

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

KRISTIJAN LENAC

**USPOREDBA I NAČIN SMANJENJA EMISIJE ŠTETNIH
TVARI ZA RAZLIČITE VRSTE BRODOVA**

Magistarski rad

Rijeka, 2005.

SADRŽAJ

POPIS KRATICA	I
SAŽETAK	III
SUMMARY	IV
1. UVOD	1
1.1. Obrazloženje teme magistarskog rada i problema istraživanja	1
1.2. Postavljanje cilja istraživanja	1
1.3. Dosadašnje spoznaje	2
1.4. Prikaz metoda istraživanja	2
1.5. Struktura rada	2
2. OPĆENITO O EMISIJI ŠTETNIH TVARI	4
2.1. Pregled svjetske flote	5
2.2. Sastav ispušnih plinova	6
2.3. MARPOL 73/78 – prilog VI	8
2.4. Metode mjerenja emisije	9
3. GLAVNE KARAKTERISTIKE ŠTETNIH TVARI KOJE SE EMITIRAJU S BRODOVA	12
3.1. Dušični oksidi (NO _x)	12
3.1.1. Mehanizam stvaranja NO _x kod diesel motora	14
3.1.2. Propisi o smanjenju emisije NO _x	15
3.2. Ugljični monoksid (CO)	16
3.3. Ugljični dioksid (CO ₂)	17
3.4. Lakoisparljive organske komponente (LOK)	17
3.5. Čestice (ČČ)	18
3.6. Sumporni oksidi (SO _x)	18
4. OBILJEŽJA GORIVA I NJIHOV UTJECAJ NA EMISIJU	20
4.1. Karakteristike diesel goriva	20
4.1.1. Pepeo	20
4.1.2. Sumpor	20
4.1.3. Voda	21
4.1.4. Viskozitet	21
4.1.5. Gustoća	22
4.1.6. Točka zapaljenja	22
4.1.7. Kvaliteta izgaranja	23
4.1.8. Temperatura krutišta	23
4.1.9. Vanadij i natrij	24
4.1.10. Stabilnost i kompatibilnost	24
4.1.11. Čestice katalizatora	24
4.1.12. Ugljik	25
4.2. Alternativna goriva	28

4.2.1.	Električna energija	28
4.2.2.	Etanol	29
4.2.3.	Metanol	30
4.2.4.	Prirodni plin u tekućem stanju	30
4.2.5.	Komprimirani prirodni plin	31
4.2.6.	Propan	32
4.2.7.	Biodiesel	33
4.2.8.	Nuklearna energija	33
4.3.	Aditivi koji se dodaju gorivu	36
4.3.1.	Poboljšivači protoka goriva u hladnom stanju	37
4.3.2.	Aditivi za poboljšano podmazivanje	37
4.3.3.	Aditivi za poboljšanje cetanskog broja	38
4.3.4.	Aditivi za poboljšanje karakteristika goriva	38
4.3.5.	Aditivi za poboljšanje karakteristika goriva u toplom stanju	39
4.4.	Utjecaj goriva na emisiju	39
5.	PROCJENJIVANJE EMISIJE ŠTETNIH TVARI S BRODOVA	41
5.1.	Proračun teoretskog faktora emisije štetnih tvari	41
5.2.	Izračun jednadžbi potrošnje goriva	45
5.3.	Proračun emisije štetnih tvari s brodova	55
5.4.	Usporedba emisije štetnih tvari s brodova ovisno o vrsti broda i vrsti pogonskog stroja	59
5.4.1.	Kontejnerski brodovi	61
5.4.2.	Tegljači	66
5.4.3.	Putnički+Ro-Ro+teretni brodovi	71
5.4.4.	Putnički brodovi	76
5.4.5.	Brodovi za prijevoz rasutog tereta	81
5.4.6.	Tanker	86
5.4.7.	Brodovi za prijevoz generalnog tereta	91
6.	METODE SMANJIVANJA EMISIJE ŠTETNIH TVARI S BRODOVA	96
6.1.	Primarne metode	97
6.1.1.	Preinake sustava izgaranja	97
6.1.1.1.	Omjer kompresije i odgođeno vrijeme ubrizgavanja	97
6.1.1.2.	Preinake na ubrizgaču goriva i povećanje broja ubrizgača goriva	100
6.1.2.	Preinake sustava za dovod zraka	102
6.1.2.1.	Hlađenje ispirnog zraka	102
6.1.2.2.	Povećanje tlaka ispirnog zraka	102
6.1.3.	Izravno ubrizgavanje vode	102
6.1.4.	Recirkulacija ispušnih plinova	105
6.1.5.	Korištenje emulzije vode i goriva	107
6.1.6.	Sustav zajedničkog cjevovoda	109
6.2.	Sekundarne metode	110
6.2.1.	Selektivna katalitička redukcija	110
6.2.2.	Upotreba goriva s malim postotkom sumpora	112
6.2.3.	Sustav smanjenja emisije pomoću plazme	114

