

ALEKSANDAR GRKIĆ  
DEJAN MATIJEVIĆ  
DALIBOR VUKIĆ

# **Sistemi paljenja i ubrizgavanja u oto motorima**

---

Priručnik za laboratorijske vežbe



VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
STRUKOVNIH STUDIJA,  
BEOGRAD  
2017.

Autori: *dr Aleksandar Grkić*  
*Dejan Matijević, dipl.inž.*  
*Dalibor Vukić, spec.struk.inž.*

Recenzenti: *dr Vera Petrović*  
*mr Milija Džekulić*

Izdavač: *Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Vojvode*  
*Stepe 283, Beograd*

Obrada teksta: *Dejan Matijević*  
*Dalibor Vukić*

Korice: *Nenad Seljišta, spec.struk.inž.*

Tiraž: 80

Štampa: Razvojno-istraživački centar grafičkog inženjerstva TMF, Beograd

Prvo izdanje

ISBN: 978-86-7982-268-0

=====

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

621.434 (075.8) (076)

ГРКИЋ, Александар, 1973-

Sistemi paljenja i ubrizgavanja u oto motorima : priručnik za  
laboratorijske vežbe / Aleksandar Grkić, Dejan Matijević,  
Dalibor Vukić. -

1. izd. - Beograd : Visoka škola elektrotehnike i računarstva  
strukovnih  
studija, 2017 (Beograd : Razvojno-istraživački centar grafičkog  
inženjerstva TMF). - 115 str. : ilustr. ; 30 cm

Tiraž 80. - Bibliografija: str. 115.

ISBN 978-86-7982-268-0

1. Матијевић, Дејан, 1988- [аутор] 2. Вукић, Далибор, 1985-  
[аутор]

а) Мотори са унутрашњим сагоревањем - Вежбе  
COBISS.SR-ID 250490380

## **PREDGOVOR**

Predmet Sistemi paljenja i ubrizgavanja u oto motorima izučava se na osnovnim studijama u okviru studijskog programa Automatika i sistemi upravljanja vozilima u Visokoj školi elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu. Ovaj priručnik za laboratorijske vežbe usklađen je sa programom predmeta za koji je namenjen.

Priručnik se sastoji od deset laboratorijskih vežbi. Teorijski deo laboratorijskih vežbi omogućava studentima lakše usvajanje predviđenog nastavnog sadržaja predmeta, a sa druge strane predstavlja potrebnu osnovu za razumevanje i izvođenje praktičnih zadataka. Ishod praktičnog dela laboratorijskih vežbi je usvajanje potrebnih veština i znanja za uspešno rešavanje problema u sistemima paljenja i ubrizgavanja oto motora.

Laboratorijske vežbe izvode se u specijalizovanim laboratorijama Visoke škole elektrotehnike i računarstva, uz korišćenje savremene dijagnostičke aparature. Ovaj priručnik omogućava studentima sticanje sveobuhvatne osnove za uspešno razumevanje tendencije daljeg razvoja sistema upravljanja u oto motorima i osposobljava studente za samostalno rešavanje praktičnih dijagnostičkih problema.

U Beogradu, oktobar 2017.

*Autori*



# SADRŽAJ

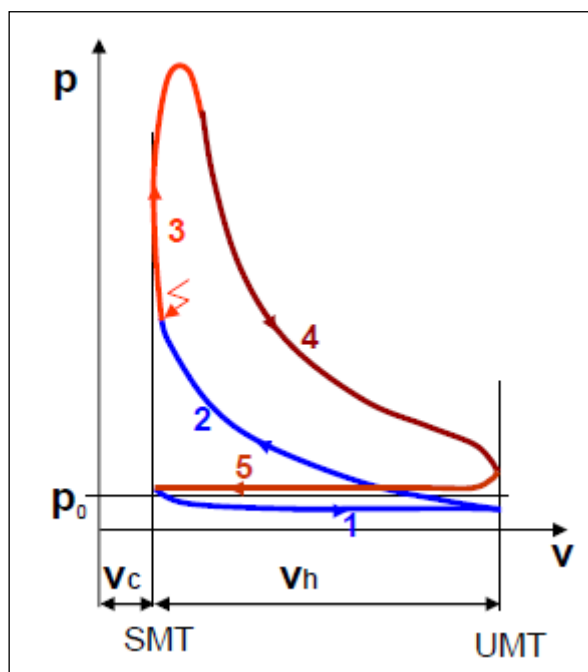
Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 1 .....	1
Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 2 .....	9
Ispitivanje zaptivenosti oto motora .....	17
Izduvni gasovi oto motora.....	27
Sistemi paljenja u oto motorima.....	41
Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora.....	57
Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora.....	69
Sistem za napajanje oto motora gorivom .....	81
Pogon oto motora na tegni naftni gas.....	94
Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji .....	105
LITERATURA.....	115





## Laboratorijska vežba 1

### Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 1



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

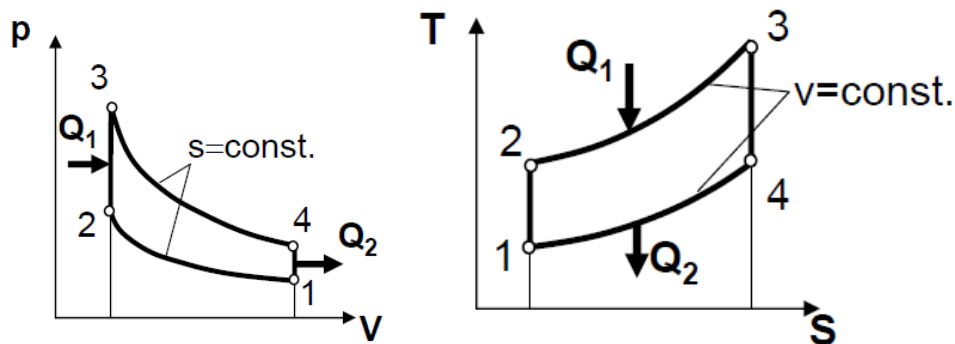
## 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je sticanje osnovnih znanja o idealiziranom termodinamičkom oto i kombinovanom ciklusu. Kroz primenu osnovnih termodinamičkih zakona i relacija, studenti se upoznaju sa veličinama stanja, njihovim međuzavisnostima, kao i relevantnim vrednostima i jedinicama veličina stanja, koje se prema proračunu očekuju u radnom prostoru motora SUS.

## 2. Osnove idealiziranog termodinamičkog ciklusa

Osnovni kružni idealiziran termodinamički OTO ciklus, karakteriše se dovodenjem toplote pri konstantnoj zapremini ( $V=\text{const.}$ ). Osnovna karakteristika ciklusa je dovodenje toplote  $Q_1$ , pri konstantnoj zapremini, u SMT (spoljnoj mrtvoj tački). Ovaj zatvoreni kružni ciklus sastoji se od sledećih faza i prikazan je na Slici 1:

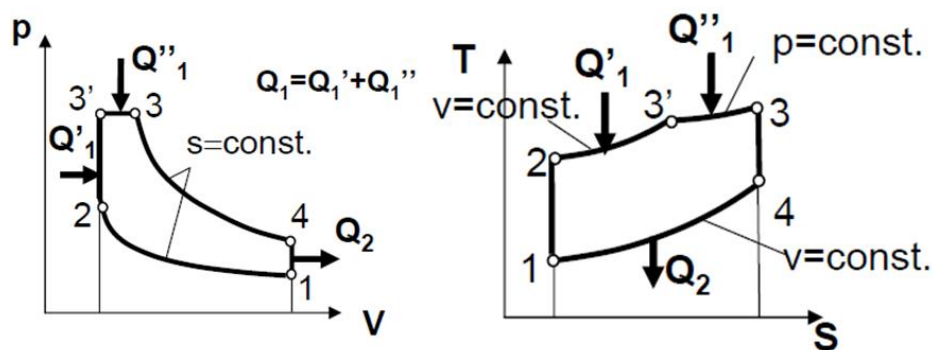
- tačka 1 – tačka 2 : izentropa sabijanja,
- tačka 2 – tačka 3: izohorsko dovodenje toplote  $Q_1$ ,
- tačka 3 – tačka 4: izentropa širenja,
- tačka 4 – tačka 1: izohorsko odvođenje toplote  $Q_2$ .



Slika 1. Idealni OTO ciklus u p-V i T-s koordinatama

Sabate ili kombinovani ciklus karakteriše se kombinovanim dovodenjem toplote  $Q_1$  i to jednim delom pri konstantnoj zapremini (izohorski), a drugim delom pri konstantnom pritisku (izobarski). Faze termodinamičkog ciklusa, prikazanog na Slici 2, su:

- tačka 1 – tačka 2: izentropa sabijanja,
- tačka 2 – tačka 3': izohorsko dovodenje toplote  $Q_1'$ ,
- tačka 3' – tačka 3: izobarsko dovodenje toplote  $Q_1''$ ,
- tačka 3 – tačka 4: izentropa širenja,
- tačka 4 – tačka 1: izohorsko odvođenje toplote  $Q_2$ :



Slika 2. Idealni Sabate ili kombinovani ciklus u p-V i T-s koordinatama



Ovaj ciklus je prelaz oto i dizel ciklusa, zbog dovođenja toplote pri konstantnoj zapremini i pri konstantnom pritisku.

### 3. Osnovne veličine i parametri idealiziranih termodinamički ciklusa

Osnovni kriterijumi za određivanje efikasnosti idealiziranih termodinamičkih ciklusa u pogledu iskorišćenja dovedene toplotne energije i veličine razvijenog mehaničkog rada su:

- termodinamički stepen korisnosti  $\eta_t$
- specifični rad ciklusa  $p_t$

Termodinamički stepen korisnosti ciklusa definisan je odnosom dobijenog rada (iskorišćene toplote) prema dovedenoj toploti ciklusa:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Specifični rad ciklusa pokazuje koliko se rada može dobiti po jedinici radne zapremine. Često se još naziva srednji rad ciklusa.

$$p_t = \frac{W_t}{V_h} = \frac{Q_1 - Q_2}{V_h}$$

, gde je:

$V_h$  - radna zapremina cilindra

U opštem slučaju, za kombinovani ciklus, dovedena i odvedena toplota nekoj proizvoljnoj masi  $m$  koja se nalazi u radnom prostoru može se predstaviti pomoću sledećih relacija:

$$Q_1 = Q_1' + Q_1''$$

$$Q_1' = m \cdot c_v \cdot (T_3' - T_2) \quad - \quad \text{izohorsko dovođenje toplote}$$

$$Q_1'' = m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_3') \quad - \quad \text{izobarsko dovođenje toplote}$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) \quad - \quad \text{izohorsko odvođenje toplote}$$

, gde su:

$c_v$  i  $c_p$  - specifične toplote radnog fluida koje su konstantne i ne menjaju se tokom ciklusa.

Analize i proračuni idealiziranih termodinamičkih ciklusa uključuju sledeće pretpostavke:

- Radna materija je idealan gas, čiji se sastav ne menja u toku ciklusa.
- Termodinamička svojstva radnog gasa su konstantna (ne zavise od  $p$  i  $T$ ), tj.  $c_v = \text{const}$  i  $c_p = \text{const}$ .
- Proces sagorevanja se zamenjuje dovođenjem ekvivalentne količine toplote  $Q_1$  a proces izmene radne materije odvođenjem ekvivalentne količine toplote  $Q_2$ .
- Procesi sabijanja i širenja su bez ikakvih gubitaka tako da su ne samo adijabatski već i izentropski.

Tabela osnovnih politropskih promena stanja idealnog gasa, na osnovu kojih se izvode i računaju veličine stanja u svakoj od karakterističnih tačaka zatvorenog kružnog ciklusa, prikazane su u Tabeli 1.

Laboratorijska vežba 1: Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 1

Promena stanja	Izohorska	Izobarska	Izotermska	Izentropska
	$v = const$	$p = const$	$T = const$	$s = const$
Jednačina promene	$\frac{T}{p} = const$	$\frac{T}{v} = const$	$p \cdot v = const$	$p \cdot v^\kappa = const$ $T \cdot v^{\kappa-1} = const$ $T^\kappa \cdot p^{1-\kappa} = const$
Međusobni odnosi veličina stanja	$\frac{T_1}{p_1} = \frac{T_2}{p_2}$	$\frac{T_1}{v_1} = \frac{T_2}{v_2}$	$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$	$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^\kappa = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$ $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$ $\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\kappa-1}$

Tabela 1: Osnovne politropske promene veličina stanja idealnog gasa

Veličina  $s$  predstavlja entropiju. Entropija je veličina stanja koja se može posmatrati kao mera za „vezanu“ energiju nekog zatvorenog materijalnog sistema, zapravo energiju koja se nasuprot „slobodnoj“ više ne može pretvoriti u rad. Proces sabijanja i širenja kod idealiziranih termodinamičkih ciklusa smatraju se izentropskim ( $s=const$ ).

$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$  - konstanta koja zavisi od vrste radnog gasa (eksponent izentropije)

Međusobni odnosi veličina stanja, između dve susedne tačke idealiziranog termodinamičkog ciklusa, izvede se poznavajući promenu stanja koja je između te dve susedne tačke zastupljena. Za dodatno razumevanje, neophodno je poznavati jednačinu stanja idealnog gasa:

$$p \cdot v = m \cdot R \cdot T$$

, gde je  $R$  - relativna gasna konstanta ( $R = c_p - c_v$ ), za vazduh iznosi 287 J/kgK.

Odgovarajuće temperature tokom ciklusa moguće je izraziti pomoću početne temperature ciklusa  $T_1$ .

Temperatura na kraju sabijanja dobija se na osnovu jednačine izentropije:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

, gde je:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad - \quad \text{stepen sabijanja}$$

$V_c$  - kompresiona zapremina cilindra

Temperatura na kraju izohorskog dovođenja toplote dobija se na osnovu jednačine izohore:

$$T_3 = T_2 \cdot \frac{p_3}{p_2} = T_2 \cdot \alpha = T_1 \cdot \alpha \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

, gde je:

$$\alpha = \frac{p_3}{p_2} \quad - \quad \text{stepen porasta pritiska prilikom dovođenja toplote (za dizel ciklus } \alpha^d = 1.0)$$

Temperatura na kraju izobarskog dovođenja toplote dobija se na osnovu jednačine izobare:

$$T_3 = T_3' \cdot \left( \frac{V_3}{V_3'} \right) = T_3' \cdot \rho = T_1 \cdot \rho \cdot \alpha \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

, gde je:

$$\rho = \frac{V_3}{V_3'} = \frac{V_3}{V_2} \quad - \quad \text{stepen širenja tokom dovođenja toplote (za oto ciklus } \rho^0 = 1.0)$$

Temperatura na kraju širenja dobija se na osnovu jednačine ekspanzije:

$$T_4 = T_3 \cdot \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1} = \frac{T_3}{\delta^{\kappa-1}} = T_1 \cdot \alpha \cdot \rho^{\kappa}$$

, gde je:

$$\delta = \frac{V_4}{V_3} = \frac{\varepsilon}{\rho} \quad - \quad \text{stepen širenja (za oto ciklus } \delta = \varepsilon)$$

#### 4. Zadatak

Samostalno prepisati i računski proveriti rešenje zadatka:

4-cilindarski usisni (aspiratorski) motor ukupne radne zapremine 1372 cm<sup>3</sup> radi prema oto (Otto) ciklusu. Step en sabijanja je  $\varepsilon=9.2$ . Termodinamički parametri na početku takta sabijanja su  $p_1=105$  kPa i  $T_1=298$  K. Dovedena količina toplote iznosi  $Q_1=1040,714$  J. Pod pretpostavkom da je radni medijum čist vazduh ( $\kappa=1.4$ ,  $c_v=717.857$  J/kgK, uz zanemarivanje učešća goriva i produkata sagorevanja, promenu sastava i curenje radne materije) potrebno je odrediti:

- gustinu i masu gasa na početku sabijanja;
- pritisak i temperaturu na kraju takta sabijanja  $p_2$  i  $T_2$  (pretpostaviti izentropsku promenu stanja);
- pritisak i temperaturu na kraju sagorevanja  $p_3$  i  $T_3$  (pretpostaviti izohorsko dovođenje toplote);
- pritisak i temperaturu na kraju takta širenja  $p_4$  i  $T_4$  (pretpostaviti izentropsku promenu stanja);
- količinu odvedene toplote  $Q_2$ ;
- termodinamički stepen korisnosti  $\eta$ ;

Ulazni podaci su:

- ukupna radna zapremina motora:  $V_h=1372$  cm<sup>3</sup>
- broj cilindara:  $z=4$
- stepen sabijanja motora:  $\varepsilon=9.2$
- pritisak na početku sabijanja:  $p_1=105$  kPa
- temperatura na početku sabijanja:  $T_1=298$  K
- gasna konstanta za vazduh:  $R=287$  J/kg K
- eksponent izentrope za vazduh:  $\kappa=1.4$
- specifična toplota pri  $V=\text{const.}$ :  $c_v=717.857$  J/kgK
- dovedena količina toplote:  $Q_1=1040.714$  J

### Rešenje

a)

Određivanje radne zapremine cilindra motora:

$$V_{h1} = \frac{V_h}{z} = \frac{1372 \text{ cm}^3}{4} = 343 \text{ cm}^3 = 0.000343 \text{ m}^3$$

Određivanje kompresione zapremine cilindra motora:

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$V_c = \frac{V_{h1}}{\varepsilon - 1} = 0.000042 \text{ m}^3$$

Određivanje zapremine cilindra na početku takta sabijanja (tačka 1 u *p-v* dijagramu):

$$V_1 = V_{h1} + V_c = 0.000385$$

Određivanje zapremine cilindra na kraju takta sabijanja (tačka 2 u *p-v* dijagramu):

$$V_2 = V_c = 0.000042 \text{ m}^3$$

Određivanje gustine na početku takta sabijanja:

Na osnovu jednačine stanja idealnog gasa:

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T,$$

sledi izraz:

$$\frac{m}{V} = \rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

Gustina gasa na početku takta sabijanja:

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R \cdot T_1} = \frac{10^5 \text{ Pa}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}} = 1,169 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Određivanje mase gasa na početku takta sabijanja:

Na osnovu jednačine stanja idealnog gasa:

$$m_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{10^5 \text{ Pa} \cdot 0.000385 \text{ m}^3}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}} = 0,00045 \text{ kg}$$

Provera, prema izrazu za gustinu gasa:

$$m_1 = \rho_1 \cdot V_1 = 1,169 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,000385 \text{ m}^3 = 0,00045 \text{ kg}$$

b)

Na osnovu izraza za izentropsku promenu stanja idealnog gasa:

$$p \cdot V^\kappa = \text{const}$$

, dobija se izraz za određivanje pritiska na kraju izentropskog sabijanja:

$$p_2 = p_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\kappa = 10^5 \text{ Pa} \cdot \left( \frac{0,000385 \text{ m}^3}{0,000042 \text{ m}^3} \right)^{1,4} = 2,235 \text{ MPa} = 22,35 \text{ bar}$$

Kombinovanjem jednačine stanja idealnog gasa i izraza za izentropsku promenu stanja:

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad \text{i} \quad p \cdot V^\kappa = \text{const} \quad , \text{dobija se } T \cdot V^{\kappa-1} = \text{const}$$

Temperatura  $T_2$  na kraju izentropskog sabijanja:

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = 298 \text{ K} \cdot \left( \frac{0,000385 \text{ m}^3}{0,000042 \text{ m}^3} \right)^{1,4-1} = 723,9 \text{ K}$$

c)

Na osnovu opšteg izraza za dovedenu količinu toplote pri izohorskoj promeni stanja ( $V = \text{const}$ ):

$$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

Izraz za izohorsko dovođenje toplote kod motora SUS:

$$Q_1 = m_2 \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

Temperatura na kraju dovođenja toplote:

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{m_1 \cdot c_v} = 723,9 \text{ K} + \frac{1040,714 \text{ J}}{0,00045 \text{ kg} \cdot 717,857 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 3946 \text{ K}$$

Pritisak na kraju izohorskog dovođenja toplote, određuje se na osnovu jednačine stanja idealnog gasa za tačku 3 (uz pretpostavku da nije došlo do promene mase radne materije):

$$p_3 = \frac{m_1 \cdot R \cdot T_3}{V_3} = \frac{0,00045 \text{ kg} \cdot 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3946 \text{ K}}{0,000042 \text{ m}^3} = 12,182 \text{ MPa} = 121,82 \text{ bar}$$

d)

Analogno postupku za određivanje parametara na kraju izentropskog sabijanja, za slučaj  $V_3 = V_c$  i  $V_4 = V_1$ , pritisak i temperatura na kraju takta širenja određuju se na sledeći način:

$$p_4 = p_3 \cdot \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\kappa = 12,182 \text{ MPa} \cdot \left( \frac{0,000042 \text{ m}^3}{0,000385 \text{ m}^3} \right)^{1,4} = 5,45 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 5,45 \text{ bar}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1} = 3946 \text{ K} \cdot \left( \frac{0,000042 \text{ m}^3}{0,000385 \text{ m}^3} \right)^{1,4-1} = 1624 \text{ K}$$

e)

Analogno izrazu za dovedenu količinu toplote, odvedena količina toplote se određuje:

$$Q_2 = m_4 \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) = m_1 \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1) = 0,00045 \text{ kg} \cdot 717,857 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (1624 \text{ K} - 298 \text{ K})$$

$$Q_2 = 428,367 \text{ K}$$

f)

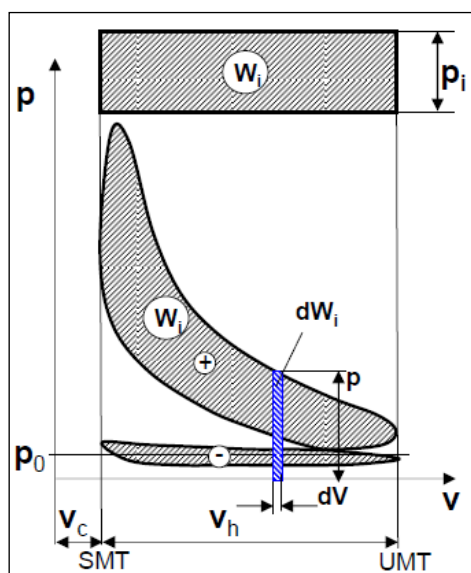
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{428,367 \text{ J}}{1040,714 \text{ J}} = 0,588$$





## Laboratorijska vežba 2

### Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 2



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

### 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je produbljivanje znanja o idealiziranim termodinamičkim ciklusima, kroz konkretne proračune i povezivanje izračunatih vrednosti sa stvarnima koje su karakteristične za oto motore. Od studenata se očekuje samostalno rešavanje navedenih zadataka. Kao pomoć, prikazan je tok rešavanja, sa rešenjima nakon svakog koraka.

### 2. Zadaci

#### Zadatak 1:

Osnovni tehnički podaci za aspiratorski benzinski motor su:

- prečnik klipa:  $D=80.4$  mm
- hod klipa:  $s=55$  mm
- stepen sabijanja:  $\varepsilon=9.1$

Termodinamički parametri na početku takta sabijanja su  $p_1=105$  Pa i  $T_1=298$  K.

Motor radi sa stehiometrijskom smešom  $\lambda=1.0$ .

Donja toplotna moć goriva je  $H_d=42.5$  MJ/kg, a stehiometrijska količina vazduha potrebna za njegovo sagorevanje iznosi  $l_0=14.7$  kg vazduha/1 kg goriva.

Pretpostaviti da je radni medijum čist vazduh ( $\kappa=1.4$ ,  $c_p=1005$  J/kgK,  $c_v=717.857$  J/kgK, zanemariti učešće goriva i produkata sagorevanja, promenu sastava i curenje radne materije). Pritisak je ograničen na  $68 \cdot 10^5$  Pa.

