

DIESELOV MOTOR I OKOLICA

SAŽETAK

U radu je dan pregled propisa kojima se u Europi i SAD ograničuje štetna emisija dizelskih motora. Rješenja problema nastalih zbog ograničenja štetne emisije podijeljena su u tri skupine: poboljšanje konstrukcije i tehnologije motora, primjena kvalitetnijih goriva i maziva, tretman ispuha nakon izlaska iz cilindra.

1. UVOD

Razvoj industrije nužno je uvjetovao razvoj transporta i transportnih sredstava u kojima je važno mjesto, kao pogonski agregat, zauzeo Diesellov motor. Razvojem tog motora postignuta je niža cijena eksploatacije, veća specifična snaga, dobra pouzdanost i veća trajnost, što mu je uz cijenu pogonskoga goriva, koja je, redovito, niža od cijene pogonskoga goriva za Ottove motore dalo primat u kamionskom, lokomotivskom, brodskom transportu kao i poljoprivrednim i građevinskim strojevima, a u posljednjih petnaestak godina počeli su zauzimati važno mjesto kao pogonski agregati osobnih vozila. Predviđanja su da će 1995. godine biti proizvedeno oko 15 milijuna dizelskih motora [2].

S obzirom na navedeni rast motorizacije poduzete su do 1960. godine opsežne mjere kako bi se smanjilo onečišćenje okolice. Najstrožja ograničenja, a ujedno i izazovne zahtjeve za proizvođače Ottovih i Diesellovih motora uvela je u Japanu i SAD EPA (Environmental Protection Agency), a njih slijedi Europa s ECE

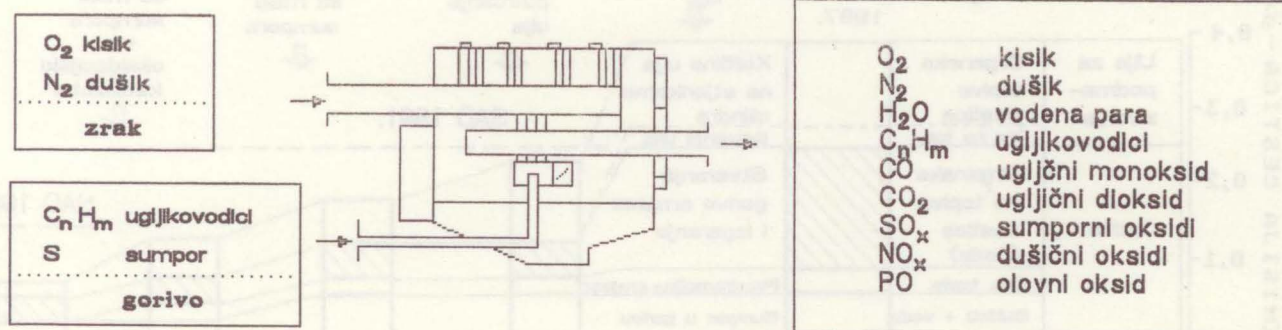
(Ekonomska komisija OUN za Europu) norma-ma.

2. ISPUH DIZELSKIH MOTORA

Štetni sastav ispuha čine plinovi (NO_x , SO_x , HC, CO, CO_2 , PO), čađa (materijal s ugljičnom osnovom nastao zbog nepotpunog izgaranja goriva i ulja za podmazivanje), čestice (partikule ili SOF = Souble Organic Fraction = neizgorjeli ugljikovodici od goriva i ulja za podmazivanje [2]).

	Kilotone (kt)	Postoci
Dušični oksidi (NO_x) ukupna emisija	3000	100
promet	1800	60
cestovni promet	1550	51,7
gospodarska vozila	oko 500	16,7
gospodarska vozila u cestovnom prometu		32,3
ČESTICE (PARTIKULE) ukupna emisija	550	100
promet	72	13,1
cestovni promet	55	10
privredna vozila	oko 35	6,4
privredna vozila u cestovnom prometu		63,7

Slika 2. Utjecaj zagađivača na onečišćenje okoline [3]



Slika 1. Ispuh dizelskih motora

Budući da Diesellovi motori, za razliku od Ottovih, stalno rade s viškom zraka, u njih nisu toliko izraženi ugljikovodici (HC) i ugljični monoksid (CO) u ispuhu, te se posebna pažnja posvećuje dušičnim oksidima (NO_x), odnosno dušičnom monoksidu (NO) i dušičnom dioksidu (NO₂), sumpornim dioksidima (SO₂ i SO₄) i česticama (partikulama). Mjerenja utjecaja zagađenja iz 1986. godine u SR Njemačkoj pokazala su sljedeće (sl. 2).

