



PRVI SRPSKI NISKOPODNI GRADSKI AUTOBUS SA POGONOM NA KOMPRIMOVANI PRIRODNI GAS

Saša Milojević¹, Radivoje Pešić², Nenad Ilić³

Rezime: *Mnogi istraživači o gasovitim gorivima, posebno o prirodnom gasu, govore kao o gorivu budućnosti. Osnovni razlog za to nalaze u poznatim rezervama prirodnog gasa i njegovim ekološkim karakteristikama u motornim vozilima (kod gradskog autobusa sa pogonom na prirodni gas sirova emisija NOx je niža za oko 85 %, dok je emisija SOx i čestica čađi, odnosno dimnost, skoro potpuno eliminisana u poređenju sa dizel pogonom).*

U ovom radu su prikazana iskustva konstruktora firme Vulović transport d.o.o. iz Kragujevca u proizvodnji prvog Srpskog niskopodnog gradskog autobusa sa pogonom na komprimovani prirodni gas MAZ-BIK203CNG-S. Takođe su prikazana prva ispitivanja i osnovne karakteristike novog autobusa.

Prikazani su takođe eksperimentalni rezultati i ispitivanja procesa sagorevanja prirodnog gasa u mešavini sa dizel gorivom.

Ključne riječi: prirodni gas, niskopodni gradski autobus, dizel motort, ekologija vozila

THE FIRST CNG POWERED SERBIAN LOW-FLOOR CITY BUS

Abstract: *Today, many explorers take for gaseous fuels, specifically natural gas, like on fuels for future. The basic reason for that, they are finding in the natural gas notable reserves and his ecological characteristics in motor vehicles (in the city bus powered with natural gas, the raw emission of NOx is lower around 85 % while the emission of SOx and particulate matter as well as the smoke are nearly eliminated.*

In this paper are presented experience of the design engineers in Vulović transport d.o.o. Kragujevac in production of the First Serbian Low-Floor City Bus powered with compressed natural gas MAZ-BIK203CNG-S. Also there are presented the first researches and main characteristics of the new bus.

There are also presented the experimental results and researches of natural gas combustion process in mixture with diesel fuel.

Keywords: natural gas, low-floor City bus, CI engine, vehicle ecology

1. UVOD

Na samitu osmorice u maju 2006. godine, lideri vodećih zemalja sveta su

¹ Mr Saša Milojević, Kragujevac, Vulović transport d.o.o., sasa_milojevic@yahoo.com

² Prof. dr Radivoje Pešić, Kragujevac, Mašinski fakultet u Kragujevcu, pesicr@kg.ac.rs

³ Dipl.inž. Nenad Ilić, Kragujevac, Vulović transport d.o.o., vul.trans@nadlanu.com

podržali ideju da pojačaju svetsku energetska bezbednost prihvatanjem mera za efikasno korišćenje energetskih resursa u transportnom sektoru i kontrolu strukture bilansa goriva. U decembru 2003. godine EU je usvojila koncepciju zamene prirodnim gasom 10 % nafte do 2020. godine.

Primena **CNG** (*engl. Compressed Natural Gas*) u prvom redu ima prednosti sa aspekta niže cene goriva tokom eksploatacije, kao i zbog boljih ekoloških karakteristika vozila. Ostale prednosti se odnose na povećanje energetske nezavisnosti od raspoložive rezerve naftnih goriva, otvaranje novih radnih mesta u sektoru distribucije prirodnog gasa, autoindustriji i pratećim granama...

Prema motorskim merilima prirodni gas se može koristiti kao jedino gorivo bilo u oto bilo u dizel motoru. Isto tako može biti sparen sa svakom vrstom naftnog ili dokazanog alternativnog goriva (niži i viši alkoholi, biomase, biogas). Za primenu u vozilima prirodni gas se fizičkim putem pretvara u komprimovani ili tečni prirodni gas, dok se hemijskim putem pretvara u sintetske benzine i metanol, ili u aditive gorivima za oto motore, kao na primer u MTBE.

Za sada, nije dovoljno sagledano koje sve funkcije moraju da preuzmu punionice vozila prirodnim gasom zbog varijacija njegovog sastava zavisnog od porekla izvorišta. Postojanje aditiva za ujednačavanje oktanskih kvaliteta različitih sastava prirodnog gasa samo još jednom podvlači značaj ove problematike. Za sada samo u Kaliforniji (California Environment Protection Agency) i Japanu postoje standardi za prirodni gas kao motorsko gorivo, u SAD je federalnim propisima definisan sastav prirodnog gasa kao referentnog goriva za ispitivanje emisije izduvnih gasova, tabela 1 [1,2].