Neophodno je odrediti sledeće parametre:

- a) gustinu i masu gasa na početku sabijanja
- b) pritisak i temperaturu na kraju takta sabijanja  $p_2$  i  $T_2$  (pretpostaviti izentropsku promenu stanja)
- c) temperaturu  $T_3'$  i stepen porasta pritiska pri izohorskom dovođenju toplote  $q$
- d) količinu dovedene toplote  $Q_1$ , količinu dovedene toplote pri  $V=const.$   $Q_1'$  i količinu dovedene toplote pri  $p=const.$   $Q_1''$  i stepen ekspanzije pri izobarskom dovođenju toplote  $q$
- e) pritisak i temperaturu na kraju takta širenja  $p_4$  i  $T_4$  (pretpostaviti izentropsku promenu stanja)
- f) termodinamički stepen korisnosti  $\eta_t$  i specifični rad ciklusa  $pt$

Ulazni podaci su:

- prečnik klipa:  $D=80.4$  mm
- hod klipa:  $s=55$  mm
- stepen sabijanja motora:  $\varepsilon=9.1$
- pritisak na početku sabijanja:  $p_1=105$  kPa
- temperatura na početku sabijanja:  $T_1=298$  K
- gasna konstanta za vazduh:  $R=287$  J/kg K
- eksponent izentropije za vazduh:  $\kappa=1.4$
- specifična toplota pri  $V=const.$ :  $c_v=717.857$  J/kgK
- specifična toplota pri  $p=const.$ :  $c_p=1005.0$  J/kgK
- donja toplotna moć goriva:  $H_d=42.5$  MJ/kg
- koeficijent viška vazduha:  $\lambda=1.0$
- stehiometrijska količina vazduha:  $l_0=14.7$  kg/kg



**Rešenje:**

a)

Radna zapremina cilindra motora:

$$V_{h1} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot s$$

$$V_{h1} = 0,000279 \text{ m}^3$$

Kompresiona zapremina cilindra:

$$V_c = \frac{V_{h1}}{\varepsilon - 1}$$

$$V_c = 0,000034 \text{ m}^3$$

Zapremina cilindra na početku takta sabijanja (tačka 1):

$$V_1 = V_{h1} + V_c$$

$$V_1 = 0,000314 \text{ m}^3$$

Zapremina cilindra na kraju takta sabijanja (tačka 2):

$$V_2 = V_c$$

$$V_2 = 0,000034 \text{ m}^3$$

Gustina na početku takta sabijanja:

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R \cdot T_1}$$

$$\rho_1 = 1,169 \text{ kg/m}^3$$

Masa gasa na početku takta sabijanja:

prema jednačini stanja idealnog gasa:

$$m_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1}$$

$$m_1 = 0,000366 \text{ kg}$$

iz izraza za gustinu gasa:

$$m_1 = \rho_1 \cdot V_1$$

$$m_1 = 0,000366 \text{ kg}$$

b)

Na osnovu izraza za izentropsku promenu stanja idealnog gasa:

$$p \cdot V^\kappa = \text{const} \quad \text{odnosno,} \quad p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$$

, dobija se izraz za određivanje pritiska na kraju izentropskog sabijanja:

$$p_2 = p_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\kappa$$

$$p_2 = 22,47 \text{ bar}$$

Kombinovanjem jednačine stanja idealnog gasa i izraza za izentropsku promenu stanja:

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad \text{i} \quad p \cdot V^\kappa = \text{const} \quad , \text{dobija se } T \cdot V^{\kappa-1} = \text{const}$$

Temperatura  $T_2$  na kraju izentropskog sabijanja:

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1}$$

$$T_2 = 725 \text{ K}$$

c)

Temperaturu na kraju procesa izohorskog dovođenja toplote  $T_3$ , moguće je odrediti iz jednačine stanja idealnog gasa za tačku 3 ( $p_v$  dijagrama), pošto je poznat pritisak  $p_3$ .

$$T_3' = \frac{p_3 \cdot V_3}{m_3 \cdot R}$$

$$T_3' = 2201 \text{ K}$$

Stepen porasta pritiska pri izohorskom dovođenju toplote ( $V=\text{const}$ ):

$$\alpha = \frac{p_3}{p_2}$$

$$\alpha = 3,026$$

d)

Obzirom da je maksimalni pritisak ograničen (Sabate ciklus), ukupna dovedena količina toplote  $Q_1$  sastoji se od količine toplote dovedene pri izohorskom procesu ( $V=\text{const}$ )  $Q_1'$  i količine dovedene toplote pri izobarskom procesu ( $p=\text{const}$ )  $Q_1''$ .

Uz zanemarivanje realnosti procesa izmene radne materije (odsustvo strujnih gubitaka na razvodnim organima i zaostalih produkata sagorevanja...), ukupno dovedenu količinu toplote moguće je odrediti na osnovu karakteristika goriva (donja toplotna moć  $H_d$ ), stehiometrijske količine vazduha  $l_0$  i zadatog sastava smeše (koeficijent viška vazduha  $\lambda$ ).

Određivanje mase goriva  $m_g$  u procesu sagorevanja:

$$\lambda = \frac{m_{stv}}{m_{teor}} = \frac{m_{stv}}{m_{steh}} = \frac{m_{stv}}{m_g \cdot l_0} \quad \Rightarrow \quad m_g = \frac{m_{stv}}{\lambda \cdot l_0} = \frac{m_1}{\lambda \cdot l_0}$$

## Laboratorijska vežba 2: Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 2

Ukupno dovedena količina toplote  $Q_1$ :

$$Q_1 = H_d \cdot m_g = H_d \cdot \frac{m_1}{\lambda \cdot l_0}$$

$$Q_1 = 1058,16 \text{ J}$$

Dovedena količina toplote pri izohorskoj promeni stanja ( $V=\text{const}$ )  $Q_1'$ :

$$Q_1' = m_1 \cdot c_v \cdot (T_3' - T_2')$$

$$Q_1' = 387,8 \text{ J}$$

Dovedena količina toplote pri izobarskoj promeni stanja ( $p=\text{const}$ )  $Q_1''$ :

$$Q_1'' = Q_1 - Q_1'$$

$$Q_1'' = 670,36 \text{ J}$$

Određivanje temperature na kraju izobarskog dovođenja toplote  $T_3$ :

$$Q_1'' = m_3 \cdot c_p \cdot (T_3 - T_3') \quad \Rightarrow \quad T_3 = T_3' + \frac{Q_1''}{m_1 \cdot c_p}$$

$$T_3 = 4023,5 \text{ K}$$

Zapremina na kraju procesa izobarskog dovođenja toplote  $V_3$ :

$$V_3 = \frac{m_3 \cdot R \cdot T_3}{p_3}$$

$$V_3 = 0,000062 \text{ m}^3$$

Stepen ekspanzije pri izobarskom dovođenju toplote  $\rho$ :

$$\rho = \frac{V_3}{V_3'}$$

$$\rho = 1,82$$

e)

Analogno postupku za određivanje parametara na kraju izentropskog sabijanja, za slučaj  $V_3 = V_c$

i  $V_4 = V_1$ :

$$p_4 = p_3 \cdot \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^\kappa$$

$$p_4 = 7,017 \text{ bar}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1}$$

$$T_4 = 2103 \text{ K}$$

f)

Dovedena količina toplote  $Q_2$ :

$$Q_2 = m_4 \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)$$

$$Q_2 = 474,23 \text{ J}$$

Termodinamički stepen korisnosti  $\eta_t$ :

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_t = 0,552$$

Specifični rad ciklusa  $p_t$ :

$$p_t = \frac{Q_1 - Q_2}{V_{h1}}$$

$$p_t = 20,93 \text{ bar}$$

### Zadatak 2:

4-cilindarski aspiratorski oto motor ima radnu zapreminu  $V_h=1398 \text{ cm}^3$  i stepen sabijanja  $\varepsilon=10.0$ . Tokom sagorevanja dovedena je količina toplote  $Q_1=945,171 \text{ J}$ .

Rekonstrukcijom cilindarske glave stepen sabijanja je snižen na  $\varepsilon=8.5$ .

Termodinamički parametri na početku takta sabijanja u oba slučaja su isti  $p_1=105 \text{ Pa}$  i  $T_1=298 \text{ K}$ .

Donja toplotna moć goriva je  $H_d=42.5 \text{ MJ/kg}$ , a stehiometrijska količina vazduha potrebna za njegovo sagorevanje iznosi  $l_0=14.7 \text{ kg vazduha/1 kg goriva}$ .

Pretpostaviti da je radni medijum čist vazduh ( $\kappa=1.4$ ,  $c_p=1005 \text{ J/kgK}$ ,  $c_v=717.857 \text{ J/kgK}$ , zanemariti učešće goriva i produkata sagorevanja, promenu sastava i curenje radne materije).

Neophodno je odrediti procentualni udeo promene pritiska na kraju dovođenja toplote, izazvanog rekonstrukcijom glave motora  $\delta_{p3}[\%]$ , kao i promenu porasta pritiska pri dovođenju toplote  $\delta_\alpha[\%]$ .

Ulazni podaci:

- ukupna radna zapremina motora:  $V_h=1398 \text{ cm}^3$
- broj cilindara:  $z=4$
- stepen sabijanja motora:  $\varepsilon_1=10.0 / \varepsilon_2=8.5$
- pritisak na početku sabijanja:  $p_1=105 \text{ kPa}$
- temperatura na početku sabijanja:  $T_1=298 \text{ K}$
- gasna konstanta za vazduh:  $R=287 \text{ J/kg K}$
- eksponent izentrope za vazduh:  $\kappa=1.4$
- specifična toplota pri  $V=\text{const.}$ :  $c_v=717.857 \text{ J/kgK}$
- specifična toplota pri  $p=\text{const.}$ :  $c_p=1005.0 \text{ J/kgK}$
- donja toplotna moć goriva:  $H_d=42.5 \text{ MJ/kg}$
- stehiometrijska količina vazduha:  $l_0=14.7 \text{ kg/kg}$

**Rešenje:**

Određivanje gustine i mase gasa na početku sabijanja:

Radna zapremina cilindra  $V_h$ :

$$V_{h1} = 0,0003495 \text{ m}^3$$

Kompresione zapremine cilindra pre i posle rekonstrukcije cilindarske glave  $V_{c(\varepsilon=10)}$  i  $V_{c(\varepsilon=8,5)}$ :

$$V_{c(\varepsilon=10)} = 0,000039 \text{ m}^3$$

$$V_{c(\varepsilon=8,5)} = 0,000047 \text{ m}^3$$

Ukupne zapremine cilindra, pre i posle rekonstrukcije  $V_{1(\varepsilon=10)}$  i  $V_{1(\varepsilon=8,5)}$ , na početku takta sabijanja (tačka 1):

$$V_{1(\varepsilon=10)} = 0,000388 \text{ m}^3$$

$$V_{1(\varepsilon=8,5)} = 0,000396 \text{ m}^3$$

Zapremine cilindra, pre i posle rekonstrukcije  $V_{2(\varepsilon=10)}$  i  $V_{2(\varepsilon=8,5)}$ , na kraju takta sabijanja (tačka 2):

$$V_{2(\varepsilon=10)} = V_{c(\varepsilon=10)} = 0,000039 \text{ m}^3$$

$$V_{2(\varepsilon=8,5)} = V_{c(\varepsilon=8,5)} = 0,000047 \text{ m}^3$$

Gustina gasa na početku takta sabijanja:

$$\rho_{1(\varepsilon=10)} = \rho_{1(\varepsilon=8,5)} = 1,169 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Određivanje mase gasa na početku takta sabijanja:

$$m_{1(\varepsilon=10)} = 0,000454 \text{ kg}$$

$$m_{1(\varepsilon=8,5)} = 0,000463 \text{ kg}$$

Određivanje pritiska i temperature, na kraju takta sabijanja:

$$p_{2(\varepsilon=10)} = 24,94 \text{ bar}$$

$$p_{2(\varepsilon=8,5)} = 19,76 \text{ bar}$$

$$T_{2(\varepsilon=10)} = 747 \text{ K}$$

$$T_{2(\varepsilon=8,5)} = 699 \text{ K}$$

## Laboratorijska vežba 2: Termodinamički ciklusi oto motora – numerički primeri 2

Određivanje temperature i pritiska na kraju izohorskog dovođenja toplote  $p_3$  i  $T_3$ :

$$T_{3(\varepsilon=10)} = T_{2(\varepsilon=10)} + \frac{Q_1}{m_{1(\varepsilon=10)} \cdot c_v}$$

$$T_{3(\varepsilon=10)} = 3647 \text{ K}$$

$$T_{3(\varepsilon=8,5)} = 3543 \text{ K}$$

$$p_{3(\varepsilon=10)} = \frac{m_{1(\varepsilon=10)} \cdot R \cdot T_{3(\varepsilon=10)}}{V_3}$$

$$p_{3(\varepsilon=10)} = 122 \text{ bar}$$

$$p_{3(\varepsilon=8,5)} = 100,2 \text{ bar}$$

Procentualni udeo smanjenja pritiska na kraju dovođenja toplote, izazvan rekonstrukcijom glave motora:

$$\delta_{p3} [\%] = \frac{p_{3(\varepsilon=10)} - p_{3(\varepsilon=8,5)}}{p_{3(\varepsilon=10)}} = 17,86 \%$$

Rekonstrukcijom glave motora pritisak na kraju dovođenja toplote smanjio se za 17,86 %.

Stepen porasta pritiska pri dovođenju toplote:

$$\alpha_{(\varepsilon=10)} = \frac{p_{3(\varepsilon=10)}}{p_{2(\varepsilon=10)}} = 4,89$$

$$\alpha_{(\varepsilon=8,5)} = \frac{p_{3(\varepsilon=8,5)}}{p_{2(\varepsilon=8,5)}} = 5,07$$

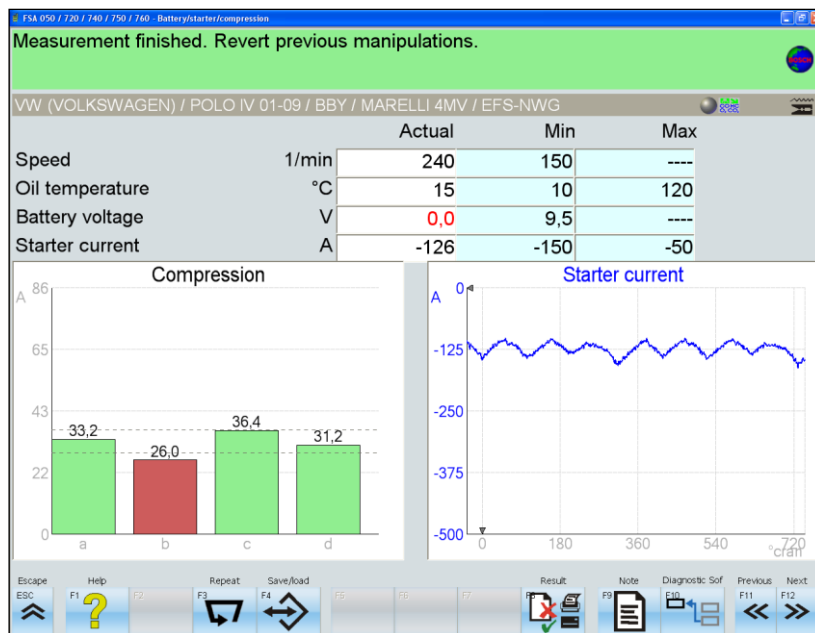
$$\delta_{\alpha} [\%] = \frac{\alpha_{(\varepsilon=8,5)} - \alpha_{(\varepsilon=10)}}{\alpha_{(\varepsilon=10)}} = 3,6 \%$$

Rekonstrukcijom glave motora došlo je do povećanja stepena porasta pritiska na kraju procesa dovođenja toplote za 3,6 %.



### Laboratorijska vežba 3

## Ispitivanje zaptivenosti oto motora



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

### 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je upoznavanje sa načinima za ispitivanje zaptivenosti motora i pravilnim procedurama za sprovođenje istih. Praktičan zadatak podrazumeva ispitivanje i analizu rezultata testa relativne kompresije, testa kompresije uz pomoć manometra i testa propustljivosti.

### 2. Ispitivanje kompresije prilikom startovanja motora

Utvrđivanje kompresije motora predstavlja jedan od osnovnih dijagnostičkih testova za ispitivanje tehničkog stanja motora. Osnovni preduslov za ispravan rad jeste ravnomerna vrednost kompresije (pritiska koji se ostvaruje na kraju taktu sabijanja) kod svih cilindara motora. Gubitak vrednosti kompresije može biti uzrokovan isticanjem radne smeše u taktu sabijanja iz radnog prostora motora, što je najčešće posledica neispravnosti vezanih za:

- naleganje usisnih i izduvnih ventila u pripadajuća sedišta u glavi motora;
- istrošenje klipnih prstenova ili žlebova klipa;
- pucanje zaptivača glave motora (dihtunga glave motora);

U cilju postizanja relevantnih rezultata testa kompresije, uslovi ispitivanja po cilindrima treba da budu identični. Prema američkoj literaturi (Halderman) preporučuje se da motor bude zagrejan na radnu temperaturu.

#### Napomena:

Teži uslovi za ispitivanje su prisutni ako motor nije zagrejan na radnu temperaturu. Ukoliko se izmereni rezultati testa kompresije porede sa očekivanim vrednostima prema specifikaciji, potrebno je proveriti da li se specificirane vrednosti odnose za hladan ili za zagrejan motor! Manje vrednosti izmerene kompresije očekuju se prilikom merenja na hladnom motoru, usled povećanih radnih zazora klipno-cilindarskog sklopa u odnosu stanje motora kada je zagrejan na radnu temperaturu.

Ispravna procedura ispitivanja kompresije prilikom startovanja motora podrazumeva sledeće:

1. Potrebno je ukloniti svećice motora svih cilindara. Na taj način se uspostavlja jednaki uslovi za ispitivanje, odnosno startovanje motora pri jednakoj brzini.
2. Kako bi se indukcioni kalemi zaštitili od eventualnog pregorevanja namotaja, potrebno ih odspojiti.
3. U cilju sprečavanja nepotrebnog ubrizgavanja goriva u cilindre motora, potrebno je odspojiti konektore brizgača, čime se sprečava moguće oštećenje katalizatora i opasnost od hidroudara.
4. Kako bi se obezbedio maksimalan protok vazduha kroz usisnu granu, odnosno smanjili pumpni gubici, potrebno je prilikom ispitivanja obezbediti maksimalnu otvorenost prigušnog leptira.
5. Nakon priključenja uređaja za ispitivanje (manometra) u cilindar koji se ispituje potrebno je startovati motor. Prema američkoj literaturi (Halderman) preporučuje se merenje koje obuhvata četiri otklona kazaljke manometra. Ukoliko postoji mehanička veza između pedale za gas i prigušnog leptira, potrebno je, u skladu sa prethodnim korakom, pritisnuti pedal za gas do kraja, kako bi se obezbedio maksimalan protok vazduha. Ujedno, prilikom startovanja potrebno je pritisnuti pedal kvačila (komandu glavne frikcionne spojnice), kako bi se isključili gubici snage uzrokovani obrtanjem spojničkog vratila.



6. Prilikom ispitivanja važno je zapamtiti vrednost postignute kompresije nakon prvog otklona kazaljke manometra. Vrednost kompresije sa prvim otklonom kazaljke treba da bude najmanje polovina ukupno ostvarene vrednosti kompresije po završenom merenju. Mala vrednost postignute kompresije nakon prvog otklona kazaljke manometra ukazuje na lošu zaptivenost cilindra.
7. Po završenom merenju potrebno je pritisnuti rasteretni ventil i merenje ponoviti na ostalim cilindrima, sa dovoljnim vremenskim razmakom između merenja kako bi se obezbedilo potrebno vreme „oporavka“ akumulatora;
8. Nakon utvrđenih vrednosti kompresije svih cilindara potrebno je uporediti dobijene rezultate. Određeni proizvođači specificiraju minimalnu i maksimalnu vrednost kompresije između cilindara motora. Okvirno dozvoljena razlika rezultata kompresije između cilindara motora je do 20%.

**Napomena:**

Tokom dugotrajnog startovanja (verglanja) motora, uljna pumpa ne može da održi nominalnu vrednost pritiska ulja u motora. To može prouzrokovati pražnjenje hidrauličnih podizača ventila, usled čega se u nastavku startovanja može čuti neprijatno kliktanje u glavi motora (taj zvuk se obavezno čuje prilikom prvog startovanja nakon izvršenog generalnog remonta motora). Ovo ne treba da bude razlog za brigu, jer kliktanje uzrokovano pražnjenjem hidrauličnih podizača treba da prestane nakon što se ponovo postigne nominalna vrednost pritiska ulja za podmazivanje.

**3. „Mokri“ test kompresije**

U slučaju izmerenih nedovoljnih vrednosti kompresije, nakon izvršenog testa opravdano je sprovesti „mokri“ test kompresije, naročito ukoliko ne postoji drugi način za utvrđivanje zaptivenosti radnog prostora motora osim uz pomoć manometra. „Mokri“ test kompresije podrazumeva ubrizgavanje male količine ulja u cilindar motora čija se kompresija utvrđuje.

**Napomena:**

Ne sme se ubrizgati više od tri šprica, odnosno ukupno jedna supena kašika ulja. Previše ulja može izazvati hidrodinamički udar, što može rezultovati oštećenjem klipa, klipnjače ili čak i glave motora. Takođe velika količina ulja može da prouzrokuje lažno velike rezultate kompresije.

Ukoliko rezultati „mokrog“ testa kompresije, pokazuju značajno veće izmerene vrednosti (za preko 2 bar-a), naročito uz приметно veći prvi otklon kazaljke manometra, najčešći uzrok smanjene vrednosti kompresije motora su istrošeni ili oštećeni klipni prstenovi. Ukoliko se vrednosti izmerene kompresije neznatno povećaju (ili ne dođe uopšte do povećanja), uzrok loše kompresije su oštećeni ventili.

**4. Ispitivanje dinamičke kompresije motora**

Utvrđivanje dinamičke kompresije podrazumeva ispitivanje kompresije tokom rada motora. Obzirom da prilikom startovanja motor ostvaruje 80 – 250 rpm, merenje kompresije na većem broju obrtaja pruža veće mogućnosti za dijagnostikovanje problema vezanih za ventilski sklop. Rezultati dinamičke kompresije karakterišu se nižim vrednostima izmerene kompresije u odnosu na regularno merenje tokom startovanja motora. Razlog je u zapreminskoj efikasnosti, jer usled bržeg obrtanja motora, manje je vremena za ispunu cilindra svežim vazduhom. Zbog manje usisane količine vazduha, pritisak na kraju takta sabijanja je manji.

### Laboratorijska vežba 3: Ispitivanje zaptivenosti oto motora

Što je veći broj obrtaja, manji su rezultati testa dinamičke kompresije.

Prema američkoj literaturi (Halderman), vrednosti kompresije u različitim režimima merenja na benzinskim motorima preporučene su u dijapazonu:

- kompresija tokom startovanja: 125 – 160 PSI (8,6 – 11 bar)
- kompresija na praznom hodu: 60 – 90 PSI (4,1 – 6,2 bar)
- kompresija na 2000 rpm: 30 – 60 PSI (2 – 4,1 bar)

Obzirom da su navedene vrednosti kompresije niže od onih koje se obično ostvaruju u praksi na ispravnim benzinskim motorima, za analizu rezultata testa dinamičke kompresije preporučuje se da se vrednosti dinamičke kompresije na praznom hodu kreću u opsegu 50 – 60 % od vrednosti kompresije utvrđene tokom startovanja motora. Vrednosti dinamičke kompresije na režimu od 2000 rpm treba da se kreću u opsegu 30 – 40 % u odnosu na izmerenu vrednost kompresije pri startovanju motora.

Problemi koji su vezani za niske rezultate testa dinamičke kompresije su:

- polomljena opruga ventila,
- istrošene vođice ventila,
- iskrivljena klipnjača,
- istrošeni bregovi bregastog vratila.

