

Dr. DUŠAN JERAS
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zagreb, Đ. Salaja 5

Promet i čovjekova okolina
Pregledni rad
UDK: 621.43.019.9 : 504 : 34
Primljeno: 20.09.1991.
Prihvaćeno: 18.11.1991.

EKOLOŠKE ZNAČAJKE CESTOVNIH VOZILA I ZAKONSKE MJERE

SAŽETAK

Povećana briga za čisti okoliš i ograničeni izvori energije zahtijevali su donošenje brojnih zakona. U ovom pregledu prikazane su bitne značajke zakona koji tretiraju ispušni plin motora cestovnih vozila i potrošnju goriva. Komentirani su očekivani učinci donošenja zakona i mogući pravci razvoja u konstrukciji cestovnih vozila i njihovih motora.

1. UVOD

Naše doba u velikoj mjeri obilježuje povećana briga za uodržavanje čistog i zdravog okoliša, te racionalno gospodarenje raspoloživim resursima postojećih izvora energije. Stoga ekološki i ekonomski zahtjevi imaju izvanredno velik utjecaj u mnogim područjima ljudske djelatnosti. Ovaj zaključak se možda u najvećoj mjeri odnosi na proizvodnju i eksploataciju automobila i motora, danas jednu od najvažnijih gospodarskih djelatnosti. Nedvojbeno je da su automobili postali važan dio naše svakodnevice; bez njih je praktično nezamisliv život današnjeg pučanstva, a ovo stanje zasigurno će se zadržati još dugo.

Potreba ljudi za čistijim okolišem i ograničeni izvori energije zahtijevaju da se dobro osmisli budući razvoj automobila, te da se i postojeće stanje i budući razvoj zakonski reguliraju. U mnogim zemljama donijeti su brojni zakoni kojima su određene ekološke i ekonomske značajke i motora i cestovnih vozila. Ovim zakonima se predviđa stalno pooštravanje dopuštenih granica glede emisije otrovnih sastojaka u ispušnom plinu motora i potrošnje goriva, te je njima u velikoj mjeri određen i doskorašnji i budući razvoj motora.

Odgovarajućim propisima razriješena su ponajprije dva glavna problema:

- Određeni su uvjeti vožnje automobila ili rada motora u kojih se provode kontrolna mjerenja.

- Propisane su dopuštene granične emisije otrovnih spojeva s ispušnim plinom motora, a u novije doba limitira se i potrošnja goriva.

Zakonski propisi sadrže i druge odredbe, bitne za jednoznačno i točno mjerenje, primjerice o kvaliteti goriva, stanju okoliša, metodama mjerenja, značajkama mjernih uređaja, proračunu koncentracije sastojaka, označivanju homologiranih vozila i slično.

Različitost uvjeta u kojima se odvija promet, te razlike u konstrukciji i motora i vozila, razlog su postojanja većeg broja propisa koji se primjenjuju u većim regijama. Zakonske norme u jednoj regiji rezultat su brojnih specifičnih čimbenika, primjerice standarda i ekološke svijesti pučanstva, tradicije i gustoće prometa, razvoja tehnologije i proizvodnih mogućnosti, geografskog položaja, itd. Glavne regije u kojima su donijeti najvažniji propisi jesu Amerika, Europa i Japan, no često se propisi razlikuju i u dijelovima regije (Austrija, Danska, Finska, Norveška, Švedska, Švicarska), čak i u federalnim državama SAD (Kalifornija). Budući da je velikim proizvođačima automobila potrebno svjetsko tržište, njihova proizvodnja mora danas zadovoljavati propise u praktično svim regijama svijeta.

2. PROPISI

U Europi su temeljni propisi Ekonomske komisije za Europu ECE (Economic Commission for Europe), a zatim propisi Europske zajednice EWG (Europäischer Wirtschaftsgemeinschaft) za cestovna vozila. Propisi koji su važni s ekološkog i ekonomskog aspekta, a koji posebno tretiraju ispušni plin motora i potrošnju goriva, navedeni su u tablici 1.

Tablica 1. Propisi za cestovna vozila u Europi (1)

Oznaka propisa	Sadržaj propisa
ECE-R15 70/220/EWG	Plinoviti štetni spojevi u ispušnom plinu Ottovih i dizelskih motora osobnih automobila. Propis je donijet 1970. godine s kasnijim izmjenama 01, 02, 03, 04 i proširenjem 04. U Jugoslaviji je prihvaćen 27. kolovoza 1976.
ECE-R24 72/306/EWG	Čvrste čestice - partikule u ispušnom plinu dizelskih motora. Propis je donijet 1972. godine s kasnijim izmjenama 01, 02 i proširenjem 02. U Jugoslaviji je prihvaćen 5. siječnja 1985.
ECE-R40	Štetni spojevi u ispušnom plinu Ottovih motora motocikala. Propis je donijet 1984. godine s kasnijom izmjenom 01.
ECE-R47	Štetni spojevi u ispušnom plinu Ottovih motora za bicikle s pomoćnim motorom. Propis je donijet 1981. godine. U Jugoslaviji je prihvaćen 1. travnja 1985.
ECE-R49	Plinoviti štetni spojevi dizelskih motora za kamione i autobuse. Propis je donijet 1982. godine. U Jugoslaviji je prihvaćen 5. siječnja 1985.
77/5371/EWG	Štetni spojevi u ispušnom plinu motora strojeva u poljodjelstvu i šumarstvu.
80/1268/EWG	Mjerenje potrošnje goriva.

Pregled pokazuje da su gotovo svi navedeni propisi ECE ratificirani i u Jugoslaviji, te obvezuju i proizvođače i trgovačku mrežu. Obveza poštivanja ovih propisa osigurava postizavanje čistijeg zraka i u našoj zemlji.