7. USPOREDBA NAJČEŠĆE UPOTREBLJIVANIH POGONSKIH STROJEVA S OBZIROM NA EMISIJU ŠTETNIH TVARI	115
8. ZAKLJUČAK	118
LITERATURA	121
POPIS SLIKA	123
POPIS GRAFOVA	123
POPIS TABLICA	126
PRIVICI	128
1. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod brodova za prijevoz generalnog tereta	129
2. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod brodova za prijevoz rasutog tereta	138
3. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod putničkih brodova	148
4. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod putničkih+Ro-Ro+teretnih brodova	157
5. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod tankera	166
6. Izračun jednadžbe potrošnje goriva kod tegljača	176

SAŽETAK

Sve veći stupanj onečišćenja atmosfere predstavlja vrlo velik problem u svijetu. Onečišćenje je zadnjih godina značajno prešlo dozvoljene granice te je sve više u središtu zanimanja svjetske javnosti. Štetne tvari kao što su dušični oksidi, sumporni oksidi, ugljični monoksid, ugljični dioksid, lakoisparljive organske komponente i čvrste čestice uzrokuju brojne zdravstvene i ekološke probleme. Iako su glavni zagađivači atmosfere cestovna vozila, industrija i elektrane, vrlo bitan utjecaj imaju i brodska energetska postrojenja.

Prvi korak u sprečavanju daljnjeg zagađenja atmosfere predstavljaju razni propisi. Poštivanje propisa jedini je način da se onečišćenje atmosfere svede ispod dozvoljenih granica, a za svako kršenje tih propisa treba uvesti stroge kazne. Najvažniji propis koji se tiče pomorskog prometa je prilog VI MARPOL 73/78 konvencije. Vrlo bitnu ulogu u smanjenju onečišćenja ima i što bolja suradnja zakonodavnih tijela i pomorskog gospodarstva, uz pomoć nauke koja mora doprinijeti što boljem razumjevanju tog problema.

Istraživanjima se je došlo do brojnih metoda kojima je moguće smanjiti emisiju štetnih tvari iz brodskih energetskih postrojenja. Te metode neznatno poskupljuju brodsko energetska postrojenja, a značajno pridonose smanjenju emisije štetnih tvari ispod dopuštenih granica. Tim metodama je moguće spriječiti nastajanje štetnih tvari unutar samoga motora ili je moguće neutralizirati već nastale štetne tvari na izlazu iz motora.

U radu je prikazana štetnost svih glavnih zagađivača koje u atmosferu ispuštaju brodska energetska postrojenja. Izvršena je i usporedba emisije štetnih tvari kod različitih vrsta brodova s obzirom na bruto tonažu i vrstu pogonskog stroja. Prikazane su primarne i sekundarne metode kojima se smanjuje emisija štetnih tvari ispod dopuštenih granica. Pošto je kvaliteta goriva bitan sudionik u emisiji štetnih tvari u radu je dan kratak pregled karakteristika goriva te su navedena alternativna goriva koja bi u budućnosti mogla zamijeniti teško dizel gorivo. Izvršena je i usporedba plinskih turbina i dizelskog motora s obzirom na emisiju štetnih tvari.

Ključne riječi: emisija štetnih tvari, vrste brodova, energetska postrojenja, metode smanjenja emisije, goriva

SUMMARY

High level of atmosphere contamination represents very big problem in the world. In the few last years contamination has exceed permitted limits and is in the middle of the public interest. Air pollutants like nitrogen oxides, sulfur oxides, carbon monoxide, carbon dioxide, volatile organic compounds and particulate matters causes many health and environmental problems. Although the main contributors to pollution are road vehicles, industry and power plants, significant influence also have ship engines.

First step in reduction of atmosphere contamination are regulations. Keeping to this regulations is the only way of reduction atmosphere contamination below permitted limits, and breaking this regulations must be strictly punished. The main regulation considering marine traffic is Anex VI of MARPOL 73/78 convention. The essential role in contamination reduction have good co-operation between legislative body and marine administration, with assistance of science which is essential for better understanding of this problem.

There are many different methods of emission reduction from ship engines. This methods slightly rises price of ship engine, but significantly contribute to emission reduction below permitted limits. With this methods is possible to prevent production of air pollutants in the engine or neutralize already produced air pollutants.

This work outlines noxiousness of all major air pollutants which are emitted in the atmosphere from the ship engines. In the work is carried out comparison of air pollutant emission at different types of ships considering gross tonnage and type of ship propulsion. This work describes primary and secondary methods which are used for air pollutants reduction below permitted limits. Since the fuel quality is essential contributor in air pollutant emission, the main characteristics of fuel are described and alternative fuels which could be used in future are mentioned. Comparison of gas turbines and diesel engine according air pollutant emission is made.

Key words: *air pollutant emission, ship types, ship engine, methods of emission reduction, fuels*