Procedura za sprovođenje testa dinamičke kompresije podrazumeva sledeće:

1. uklanjanje svećice onog cilindra čija se dinamička kompresija utvrđuje;
2. kako bi se sprečilo oštećenje bobine na tom cilindru, potrebno je odspojiti konektor bobine, ili povezati masenu elektrodu svećice sa masom vozila;
3. nakon startovanja motora, pošto motor počne da radi na praznom hodu, potrebno je otpustiti rasteretni ventil manometra i očitati vrednost kompresije na praznom hodu;
4. dodati gas i na režimu od 2000 rpm, otpustiti rasteretni ventil manometra i očitati vrednost kompresije;
5. nakon zaustavljanja motora, potrebno je odspojiti manometar, vratiti svećicu i bobinu, a zatim ponoviti navedenu proceduru i za ostale cilindre;

#### **Napomena:**

Sprovođenje testa dinamičke kompresije predstavlja izvesnu opasnost za manometar koji se koristi prilikom merenja. Najčešće se narušava funkcionalnost nepovratnog ventila, usled brzih promena vrednosti kompresije u cilindru, kao i nečistoća koje mogu da spreče pravilno zaptivanje ventila u sedištu.

#### **5. Ispitivanje propustljivosti motora**

Ispitivanje propustljivosti predstavlja najsadržajniji način za utvrđivanje zaptivenosti motora. Testiranje uključuje uvođenje vazduha pod pritiskom u kompresionu zapreminu cilindra motora, čija se zaptivenost određuje i merenje procenta količine vazduha koji istekne iz komore za sagorevanje. Na osnovu prepoznavanja puta isticanja vazduha, definiše se uzrok smanjene kompresije motora.

Kao i pri ispitivanju kompresije, prema američkoj literaturi (Halderman) motor treba da bude zagrejan na radnu temperaturu, kako bi se eliminisali povećani radni zazor i hladnom stanju.

Procedura za sprovođenje testa propusnosti motora podrazumeva sledeće:

### Laboratorijska vežba 3: Ispitivanje zaptivenosti oto motora

1. Demontažu svih svećica motora;
2. Podizanje jednog točka vozila, obezbeđenje vozila i u slučaju manuelnog menjača potrebno je izabrati poslednji stepena prenosa (poslednji stepen prenosa bira se kako bi se maksimalno olakšalo ručno obrtanje točka koji je u vazduhu. To je neophodno kako bi se klip doveo u spoljnu mrtvu tačku. Ukoliko je pristupačnije, moguće je motor direktno okretati preko remenice kolenastog vratila, pri čemu onda podizanje jednog kraja vozila nije potrebno).
3. U navoj svećice cilindra, čija se propusnost utvrđuje potrebno je uvrnuti spojno crevo.
4. Na kraj spojnog creva, priključiti crevo sa kuglicom, koje se koristi za određivanje spoljne mrtve tačke.
5. Okretanjem točka koji je podignut, potrebno je posmatranjem položaja kuglice pronaći spoljnu mrtvu tačku (kuglica se podiže jedino u taktu sabijanja, usled čega se otklanja mogućnost da se podesi spoljna mrtva tačka kada je taj cilindar u fazi preklapanja ventila).
6. Spoljna mrtva tačka određena je naglim padom kuglice u krajnji donji položaj, kao posledica završetka takta sabijanja u cilindru motora. Iskustveno se stepen zaptivenosti cilindra motora može naslutiti i na osnovu karaktera kretanja kuglice. Moguće je izvršiti i proveru položaja klipova u motoru, pomoću dugačkog šrafčigera ili sličnog.
7. Pritisak vazduha u rezervoaru vazduha pod pritiskom preporučuje se da bude 6-8 bara.
8. Za definisan pritisak potrebno je izvršiti kalibraciju protokomera testera propustljivosti pomoću kalibracionog elementa kako je predvideo proizvođač.
9. Pre spajanja rezervoara pod pritiskom sa protokomerom i spojnim crevom, potrebno je da pomoćnik sedne na mesto vozača, izabere prvi stepen prenosa i bez pritisnute pedale kvačila (komande glavne frikcione spojnice) drži pritisnutu pedal kočnice (komandu kočnog sistema). Na taj način sprečava se pokretanje motora, odnosno izvođenje klipa iz spoljne mrtve tačke usled značajnog dejstvovanja vazduha pod pritiskom na čelo klipa.
10. Na osnovu rezultata na skali protokomera testera propustljivosti, donosi se preliminarna ocena o stanju ispitivanog cilindra:
  - isticanje manje od 10%: odlično
  - isticanje manje od 20%: prihvatljivo
  - isticanje manje od 30%: loše
  - isticanje preko 30%: evidentno postojanje problema

#### **Napomena:**

Za relevantnost izmerenih rezultata potrebno je biti siguran da se klip ispitivanog cilindra nalazi u spoljnoj mrtvoj tački.

11. U cilju utvrđivanja puta isticanja vazduha, potrebno je:
  - odvrnuti poklopac (čep) za dolivanje ulja, na osnovu čega je moguće konstatovati da li su klipni prstenovi istrošeni ili polomljeni;
  - proveriti da li postoje mehurići u rezervoaru rashladne tečnosti na osnovu čega je moguće konstatovati naprsnuće u glavi motora ili naprsnuće zaptivača glave motora;

### Laboratorijska vežba 3: Ispitivanje zaptivenosti oto motora

- proveriti strujanje vazduha kroz usisni vod (oslušnuti u blizini prigušnog leptira) u cilju konstatovanja nezaptivanja usisnog ventila u glavi motora;
- proveriti strujanje na izlazu izduvne grane, kako bi se konstatovalo nezaptivanje izduvnog ventila ispitivanog cilindra;

#### 6. Ispitivanje relativne kompresije motora

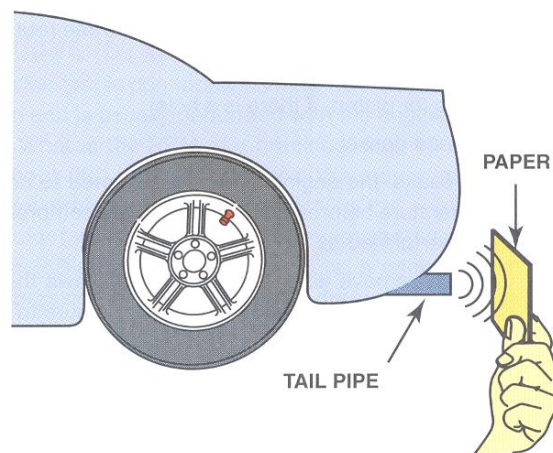
Prednost test procedura ispitivanja relativne kompresije motora je jednostavnost njihovog sprovođenja. Konvencionalno ispitivanje kompresije motora uz pomoć manometra može da bude zahtevno, jer je kod benzinskih motora neophodno ukloniti svećice, što na određenim motorima može da bude veoma kompleksna operacija. Sprovođenje testa relativne kompresije može značajno da uštedi vreme, naročito kod dizel motora, gde je veći rizik pri izvršavanju pripremnih aktivnosti za ispitivanje kompresije, zbog neophodnosti da se demontiraju grejači motora, ili eventualno brizgači. Danas na tržištu dijagnostičke opreme za vozila postoji više test procedure gde se putem merenja startne struje ili merenjem pada napona akumulatora u fazi startovanja utvrđuju vrednosti relativne kompresije motora. Ostale ispitne procedure sprovode se komunikacionim putem, gde se u okviru funkcionalnih testova može aktivirati opcija ispitivanja relativne kompresije na osnovu varijacija broja obrtaja prilikom startovanja motora.

#### 7. Ostali načini za utvrđivanje zaptivenosti motora

##### 7.1. Test sa papirom

Rad ispravnog motora (osnovni uslov je odgovarajuća i ujednačena vrednost kompresije između cilindara motora) u stacionarnom režimu rada karakteriše se ujednačenim protokom izduvnih gasova. U cilju jednostavnog i brzog utvrđivanja ujednačenosti protoka preporučuje se postavljanje papira dimenzija novčanice u neposrednu blizinu kraja izduvne cevi, kako je i prikazano na Slici 1, za vreme rada motora na praznom hodu. Ujednačen protok izduvnih gasova se konstatuje ravnomernim strujanjem sa tendencijom da se papir oduva od kraja izduvne cevi, bez povratnih strujanja. Ukoliko postoje povratna strujanja sa tendencijom da se papir približi kraju izduvne cevi, najverovatnije da je:

- izduvni ventil na jednom ili više cilindara izgoreo, ili je
- prisutan izostanak paljenja usled siromašne smeše ili usled problema u sistemu za paljenje, što se obično dešava dok je motor hladan, ili su
- pulsacije uzrokovane postojanjem rupe u izduvnoj grani.



Slika 1. Test sa papirom na kraju izduvne cevi. Izvor: Halderman

##### 7.2. Određivanje relativne snage cilindara motora

Određeni dijagnostičko-komunikacioni uređaji za vozila poseduju mogućnost određivanja relativne snage cilindara motora. Metod ispitivanja se zasniva na tome da se tokom rada motora

u stacionarnom režimu pojedinačno isključuju cilindri i na osnovu pada broja obrtaja motora, da se donese ocena o relativnoj snazi cilindra motora. Isključenjem najslabijeg cilindra ostvariće se najmanji pad u ukupnom broju obrtaja. Najjači cilindar uzrokuje najveći pad broja obrtaja pri stacionarnom režimu rada.

#### **Napomena:**

Nikako se ne preporučuje pojedinačno isključenje cilindra skidanjem visokonaponskog kabla sa svećice tokom rada motora, zbog mogućnosti proboja sekundarnog napona na masu. To može izazvati pregorevanje izlaznog stepena u kolu primarne struje ili uništenje samog indukcionog kalema.

Generalno isključenje bilo koje električne komponente tokom rada motora i uključenog paljenja (napon prisutan na stezaljci 15) nije preporučljivo.

### **7.3. Ispitivanje pritiska u usisnoj grani tokom startovanja motora**

Merenje podpritiska u usisnoj grani tokom startovanja predstavlja još jedan način za utvrđivanje zaptivenosti motora. Kao i pri merenju kompresije preporučuje se da motor bude dovoljno zagrejan, ali za sprovođenje ispitivanja neophodno je da prigušni leptir (klapna za gas) bude zatvorena. Takođe, u slučaju postojanja zaobilaznog kanala, kod sistema sa mehaničkom regulacijom prigušnog leptira, potrebno je blokirati zaobilazni kanal, kako bi se dobili relevantni rezultati ispitivanja.

Procedura ispitivanja predviđa:

- onespособljavanje motora da upali,
- priključenje vakuumske creva u usisnu granu motora (posle prigušnog leptira),
- započeti merenje, startovanjem motora. Prema Američkoj literaturi (Halderman) vrednost podpritiska u usisnoj grani tokom startovanja treba da bude veća od 2,5 in Hg (85 mbar). (29,53 in Hg = 1000 mbar). Vrednost podpritiska prilikom startovanja treba da iznosi između 3 – 6 in Hg. Ukoliko je vrednost podpritiska u usisnoj grani niža od 2,5 in Hg, uzroci mogu biti sledeći:
  - suviše niska startna brzina motora;
  - istrošeni klipni prstenovi;
  - nezaptivanje ventila;
  - velika količina dolazne količine vazduha u usisnu granu, kao posledica previše otvorenog prigušnog leptira ili zaobilaznog kanala.

Obzirom da je vrednost podpritiska u usisnoj grani povezana sa aspiratorskom sposobnosti motora, ispitivanje podpritiska je moguće sprovesti i pri režimu praznog hoda. Motor ispravnog stanja treba u režimu praznog hoda da ostvaruje stabilnu vrednost podpritiska u usisnoj grani između 17-21 in Hg (prema Američkoj literaturi Halderman).

Ukoliko se pri stacionarnom režimu rada motora meri niža vrednost podpritiska od očekivane, mogući su sledeći uzroci:

- kasno paljenje,
- nezaptivenost usisne grane („falš“ vazduh),
- nepravilna uzupčenost motora.

U slučaju da pri stacionarnom režimu rada motora vrednost podpritiska fluktuiira (pri merenju sa vakuum pumpom iglica oscilira oko određene vrednosti), veoma čest uzrok tome je zaglavljivanje ventila, kao posledica krivljenja vođice ventila ili neodgovarajućeg podmazivanja.

## 8. Zadatak

Na vozilu: \_\_\_\_\_:

I) Uz opis procedure priključenja potrebno je opisati postupak ispitivanja relativne kompresije motora putem merenja struje starta, uz korišćenje merne stanice BOSCH FSA 750. Po završetku merenja, potrebno je upisati i ucrtati promenu struje starta u odgovarajući prozor.

Pripremna procedura za izvršenje testa relativne kompresije:

---

---

---

---

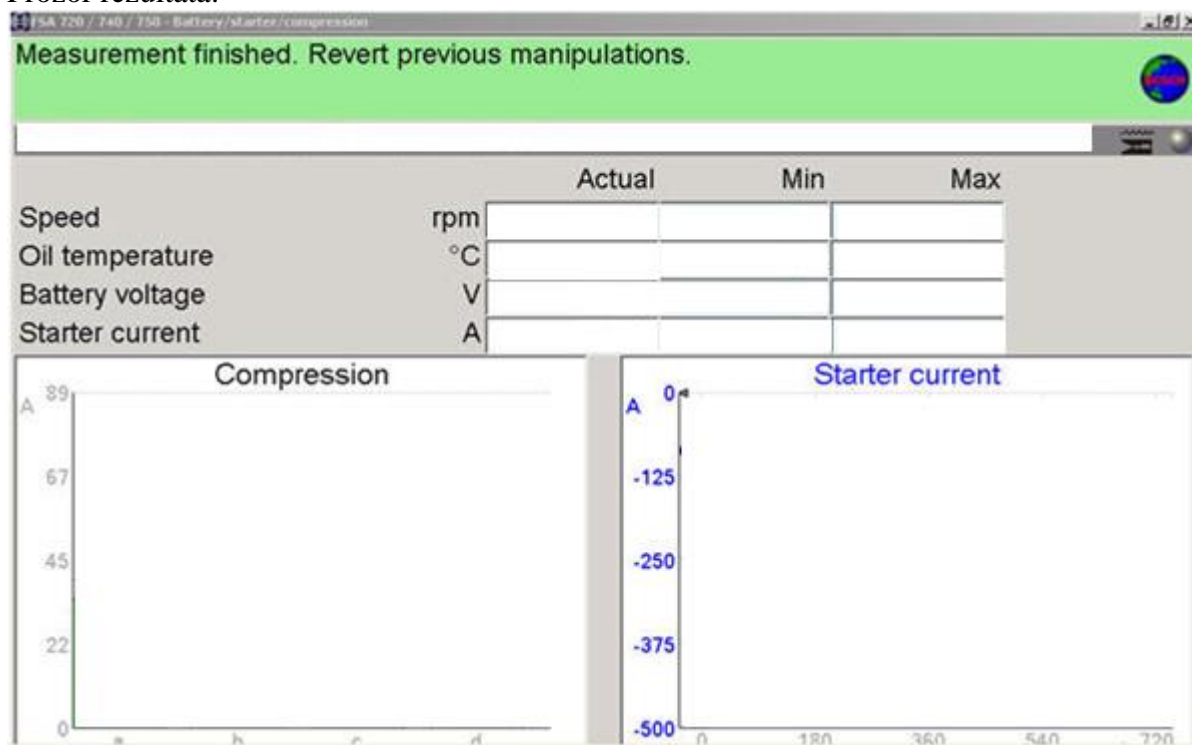
---

---

---

---

Prozor rezultata:



Komentar i analiza dobijenih rezultata ispitivanja:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Laboratorijska vežba 3: Ispitivanje zaptivenosti oto motora

II) Uz poštovanje pravilne procedure, navedene u tekstu laboratorijske vežbe, potrebno je izvršiti ispitivanje mehaničke kompresije motora uz pomoć manometra:

Definisana vrednost stepena kompresija (Autodata ili EsiTronic): \_\_\_\_\_

Putem koje relacije je moguće pretpostaviti izmerenu vrednost kompresije motora (pritiska na kraju takta sabijanja), ukoliko je poznata samo vrednost stepena kompresije?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Očekivana vrednost kompresije : \_\_\_\_\_ [bar]

Rezultati testa kompresije (pritiska u taktu sabijanja):

cilindar 1: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 2: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 3: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 4: \_\_\_\_\_ [bar]

Komentar rezultata testa kompresije:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

III) Uz poštovanje pravilne procedure, navedene u tekstu laboratorijske vežbe, potrebno je izvršiti ispitivanje propustljivosti motora:

Rezultati testa propustljivosti motora:

cilindar 1: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 2: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 3: \_\_\_\_\_ [bar]

cilindar 4: \_\_\_\_\_ [bar]

## Laboratorijska vežba 3: Ispitivanje zaptivenosti oto motora

Detaljan komentar rezultata testa propustljivosti motora (ocena izmerenih vrednosti, da li se rezultati testa propustljivosti poklapaju sa rezultatima prethodnih testova, analiza isticanja vazduha pod pritiskom iz kompresione zapremine cilindara motora, donošenje konačnih dijagnostičkih zaključaka):

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.





**Laboratorijska vežba 4**

**Izduvni gasovi oto motora**



**Ime i prezime studenta:** \_\_\_\_\_

**Broj indeksa:** \_\_\_\_\_

**Datum:** \_\_\_\_\_

**Vežbu pregledao:** \_\_\_\_\_

### 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je produbljivanje znanja o emisiji izduvnih gasova benzinskih motora. Predstavljeno je kako se na osnovu izmerenih vrednosti određenih potpunih i nepotpunih produkata sagorevanja mogu doneti relevantni dijagnostički zaključci o stanju motora i ispravnosti izduvnog sistema. Praktičan zadatak podrazumeva ispitivanje izduvnih gasova, korišćenjem merne stanice BOSCH BEA 350.

### 2. Evropski propisi o emisiji za putnička i laka teretna vozila

Prve regulative o emisiji izduvnih gasova donete su u Americi. Prva Evropska regulativa, ECE 15.00, doneta je od strane Evropske komisije za Ujedinjene nacije 1971. godine. Amandman 01 (ECE 15.01) donosi se 1975. godine i njime se predviđaju granice od 32 g/km za emisiju CO (ugljen-monoksid) i 11g/km za emisiju HC+NO<sub>x</sub> (ugljovodonici+azotni oksidi). U današnje vreme propisi o emisiji izduvnih gasova nalaze se pod ingerencijama Evropske unije. Bazna direktiva je 70/220/EEC, a važnije izmene te direktive poznatije su pod nazivom EURO standardi:

- Euro 1 standard (EC 93) – Direktiva 91/441/EEC (odnosi se samo na putnička vozila) ili 93/59/EEC (odnosi se na putnička i dostavna vozila);
- Euro 2 standard (EC 96) – Direktiva 94/12/EC ili 96/69/EC;
- Euro 3/4 standard (2000/2005) – Direktiva 98/69/EC, kasniji amandmani mogu se pronaći u 2002/80/EC;
- Euro 5/6 standard (2009/2014).

Vrednosti štetnih komponenti u izduvnim gasovima izraženih u [g/km] za benzinske motore, putničkih i lakih teretnih vozila prikazane su u Tabeli 1.

g/km	CO Ugljen-monoksid	HC+NO <sub>x</sub> Ugljovodonici+azotni oksidi	HC Ugljovodonici	NO <sub>x</sub> Azotni oksidi	PM Čestice
God.	Benzin	benzin	benzin	benzin	benzin
2000. Euro 3	2.3	0.56	0.2	0.15	
2005. Euro 4	1.0	0.30	0.10	0.08	
2009. Euro 5	1.0	0.23	0.10	0.06	0.005
2014. Euro 6	1.0	0.17	0.10	0.06	0.005

Tabela 1. Granične vrednosti štetnih komponenti emisije izduvnih gasova putničkih vozila sa benzinskim motorom u Evropi

### 3. Dijagnostički aspekti analize izduvnih gasova

Osim legislativnog značaja, analiza izduvnih gasova benzinskih motora može da bude veoma svrsishodna za potrebe dijagnostike ispravnosti rada, naročito OTO motora. Kako bi se pravilno uporedile izmerene vrednosti određenih komponenti u izduvnim gasovima sa propisanim, navedenim u Tabeli 1, potrebno je poznavanje procesa nastanka određenih gasova, zavisnost od režima rada i njihovi međusobni uticaji.

### 3.1. Nesagoreli ugljovodonici (HC)

#### Opis

- posledica nepotpunog sagorevanja molekula goriva.

#### Uzrok nastanka

- lokalni nedostatak kiseonika i gašenje plamena u kontaktu sa hladnim zidovima komore za sagorevanje.

#### Negativni uticaji

- uz prisustvo oksida azota i sunčevog svetla doprinose formiranju sunčevog ozona, glavne komponente fotohemijškog smoga,
- nadražuju oči i disajne organe,
- moguće kancerogeno dejstvo.

#### Merna jedinica

- parts per milion (ppm);

#### Dozvoljeni nivo

- bez katalizatora: 300 ppm,
- sa katalizaorom: 30-50 ppm.

#### Mogući uzroci visoke emisije ugljovodonika

- povećana potrošnja ulja (istrošenje klipnih prstenova ili vođica ventila),
- izostanak paljenja, usled neispravnosti u sistemu za paljenje (svećice, visokonaponski kablovi, ugao predpaljenja, bobina, razvodnik paljenja),
- siromašna smeša, kod približenja granici upaljivosti,
- niska radna temperatura motora (neispravan termostat),
- smanjena efikasnost katalitičkog konvertora.

#### Uticaj obrtnog momenta na emisiju ugljovodonika

- Opterećenje motora poboljšava sagorevanje ugljovodonika. Veći obrtni moment podiže vršnu temperaturu u cilindru i sagorevanje u blizini hladnih zidova cilindra u periodu dogorevanja je potpunije. Usled veće temperature izduvnih gasova vrši se dodatna redukcija ugljovodonika u taktu izduvavanja.

#### Uticaj broja obrtaja motora na emisiju ugljovodonika

- Porastom broja obrtaja motora, skraćuje se vreme za pripremu smeše, homogenizacija smeše je lošija, a vreme sagorevanja kraće. To dovodi do povećane emisije ugljovodonika.

#### Uticaj sastava smeše na emisiju ugljovodonika

- Bogata smeša  $\lambda < 1$  nema dovoljno kiseonika, usled čega raste emisija ugljovodonika, dok se sa druge strane izrazito siromašna smeša  $\lambda > 1,2$  teško pali i sporo sagoreva što takođe dovodi do porasta emisije HC.

#### Uticaj trenutka paljenja na emisiju ugljovodonika

- Prerano paljenje pogoršava sagorevanje. Glavno sagorevanje se pomera unapred. Front plamena je slabiji kod dogorevanja, temperatura u dogorevanju je niža i sadržaj nesagorelih ugljovodonika raste. Kod preranog paljenja opada i temperatura izduvnih gasova, što takođe nepovoljno utiče na emisiju HC.

### 3.2. Ugljen-monoksid (CO)

#### Opis

- otrovan gas, bez boje i mirisa, teži od vazduha,
- nestabilan gas i lako reaguje sa kiseonikom kako bi se formiralo stabilno jedinjenje ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>).
- više od 90% ugljen-monoksida u urbanim sredinama potiče iz izduvnih gasova i ložišta.

#### Uzrok nastanka

- produkt nepotpunog sagorevanja, nastaje pri bogatoj smeši, u kojoj se ugljenik iz goriva samo delimično oksidiše.

#### Negativni uticaji

- smanjuje protok kiseonika kroz krvotok i rizičan je za ljude sa bolesnim srcem.

#### Dozvoljeni nivo

- Kod ispravnih motora nivo CO treba da bude ispod 0,5%.
  - bez katalizatora: do 3%,
  - sa katalizatorom: 0,3 - 0,5 %.

#### Mogući uzroci visoke emisije ugljen-monoksida

- neispravnost u sistemu za ventilaciju kartera motora:
  - neispravnost PCV ventila,
  - blokiran protok kroz cevi i creva;
- zaprljan filter vazduha,
- neravnomeran rad u režimu praznog hoda,
- neispravnost brizgaljki goriva (curenje),
- visok pritisak pumpe za gorivo (regulator pritiska goriva),
- smanjena efikasnost katalitičkog konvertora,
- ostali faktori koji uzrokuju bogatu smešu u cilindru motora.