2.1. Cestovna vozila s Ottovim motorima

Od većeg broja navedenih propisa po utjecaju na okoliš najvažniji i najčešće citiran je standard ECE-R15 (1) koji regulira sadržaj plinovitih štetnih sastojaka u ispušnom plinu i Ottovih i dizelskih motora. Propis se odnosi na sve automobile s Ottovim motorom, te osobne automobile s dizelskim motorom klase M1, s najviše osam sjedala uz vozača, i klase N1, za prijevoz tereta mase od 1 do 3,5 t. Prema ovom propisu provode se tri vrste mjerenja:

- kontrola sadržaja štetnih sastojaka u ispušnom plinu Ottovih i dizelskih motora prigodom vožnje prema Europa-ciklusu, koji odgovara odvijanju prometa u velikim europskim gradovima,
- kontrola sadržaja ugljičnog monoksida CO u ispušnom plinu pri radu Ottovih motora na praznom hodu. Dopusštena koncentracija iznosi 3,5 Vol. % CO,

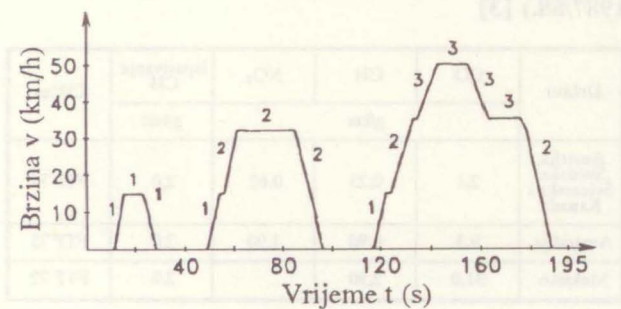
- kontrola emisije ugljikovodika uslijed odzračivanja kartera Ottovih motora. Nije dopuštena emisija ugljikovodika.

Propis određuje i postupak mjerenja potrošnje goriva u ovim uvjetima:

- pri vožnji prema Europa-ciklusu,
- pri vožnji brzinom 90 km/h i
- pri vožnji brzinom 120 km/h.

Nisu navedena ograničenja, ali radi mogućnosti uspoređivanja raznih tipova automobila, proizvođači su obvezni deklarirati potrošnju goriva prema propisu.

Vožnja automobilom koja odgovara prometu u velikim europskim gradovima, ili je barem odgovarala pri kraju 60-ih godina (2), prikazana je na slici 1. Ovaj režim vožnje je promjenljiv, sadrži stajanje, ubrzanje, vožnju stalnom brzinom i usporivanje. Na slici su označeni stupnjevi prijenosa u pojedinim fazama. Vožnja po ovom ciklusu provodi se četiri puta, prvi ciklus s hladnim motorom. Za vrijeme jednog ciklusa koji traje 195 s automobil prijeđe put 1013 m, maksimalna brzina vožnje je 50 km/h, a prosječna brzina 18,7 km/h. Mjerenja se prema propisu provode u laboratorijskim uvjetima s automobilom na valjcima za kočenje i dodatnom zamašnom masom, koja odgovara inercijskim značajkama automobila.



Slika 1. Gradski ciklus vožnje prema Europa-testu

Pri simuliranju vožnje na valjcima ispušni plin se razrjeđuje sa zrakom iz okolice i skuplja u plastične vreće. Nakon završene vožnje mjere se prosječne koncentracije relevantnih sastojaka u ispušnom plinu. Koncentracija ugljičnog monoksida CO i ugljičnog dioksida CO₂ mjeri se infracrvenim analizatorom, ugljikovodika CH plameno-ionizirajućim analizatorom, a dušični oksidi NO_x kemoluminiscentnim analizatorom. Prve granične koncentracije za CO i CH određene su donošenjem propisa ECE-R15 1970. godine, no naknadnim izmjenama ove su vrijednosti postupno smanjivane, ali i dopunjivane tretmanom novog sastojka NO_x u ispuhu. Danas se uz CO najčešće ograničuje ukupni sadržaj CH + NO_x. Navedene promjene prikazane su na slici 2. a aktualne granične koncentracije za automobile raznih kategorija u tablici 2. U ovim odredbama ugljikovodici se prikazuju s ekvivalentom atoma ugljika CH_{1,85}, a dušični oksidi kao NO₂.

Tablica 2. Granične emisije prema ECE-R15.04(1)

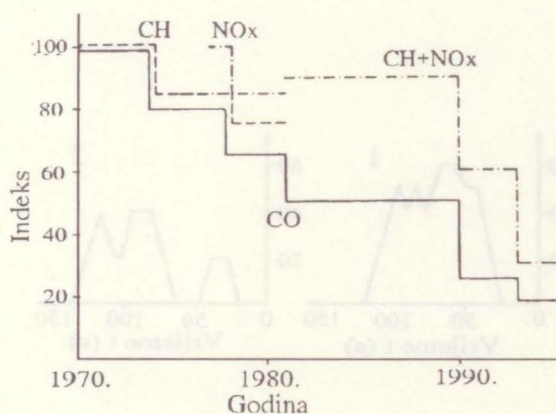
Masa automobila kg	CO		CH + NO _x	
	g/test(g/km)			
m ≤ 1020	58	(14,3)	19,0	(4,69)
1020 < m ≤ 1250	67	(16,5)	20,5	(5,06)
1250 < m ≤ 1470	84	(20,7)	22,0	(5,43)
1470 < m ≤ 1700	84	(20,7)	23,5	(5,80)
1700 < m ≤ 1930	93	(23,0)	25,0	(6,17)
1930 < m ≤ 2150	101	(24,9)	26,5	(6,54)
2150 < m	110	(27,1)	28,0	(6,91)

U Europskoj zajednici je predviđeno daljnje pooštavanje propisa (88/436/EWG - ECE - R15.05), prema tablici 3, i uvođenje kontrole emisije čestica, ali i promjena kriterija pri određivanju dopuštene emisije otrovnih sastojaka prema radnom volumenu motora, a ne kao sada prema masi automobila.

