

# SPREČAVANJE ŠTETNIH EMISIJA IZ ISPUŠNIH PLINOVA BRODSKIH DIZELSKIH MOTORA

UDK 629.12.03:621.436:66.074.48:504.06

Stručni rad

Professional paper

## Sažetak

Najveća smanjenja štetnih emisija postižu se uporabom emulziranih goriva i tretmanom ispušnih plinova (SCR - metoda).

Međunarodni propisi koji će ograničiti količine štetnih sastojaka u ispušnim plinovima još su u fazi usuglašavanja, a na snagu stupaju najvjerojatnije u 2000. godini.

Vodeći proizvođači brodskih motora ubrzano razvijaju svoje metode smanjenja štetnih emisija.

## 1. Međunarodni propisi

Iako IMO još nije prihvatio aneks Marpolu u vezi sa smanjenjem sadržaja NOx (dušikovih oksida) u ispušnim plinovima, proizvođači motora već konstruktivno rješavaju taj problem. Izgleda da će brodski motori biti izuzeti od zahtjeva za smanjenjem NOx do kraja ovog stoljeća. Naime, dok protokol stupi na snagu i dok se usuglase metode mjerenja i nadzora, potrebno je pronaći načine kako se riješiti viška NOx. Nekoliko proizvođača motora kojih su zemlje članice IMO-a rade na izmjenama unutar brodskih motora.

IMO je u procesu formulacija pravila označio glavne štetne sastojke u ispušnim plinovima. To su SOx (sumporni oksid) i NOx. Sadržaj SOx ovisi o sadržaju sumpora u gorivu. Za NOx se predlaže drastično smanjenje od 70% u 2000. godini, za SOx smanjenje od 50%, dok se za VOC<sup>1</sup> planira smanjenje od 30%. (Sva smanjenja u odnosu su prema dosadašnjim referentnim razinama koje se utvrđuju).

U samoj Europskoj zajednici prati se razvoj IMO-pravila i razmatraju se lokalni zahtjevi. Tako Francuska predlaže da se smanji sadržaj sumpora u gorivima 90%. U SAD u lukama zapadne obale priprema se donošenje strogih lokalnih propisa (*Californian rules*) u vezi s

<sup>1</sup> VOC - volatile organic compounds / isparljivi organski sastojci

\* Željko Kurtela, dipl.inž. pom. prometa  
Pomorski fakultet Dubrovnik  
Dubrovnik

onečišćenjem atmosfere s brodova. Baltički trajekti i ostali obalni brodovi u Skandinaviji ili trebaju prijeći na korištenje gorivom s nižim sadržajem sumpora ili će biti opterećeni većim taksama.

U Gothenburgu (Švedska) zahtijeva se da svaki brod bude priključen na obalni električni priključak umjesto da mu radi dizelski generator.

Tablica 1. \* Predložene dopuštene NOx emisije za obalne vode Kalifornije

| Glavni porivni stroj (dizelski motor) | Primjena          | Dopuštena koncentracija |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| NOx                                   | novi brodovi      | 130 ppm                 |
| NOx                                   | postojeći brodovi | 600 ppm                 |
| Dizelski generatori                   |                   |                         |
| NOx                                   | novi brodovi      | 600 ppm                 |
| NOx                                   | postojeći brodovi | 750 ppm                 |
| svi motori                            |                   |                         |
| Faktor dima                           | svi brodovi       | Ringelmann 1            |

\* Prijedlog će stupiti na snagu od 1. siječnja 1995., a vrijedit će za brodove koji upotrebljavaju dizelske motore i koji plove unutar 100 Nm od obale i tu se zadržavaju više od 100 sati godišnje.

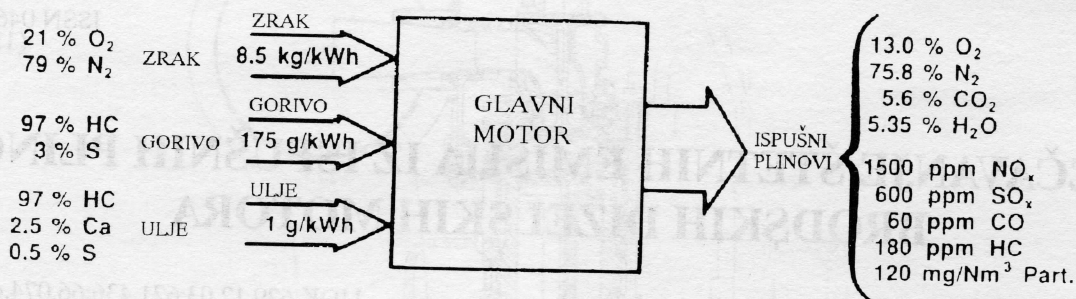
## 2. Sastojci ispušnih plinova

Brodski motori razvijani su tako da izgaraju goriva loše kvalitete uz mali specifični potrošak. Na sl. 1. prikazan je uobičajen sadržaj pojedinih sastojaka unutar ispušnih plinova.