#### Uticaj obrtnog momenta na emisiju ugljen-monoksida

- Kao i u slučaju emisije ugljovodonika, veći obrtni moment poboljšava sagorevanje jer podiže temperaturu sagorevanja i potpomaže oksidaciju ugljenmonoksida u taktu širenja. Opterećenje motora smanjuje količinu ugljenmonoksida, uz uslov da je prisutno dovoljno kiseonika za sagorevanje.

#### Uticaj broja obrtaja motora na emisiju ugljen-monoksida

- Kao i u slučaju emisije ugljovodonika, veća brzina motora pogoršava sagorevanje jer se vreme za sagorevanje smanjuje, uz lošiju homogenizaciju radne smeše, što dovodi do povećanja sadržaja CO.

#### Uticaj sastava smeše na emisiju ugljen-monoksida

- pri bogatoj smeši  $\lambda < 1$  nema dovoljno kiseonika, pa udeo CO u izduvnim gasovima raste,
- pri siromašnoj smeši  $\lambda > 1$  ima dovoljno kiseonika, pa udeo CO u izduvnim gasovima opada. Jedini izvor CO u siromašnoj smeši je nepotpuno sagorevanje, uzrokovano lošom homogenizacijom smeše i delovima radne smeše gde je  $\lambda < 1$  (neisparene kapljice).

#### Uticaj trenutka paljenja na emisiju ugljen-monoksida

- Trenutak paljenja nema veći uticaj na emisiju CO.

### 3.3. Azotni oksidi ( $\text{NO}_x$ )

#### Opis

- gas bez boje, ukusa i mirisa,
- azot-monoksid NO čini 95%, azotnih oksida ( $\text{NO}_2$  i drugi azotni oksidi oko 5%),
- azot-dioksid  $\text{NO}_2$ : crvenkas-smeđ gas sa kiselkastim mirisom,
- sam azot ne učestvuje u sagorevanju.

#### Uzrok nastanka

- nastaju pri visokoj radnoj temperaturi, iznad 2200K i uz dovoljno kiseonika za oksidaciju – već u blago siromašnoj smeši  $\lambda > 1,0 - 1,1$ .
- daljim osiromašenjem smeše  $\lambda > 1,1$ , temperatura sagorevanja opada (otežano paljenje prema granici upaljivosti) usled čega se udeo azotnih oksida smanjuje, iako ima dovoljno vazduha.

#### Negativni uticaji

- azot-monoksid: toksično delovanje na čoveka i životinje,
- azot-dioksid: izaziva edem u plućima sa smrtonosnim ishodom,
- kao i ugljovodonici potpomažu formiranje ozona,
- doprinose formiranju kiselih kiša.

#### Dozvoljeni nivo

- bez katalizatora: manje od 100ppm na PH i manje od 1000 ppm na punom gasu
- sa katalizaorom: manje od 100ppm na PH i manje od 1000 ppm na punom gasu

#### Mogući uzroci visoke emisije azotnih oksida

- neispravnost EGR sistema,
- visoka radna temperatura motora (blokada u sistemu hlađenja motora, istrošenost impelera pumpe za rashladu tečnost ili neka druga neispravnost u sistemu hlađenja motora),
- siromašna smeša,
- visoka vrednost stepena kompresije motora.

#### Uticaj sastava smeše na emisiju azotnih oksida

- Pri radu motora sa bogatom smešom  $\lambda < 1$  nema dovoljno kiseonika, pa nema ni uslova za stvaranje azotnih oksida. Bogata smeša se koristi kao agens za redukciju azotnih oksida pomoću HC.
- Pri radu motora sa siromašnom smešom  $\lambda > 1,1$  količina azotnih oksida opada, jer previše siromašna smeša ima nisku temperaturu sagorevanja (otežani uslovi paljenja, razvučeno sagorevanje).

#### Uticaj trenutka paljenja na emisiju azotnih oksida

- Trenutak paljenja znatno utiče na povećanje emisije azotnih oksida. Sa povećanjem ugla pretpaljenja raste pritisak sagorevanja, sa pritiskom i temperatura sagorevanja. Sa porastom temperature raste i količina azotnih oksida, pri čemu porast temperature dodatno ubrzava reakciju kojom se stvaraju azotni oksidi.

### 3.4. Čestice

#### Opis

- posledica cepanja ugljovodoničnog lanca goriva u delovima smeše sa nedostatkom kiseonika.

#### Uzrok nastanka

- čestice potiču od nesagorelog ugljenika iz goriva, koji se pod uticajem visoke temperature i lokalnog nedostatka kiseonika kristališe,
- sulfati sumpora u gorivu takođe stvaraju čestice.

#### Negativni uticaji

- mehanički zagađivači životne sredine,
- u komori motora apsorbuju razna jedinjenja iz goriva i maziva, ujedno i policiklične ugljovodonike;
- policiklični ugljovodonici izazivaju rak pluća, pa je prema tome emisija čestica potencijalno kancerogena.

### 3.5. Ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ )

#### Opis

- produkt potpunog sagorevanja,
- doprinosi efektu globalnog zagrevanja.

#### Uzrok nastanka

- rezultat spajanja kiseonika i ugljenika koji se oslobađa cepanjem ugljovodoničnog lanca goriva.

#### Dozvoljeni nivo

- 12 – 15 %.

#### Dijagnostički aspekti

- visok nivo  $\text{CO}_2$  u izduvnim gasovima ukazuje visoku efikasnost rada motora i sistema za prečišćavanje izduvnih gasova;
- nizak nivo  $\text{CO}_2$  ukazuje na bogatu ili siromašnu smešu;
- najviši nivo  $\text{CO}_2$  ostvaruje se pri stehiometrijskom odnosu 14,7 kg vazduha/1 kg goriva;
- merenjem samo procenta  $\text{CO}_2$  u izduvnim gasovima, nije moguće utvrditi koje je stanje prisutno, da li bogata ili siromašna smeša;
- preporučljivo je uporedo razmatranje emisije  $\text{CO}_2$  sa  $\text{O}_2$  i  $\text{CO}$ , ako nije poznata vrednost lambda faktora, ili kao potvrda pri utvrđivanju sastava smeše! Visoka vrednost  $\text{O}_2$  ukazuje na siromašnu smešu, a visoka vrednost  $\text{CO}$  na bogatu smešu;
- jedini način za smanjenje emisije  $\text{CO}_2$  jeste smanjenje potrošnje goriva;
- „Kritična vrednost“ emisije je 100g  $\text{CO}_2$  na 1 km puta.

### 3.6. Vodena para ( $\text{H}_2\text{O}$ )

#### Opis

- produkt potpunog sagorevanja, kao i ugljen-dioksid,
- vodena para čini 13,1 % udela izduvnih gasova.

### 3.7. Kiseonik ( $O_2$ )

#### Opis

- tokom procesa sagorevanja vrši se oksidacija ugljenika i vodonika,
- efikasnost rada motora i sistema za prečišćavanje izduvnih gasova treba da obezbedi nizak nivo  $O_2$  (oko 0,5%),
- visok nivo  $O_2$  u izduvnim gasovima može ujedno da ukazuje na nezaptivenost izduvne grane,
- dodavanje 10% alkohola u gorivo rezultuje dodavanjem dodatog kiseonika tokom procesa sagorevanja, što rezultuje manjom emisijom CO i  $O_2$  u izduvnim gasovima.

#### Dozvoljeni nivo

- 0 – 2%.

### 3.8. Oksidi sumpora

#### Opis

- sulfat-dioksid najizraženiji sastojak oksida sumpora u izduvnim gasovima. Posledica je prisutnosti sulfata u gorivu,
- njihova emisija nije regulisana definisanim regulativama,
- nije moguće katalitičkim putem smanjiti emisiju sumpor-dioksida,
- nivo sumpora u gorivu je definisan strogim Evropskim regulativama.

#### Negativni uticaji

Sumpor-dioksid i njegovi sekundarni proizvodi (sumporna kiselina i sulfidi):

- karakterišu se negativnim dejstvom na katalitičke konvertore jer sulfati reaguju sa aktivnim materijalom katalizatora što rezultuje umanjnjem efikasnosti katalizatora u procesu prečišćavanja izduvnih gasova,
- izazivaju zdravstvene probleme kod ljudi (konjuktivitis, negativni efekti na respiratorne organe),
- izazivaju kisele kiše i sušenje šuma,
- proizvode štetne efekte na metale, kožu, papir, tekstil.

### 3.9. Ozon

#### Opis

- predstavlja alotropsku modifikaciju kiseonika,
- molekuli ozona se sastoje od tri atoma kiseonika,
- lako se raspada i predstavlja snažno oksidaciono sredstvo,
- u gornjim slojevima atmosfere ozon je koristan jer smanjuje štetan uticaj ultraljubičastog zračenja, koje izaziva melanom,
- u nižim slojevima atmosfere ozon izaziva iritacije respiratornog sistema.

### 3.10. Kvantitativni sastav izduvnih gasova

Savremen benzinski motor, pri radu sa stehiometrijskom smešom, zagrejan na radnu temperaturu, pored vodene pare ( $H_2O$ ) i ugljendioksida ( $CO_2$ ), koji su produkti potpunog, "idealnog", sagorevanja, zbog nesavršenosti procesa sagorevanja proizvodi i produkte nepotpunog sagorevanja (CO, HC, čestice) i ostale štetne produkte ( $NO_x$ ).

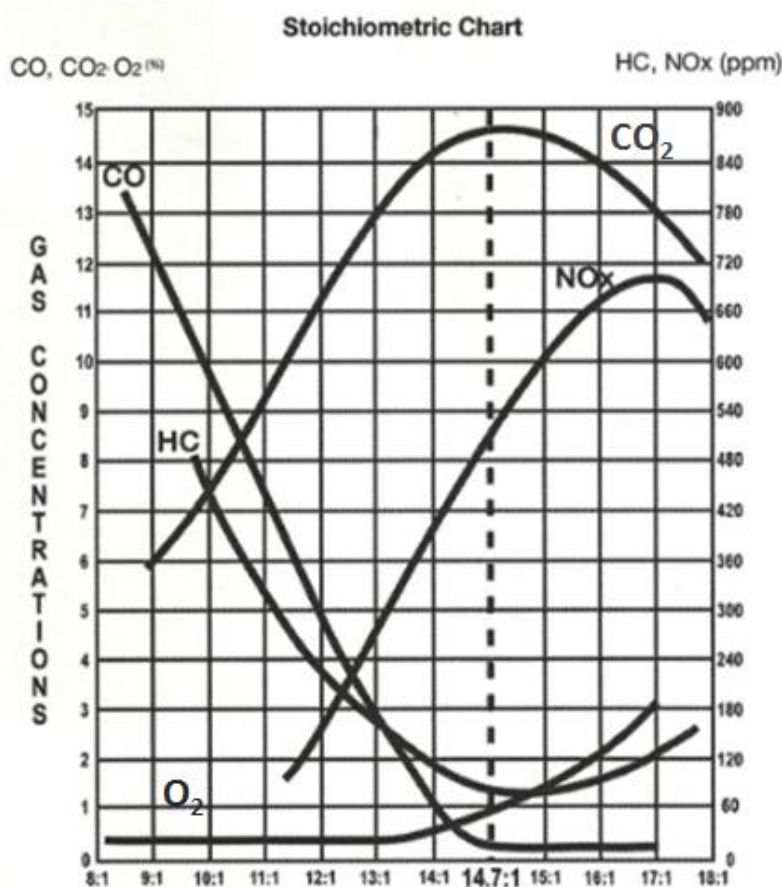
Za  $\lambda = 1.0$ , sastav izduvnih gasova je sledeći:

- Više od 98% izduvnih gasova čine  $CO_2$  i  $H_2O$  i  $N_2$ :
  - Ugljen-dioksid  $CO_2$  – oko 14%,
  - Vodena para  $H_2O$  – oko 13%,
  - Azot  $N_2$  – oko 71%.
- Oko 1% štetni produkti sagorevanja:

#### Laboratorijska vežba 4: Izduvni gasovi oto motora

- Ugljenmonoksid - oko CO 70%,
  - Ugljovodonici HC - oko 20%,
  - Azotni oksidi NO<sub>x</sub> - oko 10%,
  - Čestice - oko 0.5%.
- Oko 1% ostalih gasova:
- Inertni gasovi,
  - Vodonik,
  - Kiseonik.

Zavisnost promene sadržaja određenih komponenti u izduvnim gasovima, u zavisnosti od odnosa vazduh/gorivo, prikazana je na Slici 1. Prikazane promene odnose se na neprečišćene gasove (pre katalitičkog konvertora).



Slika 1. Zavisnost promene određenih komponenti u izduvnim gasovima prema odnosu vazduh/gorivo (pre katalizatora)

#### 4. Ispitivanje izduvnih gasova mernom stanicom BOSCH BEA 350

Standardne verzije BOSCH-ovih mernih stanica za ispitivanje izduvnih gasova su sledeće:

- BEA 150 (dizel)
- BEA 250 (benzin)
- BEA 350 (benzin & dizel)

Osnovni elementi merne stanice BEA 350 prikazani su na Slici 2.





Slika 2. Sastavni elementi merne stanice BOSCH BEA 350

- 1 - daljinski upravljana kontrola rada stanice;
- 2 - kontrolna jedinica sa displejom za ispitivanje gasova benzinskih motora;
- 3 - hard disk i štampač;
- 4 - tastatura;
- 5 - RTM 430-uređaj za merenje čestica čađi;
- 6 - kolica;
- 7 - držač ispitne aparature;
- 8 - TFT displej u boji sa upravljačkim tasterima;

Mernim stanicom za izduvne gasove meri se sastav izduvnih gasova CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> i NO (za NO postoji mogućnost dogradnje). Faktor vazduha ( $\lambda$ ) izračunava se na osnovu izmerenih vrednosti gasova. Za merenje udela CO, CO<sub>2</sub> i HC primenjuje se nedisperzivni infracrveni postupak (NDIR-nedisperzivna infracrvena-spektroskopija). Količina kiseonika se određuje pomoću senzora koji radi na principu elektro-hemijskih reakcija. Izmerene vrednosti mogu se odštampati na instaliranom štampacu ili na spoljnom DIN A4-štampacu.

Rad merne stanice BEA 350 karakteriše se sledećim fazama:

- Vreme zagrevanja. Vreme potrebno za zagrevanje uređaja iznosi otprilike 1 minut. Za to vreme merenje nije moguće.
- Nulto podešavanje pri početku merenja. Nakon aktiviranja pumpe automatski se vrši nivelisanje sistema za analizu u odnosu na okolni vazduh (motor radi u praznom hodu). Trajanje podešavanja iznosi 30 sekundi. Sledi merenje ugljovodonika HC i zatim automatski počinje merenje i ostalih komponenti u izduvnim gasovima.
- Nulto podešavanje tokom merenja. Merni uređaj i tokom merenja u određenim vremenskim intervalima samostalno vrši nulto podešavanje u odnosu na okolni vazduh (prati se i nadzire promena količine izmerenog kiseonika i po potrebi se podešava). Da bi sproveo nulto podešavanje merni uređaj prebacuje jedan magnetni ventil na okolni vazduh. Sledećih 30 sekundi motor radi u praznom hodu. Usisani okolni vazduh pomoću filtera s aktivnim ugljom pročišćava se od ugljovodonika. Nulto podešavanje ne započinje tokom procesa merenja.

#### Laboratorijska vežba 4: Izduvni gasovi oto motora

- Mernje odnosa vazduha i goriva (lambda faktor). Na temelju izmerenih koncentracija HC, CO, CO<sub>2</sub> i kiseonika merni uređaj izračunava faktor vazduha lambda. Za izračunavanje lambda faktora od velike je važnosti tačno merenje kiseonika. Pri tome moraju da budu aktivirane obe funkcije i izračunavanje lambda faktora i merenje kiseonika. Vrednost lambda faktora izračunava se pomocu Brettschneider-ove formule:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \left[\frac{CO}{2}\right] + [O_2] + \left[\frac{NO}{2}\right] + \left( \left( \frac{H_{CV}}{4} \times \frac{3.5}{3.5 + \left[\frac{CO}{[CO_2]}\right]} \right) - \frac{O_{CV}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO])}{\left( 1 + \frac{H_{CV}}{4} - \frac{O_{CV}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO] + (n \times [HC]))}$$

- [XX] - koncentracija gasa u % volumena,  
 $H_{CV}$  - odnos vodonika i ugljenika u gorivu (tipično 1,7261)  
 $O_{CV}$  - odnos kiseonika i vodonika u gorivu (tipično 0,0175)  
 $n$  - broj atoma ugljenika u jednom molekulu ugljovodonika HC ( $n=6$  za heksan-benzin,  $n=3$  za propan (LPG),  $n=1$  za metan (CMG))

- Merenje kiseonika. Uređaj za merenje izduvnih gasova opremljen je mernim senzorom koji meri vrednost kiseonika O<sub>2</sub>. Senzor za merenje kiseonika se uvijanjem pričvršćuje na zadnju stranu uređaja, na mesto koje je za to predviđeno. Nastavak s mernim senzorom za kiseonik predstavlja potrošni materijal. Merenje udela kiseonika se automatski poredi s normalnom količinom kiseonika u vazduhu od 20,9 % vol, koja je potrebna je za izračunavanje lambda faktora.

## 5. Zadatak

Korišćenjem merne stanice BOSCH BEA 350 potrebno je izvršiti ispitivanje emisije izduvnih gasova prema navedenim uputima. Nakon unosa izmerenih vrednosti u tabele, potrebno je priložiti komentare u kojima se analiziraju izmerene vrednosti, uz što više dijagnostičkih zaključaka.

### Prvo merenje

- Zagrejanost motora: nezagrejan motor (neposredno nakon starta)
- pogon: benzin
- radni režim: prazan hod
- Vozilo: \_\_\_\_\_

### Rezultati merenja 1:

Merena veličina	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja		<sup>0</sup> C
CO		% vol
CO <sub>2</sub>		% vol
HC		ppm vol
O <sub>2</sub>		% vol
CO <sub>cor</sub>		% vol

### ▪ Komentar 1:

### Drugo merenje

- Zagrejanost motora: motor zagrejan na radnu temperaturu
- pogon: benzin
- radni režim: prazan hod
- Vozilo: \_\_\_\_\_

### Rezultati merenja 2:

Merena veličina	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja		<sup>0</sup> C
CO		% vol
CO <sub>2</sub>		% vol
HC		ppm vol
O <sub>2</sub>		% vol
CO <sub>cor</sub>		% vol

▪ **Komentar 2:**

**Treće merenje**

- Zagrejanost motora: motor zagrejan na radnu temperaturu
- pogon: benzin
- radni režim: 3000 ob/min

- Vozilo: \_\_\_\_\_

▪ **Rezultati merenja 3:**

Merena veličina	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja		<sup>0</sup> C
CO		% vol
CO <sub>2</sub>		% vol
HC		ppm vol
O <sub>2</sub>		% vol
CO <sub>cor</sub>		% vol

▪ **Komentar 3:**

#### Četrto merenje

- Zagrejanost motora: motor zagrejan na radnu temperaturu
- pogon: propan-butan (LPG)
- radni režim: prazan hod
  
- Vozilo sa plinskim uređajem: \_\_\_\_\_

#### Rezultati merenja 4:

Merena veličina	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja		<sup>0</sup> C
CO		% vol
CO <sub>2</sub>		% vol
HC		ppm vol
O <sub>2</sub>		% vol
CO <sub>cor</sub>		% vol

#### Komentar 4:

#### Peto merenje

- Zagrejanost motora: motor zagrejan na radnu temperaturu
- pogon: propan-butan (LPG)
- radni režim: 3000 ob/min
  
- Vozilo sa plinskim uređajem: \_\_\_\_\_

#### Rezultati merenja 5:

Merena veličina	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja		<sup>0</sup> C
CO		% vol
CO <sub>2</sub>		% vol
HC		ppm vol
O <sub>2</sub>		% vol
CO <sub>cor</sub>		% vol

▪ **Komentar 5:**

**Šesto merenje**

- Na školskom vozilu VW Passat 2.0 FSI / 110 kW / 2005 / BVY (RB key: VWW 3082) potrebno je izvršiti ispitivanje emisije izduvnih gasova.
- Za svaki režim ispitivanja potrebno je da motor bude zagrejan na radnu temperaturu.
- Obzirom da konkretno vozilo poseduje automatski menjač (hidrodinamičko-mehanički menjač), opterećenje motora moguće je kratkotrajno simulirati dodavanjem gasa u režimu vožnje "D" uz čvrst pritisak komande kočnog sistema.

▪ **Rezultati merenja 6:**

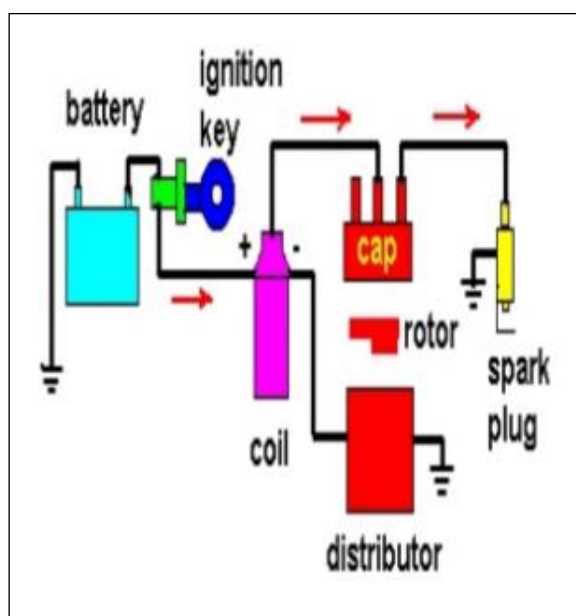
Radni režim:	PH	3000 ob/min	3000 ob/min sa opterećenjem	
Merena veličina	Vrednost	Vrednost	Vrednost	Jedinica
Temperatura ulja				<sup>0</sup> C
CO				% vol
CO <sub>2</sub>				% vol
HC				ppm vol
O <sub>2</sub>				% vol
CO <sub>cor</sub>				% vol

▪ **Komentar 6:**



## Laboratorijska vežba 5

### Sistemi paljenja u oto motorima



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

## 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je upoznavanje sa osnovnim principima rada sistema za paljenje na OTO motorima. Posebno detaljno je obrađen princip generisanja visokog napona kako bi se stvorila fundamentalna osnova za donošenje relevantnih dijagnostičkih zaključaka analizom signala sekundarnih napona, što je praktičnim zadatkom i predviđeno.

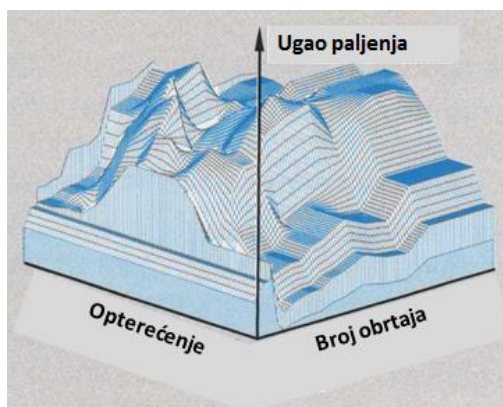
## 2. Podela sistema za paljenje

Početak procesa sagorevanja kod OTO motora trebalo bi da bude iniciran pojavom varnice između elektroda svećice. Osnovni zadatak sistema za paljenje ogleda se u generisanju varnice, u prostoru za sagorevanje, u optimalnom trenutku, kako bi svojom energijom prouzrokovala pouzdano upaljenje smeše pri svim radnim uslovima.

Potrebna energija u optimalnim radnim uslovima (odgovarajući sastav smeše, mirna sredina, nizak pritisak, odsustvo toplotnih gubitaka...) je veoma mala i iznosi 0,1 – 0,2 mJ. Uzimajući u obzir, realne, nepovoljne radne režime kod OTO motora, sistem za paljenje mora biti sposoban da oslobodi energiju 30 – 50 mJ, dok se kod sistema visokih performansi zahteva i do 100 mJ. Sa sve strožijim ekološkim standardima, ali sa druge strane, sa povećanjem zahtevanih performansi koje OTO motori treba da ostvare, sistemi za paljenje od samog početka primene, moraju neprestano da se usavršavaju.