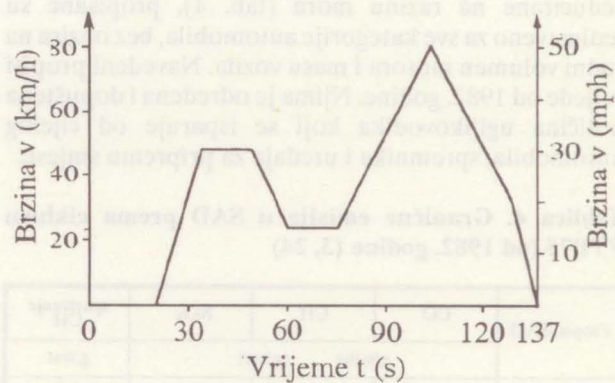
Tablica 3. Predviđene granične emisije u Europskoj zajednici (3, 4, 5, 6)

Radni volumen dm ³	Rok primjene	CO	CH+NO _x	NO _x	Čestice
		g/test (g/km)			
2.0 < V _h	1989.	25 (6,17)	6,5 (1,60)	3,5 (0,86)	1,1*
1,4 < V _h ≤ 2,0	1993.	30 (7,40)	8,0 (1,97)		(0,27)
V _h ≤ 1,4	1991.	45 (11,11)	15,0 (3,70)	6,1 (1,48)	
V _h ≤ 1,4	1993.	30 (7,40)	8,0 (1,97)		

*Vrijedi za sve kategorije automobila s dizelskim motorom, s izravnim ubrzavanjem od 1996. a s pretkomorom od 1990. godine.



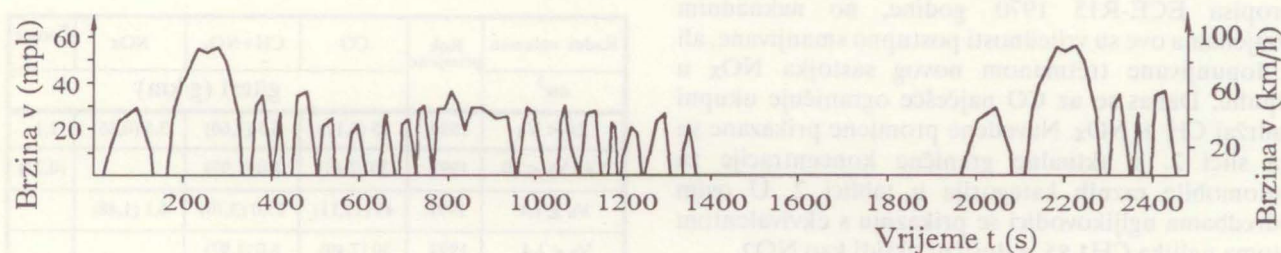
Slika 2. Reduciranje emisije štetnih spojeva prema ECE-R15



Slika 3. Kalifornija test - ciklus vožnje

S donošenjem propisa započelo se u Los Angelesu - SAD 1968. godine (2), kada je određen ciklus vožnje prema Kalifornija - testu (sl. 3). Prvi propisi ograničili su koncentraciju ugljičnog monoksida CO i ugljikovodika CH u ispušnom plinu motora prema njihovim radnim volumenima. Uskoro se međutim prešlo na ograničenje mase emitiranih štetnih sastojaka u raznim kategorijama automobila. Tako je primjerice za automobil mase do 2720 kg (6000 lbs) dopuštena emisija iznosila za ugljični monoksid CO 14 g/km (23 g/milja) a za ugljikovodike CH 1,4 g/km (2,2 g/milja) prijednog puta.

Danas se u SAD primjenjuje ciklus vožnje FTP75 (Federal Test Procedure) (2, 3, 24) koji je prikazan na slici 4. Ciklus se sastoji do 1877 s vožnje i 600 s stajanja, ukupno 2477 s, a za to vrijeme se prijeđe put od 11,115 milja (17884 m) prosječnom brzinom 34,1 km/h, dok maksimalna brzina iznosi 91,2 km/h (60 milja/h). Ovaj ciklus je stohastičkoga karaktera i vrlo promjenljiv. Prva faza, koja traje 505 s, provodi se s hladnim motorom, zatim slijedi druga stabilna faza u trajanju 867 s, a nakon 600 s stanke slijedi ponovno rad zagrijanog motora koji traje 505 s.



Slika 4. Ciklus vožnje u SAD - FTP75

I u ovom primjeru skuplja se u plastične vreće razrijeđeni ispušni plin. Također je ograničena emisija para goriva iz spremnika i sustava za napajanje gorivom tijekom mjerenja. Dopuštene granične emisije, reducirane na razinu mora (tab. 4), propisane su jedinstveno za sve kategorije automobila, bez obzira na radni volumen motora i masu vozila. Navedeni propisi vrijede od 1982. godine. Njima je određena i dopuštena količina ugljikovodika koji se isparuje od cijelog automobila, spremnika i uređaja za pripremu smjese.

Tablica 4. Granične emisije u SAD prema ciklusu FTP75 (od 1982. godine (3, 24))

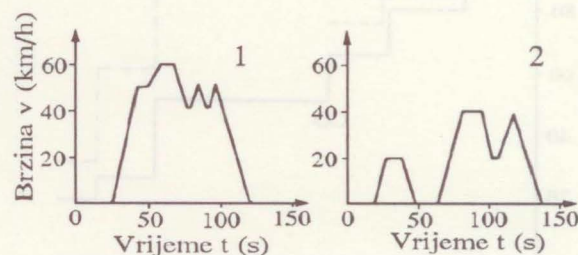
Propis, SAD	CO	CH	NO _x	isparivanje CH
	g/milja	(g/km)		
Federalni	3,4 (2,1)	0,41 (0,25)	1,0 (0,62)	2,0
Kalifornija	7,0 (4,3)	0,41 (0,25)	0,4 (0,25)	2,0

U nekim zemljama izvan ove regije propisi se također temelje na SAD ciklusu vožnje što prikazuje tablica 5.