Radi smanjenja onečišćenja, donijeti su vrlo strogi zahtjevi na čistoću ispuha. Tako je za Europu donijet propis ECE R49 koji se temelji na testu s 13 varijacija opterećenja. Ispitivanje motora obavlja se na kočnici, a propis vrijedi za motore kamiona i autobusa s više od osam sjedala. Propis ECE R49 zahtijeva sljedeće (sl. 3):

Emisija	Europa				Švicarska			
	ECE R 49		88/77/EWG		1987.		1991.	
	g/kWh	%	g/kWh	%	g/kWh	%	g/kWh	%
NO _x	18	100	14,4	-20	14,4	-20	9	-50
HC	3,5	100	2,45	-30	2,10	-40	1,23	-65
CO	14	100	11,2	-20	8,4	-40	4,9	-65
Čestice	-	-	-	-	-	-	0,7	-
Termin od	donijeto '83		01.10.1990.		01.10.1987.		01.10.1991	

Slika 3. Propisi u Europi i Švicarskoj za smanjenje štetnih sastojaka u ispuhu

Za neke europske zemlje propis ECE R49 je poštren odlukom 88/77/EWG (Europäi-

schen Wirtschaftsgemeinschaft). No, prema "Dieselkonzeptu", U SR Njemačkoj od 1. siječnja 1986. homologirani dizelski motori moraju imati 20% niže vrijednosti od graničnih koje su definirane propisom ECE R49 (sl. 4).

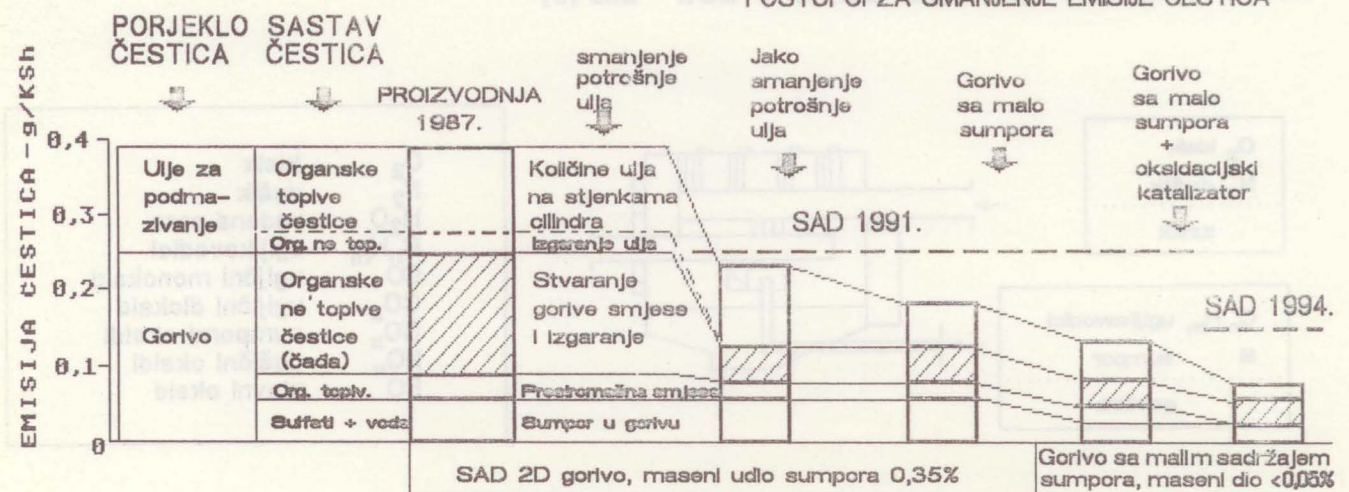
Emisija	ECE R 49		"Dieselkonzept"				CCMC	
	g/kWh	%	g/kWh	%	%	%	g/kWh	g/kWh
NO _x	18	100	14,4	-20	-20	-40	11	9
HC	3,5	100	2,8	-20	-40	-65	1,25	1,25
CO	14	100	11,2	-20	-40	-65	5	5
Čestice	-	-	-	-	-	0,7g/kWh	0,7	0,5
Termin	1983.	01.01.1986.	01.01.1988.	01.01.1990.	listopad 1992.	listopad 1996.		