Sadržaj štetnih sastojaka kao što su NOx (dušikov oksid), SOx (sumporni oksid), CO (ugljični monoksid), HC (ugljikovodik) i krute čestice dan je u ppm.

Sadržaj NOx ovisan je o maksimalnoj temperaturi izgaranja. SOx je u funkciji sadržaja sumpora u gorivu, a CO je relativno nizak za velike motore.

Tablica 2. daje prikaz emisije štetnih sastojaka za MAN B&W 10K60MC motor koji je rabio gorivo sa 2,25% S. Sastojci ispušnih plinova prikazani su na pet raznih načina mjerenja.



Slika 1. Uobičajen sadržaj pojedinih sastojaka u ispušnim plinovima

Tablica 2.

Prikaz raznih načina mjerenja emisije ispušnih plinova za MAN -B& W 10K60MC (temperatura okoline 25°C, relativna vlažnost 50%)

|                       | ppm  | g/Nm <sup>3</sup> | g/KWh | g/kg goriva | Kg/h  |
|-----------------------|------|-------------------|-------|-------------|-------|
| NO <sub>x</sub>       | 1660 | 3,41              | 18,63 | 99,9        | 352,1 |
| CO                    | 60   | 0,08              | 0,41  | 2,2         | 7,7   |
| HC (CH <sub>4</sub> ) | 300  | 0,22              | 1,17  | 6,3         | 22,2  |
| SO <sub>x</sub>       | 545  | 1,56              | 8,52  | 45,7        | 161,0 |
| O <sub>2</sub>        | 13,7 | 196               | 1070  | 5740        | 20225 |
| CO <sub>2</sub>       | 5,6  | 108               | 590   | 3170        | 11188 |
| H <sub>2</sub> O      | 0    | 0                 | 250   | 1350        | 4747  |
| Krute čestice         | -    | 0,12              | 0,66  | 3,52        | 12,1  |

### 2.1. Kisik (O<sub>2</sub>)

Današnji brodski motori rade s pretičkom zraka i do 3. U motora s križnom glavom u ispušnim plinovima sadržano je od 13 do 16% O<sub>2</sub>.

### 2.2. Dušik (N)

Dušika u atmosferi ima 80%. Jasno je da je zbog toga on najviše zastupljen u ispušnim plinovima. Tu ga ima oko 75%. Mali dio toga dušika izaziva kemijsku reakciju i stvara NO<sub>x</sub>. Inače sam dušik u ispuhu nije štetan.

### 2.3. Ugljični dioksid, vodena para (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)

Izgaranjem ugljikovodika u motoru stvaraju se ugljični dioksid i vodena para. Ugljični dioksid u koncentraciji od oko 5% koliko ga ima u ispušnim plinovima, ipak izaziva pozornost ekologa, pa se njegov postotak nastoji smanjiti. Načini smanjenja CO svode se na konstrukciju motora s velikim stupnjem toplinske iskoristivosti.

U nekim slučajevima voda se dodaje u gorivo prije ubrizgavanja. To povećava sadržaj vodene pare u ispuhu, ali s gledišta zaštite okoliša taj podatak nije bitan.

### 2.4. Ugljični monoksid (CO)

Sadržaj ugljičnog monoksida u ispušnim plinovima ovisi o pretičku zraka, temperaturi izgaranja i o načinu stvaranja makrosmjese u cilindru. Današnji suvremeni motori, zbog velikog pretička zraka i dobrog izgaranja, imaju malu emisiju CO<sub>2</sub> (oko 60ppm). Ugljični je monoksid sastojak koji može izgorjeti i do njegova smanjenja dolazi se poboljšavajući proces izgaranja.

### 2.5. Dim

Tradicionalna ocjena kvalitete izgaranja je vizualna kontrola količine dima na kraju ispušnog kolektora.

Sam dim vidljiv je zbog više razloga. To mogu biti krute čestice koje nisu izgorjele, dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>), koji je smeđe boje, ili kondenzirana vodena para.

Iako veći intenzitet dima i ne mora uvijek značiti povećano onečišćenje okoliša, u nekim zemljama (SAD) donose se propisi o dopuštenom dimnom faktoru. Ima raznih metoda mjerenja sadržaja dima, od kojih su najčešće:

- Boschov dimni broj (*Bosch Smoke Number*) skala od 0 do 10 BSN
- Bacharachov dimni broj (*Bacharach Smoke Number*) skala od 0 do 9 BSN
- Te dvije metode sastoje se u mjerenju stupnja zatamnjavanja bijelog filterskog elementa kroz koji protječe izvjesna količina ispušnih plinova.
- Hartridgeova dimna vrijednost (*Hartridge smoke value*) mjereno u %
- Ringelmann/ov broj (*Ringelmann Number*), skala 0-5
- opća neprovidnost (*Opacity general*)

Te metode baziraju se postotku svjetlost koja može prodrijeti kroz izvjesnu količinu ispušnih plinova.