Prema klasifikaciji Bosch-a, kao jednog od lidera u proizvodnji sistema za paljenje, prema vremenu uvođenja na tržište, sistemi paljenja mogu da se svrstaju u četiri kategorije:

1. Klasični sistemi paljenja (SZ) – najjednostavniji sistemi paljenja kod kojih mehanički prekidač u razvodniku prekida kolo primarne struje. Početni moment preskoka varnice određuje se podešavanjem položaja razvodnika, a u zavisnosti od radnog režima, korekcija ugla predpaljenja koriguje se mehaničkim, centrifugalnim i pneumatskim regulatorom. Usled trošenja mehaničkih delova i ograničenja vršne vrednosti primarne struje, koju mehanički kontakti mogu da prekinu, ovi sistemi paljenja ne mogu da ispune današnje ekološke norme, niti da ostvare željene performanse.
2. Transzistorski sistemi paljenja (TZ) – poseduju upravljački tranzistor za uspostavljanje i prekidanje primare struje. Ulogu generatora impulsa obavljaju davači na bazi Holovog (Hall) efekta ili sa induktivnim (magnetnim) principom rada. Zbog osetljivosti na nečistoću ređe se koriste i optički senzori. Usled beskontaktnog prekidanja primarne struje, struja u bobini je veća, usled čega ovaj sistem paljenja poseduje bolji učinak u odnosu na klasične sisteme paljenja.
3. Elektronsko paljenje (EZ) – za razliku od tranzistorskog paljenja, kod elektronskog paljenja trenutak predpaljenja i dužina trajanja varnice se određuju na osnovu zapisanih vrednosti u memoriji računara. Mapa paljenja (Slika 1) unosi se u memoriju računara i predstavlja funkciju opterećenja motora i broja obrtaja.

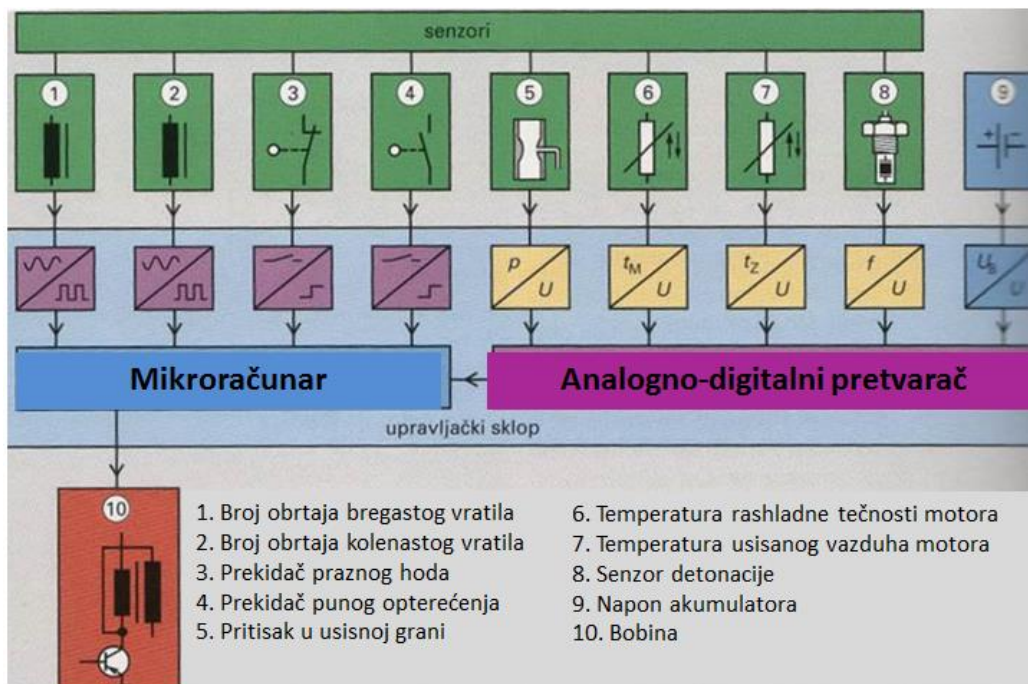


Slika 1. Karakteristična mapa paljenja. Izvor: Tehnika motornih vozila



## Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

Ovde se razvodnik paljenja koristi samo za razvod u kolu visokog napona, bez funkcionalnog značaja na određivanje ugla predpaljenja. Blok šema sistema elektronskog paljenja prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Blok šema sistema elektronskog paljenja. Izvor: Tehnika motornih vozila

4. Potpuno elektronsko paljenje (VZ) – osnovna razlika u odnosu na sistem elektronskog paljenja (EZ) je ta što je mehanički rotirajuću razvodnik paljenja (ROV) zamenjen elektronskim komponentama. Osnovne prednosti statičkog razvoda visokog napona su sledeće:

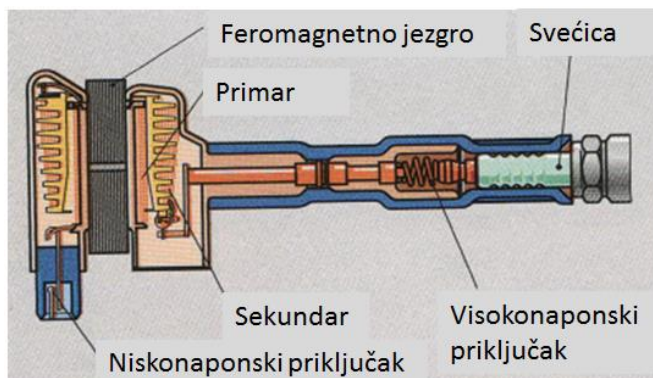
- bolja učinkovitost, obzirom da varnica preskače samo unutar prostora za sagorevanje;
- manji uticaj na ostale elektronske sisteme, u vidu elektromagnetnih smetnji;
- manja buka;
- manji broj visokonaponskih spojeva;
- veća pouzdanost sistema usled manjeg broja mehaničkih delova;

Kod potpuno elektronskog paljenja, koriste se indukcioni kalemi (bobine) sa jednom ili dve varnice.

### 3. Indukcioni kalemi (Bobine)

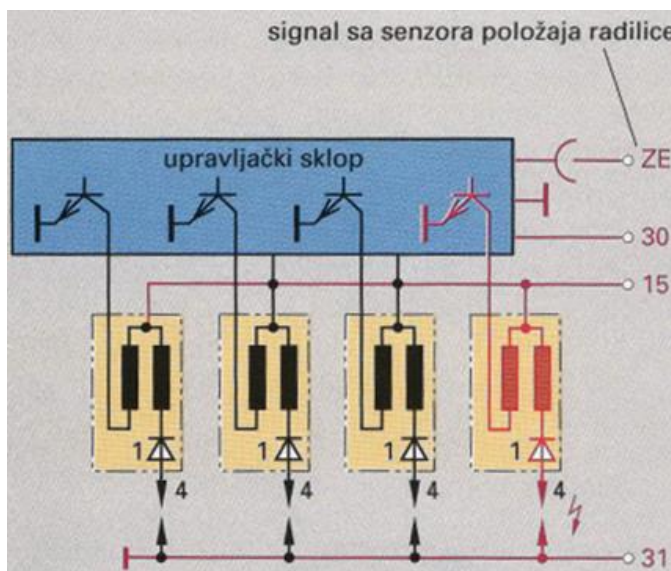
#### 3.1. Bobina sa jednom varnicom

Usled direktne veze između indukcionog kalema i svećice, ne postoji potreba za visokonaponskim kablovima, čime se smanjuje magnetni otpor visokonaponskog kola, ostvaruju manji troškovi i povećava pouzdanost. Zbog toga se jednovarnične bobine veoma često ugrađuju u savremene OTO motore. Takođe, kod motora sa neparnim brojem cilindara, predstavljaju neizostavan deo opreme. Kod ovog tehničkog rešenja, za svaki cilindar se postavlja po jedna bobina, sa pripadajućim primarnim i sekundarnim namotajem, koji je neposredno spojen sa jednom svećicom motora. Unutrašnja struktura jednovarnične bobine prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Bobina sa jednom varnicom. Izvor: Tehnika motornih vozila

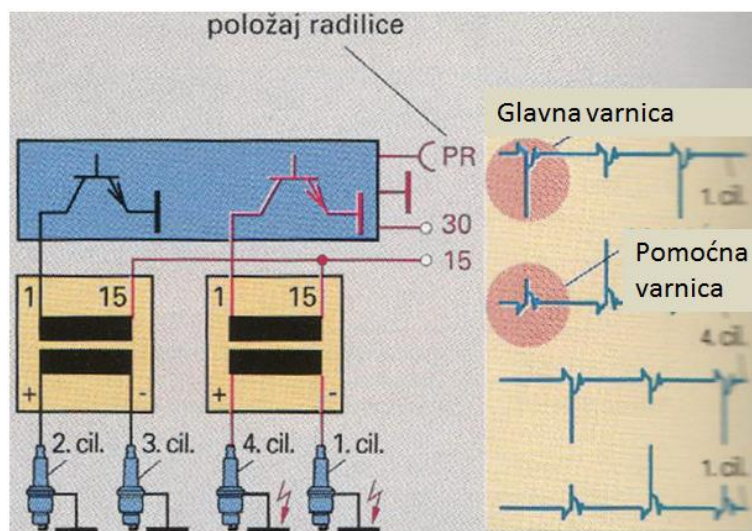
Preskok varnice ostvaruje se prekidanjem primarne struje na niskonaponskoj strani, pomoću izlaznog stepena (tranzistora u elektronskoj jedinici za upravljanje radom motora). Upravljanje izlaznim stepenom bazira se prevashodno prema signalu broja obrtaja i pozicije kolenastog vratila motora, kao i davača faze (senzor broja obrtaja i pozicije bregastog vratila). Zbog specifične konstrukcije bobine (male vrednosti otpora namotaja) u njoj se veoma brzo stvara magnetno polje, koje rezultuje generisanjem visokog napona. Kako ne bi došlo do neželjenog preskoka varnice u fazi uspostavljanja primarne struje, u sekundanom kolu postoji "kaskadna" dioda, prikazana na Slici 4.



Slika 4. Sistem paljenja četvorocilindričnog motora sa jednovarničnim bobinama. Izvor: Tehnika motornih vozila

### 3.2. Bobina sa dve varnice

Ovakav tip indukcionog kalema poseduje jedan primarni namotaj i jedan sekundarni namotaj sa dva izvoda, svaki za po jednu svećicu. Upravljački uređaj upravlja strujom primarnog kola i u trenutku paljenja, prekidanjem primarne struje, na obe svećice se javlja varnica, pri čemu jedna preskače u taktu kompresije (glavna varnica – karakteriše se većim probojnim naponom), a druga pri kraju takta izduvavanja (pomoćna varnica – karakteriše se manjim probojnim naponom). Sistem paljenja sa dvovarničnim bobinama za četvorocilindrični motor prikazan je na Slici 5.



Slika 5. Sistem paljenja sa dvovarničnim bobinama. Izvor: Tehnika motornih vozila

Na primeru četvorocilindričnog motora, uzimajući u obzir redosled paljenja (1-3-4-2) zaključuje se da su položaji klipova u cilindrima motora, vezanih za jednu dvovarničnu bobinu (modul 1: cilindar 1 i cilindar 4; modul 2: cilindar 2 i cilindar 3) međusobno pomereni za  $360^\circ$ , posmatrajući prema uglu obrtanja kolenastog vratila. Zbog trenutnih uslova u cilindrima (kompresija ili izduvavanje), veličine probojnih napona u određenom trenutku paljenja se drastično razlikuju po cilindrima. Usled jedinstvenog smera struje kroz sekundarni namotaj dvovarnične bobine, na jednoj svećici, varnica preskače sa središnje elektrode na elektrodu mase, a na drugoj svećici sa elektrode mase na središnju elektrodu, što određuje pozitivnu ili negativnu vrednost probojnog napona na uporednom osciloskopskom prikazu, kako je i prikazano na Slici 5.

#### 4. Princip generisanja visokog napona

Prema zakonu o elektromagnetnoj indukciji, veličina indukovano napona na sekundaru, zavisi od:

- jačine magnetnog fluksa primarnog namotaja – direktno proporcionalno veličini primarne struje u trenutku njenog prekida. Što je veća vrednost primarne struje to će indukovani napon na sekundaru biti veće vrednosti;
- brzine promene magnetnog fluksa primara – direktno proporcionalno brzini iščezavanja primarne struje.
- odnosa broja navojaka sekundarnog i primarnog namotaja indukcionog kalema.

Dovoljno visoka vrednost indukovano napona u sekundaru je preduslov za postojanu varnicu, odnosno za sigurno upaljenje smeše u radnom prostoru motora, pri svim radnim uslovima. Na osnovu navedenog, neophodno je obezbediti visoku vrednost primarne struje i dovoljnu brzinu njenog iščezavanja u trenutku prekidanja primarnog kola. Celokupan proces generisanja visokog napona se može podeliti i tri karakteristične faze, a to su:

- Uspostavljanje primarne struje i akumulacija energije za paljenje,
- Iščezavanje primarne struje i indukcija visokog napona,
- Električno pražnjenje preko varnice na svećici.

##### 4.1. Faza uspostavljanja primarne struje i akumulacija energije za paljenje

Faza uspostavljanja primarne struje započinje zatvaranjem platinskih dugmadi, kod klasičnih sistema paljenja ili aktiviranjem izlaznog stepena (tranzistora) kod elektronskih sistema. Usled efekta samoindukcije, primarna struja ne može trenutno da dostigne svoju maksimalnu vrednost. Ujedno, u trenutku prekida kola primarne struje, samoindukcija teži da spreči trenutno nestajanje primarne struje i magnetnog fluksa.

## Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

Prema zakonu o elektromagnetnoj indukciji, elektromotorna sila samoindukcije proporcionalna je brzini promene magnetnog fluksa i može se izraziti jednačinom:

$$e_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (1)$$

$e_1$  – elektromotorna sila samoindukcije;

$L_1$  – induktivnost primarnog namotaja indukcionog kalema;

$i_1$  – trenutna vrednost primarne struje;

$t$  – vreme;

Prema II Kirhofovom zakonu o dinamičkoj ravnoteži elektromotornih i elektrotopornih sila u električnom kolu ili bilo kojoj konturi električne mreže, trenutna vrednost primarne struje u kolu, može se predstaviti sledećim obrascem:

$$i_1 = \frac{U_B}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t} \right) \quad (2)$$

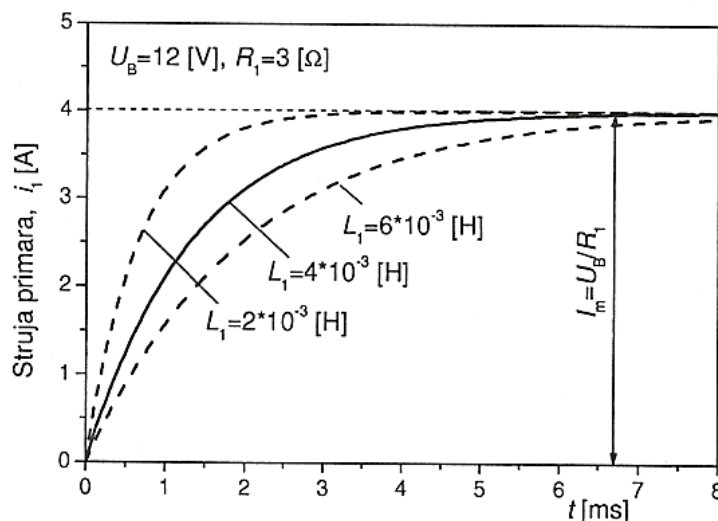
$U_B$  - napon akumulatorske baterije;

$R_1$  - ekvivalentna otpornost primarnog kola bobine;

Na osnovu jednačine (2) zaključuje se da se uspostavljanje primarne struje odvija po eksponencijalnom zakonu, pri čemu struja asimptotski teži maksimalnoj vrednosti  $I_m$ , koja je određena odnosom napona akumulatora i otpornosti kola:

$$I_m = \frac{U_B}{R_1} \quad (3)$$

Uporedni vremenski prikaz uspostavljanja struje u kolu primarnog namotaja, različitih induktivnosti, prikazan je na Slici 6.



Slika 6. Uporedni vremenski prikaz uspostavljanja primarne struje za različite induktivnosti.

Izvor: Oprema motora

Prema Slici 6. zaključuje se da je sa manjom induktivnosti primarnog kola, brži porast primarne struje. Međutim, u cilju generisanja postojeće varnice i pri najtežim radnim uslovima u cilindru motora, potrebno je da se akumulira dovoljna vrednost energije u kolu primara. Zato je neophodno uspostaviti optimalne vrednosti induktivnosti primarnog namotaja  $L_1$  i jačine primarne struje u trenutku njenog prekida  $I_p$ , jer je jednačinom (4) pokazano da je akumulirana energija direktno proporcionalna induktivnosti primara i kvadrata primarne struje:

$$E_p = \frac{1}{2} L_1 \cdot I_p^2 \quad (4)$$

#### 4.2. Faza iščezavanja primarne struje i indukcija sekundarnog napona

Trenutkom paljenja može se smatrati trenutak prekidanja kola primarne struje. Naglo opadanje struje primara izaziva indukovanje visokog napona na sekundaru bobine. Međutim izuzetno brzo opadanje primarne struje izaziva indukovanje napona samoindukcije i u samom primaru, čija maksimalna vrednost dostiže i nekoliko stotina volti (200-500 V). Indukovanje visokog napona na primarnoj strani je bio posebno izražen problem kod klasičnih sistema paljenja, sa mehaničkim prekidačem, jer bi preko varnice tekla struja i posle fizičkog razdvajanja kontakata, čime bi smanjenje primarne struje bilo usporeno i kao posledica toga, indukovani napon sekundara bi bio daleko niži. Takođe, varnica bi izazvala ekstremno brzo trošenje kontakata prekidača. Zato se kod klasičnih sistema paljenja paralelno sa kontaktima mehaničkog prekidača vezuje kondenzator kapacitivnosti 0,2-0,25  $\mu\text{F}$ . U trenutku razdvajanja kontakata napon kondenzatora vrlo brzo dostigne napon samoindukcije (odnosno, napuni se do napona samoindukcije), čime se sprečava obrazovanje varnice na mehaničkom prekidaču. Obzirom na brzinu punjenja kondenzatora, ostvaruje se brzo iščezavanje primarne struje i magnetnog fluksa, usled čega se vrši indukovanje visokog napona u sekundaru. Maksimalna vrednost indukovnog napona u sekundaru, može da se predstavi izrazom:

$$U_{2\max} = I_p \cdot \frac{N_2}{N_1} \sqrt{\frac{0.65 \cdot L_1}{C_1 + C_2 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2}} \quad (5)$$

$I_p$  – struja primara u trenutku prekida;

$L_1$  – induktivnost primara;

$N_1$  – broj navojaka primara;

$C_1$  – kapacitivnost primara;

$N_2$  – broj navoja sekundara;

$C_2$  – ekvivalentna kapacitivnost sekundara;

#### 4.3. Električno pražnjenje preko varnice na svećici

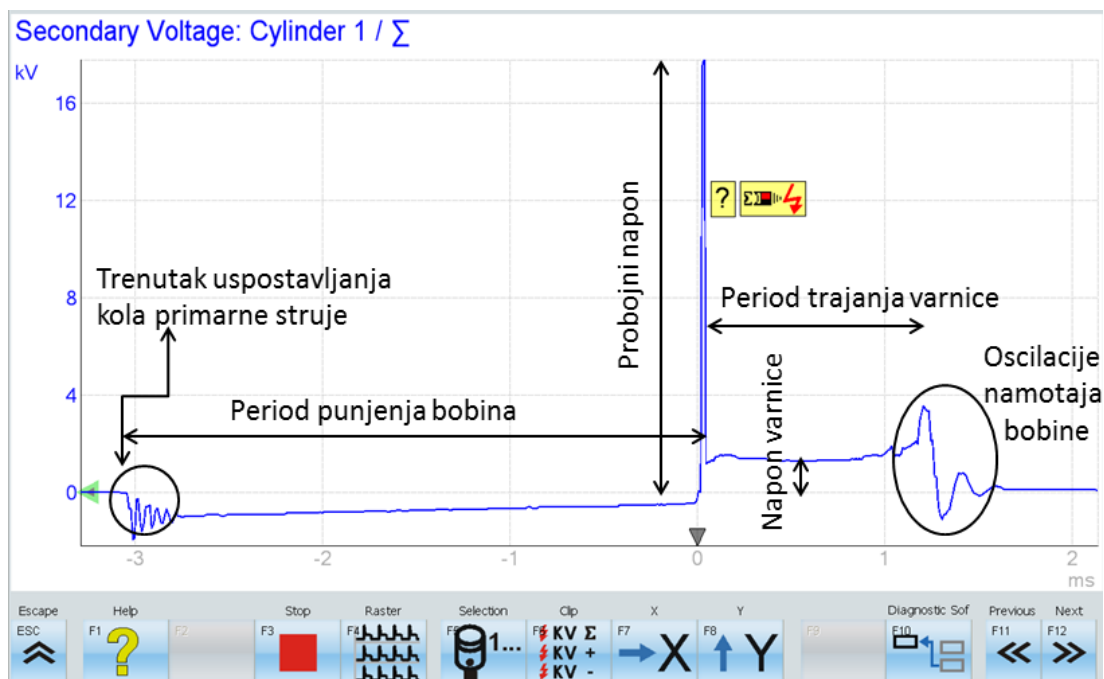
Pri radu motora SUS, sekundarni napon ne dostiže maksimalnu vrednost napona koju bobina može da indukuje, predstavljeno izrazom (5), već zavisno od uslova u cilindru, sekundarni napon raste do napona proboja, pri kome dolazi do preskoka varnica između elektroda svećice. Probojni napon zavisi od mnogih činilaca i tokom rada motora menja se sa promenom uslova za upaljenje radne smeše u prostoru za sagorevanje. Pored mnogih regulacionih i konstruktivnih faktora, najvažniji činioci koji utiču na vrednost probojnog napona su:

- Veličina zazora između elektroda svećice;
- Dielektrične karakteristike sredine;
- Pritisak u cilindru u trenutku paljenja;
- Temperatura elektroda svećice;
- Polaritet elektroda svećice;

#### 5. Oscilogram signala varnice

Karakterističan oscilogram signala varnica, sa označenim delovima signala, prikazan je na Slici 7.