Tabela 1: Specifikacija prirodnog gas prema California Environment Protection Agency-standard (01.05.1999.) i referentno gorivo prema Federal Environment Protection Agency

	Kalifornija EPA	Federalna EPA	Test metoda
Specifikacija	Vrednost		
Metan	88 mol.% (min.)	89 mol.% (min.)	ASTM D 1945-81
Etan	6.0 mol.% (max.)	4.5 mol.% (max.)	
C ₃ i viši HC	3.0 mol.% (max.)	2.3 mol.% (max.)	
C ₆ i viši HC	0.2 mol.% (max.)	0.2 mol.% (max.)	
Kiseonik	1.0 mol.% (max.)	0.6 mol.% (max.)	
Suma CO ₂ i N ₂	1.5-4.5 mol.%	4.0 mol.% (max.)	
Vodonik	0.1 mol.% (max.)	-	ASTM 2650-88
Ugljen monoksid	0.1 mol.% (max.)	-	
Čestice	Ne sme sadržati prašinu, pesak, blato, gumu, ulje i druge materije koje mogu štetiti opremi stanice za punjenje ili opremi vozila		
Sumpor	16 ppm vol. (max.)	-	Title 17 CCR Section 94112
Miris:	Neprijatan i specifičan pri 1/5 donje granice upaljenja		

U Srbiji je usvojen međunarodni propis o prirodnom gasu kao "motornom gorivu", promet prirodnog gasa je normalizovan i na tržištu postoje modeli CNG vozila sa pristupačnim cenama. Trenutno u Srbiji se predviđa intenzivno povećanje broja

stanica na prirodni gas, čemu u velikoj meri doprinosi već postojeća mreža i planirana ekspanzija gasifikacije centralnog i južnog dela zemlje.

Prema našim analizama u Srbiji CNG pogon ima perspektivu, naročito u javnom sektoru, za pogon gradskih autobusa i taksi vozila, vozila komunalnih službi, poštanskih vozila, čime bi ovi sektori znatno popravili ekološku sliku, i paralelno, transportni i troškovi goriva bi dodatno bili niži. Konkretno ako bi Javni gradski prevoz putnika u Kragujevcu bio zamenjen novim CNG autobusima, godišnje bi troškovi goriva bili niži za preko 2,5 miliona eura i emisija čestica bi bila niža za preko 10 tona.

Danas u svetu ima oko 9,56 miliona vozila koja koriste prirodni gas kao pogonsko gorivo (ukupan broj CNG autobusa je oko 256.820) i preko 14.500 pumpnih stanica. Prema proceni, to donosi nižu emisiju CO₂ za preko 15 milijardi tona. U Evropi aktuelno ima oko 58.660 CNG autobusa (u Srbiji 3) i 3.052 CNG stanice (u Srbiji 8).

Veliki proizvođači autobusa (*MB i MAM*) tvrde da autobusi na prirodni gas ispunjavaju Euro V i EEV norme. Prema izveštajima o pregledanim autobusima u Nemačkoj sirova emisija NO_x je niža za 85 %, HC za 52 % i CO za 73 % u poređenju sa dizel verzijama. Niža je reaktivnost prema ozonu, a nema emisije sumpornih jedinjenja niti dima [1,2].

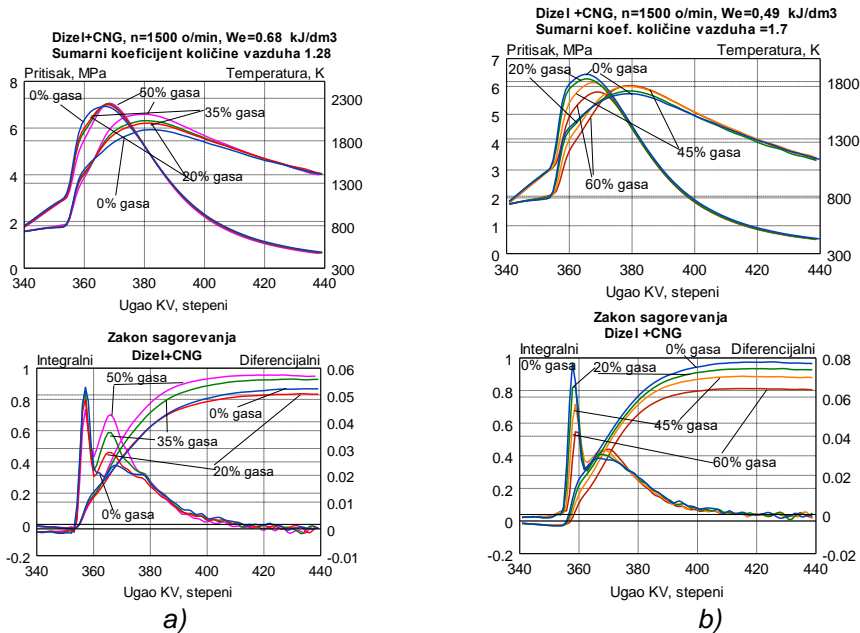
2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA PRIMENE PRIRODNOG GASA U DIZEL MOTORU