Mjeriti se može raznim instrumentima. U SAD-u se kroz odgovarajući instrument vizualno uspoređuje boja ispušnog plina s bojama u postojećoj ljestvici boja koja se nalazi u instrumentu. Takvo mjerenje prilično je nepouzđano jer ovisi o atmosferskim uvjetima.

## 2.6. Krute čestice

Krute čestice u ispušnim plinovima nastaju zbog

- a) djelomičnog izgaranja goriva
- b) djelomičnog izgaranja cilindarskog ulja (u motora s križnom glavom)
- c) izbacivanja starijih naslaga iz prostora za izgaranje.

Uobičajene vrijednosti udjela krutih čestica u ispušnim plinovima su od 120 do 150 mg/Nm<sup>3</sup>. Te su čestice vrlo male i više od 90% njih manje je od 1 mikrona. Veće čestice nastaju samo zbog odljepljivanja naslaga gareži koja se u radu motora nataložila u prostoru za izgaranje i u ispušnom kolektoru.

Krute čestice sadržavaju nešto pepela nastalog izgaranjem ulja i tragove metala.

## 2.7. Ugljikovodici (HC)

Tijekom trajanja procesa izgaranja samo mala količina ugljikovodika ne sagori. Ti se ugljikovodici tretiraju kao štetni sastojak ispušnih plinova. Sadržaj u ispuhu im se kreće do 300 ppm i ovisi najviše o vrsti goriva. Metan CH<sub>4</sub> osobito je štetan ugljikovodik.

## 2.8. Sumporni oksid (SOx)

Zna se da je u gorivima uvijek prisutan izvjestan postotak sumpora. Taj se sumpor pretvara u sumporne okside, i to najvećim dijelom u sumporni dioksid SO<sub>2</sub> i sumporni trioksid SO<sub>3</sub>. Omjer između SO<sub>2</sub> i SO<sub>3</sub> je najčešće 15:1. Stvaranje sumpornih dioksida u procesu izgaranja je neizbježno. Znači da je emisija SOx ovisna o sadržaju sumpora u gorivu i može se smanjiti jedino ako se smanji sadržaj sumpora u gorivu ili odstrani SOx iz ispuha.

Mali dio sumpora može se neutralizirati u motoru s pomoću alkalnih cilindričnih ulja (u motorima s križnom glavom). Tim načinom jedan mali dio SO<sub>2</sub> pretvori se u kalcijski sulfat.

Zbog svoje štetnosti, sadržaj se SOx mora ograničiti. Najjednostavniji način smanjivanja SOx je ograničavanje sadržaja sumpora u gorivu. Sljedeći je način odstranjivanje SOx iz ispušnih plinova s pomoću čistioća koji radi na načelu vodenog spreja. Ispušni plinovi prolaze kroz vodeni sprej i SOx se veže na vodu. Međutim, pri tom vezivanju stvara se sumporna kiselina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), koja je opet štetna, i tako umjesto onečišćenja zraka problem je samo skrenut u more. Ima i načina kemijskog odstranjivanja sumpora iz H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ali su neprikladni za brodske izvedbe.

Cijena današnjih goriva ovisi i o sadržaju sumpora, i brodovlasnici će se morati orijentirati na kvalitetnija i skuplja goriva.

## 2.9. Dušikov oksid (NOx)

Sadržaj NOx ovisi o temperaturi izgaranja i pretičku zraka, odnosno količini O<sub>2</sub>. Ispitivanja su pokazala da promjena temperature od 100°C može izazvati promjenu sadržaja NOx za 300%.

Prilikom izgaranja goriva, u početku nastaje NO i on se poslije tijekom ekspanzije i unutar ispušnog kolektora djelomično pretvara u NO<sub>2</sub>.

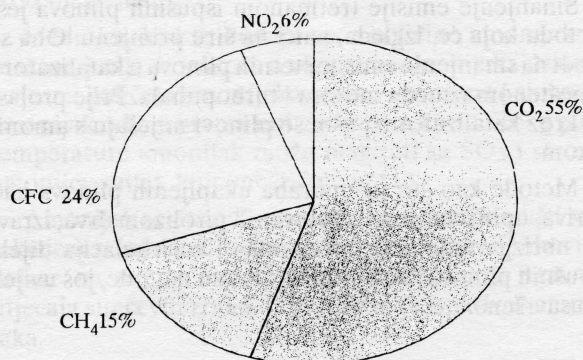
Otprilike 5% NO pretvori se u NO<sub>2</sub>.

Moderni dizelski motori zbog kvalitetnog izgaranja i kontrole temperature izgaranja imaju mali udio NOx u ispuhu. On iznosi oko 1 500 ppm. Taj udio nije velik, ali se u prijedlozima ograničenja on mora drastično smanjiti. Naime, NOx je uz CO<sub>2</sub>, SOx i CH<sub>4</sub> najštetniji sastojak u ispušnim plinovima. Svi oni zajedno, naime, u atmosferi uzrokuju povećanje prosječne temperature Zemljine kore i atmosfere.