Slika 7. Karakterističan oscilogram signala varnice

Na dijagramu, prikazanom na Slici 7, moguće je izdvojiti sledeće delove signala:

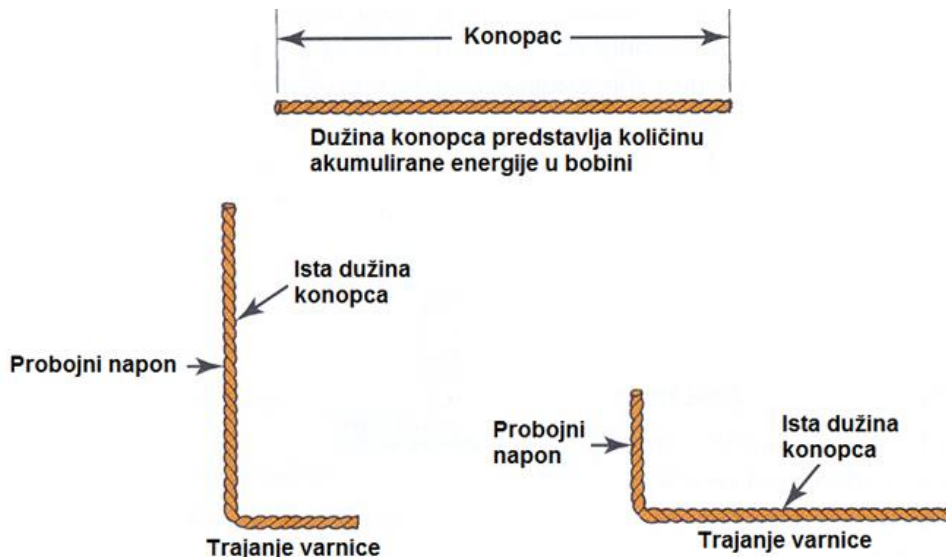
- **Trenutak uspostavljanja primarne struje** - U delu 4.1. "Faza uspostavljanja primarne struje i akumulacija energije za paljenje" objašnjen je proces porasta struje u primarnom namotaju bobine, koji ne može da bude trenutni usled efekta samoindukcije, odnosno induktivnosti impedanse primarnog kola. Trenutak uspostavljanja primarne struje karakteriše se generisanjem napona, uz nekoliko izraženih pulsacija. Ovaj napon negativne vrednosti suprotstavlja se uspostavljanju kola primarne struje.
- **Period punjenja bobine** – predstavlja vreme proticanja struje kroz primarni namotaj bobine. Završetak perioda punjenja, određen je zatvaranjem izlaznog stepena (*transistor off*) usled čega dolazi do indukovanja visokog napona na sekundarnoj strani bobine.
- **Probojni napon** – predstavlja napon pri kome dolazi do preskoka varnice između elektroda svećice i njegova veličina zavisi od uslova u cilindru u trenutku preskoka. Tipični razlozi visoke vrednosti probojnog napona u praksi su:
  - povećan razmak između elektroda svećice;
  - siromašna smeša u cilindru motora;
  - oštećen visokonaponski kabl (povećanje elektromagnetnog otpora visokonaponskog kola);

Međutim, treba voditi računa da određeni proizvođači (BMW) pri normalnim radnim uslovima predviđaju relativno visoke vrednosti probojnih napona, 20 – 25 kV. Ujedno, savremeni motori sa direktnim ubrizgavanjem benzina, zbog tendencije za postizanjem što boljih ekoloških karakteristika, prepoznatljivi su po slojevitim režimima rada motora, kada su spoljni otpori relativno niski, što dodatno pooštrava zahteve koje sistem za paljenje treba da ispuni.

- **Napon varnice** – predstavlja minimalan napon za održavanje varnice, nakon trenutka preskoka. Vrednost napona varnica se kreće u dijapazonu 1,5 – 2,5 kV. Nagib napona varnice takođe može da se razmatra u dijagnostičke svrhe. Ukoliko je nagib varnice negativan (napon varnice opada), odnosno ukoliko je tokom perioda trajanja varnice poreban manji napon za održavanje varnice u odnosu na trenutak preskoka, to može da ukazuje na kontaminiranost elektroda svećice ili na eventualno bogatu smešu u cilindru motora. Ukoliko je nagib varnice pozitivan (napon varnice raste) uzrok može biti ili siromašna smeša ili određeni mehanički problem klipno-cilindarskog sklopa.

- **Period trajanja varnice** – je od velike važnosti za uspešnost procesa upaljenja radne smeše. Opšte je poznato da vreme trajanja varnice:
  - oko 0,8 ms - može da se smatra veoma kratkim;
  - oko 1,5 ms – srednjim (optimalnim);
  - oko 2,2 ms - veoma dugim;

Dužina trajanja varnice najbolje se može objasniti uz pomoć Slike 8.



Slika 8. Međuzavisnost probojnog napona i perioda trajanja varnice prikazana uz pomoć konopca

Dakle, uz pomoć Slike 8. akumulirana energija u bobini može da se predstavi ukupnom dužinom konopca. Ilustracija levo (Slika 8), prikazuje da se veći deo energije akumulirane u bobini utrošio na jonizaciju elektroda svećice, odnosno za preskok varnice potreban je relativno visok probojni napon. Manja količina energije ostaje na raspolaganju za održavanje uspostavljene varnice što za posledicu može imati izostanak sagorevanja ili narušavanje procesa pravilnog prostiranja fronta plamena. Ilustracija desno (Slika 8) prikazuje slučaj kada je manji deo energije bobine utrošen na preskok varnice i veći deo ostaje na raspolaganju za održavanje uspostavljene varnice.

- **Oscilacije namotaja bobine** – predstavljaju višak energije, koji se oslobađa nakon procesa pražnjenja bobine putem varnice. Postojanost 3 do 5 oscilacija signala ukazuje na pravilan odnos induktivnog i kapacitivnog dela impedanse bobine, čime se potvrđuje njena tehnička ispravnost. U slučaju odsustva karakterističnih oscilacija opravdano je posumnjati na neispravnost bobine.

## 6. Zadatak

Na vozilu sa OTO motorom i elektronskim sistemom paljenja sa dvovarničnim bobinama, potrebno je uraditi sledeće:

vozilo: \_\_\_\_\_

sistem za upravljanje radom motora: \_\_\_\_\_

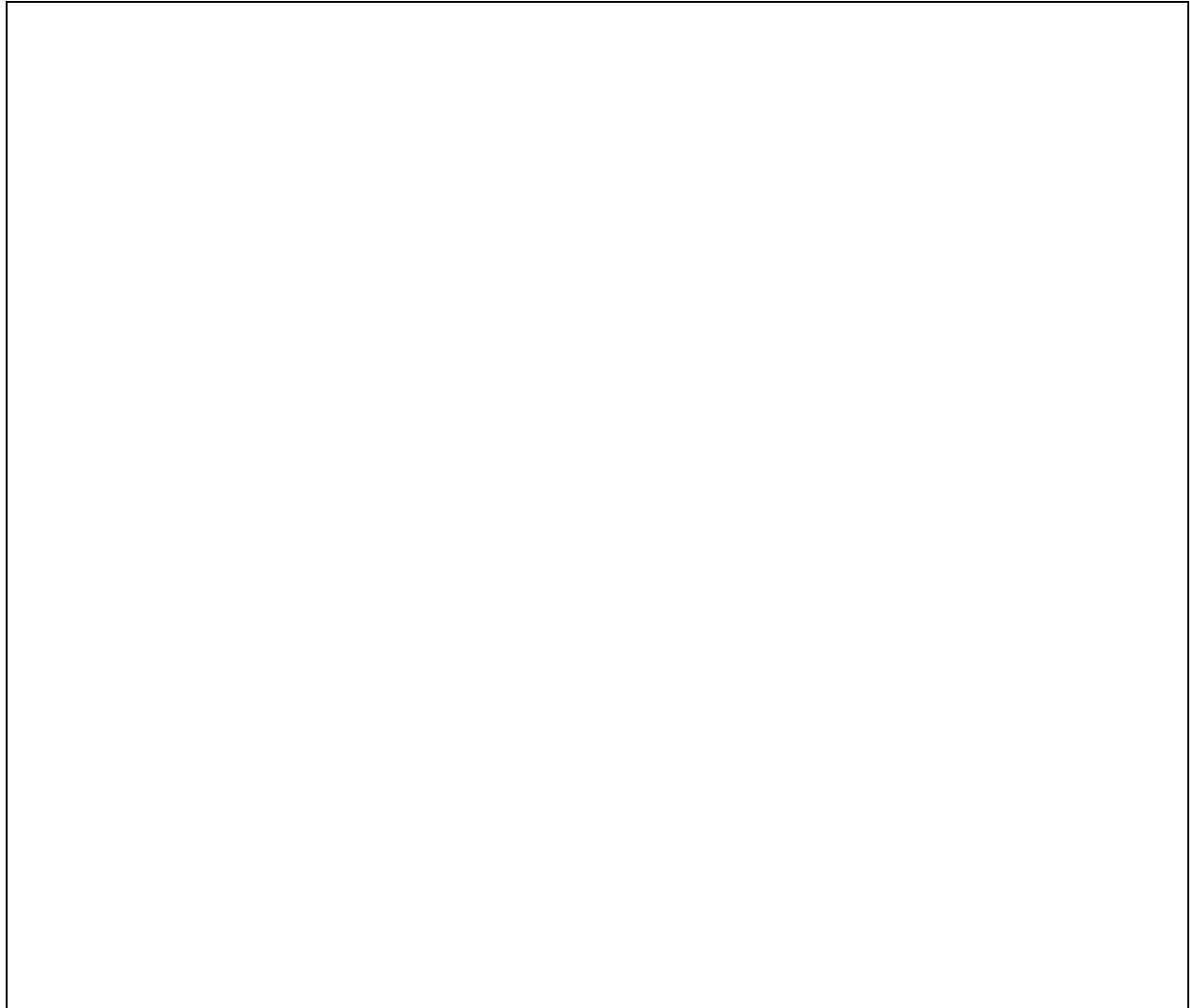
a) Izvršiti osciloskopski snimak sekundarnih napona za sve cilindre motora, koršćenjem merne stanice FSA 750, dok motor radi u praznom hodu, pri čemu je potrebno da svi probojni naponi budu pozitivno prikazani. Uz prikaz sekundarnih napona potrebno je priložiti odgovarajući komentar koji treba da sadrži:

- Postupak priključenja odgovarajućih stezaljki merne stanice FSA 750, kako bi se sve varnice prikazale u pozitivnom smeru, i kako bi svaka varnica osciloskopskog prikaza bila jasno određena za sebi pripadajući cilindar motora;
- Uporednu analizu probojnih napona;
- Preliminarne zaključke;

U	[kV]																		
																		t	[ms]

Komentar:





b) Aktivacijom moda “Raster“, u režimu rada praznog hoda motora, potrebno je uporedno prikazati period trajanja varnice i period istitravanja bobine. Uz prikaz potrebno je priložiti odgovarajući komentar koji treba da sadrži:

- Uporednu analizu vrednosti napona varnice;
- Uporednu analizu nagiba napona varnice;
- Uporednu analizu oscilacija namotaja (istitravanja bobine);
- Preliminarne zaključke;

## Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

U	[kV]																		
																		t	[ms]

U	[kV]																		
																		t	[ms]

U	[kV]																		
																		t	[ms]

U	[kV]																		
																		t	[ms]

Komentar:

c) U modu "Parade" izvršiti osciloskopski prikaz svih sekundarnih napona, pri režimu od 3000 ob/min i uz prikaz potrebno je priložiti komentar, koji treba da sadrži:

- uporednu analizu probojnih napona za trenutni režim ispitivanja;
- poredjenje vrednosti probojnih napona u trenutnom režimu ispitivanja, sa režimom praznog hoda, uz obavezno obrazloženje;
- preliminarne zaključke;

### Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

U	[kV]																		
																		t	[ms]

Komentar:

d) Aktivacijom moda “Raster“, pri režimu rada motora na 3000 ob/min, potrebno je uporedno prikazati period trajanja varnice i period istitravanja bobine. Uz prikaz potrebno je priložiti odgovarajući komentar koji treba da sadrži:

- Analizu karakterističnih delova signala pri trenutnom režimu ispitivanja, sa režimom rada na praznom hodu;
- Preliminarne zaključke;

## Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

U	[kV]																		
																		t	[ms]

U	[kV]																		
																		t	[ms]

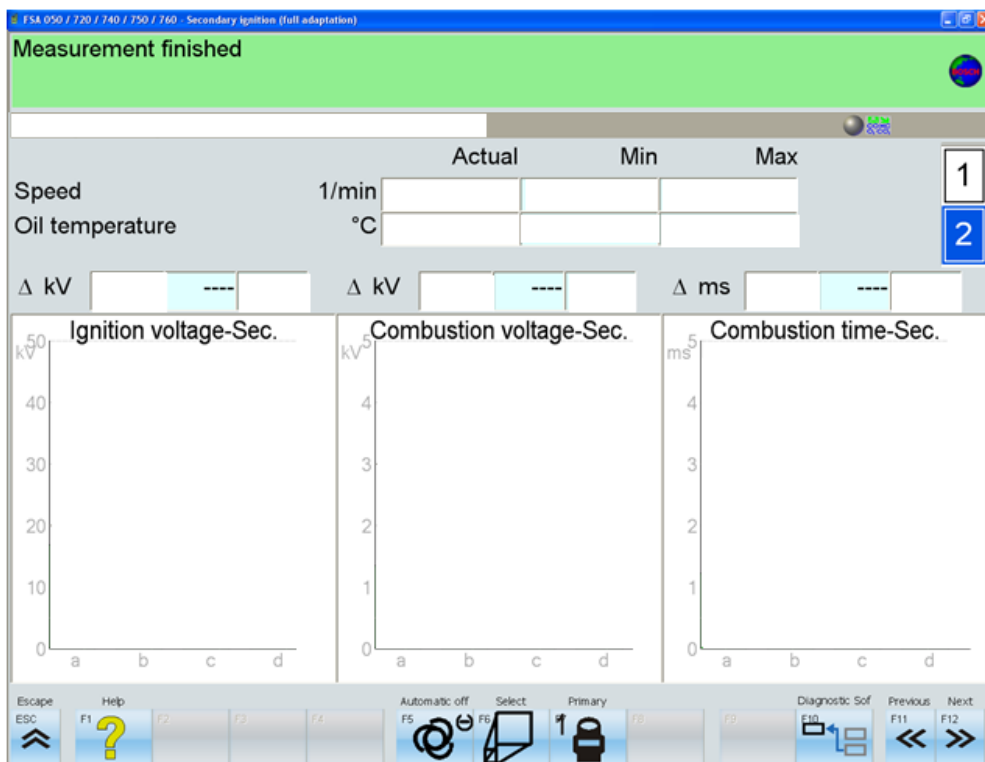
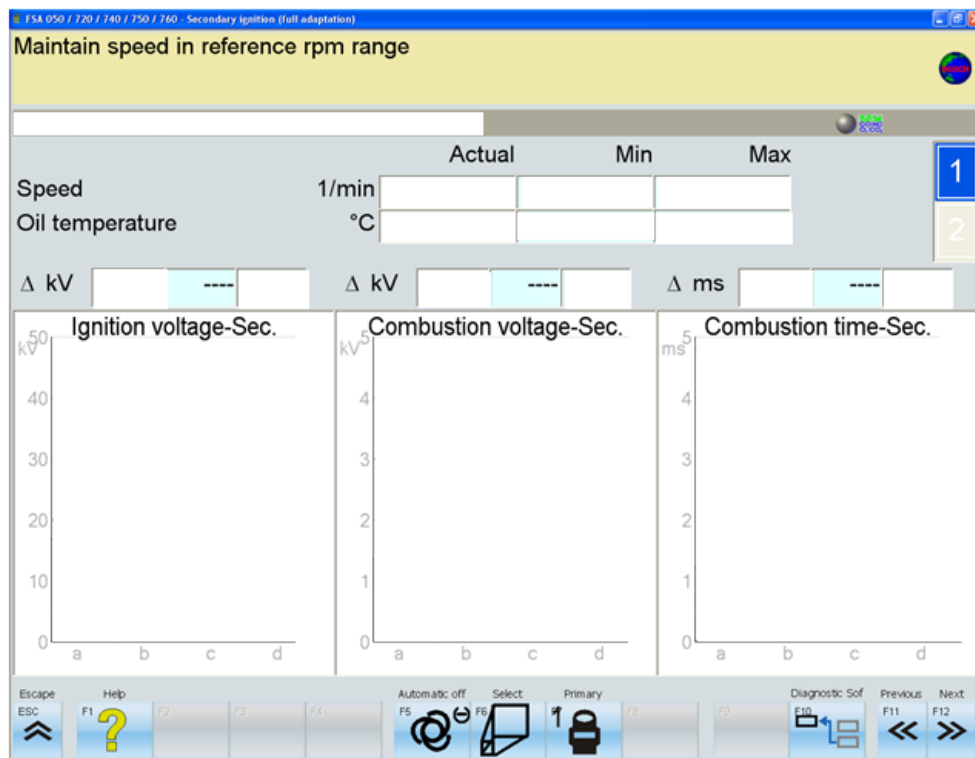
U	[kV]																		
																		t	[ms]

U	[kV]																		
																		t	[ms]

Komentar:

## Laboratorijska vežba 5: Sistemi paljenja u oto motorima

e) Za ispitno vozilo potrebno je izvršiti test proceduru “**Secondary ignition (full adaptation)**“ i po završenom ispitivanju potrebno je upisati ostvarene rezultate testa i radne parametre u odgovarajuća prazna polja. Takođe potrebno je priložiti odgovarajući komentar o cilju test procedure i dobijenih rezultata ispitivanja.



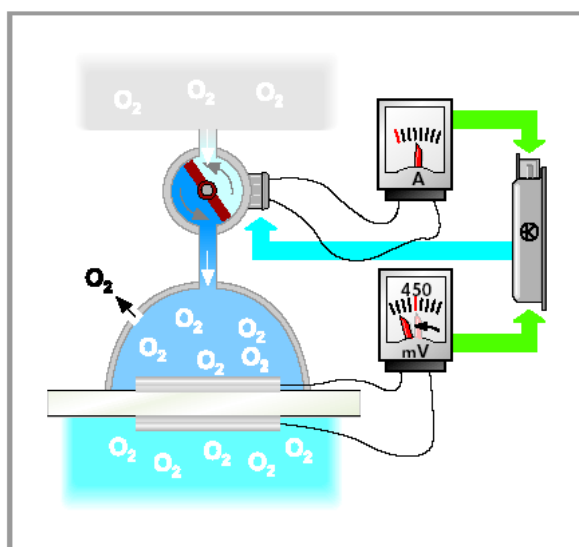
Komentar:





## Laboratorijska vežba 6

### Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

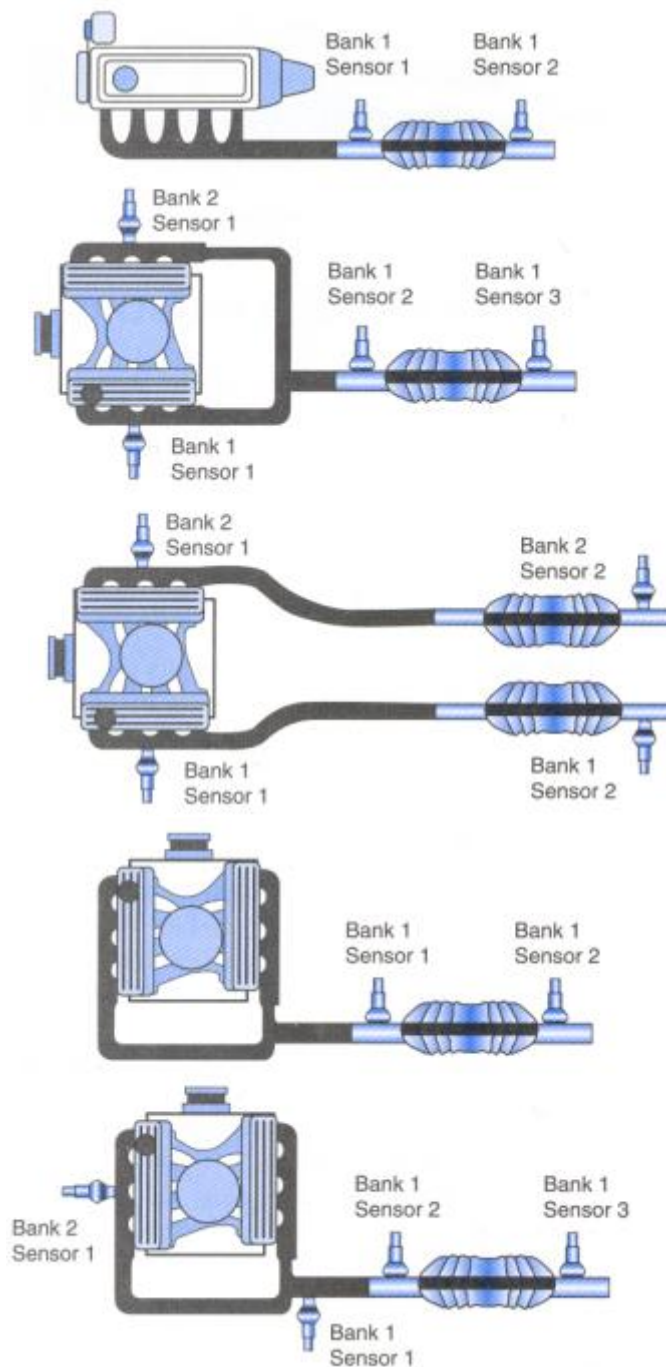
Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

## 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je detaljnije upoznavanje sa principom rada i funkcijom različitih tipova lambda sonde u sistemima upravljanja radom benzinskih motora. Praktičan zadatak podrazumeva ispitivanje širokopojasne lambda sonde na školskom vozilu VW Passat 2.0 FSI.

## 2. Numeracija lambda sonde u tehničkoj dokumentaciji

U tehničkoj dokumentaciji lambda sonde se numerišu prema lokaciji montaže i koncepciji izduvnog sistema. Na Slici 1, dat je šematski prikaz numerisanja lambda senzora. Potrebno je naglasiti da u slučaju V konfiguracije motora, indeks „Bank 1“ je dodeljen onom senzoru koji se nalazi na izduvnoj grani koja obuhvata prvi cilindar motora.



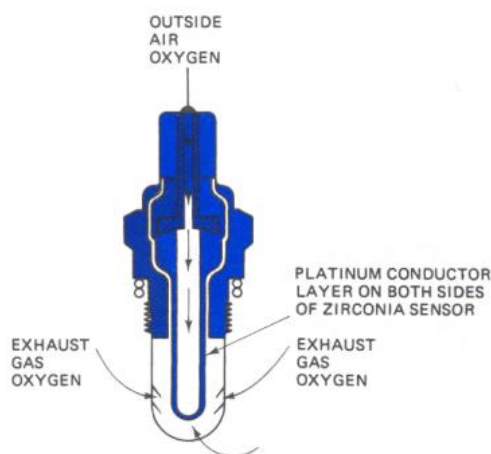


Slika 1. Pravila označavanja lambda sonde prema rasporedu i konfiguraciji motora. Izvor: Halderman

### 3. Podela lamda sonde

#### 3.1. Cirkonijumska lambda sonda

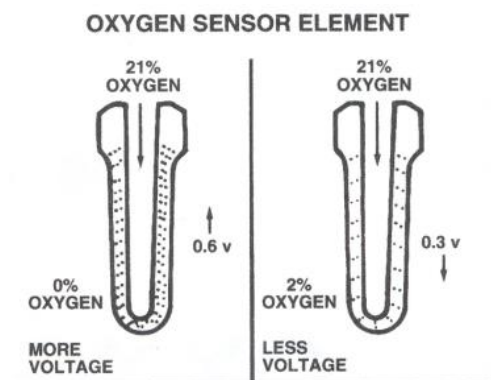
Savremeni motori SUS koriste senzor koncentracije u izduvnoj grani, sa ciljem da se obezbedi povratna sprega u regulaciji rada motora, putem određivanja količine kiseonika u izduvnim gasovima. Najčešće korišćeni lambda senzor sačinjen je od cirkonijum dioksida ( $ZrO_2$ ). Spoljašnja elektroda izložena je izduvnim gasovima, dok je unutrašnja elektroda izložena atmosferskom vazduhu (Slika 2). Obe merne elektrode senzora presvučene su platinom. Tokom rada lambda senzora, unutrašnja elektroda postaje negativno, a spoljašnja elektroda pozitivno polarisana. Veza unutrašnje elektrode sa spoljašnjim vazduhom ostvarena je kroz signalnu žicu senzora ili kroz naročite otvore na kućištu senzora.



Slika 2. Poprečni presek cirkonijumske lambda sonde. Izvor: Halderman

Vazduh sadrži relativno konstantan procenat kiseonika od 21%. Izduvni gasovi, nastali sagorevanjem radne smeše goriva i vazduha sadrže relativno mali procenat kiseonika, koji zavisi od toga da li je radna smeša bogata ili siromašna.