Tablica 5. Specifični propisi u nekim zemljama (stanje 1987/88.) [3]

Država	CO	CH	NO _x	Isparivanje CH	Ciklus
	g/km			g/test	
Austrija, Švedska, Švicarska i Kanada	2,1	0,25	0,62	2,0	FTP 75
Australija	9,3	0,90	1,90	2,0	FTP 75
Meksiko	31,0	2,90		2,0	FTP 72

U Japanu se primjenjuje test koji ima specifične cikluse (3, 24). Prema ciklusu s 11 stupnjeva (sl. 5-1) rad počinje s hladnim motorom. Tijekom vožnje prema jednom ciklusu prijeđe se put od 1021 m prosječnom brzinom 30,6 km/h i maksimalnom brzinom 60 km/h, a ciklus se ponavlja četiri puta. Ciklus s deset stupnjeva (sl. 5-2) (7) kojim se prijeđe put od 664 m, prosječnom brzinom 17,7 km/h a maksimalnom 40 km/h, provodi se sa zagrijanim motorom. Ovaj ciklus se ponavlja šest puta. Granične koncentracije naznačene su u tablici 6.



Slika 5. Ciklus vožnje u Japanu (5-1 ciklus s 11 stupnjeva, 5-2 ciklus s 10 stupnjeva)

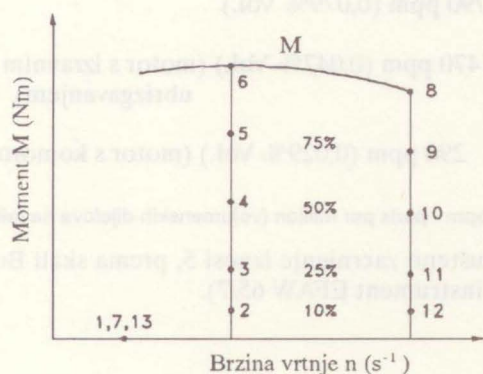
Tablica 6. Dopuštena emisija prema japanskom testu (3, 24)

Test	CO	CH	NO _x	
11-stupnjeva	60,0 (14,7)	7,0 (1,71)	4,4 (1,08)	g/test (g/km)
10-stupnjeva	2,18	0,25	0,25	g/km

Dopušteno isparivanje ugljikovodika iznosi 2 g/test.

2.2. Cestovna vozila s dizelskim motorima

Prije je navedeno da se štetni plinoviti sastojci u ispušnom plinu dizelskog motora cestovnih vozila klase M1 i N1 ispituju prema propisu ECE-R15, pri čemu se vožnja simulira u laboratorijskim uvjetima. Propis ECE-R49 (1) (vrijedi od 1982.) sadrži odredbe o ispitivanju štetnih plinovitih sastojaka u ispušnom plinu dizelskih motora vozila klase M2 i M3 (autobusi s vozačem i više od osam osoba, mase do 5 t i više od 5 t) i klase N2 i N3 (vozila za prijevoz tereta mase od 3,5 t do 12 t i više od 12 t). Prema ovom propisu ispituje se ispušni plin s motorom izvan vozila na motornoj kočnici u laboratoriju. Sadržaj otrovnih sastojaka mjeri se pri radu motora u 13 stupnjeva, različitih režima rada, prema slici 6, a dopuštene prosječne koncentracije navedene su u tablici 7.



Slika 6. Rad motora prema ECE-R49

Tablica 7. Granične koncentracije plinovitih sastojaka dizelskih motora prema ECE-R49 [1]

CO	CH	NO ₂
g/(kWh)		
14	3,5	18

Dimnost - zacrnjenje ispušnog plina dizelskih motora cestovnih vozila regulira propis ECE-R24 [1,8]. Kontrolna mjerenja provode se na dva različita načina.

Mjerenja se provode pri stacionarnom radu motora pri maksimalnom momentu (opterećenju) i pri šest različitih brzina vrtnje. Brzine vrtnje biraju se ravnomjerno između maksimalne brzine vrtnje, pri kojoj počinje djelovanje regulatora, i minimalne, koja odgovara najvećoj od sljedećih triju vrijednosti, 45% n_{max} ili 1000 min⁻¹ (16,7 s⁻¹) ili n_{min}. Nazivni volumenski protok zraka iznosi:

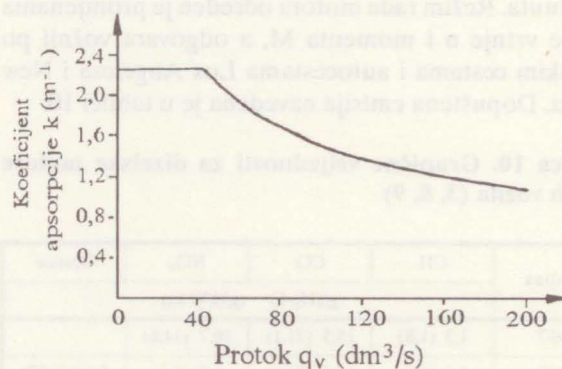
$$q_v = V n \frac{2}{T}, \text{ dm}^3/\text{s}$$

gdje je V, dm³ - radni volumen motora; n, s⁻¹ - brzina vrtnje; T - taktnost. Prema veličini protoka q_v određuje se dopušteno zacrnjenje ispušnog plina s koeficijentom apsorpcije k (sl. 7).

Nakon toga mjeri se zacrnjenje ispušnog plina pri ubrzanju motora. Pri mjerenju ubrzanje započinje s neopterećenim motorom i provodi se s maksimalnom količinom ubrizganoga goriva nakon čega slijedi naglo rasterećenje. Prema izmjerenoj vrijednosti zacrnjenja X_M izračuna se korigirana vrijednost X_L:

$$X_L' = X_M + 0,5$$

$$X_L'' = X_M (SL/SM)_{\min}$$



Slika 7. Međuzavisnost protoka zraka i koeficijenta apsorpcije

gdje je SL dopuštena vrijednost (sl. 7), SM izmjerena vrijednost pri mjerenju na maksimalnom momentu, a pritom su vrijednosti za S vezane uz nazivni protok q_v. U obzir se uzima manja vrijednost za X_L.