Pretvaranje NO u NO<sub>2</sub> nastavlja se u atmosferi nakon što plinovi napuste ispušni kolektor. NO<sub>2</sub> je kao i SOx topiv u vodi pa se može ukloniti iz atmosfere kišama, samo što se onda povećava sadržaj tih soli u Zemljinoj kori.

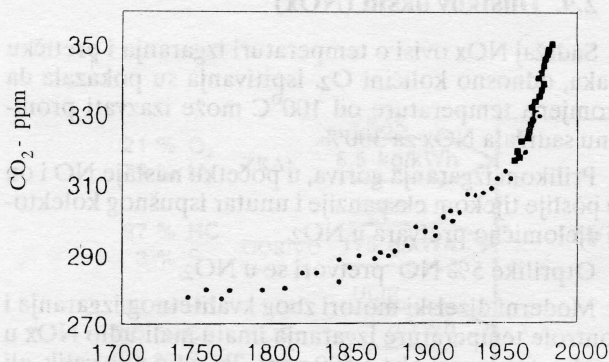
## 3. Efekt "staklenika"

Neki plinovi u Zemljinoj atmosferi propuštaju sunčevu svjetlost i upijaju infracrvene zrake koje se odbijaju od Zemljine površine. Bez udjela tih plinova u atmosferi prosječna temperatura na Zemlji bi bila oko -20°C i na toj temperaturi život bi bio teško moguć. Međutim, s postupnim povećanjem plinova u Zemljinoj atmosferi koji izazivaju efekt "staklenika", temperatura atmosfere i Zemljine kore sve se više povisuje. Na slici 2. dat je prikaz udjela u atmosferi plinova koji izazivaju efekt staklenika.



Slika 2. Udio plinova u Zemljinoj atmosferi koji uzrokuju porast temperature (efekt staklenika)

Temperatura Zemljine atmosfere sve se više povisuje zbog sve većeg udjela freona, metana, dušikova dioksida i ugljičnog dioksida u atmosferi. Slika 3. daje prikaz povećanog sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi.



Slika 3. Povećanje sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi od godine 1750.

#### 4. Metode smanjenja štetnih emisija

Proizvođači brodskih motora, "pritisnuti" skorim donošenjem strogih propisa u vezi s emisijom ispušnih plinova, nastaje taj problem riješiti na više načina:

- smanjivanjem količine NO<sub>x</sub> u procesu izgaranja (uporaba emulziranih goriva)
- smanjenjem količine NO<sub>x</sub> tretmanom ispušnih plinova
- upotrebom goriva sa što manje ugljika, kao što su ukapljeni plinovi
- upotrebom goriva dobivenih pirolizom drva
- izravnim ubrizgavanjem vode u prostor izgaranja
- recirkulacijom dijela ispušnih plinova.

Metoda korištenja emulziranim gorivima, gdje su s pomoću specijalnih rasprskaača miješa teško gorivo i voda, sve se više napušta.

Naime, iako su postignuti odlični rezultati u smanjenju emisije štetnih plinova, ovom metodom povećava se potrošnja goriva oko 3%, i rasprskaači zahtijevaju dvostruko češću zamjenu elemenata.

Smanjenje emisije tretmanom ispušnih plinova jest metoda koja će, izgleda, naići na širu primjenu. Ona se svodi na smanjenje emisije štetnih plinova u katalizatoru smještenom između motora i turbopuhala. Prije prolaska kroz katalizator ispušni se plinovi miješaju s amonijakom.

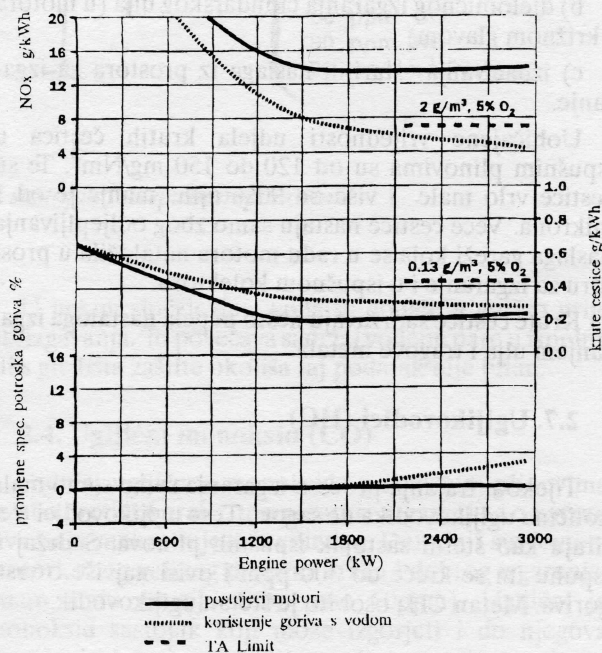
Metode kao što su uporaba ukapljenih plinova kao goriva, upotreba goriva dobivenih pirolizom drva, izravno ubrizgavanje vode u cilindar i recirkulacija dijela ispušnih plinova eksperimentalne su metode, još uvijek neusavršene.

