se računalom i služi za kontrolu doziranja NH₃. Doza se amonijaka potom namješta na odstupanje povratnog sustava na osnovi izmjerenoga izlaznog signala NO_x. Stupanj uklanjanja NO_x ovisi o količini dodanog amonijaka (izražen u omjeru NH₃/NO_x).

Pri velikim odnosima NH₃/NO_x može se dobiti visok stupanj uklanjanja NO_x, a u isto će vrijeme količina neiskorištenog amonijaka (ispušteni NH₃) porasti u očišćenom ispušnom plinu. Poželjno je da koncentracija neiskorištenog amonijaka u očišćenom plinu bude što manja jer kada ispušni plin dođe u kotao ili izmjenjivač topline, amonijak može reagirati s SO₃ u ispušnom plinu pa će se ogrjevna površina onečistiti amonijevim sulfatom.

Oksidacijom u SCR-procesu osim smanjenja emisije NO_x uklanja se i ponešto neizgorivih čestica i ugljikovodika iz ispušnih plinova.

SCR-metoda trenutno je najdjelotvornija; moguće je postići razinu NO_x od 2 g/kWh i niže, što zadovoljava i najstrože zahtjeve za plovidbu morem.²⁸

4. Zaključak

Conclusion

Zaštita morskog okoliša od onečišćenja iz zraka novijeg je doba. Nema ni međunarodnih ni regionalnih ugovora koji su samo posvećeni zaštiti mora od onečišćenja iz zraka. Iz tog razloga pravila za sprečavanje onečišćenja iz zraka nalazimo u

konvencijama koje se bave nadziranjem i sprečavanjem emisija u atmosferu i konvencijama o onečišćenjima s brodova i iz kopnenih izvora.

U tom smislu, treba od općih konvencija posebno spomenuti Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima, kojom se pokušava smanjiti onečišćenje zraka, pa posredno i mora iz zraka.

Osim navedene Konvencije i Protokola, Bečka konvencija i uz nju doneseni Montrealski protokol bave se tvarima što oštećuju ozonski omotač i predlažu mjere kojima se postupno smanjuju i isključuju iz uporabe takve tvari.

Zbog sve akutnijeg problema globalnog zatopljenja uzrokovanoga upravo emisijama štetnih tvari u atmosferu, pokušalo se utjecati na klimatske promjene usvajanjem Konvencije o promjeni klime u Rio de Janeiru. Uz Konvenciju donesen je i Protokol u Kyotu 1997. godine, stupio na snagu u listopadu 2004., a kojim će se emisije stakleničkih plinova do 2012. smanjiti za 5% ispod razine iz 1990. Upitno je pritom kakav će učinak imati stupanje na snagu Protokola ako je poznato da ga nisu prihvatili SAD i Australija, a s visokim postotkom sudjeluju u emisijama plinova s učinkom staklenika.

Konvencija o pravu mora uz druge odredbe sadržava i pravila o onečišćenju mora iz zraka, ali samo općenitog karaktera. Znatno konkretnije odredbe su u Prilogu VI. MARPOL-konvencije, kojim se reguliraju emisije sumpornog i dušičnog oksida s brodova. Prilog zabranjuje spaljivanje opasnih i štetnih tvari na brodu, a obuhvaća i tvari koje oštećuju ozonski omotač.

Odabir optimalnoga porivnog sustava jedan je od najvećih izazova u projektiranju broda. Postavljaju se povećani zahtjevi sigurnosti plovidbe, visoke rentabilnosti i ekološke prihvatljivosti, čemu je ponekad teško udovoljiti.

Većina svjetske trgovine obavlja se morima i njima plove više od 86.000 prekooceanskih trgovačkih brodova, od kojih je 90% pogonjeno dizelskim motorima. Oni, iako pouzdani, efikasni, laki za održavanje, moraju udovoljiti i zahtjevima za što nižom emisijom štetnih plinova.

Ovim radom dan je samo kratak pregled najvažnijih metoda kojima se smanjuje emisija brodskih dizelskih motora i metoda što su najviše zastupljene. Posebna je pozornost posvećena NO_x-emisiji, prepoznatoj kao najvećoj i najopasnijoj, pa je u Prilogu definiran poseban tehnički NO_x-kod.

NO_x se ograničuje primarnim i sekundarnim metodama, od kojih prve mijenjaju konfiguraciju samog motora i djeluju izravno na proces izgaranja. Sekundarne se oslanjaju na uklanjanje NO_x iz ispušnih plinova izvan motora, i upravo se selektivno katalitičko smanjenje (SCR) pokazalo najučinkovitijim, i danas je najviše u uporabi.

Svaka od metoda nosi sa sobom i određeni kompromis; smanjenjem NO_x može se povećati potrošnja goriva ili emisija nekih drugih štetnih plinova.

²⁷ Prvi brodovi opremljeni SCR-sustavom plove još od 1999. godine; danas i Wärtsilä i MAN B&W nude SCR-tehnologiju dostupnu za sve motore.

²⁸ MAN B&W je 2001. godine naknadno ugradio SCR-sustav na LPG-brod opremljen 6S35MC-motorom i izvršio je usporedbu. Uz gotovo u potpunosti zadržane performanse rada glavnog motora, pri optimalnom opterećenju, emisija NO_x smanjila se deset puta i iznosila je manje od 2g/kWh.

Brodari, brodograđevna industrija i proizvođači različite brodske opreme, ali i zakonodavstvo, intenzivno rade na stvaranju novih spoznaja bitnih za odabir porivnog postrojenja i goriva te na prilagodbi onih postojećih zahtjevima sigurnosti i očuvanja okoliša.

Literatura

References

1. E. Birnie Boyle, *International Law and Environment Oxford*, New York, 1992., str. 397-402.
2. Lončarić-Horvat, *Osnove prava okoliša*, Zagreb, 1998.
3. NN, Međunarodni ugovori, 12/93.
4. NN, Međunarodni ugovori, 17/98. i 3/99.
5. NN, Međunarodni ugovori, 11/93.
6. NN Međunarodni ugovori, 1/8/96.
7. NN, Međunarodni ugovori, 2/96.
8. NN, Međunarodni ugovori, 9/00.
9. NN, Međunarodni ugovori, 1/92.
10. www.imo.org
11. www.manbw.com)
12. www.warstila.com.
13. www.unfccc.int
14. www.unece.org

Rukopis primljen: 6.12.2004.