Slika 4. Uvjeti za homologiranje motora

Daljnje aktivnosti su također usmjerene na smanjenje štetne emisije, pa je CCMC (Committee of Common Market Automobile Constructors) za 1989. godinu preporučio uvjete za homologaciju.

Emisija	g/KSh	g/KSh	g/KSh	g/KSh
NO _x	10,7	6,0	5,0	5,0
CO	15,5	15,5	15,5	15,5
HC	1,3	1,3	1,3	1,3
Čestice	0,6	0,6	0,25 (gradski autobusi 0,1)	
Termin:	1988.	1990.	1991.	1994.

Slika 5. Granične vrijednosti što ih je propisala EPA prema "Transient" testu



Slika 6. Strategija za redukciju čestica ispuha da bi se zadovoljili propisi EPA

U SAD je u osamdesetim godinama EPA postavila težište na ograničavanje štetne emisije u ispuhu da bi te odredbe bile dodatno pooštrenje u devedesetim godinama.

Također je potrebno uskladiti test koji vrijedi u SAD (od 1985. godine na snazi je "transient" test koji je propisala EPA) i testove u Europi (test s 13 promjena opterećenja prema ECE R49 i test s osam promjena opterećenja).

3. RJEŠENJE PROBLEMA POSTAVLJENIH ZAHTEJVIMA

Postupci koji se primjenjuju za smanjenje jedne štetne emisije redovito povećavaju drugu komponentu emisije što zahtijeva kompromisno rješenje. Načini rješavanja postavljenih zahtjeva su sljedeći:

1. poboljšanje konstrukcije i tehnologije motora,
2. primjena kvalitetnijih goriva i maziva,
3. tretman ispuha nakon izlaska iz cilindra.

3.1. Poboljšanje konstrukcije i tehnologije motora

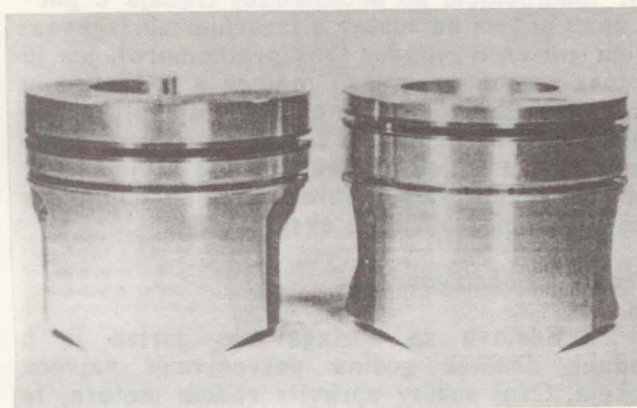
Emisija čestica potječe iz nekoliko izvora unutar motora. Utjecaje svih tih izvora treba proučiti da bi se mogao smanjiti utjecaj na štetnu emisiju. Kemijska analiza čestica pokazuje da se one sastoje uglavnom od neizgorjelih ugljikovodika goriva i ulja za podmazivanje, oksida i čađe.

Medusobni odnos čađe i neizgorjelih ugljikovodika u česticama ovisi o konstrukciji motora i o tehnologiji primijenjenoj u motoru. Reduciranje čađe zahtijeva poboljšanja na komori za izgaranje goriva i isto tako na izgaranju zaostalog ulja za podmazivanje. Budući da je potrošnja ulja (količina izgorjeloga zaostalog ulja) mnogo manja od goriva, utjecaj zaostalog ulja je gotovo zanemarljiv.

Poboljšanja na prostoru za izgaranje

Konstrukcija prostora za izgaranje (komore) ima najveći utjecaj na stvaranje čađe, a o konstrukciji ovog prostora ovise trajnost, pouzdanost i troškovi eksploatacije. O obliku komore i njenom položaju ovisi proces miješanja ubrizganoga goriva i zraka u cilindru čime se može poboljšati izgaranje, te time povećati snagu motora, a ujedno smanjiti štetnu emisiju.