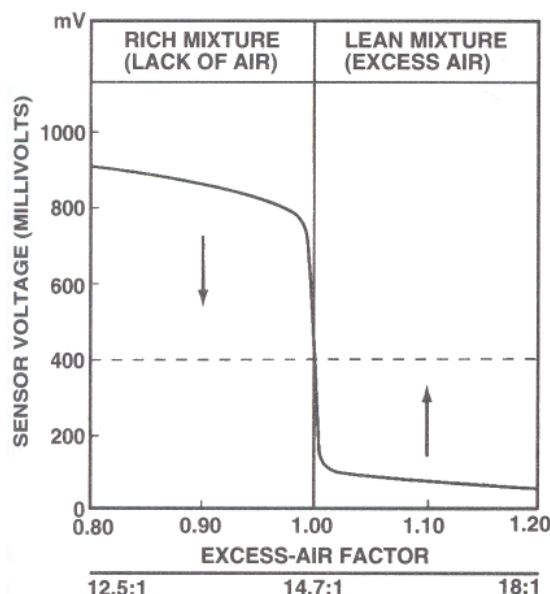
Negativno naelektrisani joni kiseonika prispajaju se sa unutrašnjom i sa spoljašnjom elektrodom. Usled velikog procenta kiseonika u atmosferskom vazduhu, ispunjenjem radnih uslova, unutrašnja elektroda postaje negativno polarisana. Električni potencijal, odnosno napon stvara se na osnovu razlike kiseonika između elektroda. Pri radu motora sa bogatom smešom ( $\lambda < 1$ ), mala je koncentracija kiseonika na spoljašnjoj elektrodi, što generiše relativno visok napon između elektroda (0,60 – 1,0 V). Kada motor radi sa siromašnom smešom ( $\lambda > 1$ ), napon između elektroda pada (0,00 – 0,3 V) usled smanjene razlike kiseonika na elektrodama (Slika 3).



Slika 3. Princip rada cirkonijumske lambda sonde. Izvor: Halderman

## Laboratorijska vežba 6: Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora

Uslov za generisanje napona cirkonijumske lambda sonde jeste postignuta radna temperatura od 300 °C. Lambda sonda ostvaruje najbrži odziv pri radnoj temperaturi od 800 °C. Neposredno nakon starta motora, dok nisu ostvareni uslovi za rad lambda sonde, ili u slučaju neispravnosti senzora, računar upravlja radom motora na osnovu sistemski programiranih vrednosti. Radna karakteristika cirkonijumske lambda sonde prikazana je na Slici 4.



Slika 4. Radna karakteristika cirkonijumske lambda sonde. Izvor: Halderman

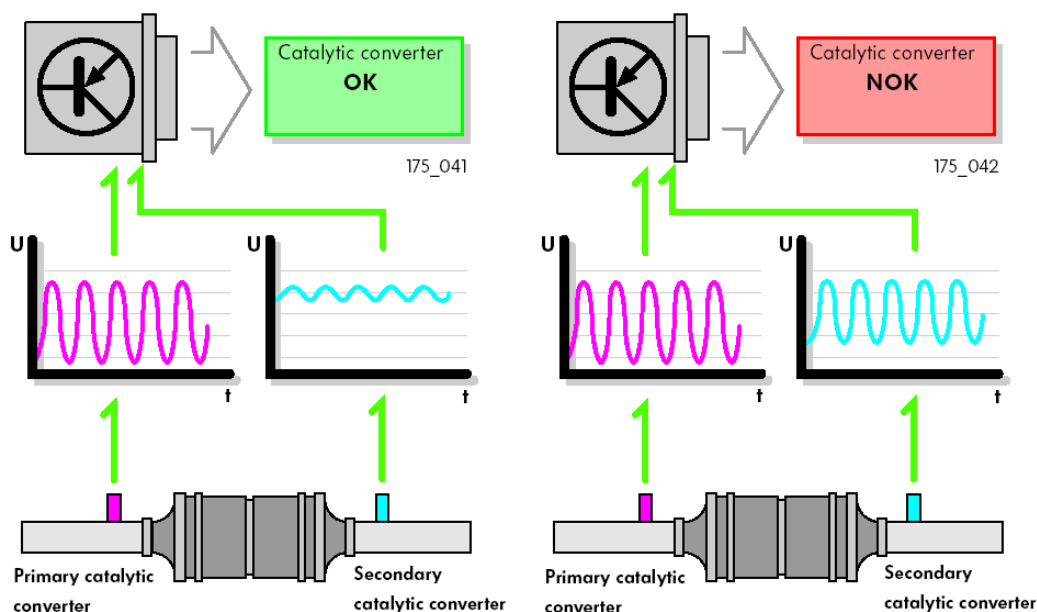
Podela cirkonijumskih lambda senzora prema konstrukciji:

- Senzor sa jednom žicom – stare verzije senzora, kod kojih je predviđena samo signalna žica. Za ovakve lambda sonde nije predviđen grejač, a masa senzora ostvaruje se preko navoja senzora i izduvne grane;
- Senzor sa dve žice – ne uključuju grejač, dve žice predviđene su za signal i masu senzora;
- Senzor sa tri žice – uključuju i grejač. Tri žice senzora koriste se za signal senzora, napajanje i masu grejača;
- Senzor sa četiri žice – savremena konstrukcija senzora. Četiri žice obuhvataju, napajanje i masu grejača, signal i masu senzora;

Cirkonijumske lambda sonde izrađuju se sa podloškom i navojem prečnika od 18 mm. Na osnovu signala sa Slike 4 gde je prikazana radna karakteristika senzora, zaključuje se da cirkonijumska lambda sonda može da detektuje samo kvalitativni sastav smeše, odnosno da li je smeša bogata ili siromašna.

### 3.1.1. Lambda sonda posle katalizatora

Lambda sonda posle katalizatora je isključivo zirkonijumska lambda sonda koja u sistemu upravljanja radom motora ima funkciju određivanja efikasnosti rada katalitičkog konvertora. U slučaju oscilovanja izlaznog signala lambda sonde posle katalizatora, memoriše se greška vezana za neispravnost katalitičkog konvertora. Takođe analizom vrednosti, napona lambda sonde posle katalizatora kroz različite režime rada motora, ostvaruje se i dijagnostički karakter procesa sagorevanja. Na Slici 5 šematski su prikazani uporedni signali prve i druge lambda sonde, u slučaju ispravnog i neispravnog katalitičkog konvertora.

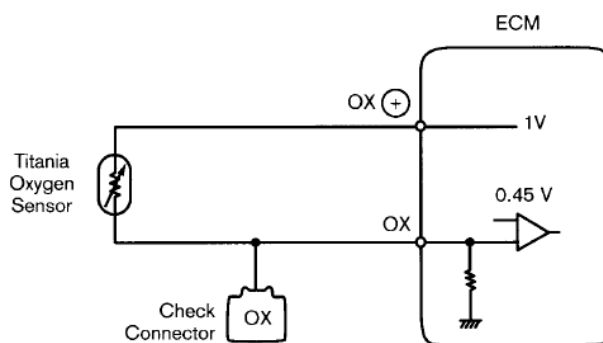


Slika 5. Uporedni signali lambda sonde u zavisnosti od efikasnosti katalitičkog konvertora. Izvor: VW SSP 175

### 3.2. Titanijumska lambda sonda

Titanijumska (titanijum dioksid) lambda sonda za razliku od cirkonijumske ne proizvodi napon između elektroda, već u zavisnosti od sadržaja kiseonika u izduvnim gasovima dolazi do promene električne otpornosti mernog elementa senzora, koji je izložen delovanju samo izduvnih gasova.

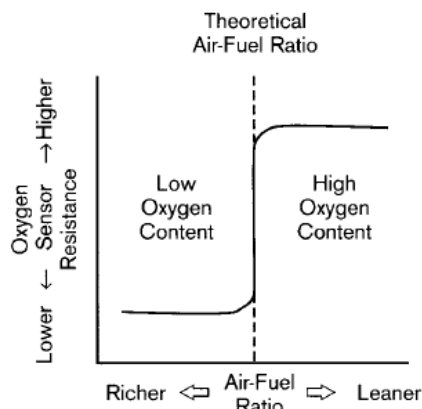
Obzirom da je otpor mernog elementa od titanijuma zavisna i od promena temperature, senzor uključuje i grejač, čija je uloga da održava radnu temperaturu mernog elementa konstantnom. Šema veze titanijumske lambda sonde sa računarnom prikazana je na Slici 6.



Slika 6. Šema veze titanijumske lambda sonde. Izvor: Toyota

Referentni napon senzor dobija se od elektronske jedinice za upravljanje radom motora. Titanijumske lambda sonde izrađuju se sa navojem od 14 mm, kako ne bi bile zamenjive sa cirkonijumskim lambda sondama. Radna karakteristika titanijumske lambda sonde prikazana je na Slici 7, prema kojoj se može zaključiti da je otpor mernog elementa senzora veći pri radu sa siromašnom smešom.

## Laboratorijska vežba 6: Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora



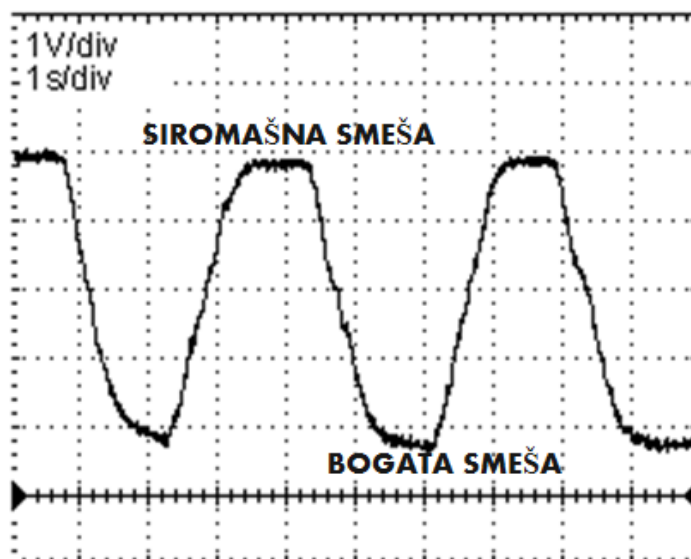
Slika 7. Radna karakteristika titanijske lambda sonde. Izvor: Toyota

Međutim, mnoge titanijske lambda sonde funkcionišu sa radnim naponom mernog elementa od 5V.

Specifikacija takve izvedbe lambda sonde je sledeća:

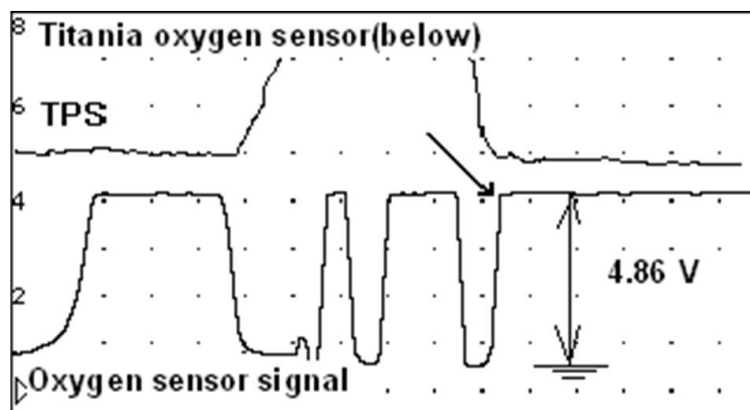
- napon napajanja grejača sonde: 12 V
- otpor grejača: 3 – 15  $\Omega$  (na 20<sup>0</sup>C)
- napon napajanja mernog elementa: 5 V
- otpor mernog elementa:
  - siromašna smeša: > 100 000  $\Omega$  (> 3.8 V)
  - bogata smeša: < 10 000  $\Omega$  (< 0.5 V)

Izgled signala takve titanijske lambda sonde, pri stacionarnom režimu rada motora, prikazan je na Slici 8.



Slika 8. Signal titanijske lambda sonde pri stacionarnom (ustaljenom) režimu rada

Uporedni prikaz promene signala prigušnog leptira (TPS) i titanijske lambda sonde (Oxygen sensor signal), prikazan je na Slici 9. Na Slici se može uočiti da u trenutku dodavanja gasa, smeša postaje bogata (nizak napon), a u trenutku oduzimanja gasa, smeša postaje siromašna (visok napon).



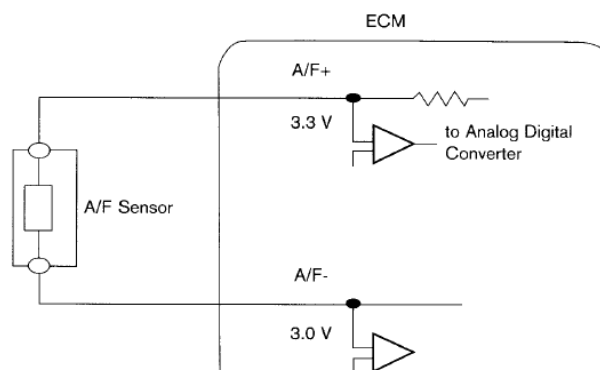
Slika 9. Uporedni prikaz signala prigušnog leptira i titanijumske lambda sonde

### 3.3. Širokopojasne lambda sonde

Postoje dva tipa senzora, koji mogu kvantitativno da odrede sastav smeše u opsegu od 12:1 do 22:1 (kg vazduha / kg goriva). Jedan tip senzora sastoji se od jedne merne ćelije, sadrži četiri žice i primenjuje se na vozilima marke Toyota. Na engleskom jeziku se naziva **“linear air-fuel sensor”**. Drugi tip je mnogo češće zastupljen, sadrži dvostruku mernu ćeliju (može se naći i pod nazivom Nerstova ćelija), prepoznatljiv je sa pet žica na konektoru do strane senzora, odnosno šest žica na konektoru, do strane instalacije. U dokumentaciji za vozila marke Honda prepoznatljiv je pod nazivom **“lean air-fuel sensor”**, a prema BOSCH-u **“wide range air-fuel sensor”**.

#### 3.3.1. Linear air-fuel sensor

Šema veze širokopojasne lambda sonde sa četiri žice (linear air-fuel sensor) prikazana je na Slici 10.



Slika 10. Šema veze širokopojasne lambda sonde (Linear Air Fuel Sensor, u Toyota literaturi Air/Fuel Ratio Sensor)

Princip rada zasniva se na određivanju smera i intenziteta struje, kao i na osnovu napona senzora. Izlazni napon senzora, relevantan za dijagnostiku, može se odrediti samo odgovarajućim komunikacionim uređajem ili OBD II protokolom. Izlazna struja senzora ne može se odrediti direktnim merenjem.

Pri radu motora sa stehiometrijskom smešom, struja ne protiče kroz kolo senzora i izlazni napon senzora iznosi 3,3 V.

Pri radu motora sa bogatom smešom, kroz kolo senzora protiče struja negativnog intenziteta, pri kojoj kolo za obradu signala računara stvara napon niži od 3,3 V.

Pri radu motora sa siromašnom smešom, kada kroz kolo senzora protiče struja pozitivnog intenziteta, kolo za obradu signala računara stvara napon viši od 3,3 V.

## Laboratorijska vežba 6: Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora

Matrica za analizu signala širokopolasne lambda sonde sa četiri žice prikazana je u Tabeli 1.

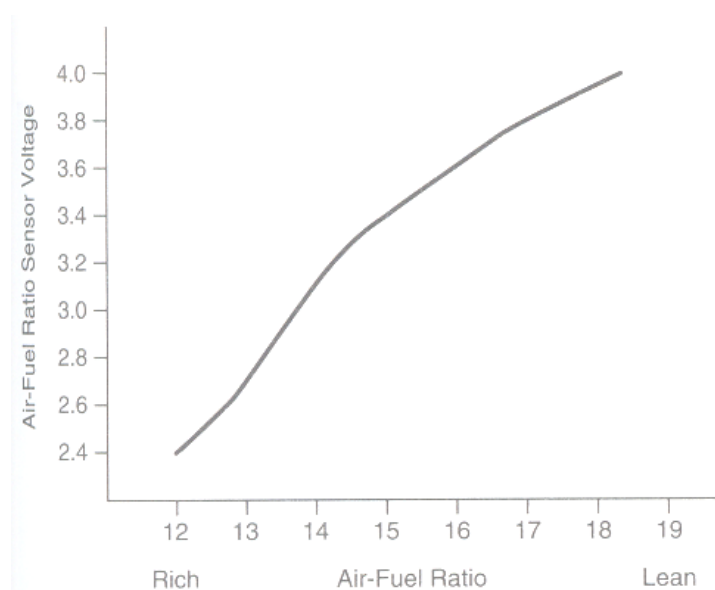
### Važna napomena:

Navedenu vrednost napona nije moguće izmeriti korišćenjem osciloskopa, već ona predstavlja komunikacioni parametar!

Sadržaj kiseonika u izduvnim gasovima	Smer struja u kolu senzora	Naponska vrednost	Lambda faktor
Nizak	- (Negativan)	Manje od 3,3 V	$\lambda < 1$
Stehiometrijski	0	3,3 V	$\lambda = 1$ (14,7:1)
Visok	+ (Pozitivan)	Više od 3,3 V	$\lambda > 1$

Tabela 1. Matrica za analizu signala širokopolasne lambda sonde sa četiri žice (Linear Air Fuel Sensor)

Za razliku od dvostepene cirkonijumske lambda sonde naponski izlazni signal širokopolasne lambda sonde sa četiri žice (komunikacioni parametar) se povećava radom motora u siromašnoj smeši. Obzirom da se komunikacionim naponskim signalom ovog tipa sonde i kvantitativno određuje sastav smeše, naponski signal je proporcionalan vrednosti lambda faktora. Time ECU motora treba da odradi manji broj operacija, kako bi na osnovu trenutnog sastava smeše egzaktno odredio potrebnu količinu goriva za naredne radne cikluse. Širokopolasna lambda sonda sa četiri žice koja se primenjuje na Toyota vozilima (linear air-fuel sensor) zavisi od sadržaja kiseonika u izduvnim gasovima proizvodi napon na signalnoj žici od 2,2 – 4,2 V. Međutim, kao što je objašnjeno, testiranje ovog tipa senzora, najčešće se vrši komunikaciono-dijagnostičkim putem i naponska promena signala senzora prema odnosu kiseonik/gorivo proporcionalna je promeni  $\lambda$  faktora. Radna karakteristika širokopolasne lambda sonde sa četiri žice prikazana je na Slici 11.

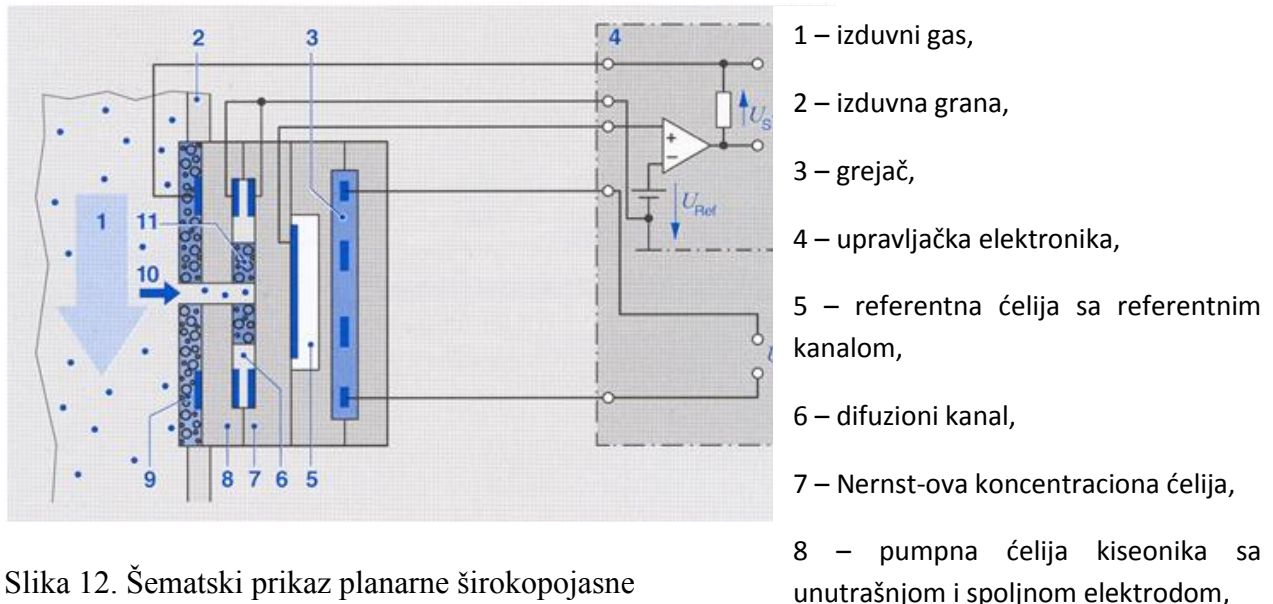


Slika 11. Radna karakteristika širokopolasne lambda sonde (linear air-fuel sensor)

### 3.3.2. Wide range air-fuel sensor (LSU planarna širokopojasna lambda sonda)

Ovaj tip lambda sonde je pogodan za primenu u zatvorenoj lambda upravljačkoj petlji koja se koristi kod benzinskih motora sa malom potrošnjom, dizel motora, motora sa pogonom na gas, kotlova i bojlera na gas (zbog ovakvog širokog spektra primene je i nastao naziv LSU (Lambda Sensor Universal)).

Širokopojasna lambda sonda LSU4 je planarni davač sa ograničenjem struje, šematski prikazan na Slici 12.



Slika 12. Šematski prikaz planarne širokopojasne lambda sonde. Izvor: BOSCH

Planarna širokopojasna lambda sonda sastoji se od cirkonijum dioksida ( $ZrO_2$ )- keramičke merne ćelije, koja je sastoji od Nernst-ove koncentracione ćelije (senzorska ćelija koja funkcioniše kao kod dvostepenih lambda sondi) i pumpne ćelije koja prenosi kiseonik. Čelija pumpe kiseonika (Slika 12, pozicija 8) je postavljena u odnosu na Nernst-ovu koncentracionu ćeliju (7) tako da između njih postoji difuzioni procep od  $10...50\mu m$  u kojem se nalaze dve porozne platinske elektrode: elektroda pumpe i Nernst-ova merna elektroda. Procep je u kontaktu sa izduvnim gasovima preko kanala za prolazak gasova (10). Porozna difuzionu pregrada (11) služi za ograničenje dotoka molekula kiseonika iz izduvnih gasova. Sa jedne strane Nernst-ova koncentraciona ćelija je spojena sa atmosferskim vazduhom preko kanala za referentni vazduh (5), dok je sa druge strane povezana sa izduvnim gasovima u difuzionom procepu. Elektronsko zatvoreno upravljačko kolo je neophodno da bi se generisao signal sonde i za kontrolu temperature sonde. Ugrađeni grejač se veoma brzo zagreva, tako da za kratko vreme dostigne temperaturu od  $650...900^\circ C$  koja je neophodna za generisanje upotrebljivog signala. Ovim je znatno smanjen uticaj temperature izduvnih gasova na signal sonde.

#### Princip rada:

Izduvni gasovi ulaze u mernu komoru (difuzioni procep) Nernst-ove koncentracione ćelije kroz kanal za prolazak gasova pumpne ćelije. Kako bi  $\lambda$  faktor mogao biti podešen u difuzionom procepu, Nernst-ova ćelija poredi gas koji je u difuzionom procepu sa gasom koji se nalazi u referentnom kanalu.

Kompletan proces se odvija sledećim tokom:

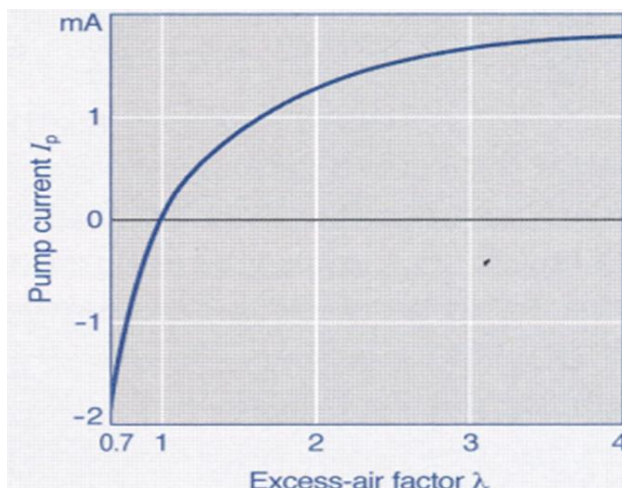
- priključenjem napona za pumpu  $U_p$  preko platinskih elektroda pumpne ćelije, kiseonik iz izduvnih gasova se upumpava kroz difuzionu pregradu, unutar ili iz difuzionog procepa.