Eksperimentalna istraživanja su vršena u Laboratoriji za motore SUS na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Istraživanja su vršena na eksperimentalnom motoru LDA 450 koji je prerađen na dvogorivu varijantu. Dizel gorivo je dozirano klasičnim sistemom ubrizgavanja, a prirodni gas je, iz rezervoara, dovođen u usisni sistem preko šikljača. Rezervoar je bio pod maksimalnim pritiskom od 6 bar. U toku istraživanja sniman je indikatorski dijagram i kasnije analiziran i obrađivan radi dobijanja zakona sagorevanja. Intenzitet detonacije je praćen analizom filtriranog pritiska u cilindru [1,2].

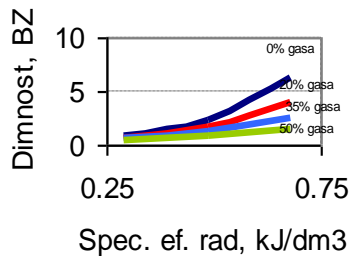
Na slici 1.a prikazani su indikatorski dijagrami i zakoni sagorevanja pri radu dizel motora sa CNG. Kada dizel radi na punom opterećenju sa CNG-om nema povećanja maksimalnog pritiska a količina goriva koja sagori u nekontrolisanom periodu ima blagi trend smanjenja sa povećanim udelom gasa. Kada je udeo prirodnog gasa veći, zapaža se izraženiji period kontrolisanog sagorevanja u kome dolazi i do uspostavljanja fronta plamena. Opravdanje je u sumarnom koeficijentu količine vazduha, koji je tada povoljan za sagorevanje homogenih smeša gasa i vazduha. Posledica je porast maksimalnih temperatura u cilindru, što može biti uzrok povećane emisije NO_x. Ovde je motor pri radu sa čistim dizelom zašao u zonu dima. Zato tada ima nepotpuno sagorevanje i veliku emisiju dima. Uvođenje gasa dovodi do potpunijeg sagorevanja i smanjenja emisije dima, srazmerno količini gasa.

Na slici 1.b prikazani su indikatorski dijagrami i zakoni sagorevanja pri radu dizel motora sa prirodnim gasom na nižem opterećenju. Na ovom režimu, zapaženo smanjenje količine goriva koja sagoreva nekontrolisano, što je ravno povećanju cetanskog broja i "mekšem" sagorevanju. Obzirom da siromašna smeša (koefic. kol. vazduha 1.7) najviše odgovara "čistom" dizel motoru (sagorevanje nehomogene smeše), tada je zapaženo i najpotpunije sagorevanje sa najvećim stepenom korisnosti. Povećanje procentualnog sadržaja gasa dovodi do povećanja količine smeše koja treba da sagori kao homogena što, u tim uslovima, dovodi do otežanog prostiranja fronta plamena i smanjenja potpunosti sagorevanja. Zato, na ovom opterećenju, nije

zapaženo povećanje količine goriva koja sagoreva u periodu kontrolisanog sagorevanja.