U SAD se mjerenje na osobnim automobilima i lakim kamionima provodi pri vožnji prema ciklusu FTP - Federal Test Procedure, a dio propisa za granične vrijednosti naveden je u tablicama 8 i 9; izuzeti su propisi za Kaliforniju i visinska područja.

D. Jeras: Ekološke značajke cestovnih vozila i zakonske mjere

Tablica 8. Granične vrijednosti za dizelske motore osobnih automobila u SAD (3)

Godina	HC	CO	NO _x	Čestice	Potrošnja
	g/milja(g/km)				mpg (dm ³ /100 km)
1986.	0,41 (0,25)	3,4 (2,1)	1,0 (0,62)	0,6 (0,37)	26,0 (9,05)
1987.	0,41 (0,25)	3,4 (2,1)	1,0 (0,62)	0,2 (0,12)	27,5 (8,56)
1988.-Feder.	0,41 (0,25)	3,4 (2,1)	1,0 (0,62)	0,2 (0,12)	
1988.-Kalif.	0,41 (0,25)	7,0 (4,3)	1,0 (0,62)	0,08 (0,05)	

Tablica 11. Dopuštena emisija dizelskih motora osobnih automobila u Japanu (3, 24)

Masa	CH	CO	NO _x
kg	g/km		
≤ 1265	0,70	0,40	2,1
> 1265	0,90	0,40	2,18

Tablica 9. Granične vrijednosti za dizelske motore lakih kamiona (3)

Godina	Masa vozila	CH	CO	NO _x	Čestice	Potrošnja
	lbs (t)	g/milja (g/km)				mpg (dm ³ /100 km)
1986.	≤ 8500 (≤ 3,86)	0,8 (0,5)	10 (6,2)	2,3 (1,4)	0,6 (0,37)	20,0 (11,8)
1987.	≤ 8500 (≤ 3,86)	0,8 (0,5)	10 (6,2)	2,3 (1,4)	0,26 (0,16)	20,5 (11,5)
1988.	≤ 3999 (≤ 1,81)	0,8 (0,5)	10 (6,2)	1,2 (0,74)	0,26 (0,16)	

Ispušni plin većih dizelskih motora za teške kamione od 1985. godine ispituje se pri promjenljivom radu motora na motornoj kočnici - Transient test (8). Prema ovom testu, koji je podijeljen u 4 sektora, mjerenje traje 20 minuta. Režim rada motora određen je promjenama brzine vrtnje n i momenta M, a odgovara vožnji po gradskim cestama i autocestama Los Angelesa i New Yorka. Dopuštena emisija navedena je u tablici 10.

Tablica 10. Granične vrijednosti za dizelske motore teških vozila (3, 8, 9)

Godina	CH	CO	NO _x	Čestice
	g/(Hp h)		g/(kW h)	
1987.	1,3 (1,8)	15,5 (21,1)	10,7 (14,6)	
1988.	1,3 (1,8)	15,5 (21,1)	6,0 (8,2)	0,60 (0,82)
1991.	1,3 (1,8)	15,5 (21,1)	5,0 (6,8)	0,25 (0,34)
1994.	1,3 (1,8)	15,5 (21,1)	5,0 (6,8)	0,10 (0,14)

Dopušteno je zacrnjenje ispušnog plina 20% pri ubrzanju, 15% pri usporivanju i trenutno 50%.

Za ocjenu emisije dizelskih motora osobnih automobila u Japanu od 1986. godine primjenjuje se ciklus s deset stupnjeva, a dopuštene količine štetnih sastojaka navedene su u tablici 11.

Za veća vozila koristi se test sa šest stupnjeva - promjena režima rada, u kojima motor radi u stacionarnom režimu, a dopuštene prosječne emisije (od 1984. godine) prikazuju se kao koncentracija plinova i iznose:

- CH 510 ppm (0,051% Vol.)
- CO 790 ppm (0,079% Vol.)
- NO_x 470 ppm (0,047% Vol.) (motor s izravnim ubrizgavanjem)
- 290 ppm (0,029% Vol.) (motor s komorom)

Opaska: ppm - parts per million (volumenskih dijelova na milijun)

Dopušteno zacrnjenje iznosi 5, prema skali Bosch (mjerni instrument EFAW 65/7).

3. OCJENA UTJECAJA PROPISA NA STANJE OKOLIŠA

U području cestovnih vozila donose se od šezdesetih godina propisi radi postizavanja što kvalitetnijeg okoliša, a njihove izmjene dogovorene su i za iduće razdoblje. U stalnim izmjenama propisa zahtijeva se stalno smanjenje emisije štetnih sastojaka s ispušnim plinom motora cestovnih vozila. Sretna je okolnost da su mjere koje se provode za smanjenje onečišćenja okoliša uglavnom kompatibilne s mjerama koje

D. Jeras: Ekološke značajke cestovnih vozila i zakonske mjere

doprinosu smanjenoj potrošnji goriva, te se stoga često zajednički tretiraju. Pritom se dakako uvažava stanje razvoja motora i vozila, kao i mogućnosti proizvodnje, kako propisi ne bi imali negativnog utjecaja na gospodarstvo zemlje i standard ljudi. Propisima koji se stalno unapređuju, smišljenim razvojem motora i vozila, proizvodnjom kvalitetnijeg goriva (10), te poboljšanjem uvjeta prometa želi se postići kvalitetniji okoliš, ponajprije čistiji zrak, usprkos sve intenzivnijem prometu.

Prema raspoloživim podacima u Jugoslaviji je 1988. godine registrirano 88 224 motocikala, 3 105 258 osobnih automobila, 28 575 autobusa, 260 988 teretnih vozila, 10 007 radnih vozila i 546 454 traktora (11), što znači da je na 7 do 7,5 stanovnika registriran jedan osobni automobil. Ovim podacima o broju vozila potrebno je pribrojiti 11 854 000 automobila (5 738 800 iz Italije, 1 944 000 iz SR Njemačke, 1 590 000 iz Austrije) i 110 960 autobusa koji su ušli (i izišli) u Jugoslaviju te godine. Ova se vozila kratko zadržavaju u zemlji, ali tijekom turističke sezone znatno opterećuju cestovni promet i okoliš. Prema prognozi u SR Njemačkoj (12) predviđa se sedam vozila na deset stanovnika.