##### 4.1. Smanjivanje količine NO<sub>x</sub> u procesu izgaranja (upotreba emulziranih goriva)

Ispitivanja su pokazala da je ovom metodom moguće postići smanjenje emisije NO<sub>x</sub> od 30%, ali uz povećani potrošak goriva od 3%. Rezultati dobiveni na ispitnom motoru (Ricardo) prikazani su na sl. 4., a ispitivanja na MAN - B& W motoru prikazana su na sl. 5.

Smanjenje NO<sub>x</sub> emisije na MAN - B&W motoru postignuto je kombinacijom korištenja emulzijom teško gorivo/voda sa 22% vode i smanjenjem maksimalnog tlaka izgaranja za 5 bar. Na motoru su zastupljene posebne izvedbe rasprskaača. S novim rasprskaačima uspjelo se postići smanjenje od 20 do 25% NO<sub>x</sub>, 50% smanjenje Boschova dimnog broja i 15 — 30% smanjenje nesagorivih ugljikovodika.

Dodavanje vode u gorivo zahtijevalo je i upotrebu homogenizatora za pripremu goriva.



Slika 4. Smanjenje NO<sub>x</sub> korištenjem emulziranih goriva s vodom (Ricardo ispitni motor)

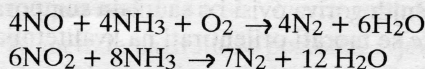
\* TA Limit - German TA Luft emission Limits

Inspekcija izvršena nakon 10 000 sati rada pokazuje zadovoljavajuće čistoće cilindara, sustav goriva i viskotlačne pumpe nisu stvarali teškoće u radu, osim rasprskaača, za koje se zahtijeva dvostruko češća izmjena elemenata nego u klasičnim izvedbama.

Nedostaci ove metode su u tome što je ograničena na teška goriva jer laka goriva nemaju postojanost emulzije s vodom.

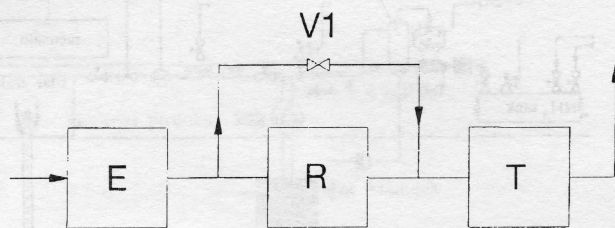
##### 4.2. Smanjenje količine NO<sub>x</sub> tretmanom ispušnih plinova

Oduzimanje NO<sub>x</sub> iz ispušnih plinova postiže se upotrebom selektivne katalitičke redukcije (SCR - *Selective Catalytic Reduction*) u ispušnom kolektoru. S pomoću ove metode ispušni se plinovi miješaju s amonijakom (NH<sub>3</sub>) prije prolaska kroz posebne katalizatore. U katalizatorima se NH<sub>3</sub> i NO<sub>x</sub> na temperaturi između 300 i 400°C svode na N<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Kemijska reakcija izgledala bi kako slijedi:

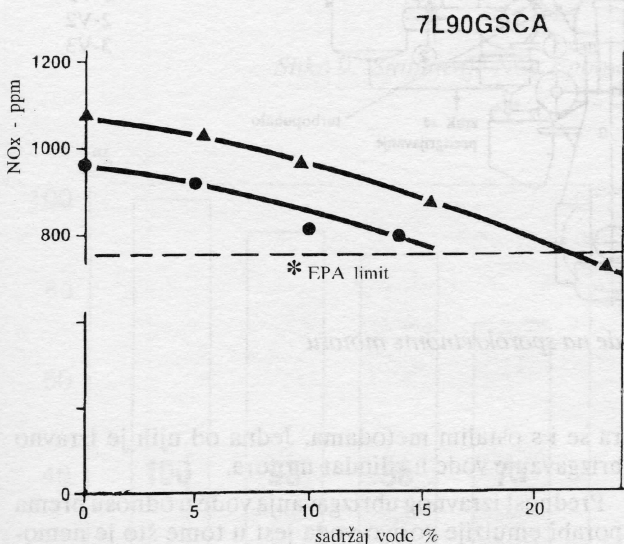




Vidi se da kisik mora biti prisutan u procesu razlaganja. Pri povišenoj temperaturi NH<sub>3</sub> će prije izgorjeti nego što uspije kemijski reagirati. Pri nižim temperaturama reakcija će biti slaba i kondenzacija uništava katalizator. Više od 90% NO<sub>x</sub> odstranjeno je SCR- metodom. Uz to odstranjene su i krute čestice i nesagorjeli ugljikovodici u velikom postotku. Ova metoda prvi put je upotrebljena na dizelskoj električnoj centrali na Farskim otocima. Tip motora bio je 12 L55 GSCA MAN-B&W, a gorivo je bilo teško gorivo viskoziteta 380 cSt/50°C sa 2,5 sumpora i 0,04% pepela.