Slika 1: Indikatorski dijagrami i zakoni sagorevanja (% gasa predstavljaju količinu energije, koja se unosi gasom, u odnosu na ukupnu energiju goriva)

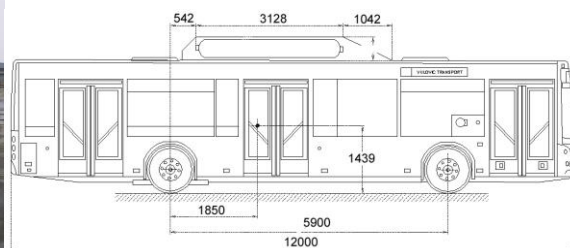


Slika 2: Dimnost u izduvnim gasovima eksperimentalnog motora na 1500 o/min

Najveća prednost rada dizel motora sa prirodnim gasom je smanjenje dimnosti izduvnih gasova odnosno emisije čestica. Na slici 2 prikazan je uticaj sadržaja prirodnog gasa i opterećenja eksperimentalnog motora na dimnost izduvnih gasova (BZ-Bosch Zahl). Očigledno je najveće smanjenje dimnosti izduvnih gasova na punom opterećenju motora, gde je i gradijent uticaja najveći. Sa smanjenjem opterećenja dizel motora uticaj gasnog goriva na smanjenje dimnosti bitno opada. Ako se podsetimo da na nižim opterećenjima dizel motora uvođenje gasnog gorivo dovodi do nepotpunog sagorevanja, a time do povećanja potrošnje i emisije CO i HC, jasno je da na niskom opterećenjima ne treba dozirati gas u dizel motor. Dakle gas treba uvoditi u cilindre dizel motora samo na srednjim i visokim opterećenjima kada je učinak gasa na smanjenje dimnosti maksimalan.

3. EKOLOŠKI AUTOBUS MAZ-BIK203CNG-S SA POGONOM NA CNG

U proizvodnom pogonu VULOVIĆ TRANSPORTA u Kragujevcu je pokrenuta serijska proizvodnja niskopodnih autobusa za gradski linijski prevoz putnika. Prvi autobus MAZ-BIK203CNG-S, sa motorom na komprimovani prirodni gas je prikazan na slici 3, dok su u tabeli 2 prikazane njegove osnovne karakteristike. Ugradnjom originalnog šestocilindričnog CNG motora firme CUMMINS, postignuta je znatno niža emisija otrovnih i štetnih produkata sagorevanja i zadovoljeni su važeći ekološki propisi EURO 4/5. Pogonski agregat u kombinaciji sa menjačem firme ALLISON i ZF pogonskom osovinom, dalje rezultira boljom dinamičnošću vozila, čime je znatno poboljšana udobnost vožnje i komfor putnika.



Slika 3: Gradski niskopodni autobus MAZ-BIK203CNG-S

Tabela 2: Osnovne tehničke karakteristike autobusa MAZ-BIK203CNG-S

MARKA I TIP AUTOBUSA	MAZ-BIK203CNG-S EKO-BUS sa pogonom na CNG gas
Visina ulaznog stepenika, mm	330 / 270* gradski niskopodni
Masa autobusa spremnog za vožnju, kg	11360
Maksimalan broj putnika i broj sedišta:	105 / 103 (26, 28) / (33, 36)
Marka i tip gasnog CNG motora - snaga motora, kW (ks) - prosečna potrošnja gasa:	Cummins CGe4 280 (Euro-4) 209 (280) pri 2400 min ⁻¹ 35 kg / 100 km
Marka i tip menjača:	Allison T325 (R), automatski sa 6 brzina
Marka i tip osovin:	ZF RL 85A napred i ZF AV 132/80 pozadi
Dimenzije pneumatika:	275/70 R 22,5 (naplatak 8,25/22,5)
Upravljački mehanizam:	ZF SERVOCOM 8098.955.643
Sistem za kočenje:	Pneumatski, disk kočnice, ABS i ASR
Vrsta elastičnog oslanjanja vozila:	Zavisno, pneumatsko, vazdušni jastuci
Klima uređaj i gasni grejač	Webasto / NGW 300 - Webasto
Gasna oprema:	Dynetek Europe GmbH, code 294
- zapremina rezervoara:	1176 l
- količina gasa:	230 m ³ / 185 kg
- saglasno standardu:	ECE R 110

Ispitivanjem novog ekološkog autobusa, potvrđena je tokom eksploatacije i bolja ekonomičnost sa gasnim pogonom u odnosu na dizel. Tome doprinosi i elektronska kontrola svih sistema na vozilu.

Autobus MAZ-BIK203CNG-S radi sa prirodnim gasom koji se komprimuje na pritisak od 200 bar i zahteva ugradnju dodatnog sistema i rezervoara za gas. Za radijus kretanja novog ekološkog vozila od preko 500 km sa jednim punjenjem rezervoara, što je više od prosečne dnevne kilometraže u gradskom saobraćaju, koja iznosi 280 do 300 km, na ojačani krov autobusa su ugrađeni kompozitni gasni rezervoari firme DYNETEK, čija je zapremina 1176 litara za 230 kubnih metara CNG.