Za ocjenu stanja važno je poznavanje udjela cestovnih vozila u ukupnom onečišćenju okoliša, što zahtijeva vrlo složena razmatranja. Pri razmatranju problematike cestovnih vozila i onečišćenja ispušnim plinom grubi uvid pruža npr. potrošnja fosilnih goriva. U Jugoslaviji je 1988. godine (11) utrošeno 4 168 000 t primarnog benzina, 2 688 000 t ostalih benzina, 3 834 000 t dizelskoga goriva, 6 122 000 t loživog ulja, 48 630 000 t ugljena i 3 015 000 000 m³ (približno 2 170 000 t) prirodnog plina. Udio cestovnih vozila u potrošnji fosilnih goriva iznosi oko 14%. Ovaj podatak je posebno informativan i važan kada se razmatra potrošnja goriva fosilnog podrijetla i opterećenje atmosfere ugljičnim dioksidom CO₂, proizvodom potpunog izgaranja ugljika C, te njegovog utjecaja na poznati efekt staklenika. U ovom pregledu naročito je uočljiva vrlo velika potrošnja ugljena čijim se izgaranjem proizvodi relativno veća količina ugljičnog dioksida CO₂ te je vrlo nepovoljan s razmatranog stajališta (13, 14).

Tablica 12. Onečišćenja u SR Njemačkoj [14]

Štetni sastojak	CO	CH	NO _x	SO ₂	Čestice
Ukupna emisija, 10 ⁶ /godina	8,2	1,6	3,1	3,0	0,7
Energane, %	0,4	0,6	27,7	62,1	21,7
Industrija, %	13,6	28,0	14,0	25,2	59,7
Kućanstvo, %	21,0	32,4	3,7	9,3	9,2
Automobili, %	64,0	33,8	39,8	2,2	2,9
Kamioni, %	1,0	5,2	14,8	1,4	6,5
Promet (ukupno), %	65,0	39,0	54,6	3,6	9,4

Mnogo je nepovoljniji učinak onečišćenja okoliša od motornih vozila u gradovima (15), zbog vrlo intenzivnog prometa, te utjecaja relativno nepovoljnog toka izgaranja goriva u cilindru motora. Utjecaj raznih izvora onečišćenja u SR Njemačkoj prikazan je u tablici 12.

Pregled pokazuje da cestovni promet opterećuje okoliš ponajprije ugljičnim monoksidom CO, ugljikovodicima CH i dušičnim oksidima NO_x. Stoga je bitno smanjiti njihov sadržaj u ispuhu motora, pa se upravo ovi spojevi tretiraju u do sada donijetim zakonskim normama. U posljednje doba uvedena su ograničenja emisije čestica u zakonske norme, a i smanjenje sadržaja sumpora u gorivu.

Propisi koji su se u početku donijeli, i koji danas izgledaju pomalo naivno, znatno su se razlikovali u pojedinim regijama. S vremenom propisi su pretrpjeli znatne izmjene te su prvotne odredbe uvelike unaprijeđene, a emisije štetnih sastojaka bitno ograničene. Navedene izmjene također ujednačuju propise u raznim regijama, te je sada uglavnom moguće usuglašavanje zakonskih odredaba, odnosno rezultata mjerenja, u regijama diljem svijeta. Neke od zajedničkih značajki sadašnjih propisa jesu sljedeće:

- Prihvaćeno je razrjeđivanje ispušnog plina pri njegovu skupljanju u plastične vreće, prije mjerenja sadržaja štetnih sastojaka. Time se izbjegava taloženje vode iz ispušnog plina prije mjerenja njegova sastava.
- U zakonima se tretira, a pri provođenju ispitivanja mjeri se prosječni sadržaj relevantnih sastojaka u emitiranom ispušnom plinu.
- Sadržaj štetnih sastojaka određen je masom po jedinici prijednog puta ili jedinici izvršenog rada ili po jednom testu, npr. u g/km, g(kW h) ili g/test, a umjesto njihove koncentracije, što je prije bilo uobičajeno.
- Smanjuje se broj kategorija vozila ili motora, pa se teži jedinstvenom propisivanju emisije štetnih sastojaka bez obzira na masu vozila ili vrstu motora. Također se zajednički tretiraju propisi za osobne automobile s Ottovim i dizelskim motorom.
- Razmatra se povećanje brzine pri vožnji prema Europa- ciklusu.
- Istražuje se mogućnost usuglašavanja rezultata mjerenja prema različitim zakonima. Npr, u Europi se razmatra mogućnost uspoređivanja posebnog testa s osam stupnjeva i postojećeg Transient testa u SAD (16).
- Glede čistoće ispušnog plina najzahtjevnije su norme propisane u SAD, što je i razumljivo, s obzirom na tehničku razvijenost i intenzitet prometa. Potrebno

D. Jeras: Ekološke značajke cestovnih vozila i zakonske mjere

je primijetiti da i neke razvijenije zemlje Europe prihvaćaju ove norme (Austrija, Švedska i Švicarska).

U ovom prikazu razmatrani su propisi koji se odnose na cestovna vozila i njihove motore. Zakoni u SAD i Europi obuhvaćaju i emisiju ostalih kategorija motora. U SR Njemačkoj od 1986. godine poznate su norme TA-Luft (Technische Anleitung Luft) - smjernice za kontrolu onečišćenja zraka (17), a u SAD EPA - norme (Environmental Protection Agency) (18).

Za stacionarne motore predviđeno je ograničenje (17) $0,13 \text{ g/m}^3$ čađe (čestica); $0,42 \text{ g/m}^3$ sumpornog dioksida SO_2 ; $0,02 \text{ g/m}^3$ formaldehida HCHO ; $0,15 \text{ g/m}^3$ ugljikovodika CH ; $0,65 \text{ g/m}^3$ ugljičnog monoksida CO ; $2,4 \text{ g/m}^3$ dušičnih oksida NO_x .