Komora za izgaranje, koja se uglavnom izvodi u klipnu, sadrži više od pola ukupnog volumena cilindra u GMT. U ovom prostoru se miješa većina ubrizganoga goriva i prethodno usisanog zraka. Volumen koji utječe na štetnu emisiju sastoji se od: zazora nastalog zbog brtve glave motora, volumena od gornjega klipnog (kompresionog) prstena do čela klipa, i prostora u glavi motora nastalog zbog upuštanja ventila. Pomicanje prvoga klipnog prstena bliže čelu klipa znatno utječe na smanjenje emisije čestica u ispušnom plinu.



Slika 7. Izgled klipa s uobičajenom visinom prvoga klipnog prstena i klipa s pomaknutim prvim prstenom

Zanimljiva je ideja o izvedbi "dvodijelnog" klipa koji ima dio s komorom za izgaranje izrađen od čelika (keramičkih materijala) dok je ostali dio klipa izrađen od aluminijske legure. Prednost ove kompozitne izvedbe klipa jest u znatno pomaknutom gornjem klipnom prstenu prema čelu klipa, a ujedno su moguće više temperature izgaranja (za oko 100 K) što osigurava izgaranje većeg dijela čestica.



Slika 8. Izvedba "dvodijelnog" klipa

Na slici 8. uočljiva je jedna od varijanta poboljšanja oblika komore za izgaranje koja omogućuje bolju turbulenciju usisanog zraka (komora u obliku meksičkog šešira). Pri ispitivanju ove komore [2] uočeno je da se smanjila emisija čađe, smanjila se specifična potrošnja goriva, a povećani su maksimalni moment i snaga. Također je uočeno da je bolja značajka ispušnog plina pri nižem kompresijskom odnosu (ispitivani su motori sa stupnjem kompresije 15,4 : 1 i 17 : 1) što pokazuje da je komparativna prednost na strani motora s manjim stupnjem

jem kompresije.

Sve to pokazuje da motori snage do 180 kW (namijenjeni za automobile) trebaju u potpunosti prijeći na sustav s izravnim ubrizgavanjem goriva u cilindru (bez pretkomore), jer je gotovo nemoguće izvesti motore s podijeljenim prostorom izgaranja koji bi zadovoljavali propisane zahtjeve. Motori s takvim sustavom izgaranja još su uvijek u razvoju zbog brojnih tehničkih i tehnoloških problema koji se pojavljuju pri njihovom uvođenju u eksploataciju.

Sustav za ubrizgavanje

Sustavu za ubrizgavanje goriva je u zadnjih desetak godina posvećivana najveća pažnja. Ovaj sustav upravlja radom motora, te bitno utječe na vanjske značajke motora kao i na štetnu emisiju ispušnih plinova.

Obavljani su testovi [2] na jednocilindarskom motoru sa sustavom za ubrizgavanje koji je imao konstantni tlak ubrizgavanja i promjer otvora za ubrizgavanje, a varirana su vremena ubrizgavanju tako da zadovolje propise u emisiji dušičnih oksida (NOx) za 1991. godinu. Nakon odabranog vremena ubrizgavanja promatrani su tlakovi ubrizgavanja, te je uočeno da visoki tlakovi (oko 150 MPa) znatno utječu na smanjenje emisije čestica. Ti tlakovi ovisе o snazi motora, pa bi za motore snage do 180 kW tlakovi ubrizgavanja trebali biti oko 100 MPa, dok bi tlakovi u cilindru bili oko 13,5 MPa.

Da se dosegne željeni tlak izgaranja i niske emisije dušičnih oksida (NOx), potrebno je s izgaranjem početi što kasnije, a da bi se smanjila emisija ugljikovodika i čađe, izgaranje treba završiti što ranije. Za približno 15% hoda klipa treba potpuno izgorjeti 90-95% ubrizganoga goriva [5]. Osim ukupnoga kratkog vremena ubrizgavanja potrebno je postići potpuno miješanje goriva i zraka.

U modernim dizelskim motorima poželjno je da brizgaljke budu što bliže komori za izgaranje radi dobrog miješanja ubrizganoga goriva i zraka.