Primenom CNG kao pogonskog goriva je napravljen izvanredan progres, ne samo sa aspekta naprednih tehničkih rešenja, već i po pitanju bezbednosti. Pri tome nismo pravili nikakve kompromise. Gasni rezervoari na vozilu su kombinacija male težine i visoke bezbednosti. Za navedeni radijus kretanja ukupna težina rezervoara sa gasom ne prelazi 700 kilograma.

4. ZAKLJUČAK

U slučaju dvogorivog rada dizel motora (dizel i prirodni gas) na visokim opterećenjima motor radi "mekše" sa izraženijim procesom kontrolisanog sagorevanja (efekat povećanja cetanskog broja). Tada je dimnost dizel motora višestruko manja, dok više maksimalne temperature pogoduju stvaranju azotovih oksida. Na nižim opterećenjima sumarno siromašna smeša ne odgovara uslovima prostiranja fronta plamena što povećava potrošnju i emisiju HC i CO.

Zamenom starih dizel autobusa u javnom gradskom prevozu putnika, sa autobusima koji koriste komprimovani prirodni gas kao pogonsko gorivo, pored značajnih ekonomskih ušteta na gorivu, u velikoj meri doprinelo bi se očuvanju čovekove okoline i zdravija ljudi. Napomenimo još jednom da novi gasni autobusi nemaju emisiju olova koje je nervni otrov, eliminisana je dimnost kao i emisija čađi.

LITERATURA

- [1] R. Pešić, S. Petković, S. Veinović: Motorna vozila i motori – oprema, Mašinski fakultet u Kragujevcu i Mašinski fakultet u Banja Luci 2008., knjiga od 536 strana, ISBN 978-99938-39-20-0, COBISS.BH-ID 750872.
- [2] R. Pešić, S. Veinović, A. Davinić: Motorske karakteristike gasovitih goriva, Savetovanje sa međunarodnim učešćem YUNG 4-P - 2002., Novi Sad 25-27 septembar 2002., Zbornik radova strane 27 do 33.
- [3] R. Pešić, S. Veinović, A. Davinić: Prirodni gas kao sirovina i gorivo za motorna vozila, XII International Scientific Symposium, MVM 2002, Proceedings YU-02069, p. 284÷289, 7÷9. oktobar. 2002.g. Kragujevac
- [4] R. Pešić, S. Veinović, A. Davinić, M. Gajović: Motorski aspekti primene gasovitih goriva na motornim vozilima, Časopis gasne privrede Srbije i Crne Gore UDK 662.76, YU ISSN 0354-8589, strane 88-95, Godina VII broj 2-3, Beograd, Jun 2003.
- [5] Saša Milojević: "Istraživanje uticaja stepena kompresije na radni proces dizel motora", Magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2005. godine



BANJALUKA

28-29. 05. 2009.

UNIVERZITET U BANJALUCI

DEMI 2009

MAŠINSKI FAKULTET

9. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
O DOSTIGNUĆIMA ELEKTROTEHNIKE,
MAŠINSTVA I INFORMATIKE

9th INTERNATIONAL CONFERENCE
ON ACCOMPLISHMENTS IN ELECTRICAL
AND MECHANICAL ENGINEERING
AND INFORMATION TECHNOLOGY

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

UNIVERZITET U BANJALUCI
MAŠINSKI FAKULTET

BANJALUKA, 28. - 29. MAJ 2009.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

621(082)
531/534(082)
624.04(082)
536.7(082)
620.9(082)
621.3(082)
658.58(082)

**МЕЂУНАРОДНА конференција о достигнућима
електротехнике, машинства и информатике (9 ; 2009
; Бања Лука)**

Zbornik radova = Proceedings / 9. međunarodna
konferencija o dostignućima elektrotehnike,
mašinstva i informatike DEMI 2009 = 9th
International Conference on Accomplishments in
Electrical, Mechanical and Informatic Engineering
DEMI 2009, Banja Luka, 28-29. maj 2009 ;
[organizator] Mašinski fakultet ; [glavni urednik
Zivko Babić]. - Banja Luka : Mašinski fakultet,
2009 (Banja Luka : Grafopapir). - 864 str. :
ilustr. ; 25 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 180. -
Napomene i bibliografske reference uz tekst. -
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-99938-39-23-1

COBISS.BH-ID 1053976