Za plinske motore propisana su ograničenja (19): $0,65 \text{ g/m}^3$ za ugljični monoksid CO , a za dušične okside NO_x 2 g/m^3 u Ottovih motora $\geq 3 \text{ MW}$; 4 g/m^3 u Ottovih motora $\leq 3 \text{ MW}$; $0,50 \text{ g/m}^3$ u četverotaktnih motora i $0,80 \text{ g/m}^3$ u dvotaktnih motora.

Ograničenja emisije štetnih sastojaka plinskih turbina su sljedeća (19): 10 g/m^3 ugljičnog monoksida CO , a za dušične okside NO_x $0,30 \text{ g/m}^3$ pri protoku $v \geq 60 000 \text{ m}^3/\text{h}$ i $0,35 \text{ g/m}^3$ pri protoku $< 60 000 \text{ m}^3/\text{h}$.

S vremenom proširena je lepeza tretiranih štetnih sastojaka u ispušnom plinu. Od početnog tretmana ugljičnog monoksida CO i ugljikovodika CH naknadno su uvedena ograničenja za dušične okside i čestice. U novije doba često se zajednički propisuju ograničenja za emisiju CH i NO_x . Za stacionarne motore propisane su granice i za formaldehid HCHO i sumporni dioksid SO_2 . Ostaje nedefinirana emisija ugljičnog dioksida CO_2 čiji se sadržaj mjeri, ali se ograničenja njegove emisije u zakonima zaobilaze. Prema mnogim autorima, povećan sadržaj ugljičnog dioksida, koji nije izravno otrovan, uzrokuje efekt staklenika i vremenom kataklizmički efekt povećanja temperature atmosfere s golemom promjenom klime. Postoje i druga tumačenja (20) koja prihvaćaju samoregulacijski proces koji održava ugljični dioksid u približno stalnim granicama. Prema ovom mišljenju, vlaga u zraku ispire ugljični dioksid i tvori karbonatnu kiselinu H_2CO_3 koja s kišom dospijeva na zemlju i prelazi u kalcijev karbonat CaCO_3 . Tek manji dio ugljičnog dioksida, oko 1/5, razgrađuje se fotosintezom. Tako se povećava kiselost kiša (13) što opet negativno utječe na floru i faunu. U izgaranju fosilnih goriva i stvaranju efekta staklenika udio vozila i motora je relativno mali, a predviđa se i daljnje smanjenje potrošnje goriva i emisije CO_2 za 15% [21].

Donijeti propisi zahtijevaju izvanredne napore proizvođača cestovnih vozila, koji moraju zadovoljiti sve oštrije propise, ali i institucija koje se brinu o

organizaciji prometa. Veliko značenje u ovim nastojanjima imaju poboljšanja na konstrukciji motora i vozila koja se kreću ponajprije u tri pravca:

- optimiranje oblika vozila radi smanjenja otpora vožnje, potrošnje goriva i emisije ispušnog plina;
- poboljšanje pripreme smjese goriva i zraka. U Ottovim motorima najveći utjecaj ima uvođenje ubrizgavanja goriva i točan trenutak paljenja smjese, elektronskim upravljanjem, ali i konstrukcija prostora izgaranja te razvodnog - ventilskog mehanizma. U dizelskog motora naročito je važno razvijanje sustava s izravnim ubrizgavanjem goriva u cilindar, te razvoj sustava za ubrizgavanje, povećanje tlaka ubrizgavanja i njegov točan rad zahvaljujući elektronskom upravljanju (22) pri čemu prednost ima jedinstvena konstrukcija sklopa crpka-brizgaljka;
- uvođenje katalizatora koji djelotvorno smanjuju koncentracije tretiranih sastojaka u ispušnom plinu i zajedno s navedenim mjerama omogućuju zadovoljavanje propisa.

Na osnovi analize postojećeg stanja, utjecaja zakonskih normi, te predviđivog razvoja vozila i motora procjenjuje se znatno smanjenje emisije štetnih sastojaka ispušnim plinom motora. Prema (21) predviđa se smanjenje emisije od 1990. na 2000. i 2010. godinu u sljedećim odnosima:

- Ugljični monoksid	100:31:18
- Ugljikovodici	100:38:22
- Dušični oksidi	100:32:17
- Čestice	100:43:26
- Proizvodnjom goriva za dizelske motore sa smanjenim sadržajem sumpora predviđa se i veće smanjenje količine čestica	
- Sadržaj olova se postupno smanjuje u benzinu, a u SR Njemačkoj predviđa se uporaba 70% benzina bez olova	
- Sumporni dioksid	100:59:45
- Benzol	100:23:10
- Policiklički aromati	100:46:27
- Ugljični dioksid	100:110:85

Prema iznijetim podacima očekuje se smanjena emisija štetnih sastojaka do 2010. godine u prosjeku za 63% do 90%, CO_2 za 15%, sve u odnosu na 1990. godinu.

U SAD-u Senat je donio zakon pod oznakom S.1630 (23) prema kojemu automobili moraju cijeli vijek

trajanja (100 000 milja) odgovarati propisima glede emisije štetnih sastojaka, a ne kao dosada 50 000 milja. Također je za 1993. godinu predviđeno smanjenje emisije ugljikovodika CH od 0,41 na 0,25 g/milja, a dušičnih oksida od 1,0 na 0,4 g/milja. Prema zakonu u Kaliforniji će biti uvedena sljedeća stroža ograničenja emisije u automobila (Tier 2):

- ugljikovodici CH 0,125 g/milja (0,078 g/km)
- ugljični monoksid CO 1,7 g/milja (1,05 g/km)
- dušični oksidi NO_x 0,2 g/milja (0,12 g/km)

ZAKLJUČAK

Želja da standard ljudi obuhvati i čistiji okoliš, te da se tako uredan okoliš ostavi budućim pokoljenjima u naslijeđe, zahtijeva danas velike napore. Također je važno da se ekonomično troše raspoloživi resursi izvora energije. Golemi dio ovih nastojanja odnosi se na sve aspekte cestovnog prometa, a posebno na emisiju čistijeg ispušnog plina motora. Posljednja tri desetljeća obilježena su stoga iznimno usklađenom aktivnošću na razvoju motora i vozila, te na području donošenja zakona. Iznijeti pregled pokazuje kako je realno očekivati bitno smanjenje onečišćenja okoliša od cestovnih vozila, što će pridonijeti čistijem zraku usprkos predviđenom daljnjem porastu intenziteta prometa. U nas su ratificirani ECE propisi što je uvjet za postizavanje navedenog cilja i u našoj zemlji, dakako uz poštivanje već prihvaćenih normi.