Moguće su izvedbe sustava kompaktnih pumpi-brizgaljki s dobavnom pumpom, sustava s centralnom distribucijskom (rotacijskom ili rednom klipnom) pumpom koja je visokotlačnim cijevima povezana s brizgaljkama. U svakom slučaju teži se takvom sustavu kojim će biti moguće elektronski upravljati i time precizno regulirati cijeli proces izgaranja, odnosno smanjiti buku, potrošnju goriva i štetnu emisiju. Specifičnu potrošnju goriva moguće je smanjiti za oko 1%, a u turbomotora, primjenom sustava za prethodno hlađenje usisanog zraka (za 15-20 K) i visokoefikasnih turbopuhala za oko 5% [4]. Specifična potrošnja u motora snage do 180 kW trebala bi biti u granicama od 205 do 210 g/kWh. Pri niskim razinama emisije motor bi imao efektivnu korisnost 40-41%.

Za dizelske motore snage 180-340 kW zahtjevi su identični kao i za manje motore, no tlakovi u cilindru bi trebali biti oko 15 MPa, a

tlakovi ubrizgavanja oko 130 MPa. Većina proizvedenih motora ovih snaga imat će kompaktne pumpe-brizgaljke za svaki cilindar, dakako elektronski upravljane, kako bi vrijeme i intenzitet ubrizgavanja bili neposredno ovisni o brzini vrtnje i opterećenju. Uporaba visokoefikasnih turbopuhala uz prethodno hlađenje usisanog zraka, četiri ventila po cilindru, uz korekciju tlakova u cilindru i sustavu za ubrizgavanje trebali bi smanjiti specifičnu potrošnju goriva na oko 195 g/kWh uz efektivnu korisnost 42%.

Uporaba je elektronski upravljanih sustava za ubrizgavanje nužna da bi se mogli zadovoljiti sve strožiji zahtjevi glede smanjenja onečišćenja okolice. Jedna od mogućnosti izvedbe elektronski upravljane pumpe za ubrizgavanje jest da bude povezana s koljenastim vratilom na jednak način kao standardne mehaničke pumpe tako da je moguće ostvariti visoke tlakove u sustavu. Elektromagnet, koji određuje početak i kraj ubrizgavanja, s pomoću električnog vodiča povezan je s elektronskim upravljačem. Hidraulični elementi mogu biti ugrađeni za reguliranje intenziteta ubrizgavanja. Variranje intenziteta ubrizgavanja moguće je u ovisnosti o brzini vrtnje i opterećenja motora, predvjetima za lakše pokretanje motora, o zahtjevima za smanjenje emisije čestica i potrošnje goriva itd.

3.2. Primjena kvalitetnijih goriva i maziva

Sumpor sadržan u gorivu izravno utječe na količinu čestica u ispušnim plinovima. Da bi se definirao taj odnos, ispitivana su tri tipa dizelskih motora [2] "transient" testom tijekom kojega su trošili standardno dizelsko gorivo, kao i goriva s niskim sadržajem sumpora. Ta dva goriva korištena su za usporedbu ispušnih plinova. Promatrajući rezultate testa, uočeno je da se količina dušičnih oksida (NOx) nije smanjila, količina ugljikovodika (HC) zadržala se ispod granice od 1,7 g/kWh (1,3 g/KSh) (propis za 1990. godinu), no zato je količina čestica u emisiji na ovaj način smanjena od 13 do 22%, a kako su propisi za 1994. godinu vrlo strogi, 0,13 g/kWh (0,1 g/KSh), nužno je upotrebljavati s manjom količinom sumpora.

Ispitivanje neizgorjelih ugljikovodika s pomoću plinske kromatografije (GCMS = Gas Chromatograph Mass Spectroscopy) pokazuje da na njihovo stvaranje utječe ulje za podmazivanje sa 70-90%, što znači da se znatno može smanjiti utjecaj ulja ili njegovim potpunim izgaranjem ili smanjenjem potrošnje. Utjecaj goriva na stvaranje ovih čestica je relativno mali, no on može postati još manji ako se povećaju pritisci ubrizgavanja, odnosno smanje otvori brizgaljki.