Slika 6. Dijagram tijeka SCR- metode



Slika 5. Smanjenje sadržaja NO<sub>x</sub> na 7L90 GSCA MAN-B/W motoru

\* US-EPA Limit (Federal Rules of USA Environmental Protection Agency)

U početku eksploatacije pojavile su se teškoće s krutim česticama koje su izazivale pad tlaka kroz katalizator. Nakon 2 000 sati rada problem je riješen drukčijom izvedbom strujanja ispušnih plinova kroz katalizator. Katalizator je također preuređen da izdrži vibracije samog motora.

S tim izmjenama SCR-metoda zadovoljila je uvjete komercijalne primjene.

Na sl. 6. prikazan je dijagram tijeka SCR-metode.

### 4.3. Praktične primjene metode tretmana ispušnih plinova (SCR-metoda)

Porivni stroj na kojem je na stalnu komercijalnu primjenu našla SCR-metoda bio je MAN-B&W 6S50 MC, sporokretni motor izgrađen 1989. u Hyundai Heavy Industries.

Budući da je za optimalnu temperaturu SCR-metode potrebna temperatura od 300 do 400°C, reaktor se nalazi između motora i turbopuhala, kao što se vidi na sl.6.

Kad se zahtijeva kontrola NO<sub>x</sub>, ispušni se plinovi vode kroz reaktor, a kada ta kontrola nije potrebna, oni se vode preko by-pass ventila izravno u turbopuhalo.

Brodovi na kojima su ugrađene SCR-instalacije prevoze željeznu rudu do kalifornijskih luka.

Za ta područja uskoro stupaju na snagu strogi propisi u svezi s NO<sub>x</sub> sadržajem pa će se tijekom prolaska kroz ta područja na svim brodovima morati obaviti NO<sub>x</sub> kontrola. Izvan tih područja motor može raditi bez NO<sub>x</sub> kontrole.

Prikaz sustava SCR-metode dan je na sl. 7. Ventili 1, 2 i 3 u položajima su kako slijedi:

|                              | V1 | V2 | V3 |            |
|------------------------------|----|----|----|------------|
| sa NO <sub>x</sub> kontrolom | z  | o  | o  | o-otvoren  |
| bez NO <sub>x</sub> kontrole | o  | z  | z  | z-zatvoren |

Kada motor radi bez NO<sub>x</sub> kontrole, u ispuhu ima oko 1 600 ppm NO<sub>x</sub>, a kada je sustav uključen, onda je NO<sub>x</sub> ispod 130 ppm.

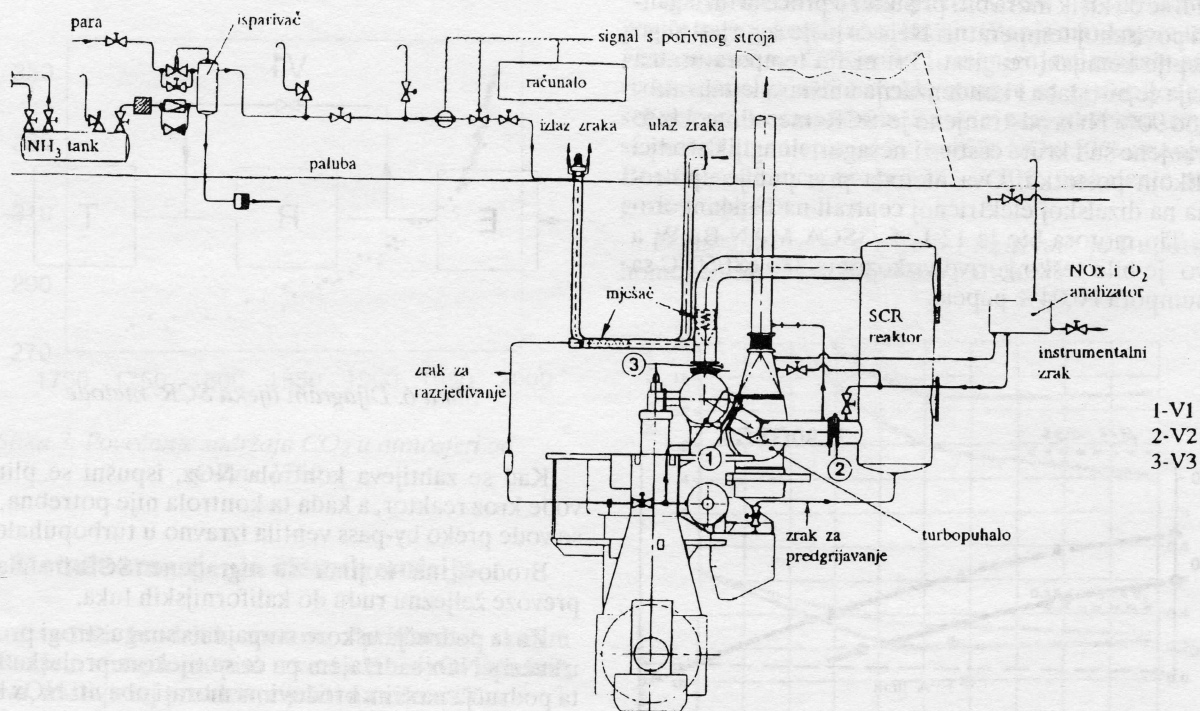
Iznos odstranjenog NO<sub>x</sub> ovisi o količini amonijaka koja se dodaje u reaktor. Što je više amonijaka, iznos NO<sub>x</sub> bit će manji.