SUMMARY

ENVIRONMENTAL FEATURES OF MOTOR VEHICLES AND LEGAL MEASURES

Increased care for clean environment and limited sources of energy have inevitably resulted in many laws to be passed. This paper deals with some important aspects of subjects laws treating motor exhaust fumes and fuel consumption. The expected effects of these laws as well as possible development trends in designing motor vehicles and their engines have been presented..

LITERATURA

- [1] Loseblatt, Texte, Kommentare, Fahrzeugtechnik EWG + ECE. Kirschbaum Verlag, Bonn - Bad Godesberg, 1986.
- [2] D. JERAS: Mogućnosti usavršavanja procesa izgaranja benzinskih motora i pročišćavanja ispušnih plinova. Magistrski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1971.
- [3] Bosch Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. VDI-Verlag, Duesseldorf, 1987.
- [4] Piano piano tutti "puliti", Quattroruote, maggio 1989. str. 214-215, redakcijski članak.
- [5] R. VAN BASSHUYSEN, D. STOCK, R. BAUDER: Audi Turbodieselmotor mit Direkteinspritzung, MTZ 51 (1990) 1, str. 4-11.
- [6] H. DREWITZ, P. VON KORFF: Nutzfahrzeug und Energie. ATZ 91 (1989) 2, str. 67-71.
- [7] N. MILENKOVIĆ: Propisi i načini izvođenja kontrole zagađenja vazduha kod motornih vozila. DMB VII (1976) 1, str. 1-10.
- [8] G. FRAENKLE, H.J. STEIN: Instationaere oder stationaere Abgaspruefverfahren fuer Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. ATZ 90 (1988) 1, str. 15-22.
- [9] W.P. CARTELLIERI, W.M. OSPELT, K. LANDFAHRER: Erfuellung der Abgasgrenzwerte von Nutzfahrzeug Dieselmotoren der 90er Jahre. MTZ 50 (1989), 9, str. 440-451.
- [10] N. TURINA: Smanjivanje zagađivanja čovjekova okoliša iz vozila modifikacijom goriva kao doprinosom međunarodnoj razmjeni razvojem turizma. Strojstvo 32 (1990) 1, str. 27-34.
- [11] Statistički godišnjak Jugoslavije, 36, 1989. Savezni zavod za statistiku, Beograd, 1989.
- [12] P. WALZER: Zur Zukunft des Autos. KFT (1990) 9, str. 22-25.
- [13] H. DŽANIĆ, J. BOŽIČEVIĆ, S. PERŠE: Ispušni plinovi cestovnih vozila kao posredni uzročnici kiselih padavina. JAZU - Znanstveni savjet za promet, Bilten II (1989) 2, str. 94-98.

- [14] **H. HEITLAND, H. HILLER, H.J. HOFFMANN:** Einfluss der zukuenftigen Pkw-Verkehrs auf die CO₂-Emission. MTZ 51 (1990) 2, str. 66-72.
- [15] **D. JERAS, D. BJELOVUČIĆ:** Neki sigurnosni, energetski i ekološki aspekti daljnjeg smanjenja dopuštene brzine cestovnih vozila u naseljenim mjestima. Zbornik radova Simpozija Sigurnosni i ekološki apsekti prometnog sistema Jugoslavije, Zagreb, JAZU, 1988, str. 193-195.
- [16] **F.X. MOSER, E. HAAS, H. SCHLOEGL:** Zur Partikelemission von Nutzfahrzeug-Diesel-motoren. MTZ 51 (1990) 5, str. 186-193.
- [17] **W.R. DIETRICH:** Erfahrungen mit der TA-Luft 1986 bei stationerer eingesetzten Verbrennungsmotoren. MTZ 49 (1988) 1, str. 5-12.
- [18] **O. KRUGGEL:** Untersuchungen zur Stickoxidminderung an schnelllaufenden Grossdieselmotore. MTZ 49 (1988) 1, str. 23-29.
- [19] **R. GUNTRUM:** Emissionsbegrenzung bei Gasmotoren. MTZ 51 (1990) 3, str. 134-136.
- [20] **M. VIHAR:** Atmosfere planeta. Čovjek i svemir, XXXIII (1990/91) 1, str: 1-8.
- [21] **N. METZ:** Entwicklung der Abgasemissionen des Personenwagen- Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland von 1970 bis 2010. ATZ 92 (1990) 4, str. 176-183.
- [22] **R. DECKER, R. SCHMOELLER, K. PRESCHER:** Einfluss der Kraftstoffhochdruckeinspritzung auf die Verbrennung im Dieselmotor. MTZ 51 (1990) 9, str. 388-394.
- [23] Izlaganje o zagađivanju okoline motornim vozilima eksperta Međunarodne banke za obnovu i razvoj, gospodina Michael P. Walscha. Simpozij JUGOMA, Goriva i maziva 29 (1990) 2-3, str. 151-155.
- [24] **F. SCHAEFER:** Gesetzliche Vorschriften zur Schadstoff- und Verbrauchsbegrenzung bei Pkw-Verbrennungsmotoren. MTZ 52 (1991) 7/8, str. 346-354.

SUMMARY

ENVIRONMENTAL FEATURES OF MOTOR VEHICLES AND LEGAL MEASURES