3.3. Tretman ispuha nakon izlaska iz cilindra

Tretman ispuha nakon izlaska iz cilindra je treći segment za smanjenje štetne emisije ispušnih plinova dizelskih motora u devedese-

tim godinama. Primjenom katalizatora koji ima funkciju zadržavanja (odvajanja) čestica može se smanjiti štetna emisija. Dio za zadržavanje čestica ima prečistač vrlo sposoban da odvoji dio čađe iz čestica, te ujedno smanji udio neizgorjelih ugljikovodika u česticama, dok je oksidacijski dio efikasan jedino u reduciranju ugljikovodika u česticama. Keramički dio može smanjiti količinu čađe do 85%. Moguće je zadržati i dio emisije sumpornog oksida (SO_x), ali taj se dio pri regeneraciji katalizatora, s vremenom, ponovno oslobađa u atmosferu, što se pri testovima uglavnom ne uzima u obzir. Regeneracija dijela katalizatora koji ima zadaću da zadržava emisiju čestica vrlo je teško izvediva, jer ciklus rada Diesellovog motora bez razvijanja dovoljno visokih ispušnih temperatura može biti vrlo dugačak. To se može riješiti ugradnjom dodatnih grijača, ali je izvedba takvog sustava komplicirana i vrlo skupa. Dodaci koji se primjenjuju na različite načine mogu ovaj problem pojednostaviti, ali ne osiguravaju djelovanje pri svim režimima rada motora.

Da bi se smanjila emisija dušičnih oksida (NO_x), Institute for Applied Thermodynamics, Aachen, University of Technology istraživao je mogućnost selektivne katalitičke redukcije (SCR). Unutar ovih razmišljanja treba riješiti niz problema prije stvarne primjene ovog sustava. Pokazano je da je ispušni plin temperature 300–350°C potreban da zadrži emisiju dušičnih oksida (NO_x) ispod (propisane) maksimalne vrijednosti. Taj zahtjev na emisiju teško je ostvarljiv, jer su temperature ispušnog plina niže pri manjem opterećenju motora. Stoviše, niže temperature prijete da se dezaktivira katalizator (opasnost je posebno izražena pri učestalom pokretanjima motora, tzv. "hladan start").

4. ZAKLJUČAK

Iako se o smanjenju onečišćenja okolice štetnim plinovima ispuha Ottovih motora razmišlja četrdesetak godina, o Diesellovim motorima počela se voditi intenzivnija briga u posljednjem desetljeću. Industrijski razvijene zemlje donijele su mnoge propise o maksimiranju štetne emisije ispuha dizelskog motora postav-

ljajući proizvođačima uvjet opstanka na tržištu. Budući da se propisi stalno pooštavaju, velika se materijalna sredstva i vrijeme ulažu u razvoj takvih motora koji će moći ispuniti propisane zahtjeve za smanjenje onečišćenja okolice.

Jugoslavija je također potpisnik europskih normi za smanjenje onečišćenja okolice, ali se tome ne posvećuje dostatna pažnja. Međutim, željeni ulazak u Europu nije moguć bez poštivanja navedenih propisa.

SUMMARY

THE DIESEL ENGINE AND THE ENVIRONMENT

This paper provides a review of legal provisions effective in Europe and the States aimed at the reduction of harmful diesel exhaust emissions. Resolutions of the problems resulting from respective reduction of harmful emissions fall into three groups: improvements of the structure and technology of the engine, utilization of higher-quality fuels and lubricants and treatment of gases upon exhaust from the cylinder.

LITERATURA:

- [1] D. KRAPAN, D. JERAS: Laki motori, I. dio. Zagreb, Sveučilišna naklada "Liber", 1976.
- [2] R. R. RICHARDS, J. E. SIBLEY: Diesel Emission Control for the 1990s. Automotive engineering, 96 (1988), 9, str. 63–69.
- [3] Nutzfahrzeug und Umwelt, Iveco External Relations, Ulm, BR Deutschland, 1989.
- [4] R. D. KISESER: Diesel Engines: Future Trends. Automotive engineering, 96 (1988), 9, str. 39–46.
- [5] A. DOLENC: Logičan razvoj nove generacije motora s unutrašnjim izgaranjem, Monoblok Diesel motora familije Mi Austrija. Zbornik radova, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 1989, str. 119–123.
- [6] F. X. MOSER, E. HAAS, H. SCHOGL: Zur Partikelemission von Nutzfahrzeug – Dieselmotoren. MTZ, 51 (1990), 5, str. 186–193.
- [7] W. P. CARTELLIERI, W. M. OSPELT, K. LANDFAHRER: Erfüllung der Abgasgrenzwerte von Nutzfahrzeug – Dieselmotoren der 90er Jahre. MTZ, 50 (1989), 9, str. 440–446.