Međutim, kad se dodaju veće količine amonijaka u reaktor, javlja se teškoća u vezivanju amonijaka. Naime, izvjesna količina amonijaka ostane nevezana i slobodni amonijak odlazi prema utilizacijskom kotlu. Zbog pada temperature amonijak može reagirati sa SO<sub>3</sub> i stvoriti amonijev sulfat, koji onečišćuje kotao.

Amonijak se dovodi u proces kao plin. Skladišti se u tekućem stanju pod tlakom od 5 do 10 bar. Tankovi se nalaze na palubi i moraju biti zaštićeni od izravnog utjecaja sunčevih zraka. Uz tankove je isparivač amonijaka.

Amonijak (NH<sub>3</sub>) je zapaljiv plin i zbog toga se odvodi prema reaktoru cjevovodom s dvostrukom stijjenkom. Prostor kroz koji prolazi cjevovod adekvatno je ventiliran i opremljen NH<sub>3</sub> detektorima. U mješaču NH<sub>3</sub> se razrjeđuje ispirnim zrakom iz ispirnog kolektora. U drugom mješaču mješavina NH<sub>3</sub> i zraka miješa se s ispušnim plinovima.

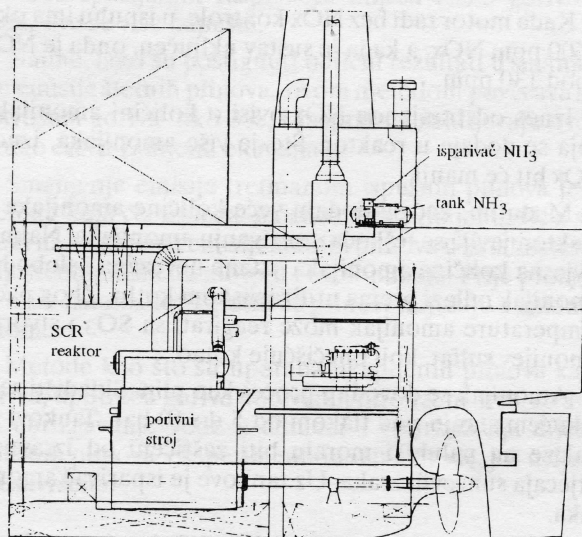
Radi sprečavanja slobodnog amonijaka u sustavu ispuha, vrlo je bitno da se stvori homogena smjesa na ulazu u SCR-reaktor. Količinom NH<sub>3</sub> koja ulazi u proces



Slika 7. Shematski prikaz SCR metode na sporokretnome motoru

upravlja procesor. Količina  $\text{NH}_3$  ovisi o sadržaju  $\text{NO}_x$  u ispuhu koji se permanentno mjeri.

U kontrolnoj kabini između ostaloga smješten je lokalni panel sustava kontrole  $\text{NO}_x$ . Na sl.8. prikazan je smještaj sustava u strojnici.



Slika 8. Smještaj sustava za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$

#### 4.4. Eksperimentalne metode smanjenja $\text{NO}_x$

Iako je SCR-metoda naišla na komercijalnu primjenu i u potpunosti zadovoljila buduće propise, eksperimen-

tira se i s ostalim metodama. Jedna od njih je izravno ubrizgavanje vode u cilindar motora.

Prednost izravnog ubrizgavanja vode u odnosu prema uporabi emulzije gorivo-voda jest u tome što je nemoguće postići stabilnu emulziju vode s lakim gorivima. Voda se dovodi u posebni rasprskič, a njezinom količinom upravlja procesor.

Sljedeća eksperimentalna metoda zasnovana je na recirkulaciji ispušnih plinova. Naime, u ispuhu dizelskog motora ima oko 14-17%  $\text{O}_2$  i moguće je jedan dio ispušnih plinova recirkulirati na usis turbopuhala. Prije ulaza u usisni kolektor turbopuhala plinovi se hlade na temperaturu koja mora biti niža od  $60^\circ\text{C}$ . Količinom ispušnih plinova koja recirkulira upravlja procesor, a on dobiva podatke od senzora  $\text{O}_2$ . Senzor je smješten u usisnom kolektoru i o količini  $\text{O}_2$  ovisi iznos recirkulirane količine ispušnih plinova (sl.9.).

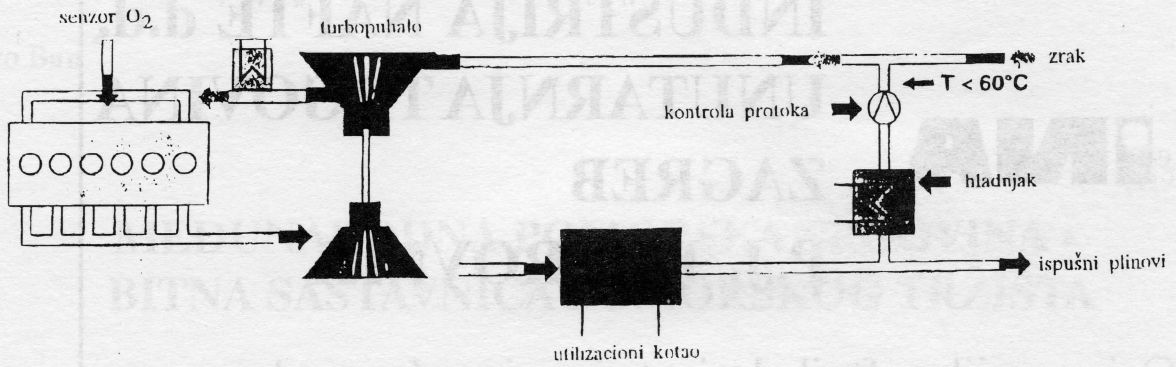
Uporabom lakših goriva i ukapljenih plinova stvara se manje štetne emisije u ispuhu. Prikaz relativne emisije  $\text{CO}_2$  iz raznih goriva dan je na sl.10.

Sljedeći način s kojim se eksperimentira je uporaba goriva kao što su alkohol, biljna ulja i goriva dobivena pirolizom drva. S pirolizom drva eksperimentira Warsila Diesel, razvijajući motor koji bi bio sposoban koristiti se gorivom dobivenim iz pirolize drvenih otpadaka.

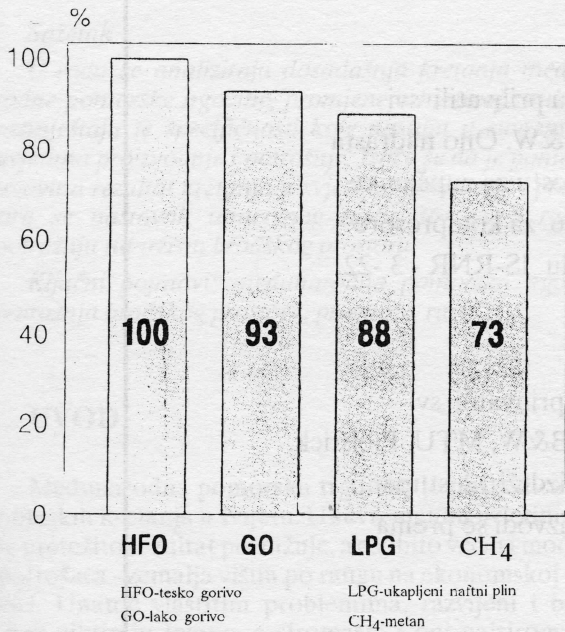
#### 5. Zaključak

Stanje Zemljina omotača sve je lošije, očita je prisutnost ozonskih rupa. Pogoršanje stanja omotača dovodi do prekomjernog zagrijavanja Zemljine kore i štetnog djelovanja sunčevih zraka na svaki oblik života na Zemlji.





Slika 9. Smanjenje NOx s pomoću recirkulacije dijela ispušnih plinova



Slika 10. Prikaz relativne emisije CO<sub>2</sub> iz raznih tipova goriva

Jedan od uzroka lošem stanju omotača je i štetna emisija iz ispušnih plinova dizelskog motora. Iako još nisu stupili na snagu propisi o količini dopuštenih štetnih sastojaka u ispušnim plinovima, proizvođači brodskih motora, znajući za prednacrt tih propisa, ubrzano rade na konstrukcijskim rješenjima koja će zadovoljiti buduće propise.

Štetna emisija NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> i isparljivih organskih sastojaka smanjuje se dodavanjem vode gorivu (emulzirana goriva) i tretmanom ispušnih plinova (SCR-metoda). U eksploataciji već ima brodova koji se koriste tim metodama.

### Literatura

1. Marine Engineering Society in Japan VOL.20 No.1 Tokyo 1992
2. Emission Control of Two-Stroke Low Speed Diesel Engines, Man- B&W Copenhagen, 1992
3. Development Driven by Emissions Legislation, The Motor Ship March, 1993
4. Exhaust Controls Await International Law, The Motor Ship, March 1994
5. Wartsila Diesel Emission Technology, Wartsila Diesel OY, Vaasa 1993

### PREVENTION OF HARMFUL EXHAUST GAS EMISSIONS FROM MARINE DIESEL ENGINES

#### Summary

The greatest harmful emission reduction is obtained by the use of emulsive fuels and exhaust gas treatment (SCR-method).

International legislation, which will confine the amount of harmful exhaust gas composition, is still being coordinated and it is most likely to be valid in 2000.

The methods of harmful emission reduction are being developed by the leading marine engine manufacturers.

Rukopis primljen: 15.10.1994.