## Laboratorijska vežba 6: Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora

- uz pomoć Nernst-ove koncentracione ćelije, elektronsko kolo koje se nalazi u okviru ECU kontroliše napon  $U_p$  pumpne ćelije u cilju održavanja konstantnog sastava gasa koji se nalazi u difuzionom procepu tako da njegov faktor  $\lambda$  bude jednak jedinici.
- ako su izduvni gasovi siromašni pumpna ćelija ispušćava kiseonik iz ćelije (pozitivna struja pumpe).
- U suprotnom, ako su izduvni gasovi bogati zbog dekompozicije  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  na elektrodi izduvnih gasova, kiseonik se upumpava iz okolnih izduvnih gasova u difuzioni procep (negativna struja pumpe).
- Prenos kiseonika je nepotreban pri  $\lambda=1$  i tada je struja pumpe jednaka nuli.

Struja pumpe je proporcionalna koncentraciji kiseonika u izduvnim gasovima i ona predstavlja nelinearnu meru faktora viška vazduha  $\lambda$ , kako je prikazano na Slici 13.



Slika 13. Karakteristika širokopojasne lambda sonde (wide-band oxygen sensor). Izvor: BOSCH

### 4. Zadatak

- Prema navedenom objašnjenju za širokopojasnu lambda sondu (wide-band oxygen sensor) potrebno je nacrtati vremenski dijagram promene pumpne struje i lambda faktora za rad motora u praznom hodu-stehiometrijska smeša (I period rada), pa podizanje broja obrtaja sa opterećenjem motora-bogata smeša (II period rada) i na kraju smanjenje broja obrtaja i opterećenja-siromašna smeša (III period rada).

I	[mA]																$\lambda$	[-]
																	t	[ms]
I period						II period						III period						



### Laboratorijska vežba 6: Lambda sonde u sistemima upravljanja oto motora

Za školsko vozilo VW Passat 2.0 FSI / Passat [3C2] / 2.0 / 110 KW / 2005-2010 / BVY, potrebno je izvršiti sledeće:

- U OBD dijagnozi snimiti uporedni grafičko-komunikacioni prikaz sledećih radnih parametara:
  - pumpne struje širokopojasne lambda sonde (Oxygen sensor value (Bank 1 – Sensor 1)),
  - promene vrednosti lambda faktora (Oxygen sensor value (Bank 1 – Sensor 1)), kroz objašnjena tri perioda rada, kao u prethodnom primeru.

I	[mA]																	$\lambda$	[-]
																		t	[ms]
I period						II period						III period							

Komentar:

- Pri komunikaciji sa elektronskom jedinicom za upravljanje radom motora SUS (MED 9.0) potrebno je snimiti uporedni grafičko-komunikacioni prikaz sledećih radnih parametara:
  - promene napona prve lambda sonde (O2 sensor voltage (bank 1, sensor 1)),
  - promene vrednosti lambda faktora (Lambda actual value),
 kroz navedena tri perioda rada.

U	[V]																	$\lambda$	[-]
																		t	[ms]
I period						II period						III period							

Komentar:

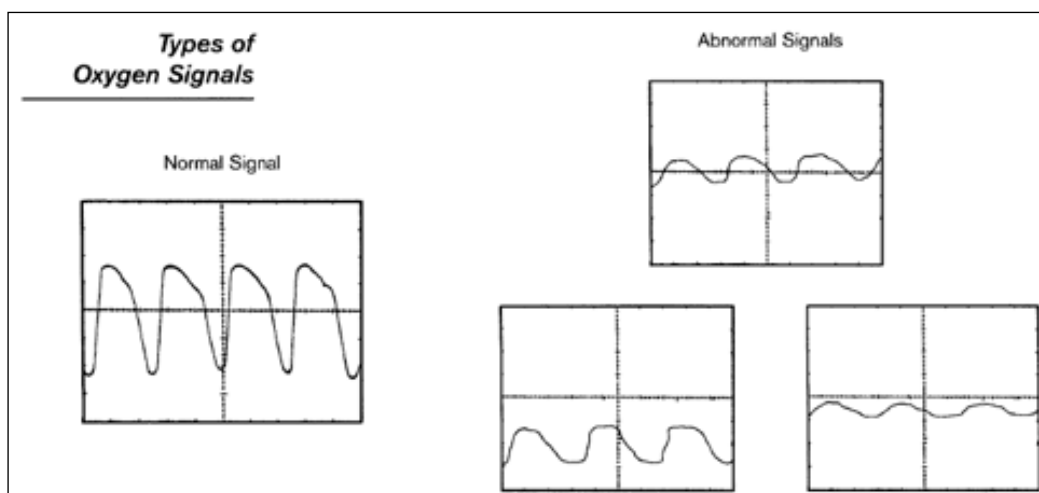
- Komentar:

[illegible]



## Laboratorijska vežba 7

### Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

## 1. Cilj laboratorijske vežbe

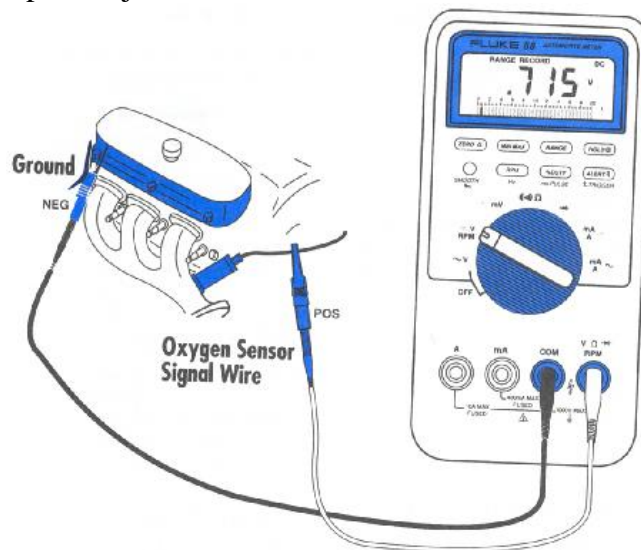
Cilj laboratorijske vežbe je detaljnije upoznavanje sa procedurom i specifičnostima ispitivanja dvostepenih lambda sonde, kao najčešće primenjenom tipom lambda senzora na benzinskim motorima. Međutim, praktičan zadatak podrazumeva detaljno ispitivanje karakteristične širokopolasne lambda sonde primenjene na vozilu Toyota Prius, za koju su teorijske osnove obrađene u prethodnoj laboratorijskoj vežbi. Osnovna komunikaciono-osciloskopska ispitivanja dvostepene lambda sonde, obrađena su kroz predmet Senzori i aktuatori, sa praktičnim zadacima, pa posebno ispitivanje dvostepene lambda sonde u okviru ove laboratorijske vežbe nije obuhvaćeno.

## 2. Ispitivanje dvostepene lambda sonde

### 2.1. Ispitivanje lambda sonde korišćenjem digitalnog voltmetra

Ispravnost lambda sonde može se proveriti korišćenjem digitalnog voltmetra sa visokom impedansom. Koraci ispitivanja su sledeći:

1. Pri isključenom motoru, potrebno je spojiti crvenu stezaljku voltmetra sa signalnom žicom lambda sonde. Crna žica voltmetra povezuje se sa masom vozila (preporuka: minus pol akumulatora) (Slika 1);
2. Nakon starta vozila, sačekati da motor proradi u zatvorenoj petlji, odnosno da lambda sonde dostigne radne uslove;
3. Ispravna lambda sonda treba da generiše promenljiv napon, tako da digitalni voltmetar meri konstantno promenjivu vrednost;



Slika 1. Ispitivanje lambda sonde korišćenjem digitalnog voltmetra

Interpretacija rezultata ispitivanja predviđa sledeće:

- U slučaju izostanka odziva senzora, pri dostignutnim uslovima za ispitivanje, tokom rada motora, ukoliko napon ostaje konstantan na 450 mV, vrlo verovatno da je senzor neispravan (ukoliko je ožičenje ispravno) i da je potrebna njegova zamena. Pre postupka zamene senzora preporučuje se upoznavanje sa preporukama za zamenu, specificiranih od strane proizvođača.
- U slučaju da voltmetar meri konstantno visoku naponsku vrednost (preko 550 mV), vrlo verovatno da se ubrizgava povećana količina goriva, ili je kućište senzora kontaminirano, čime je sprečen dotok kiseonika na spoljnu elektrodu.
- U slučaju da voltmetar meri konstantno nisku naponsku vrednost (ispod 350 mV), moguć razlog je pad karakteristike senzora usled starenja ili smanjena količina ubrizganog

## Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora

goriva, zbog čega je smeša siromašna. Potrebno je proveriti vakuumska creva, kao i zaprljanost (kontaminiranost) brizgača.

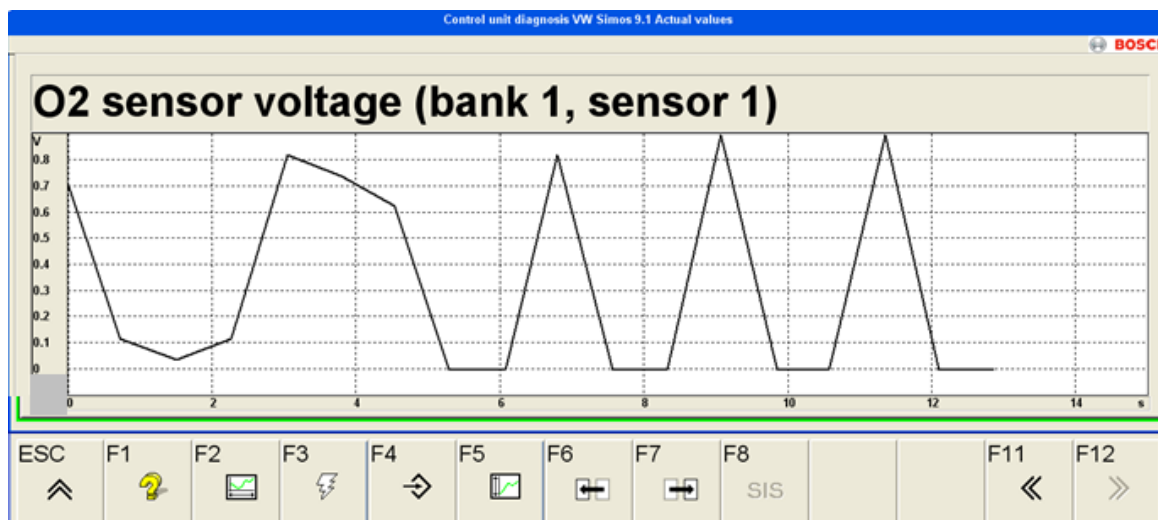
Prilikom ispitivanja lambda sonde pomoću digitalnog voltmetra, od pomoći može biti opcija MIN/MAX, koju poseduje većina savremenih voltmetara, kako bi se lakše uočile granične vrednosti signala lambda sonde. Na osnovu minimalnih, maksimalnih i srednjih vrednosti signala, moguće je doneti preliminarne zaključke prikazane u Tabeli 1.

Minimalna naponska vrednost	Maksimalna naponska vrednost	Srednja naponska vrednost	Rezultati ispitivanja
Ispod 200 mV	Iznad 800 mV	400 – 500 mV	Senzor ispravan.
Ispod 200 mV	Iznad 800 mV	Ispod 400 mV	Motor radi sa siromašnom smešom.
Ispod 200 mV	Ispod 800 mV	Ispod 400 mV	Motor radi sa veoma siromašnom smešom.
Ispod 200 mV	Iznad 800 mV	Iznad 500 mV	Motor radi sa bogatom smešom.
Iznad 200 mV	Iznad 800 mV	Iznad 500 mV	Motor radi sa veoma bogatom smešom.

Tabela 1. Dijagnostički prikaz na osnovu karakterističnih vrednosti signala lambda sonde

### 2.2. Ispitivanje lambda sonde korišćenjem komunikacionog uređaja

U grafičkom prikazu komunikacionih uređaja moguće je pratiti promenu signala lambda sonde u vremenu. Od brzine protokola komunikacionog uređaja sa vozilom zavisi i brzina prikazivanja signala i oblik signala. Iz tog razloga treba biti oprezan pri donošenju konačne ocene signala lambda sonde samo na osnovu komunikacionih merenja. Primer signala dvostepene cirkonijumske lambda snimljenog uz pomoć komunikacionog uređaja BOSCH KTS 650 prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Signal dvostepene cirkonijumske lambda sonde u grafičko-komunikacionom modu uređaja KTS 650

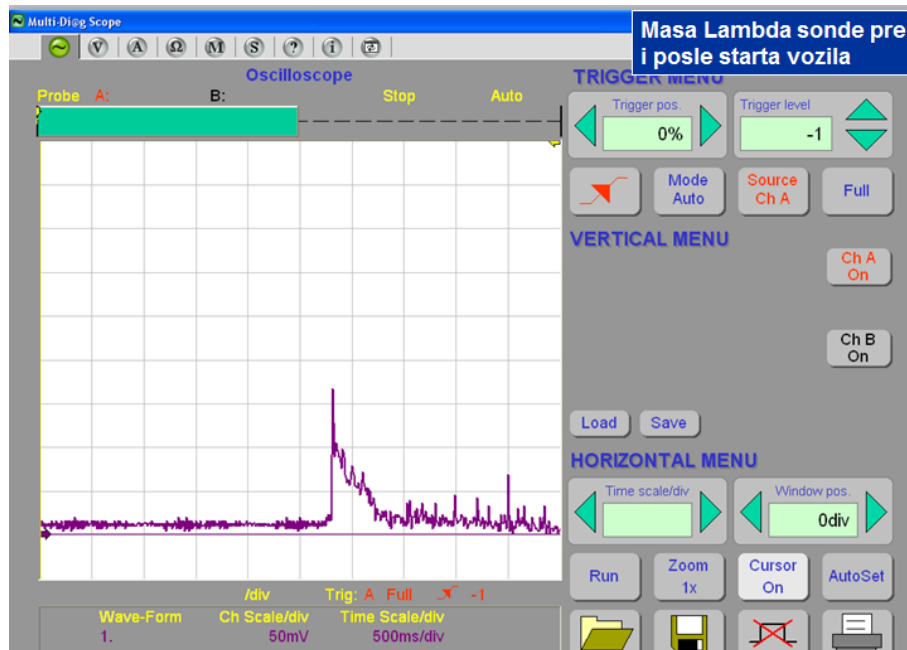
### 2.3. Ispitivanje lambda sonde korišćenjem osciloskopa

Pošto se postignu radni uslovi lambda sonde, nakon što motor proradi u zatvorenoj petlji, priključenjem stezaljki osciloskopa na signalnu žicu i masu lambda sonde (ili masu vozila, ukoliko su masa senzora i masa vozila na istom potencijalu).

Primer plivajuće mase lambda sonde u odnosu na masu vozila (minus pol akumulatora), prikazan je na Slici 3. Ovo mogućnost treba imati u vidu u slučaju osciloskopskog snimanja signala

## Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora

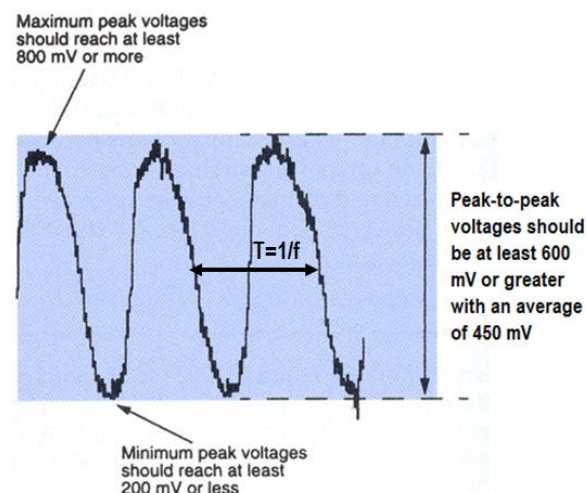
dvostepene lambda sonde u slučaju priključenja ispitnih stezaljki mernog kanala osciloskopa između signalne žice lambda sonde i minus pola akumulatora. Elektronska upravljačka jedinica motora ocenjuje signal lambda sonde između signalne žice (crna boja žice) i mase lambda sonde (siva boja žice), tako da eventualni „skok“ napona koji se preko mase lambda sonde prenosi na signal u odnosu na minus pol akumulatora, može da odvede na kriv dijagnostički zaključak.



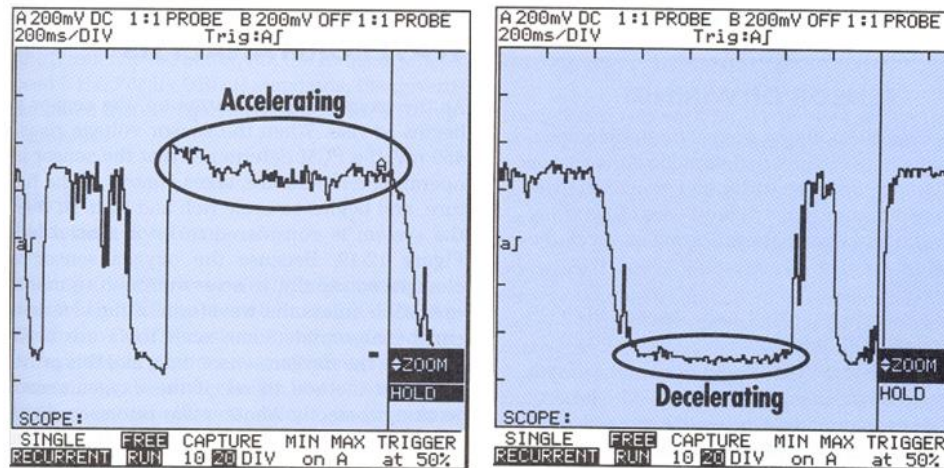
Slika 3. Primer osciloskopskog ispitivanja mase lambda sonde u odnosu na minus pol akumulatora

Nakon što motor proradi u praznom hodu, parametri na osnovu kojih se donosi ocena ispravnosti senzora lambda sonde, na osnovu ispitivanja na praznom hodu i pri povećanom broju obrtaja (3000 ob/min), su sledeći (Slika 4):

- maksimalna vrednost signala treba da dostiže više od 800 mV;
- minimalna vrednost signala treba da padne ispod 200 mV;
- „peak-to-peak“ vrednost treba da bude minimalno 600 mV (smanjena naponska vrednost promene signala ukazuje na pad karakteristike senzora, usled starenja);
- frekvencija signala treba da se kreće u opsegu 0,5 – 5 Hz, zavisno od broja obrtaja motora;



Slika 4. Parametri za ocenu signala dvostepene cirkonijumske lambda sonde. Izvor: Halderman  
Odziv signala lambda sonde prepoznaje se izazivanjem prelaznih režima, kao što je naglo ubrzanje motora i usporenje motora. Izgled signala za oba slučaja prikazan je na Slici 5.



Pri naglom ubrzanju motora, radna smeša postaje bogata što uzrokuje visok naponski nivo signala.

Pri naglom usporanju motora, radna smeša postaje siromašna što uzrokuje nizak naponski nivo signala.

Slika 5. Ispitivanje odziva signala lambda sonde na osnovu prelaznih režima rada motora. Izvor: Halderman

## 2.4. Vizuelno ispitivanje lambda sonde

Pri demontaži ili zameni lambda sonde, potrebno je izvršiti vizuelnu inspekciju kućišta lambda sonde, kako eventualno prisutan problem ne bi narušio funkcionalnost novog senzora.

Vizuelnom inspekcijom moguće je utvrditi sledeće:

- crne naslage čađi – ukazuju na bogatu smešu motora;
- bele čvrste naslage – ukazuju na kontaminiranost silikonom, koji može da potiče iz rezervoara za gorivo ili mogu biti posledica korišćenja neodgovarajućeg zaptivnog sredstva pri remontu motora;
- bele peščane ili zelenkaste naslage – ukazuju na prisutnost antifrizu u izduvnim gasovima. Uzroci dospevanja antifrizu mogu biti pucanje zaptivača glave motora ili prslina u glavi ili bloku motora;
- tamne braon naslage – ukazuju na prisustvo ulja za podmazivanje u izduvnim gasovima. Mogući uzroci su neispravnost sistema za odzračivanje kartera motora ili gubitak kompresije motora.

## 2.5. Fluktuacije signala lambda sonde

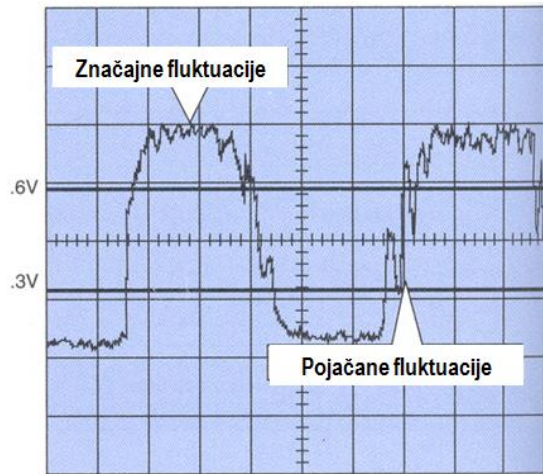
Fluktuacije signala lambda sonde predstavljaju visokofrekventne oscilacije osnovnog signala i u određenim slučajevima mogu posedovati i dijagnostički karakter. Osnovni uzroci fluktuacija signala lambda sonde su:

- izostanak sagorevanja:
  - usled paljenja;
  - usled siromašne smeše;
  - usled bogate smeše;
  - usled gubitka kompresije;
  - usled nezaptivenosti vakuumskih spojeva;
  - neravnomernost rada brizgača;
- specifična konstrukcija usisnog sistema, različite dužine usisnih grana;
- nepravilna uzupčenost motora;
- visoki pumpni gubici;
- elektromagnetne smetnje;

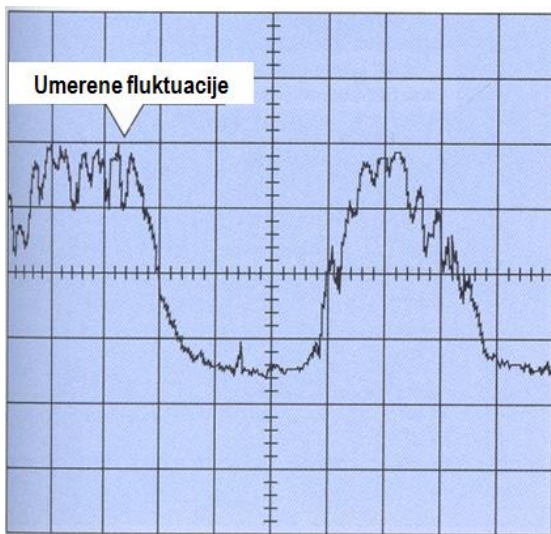
Prema američkoj literaturi Halderman, karakteristični primeri fluktuacija signala lambda sonde prikazani su na sledećim slikama.



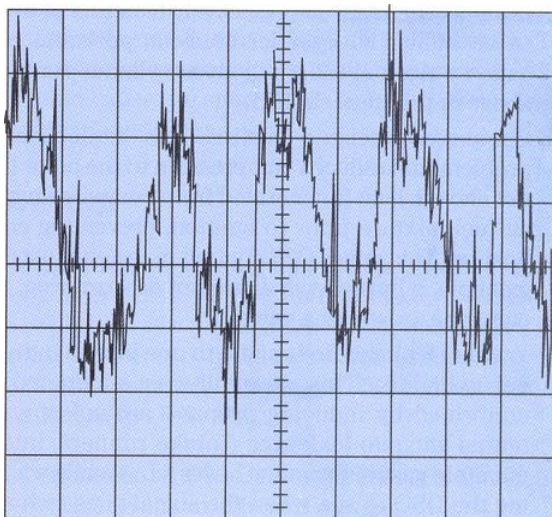
## Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora



Slika 6. Značajne i pojačane fluktuacije



Slika 7. Umerene fluktuacije



Slika 8. Učestale fluktuacije

**Značajne fluktuacije** – javljaju se na naponima iznad 600 mV i ispod 300 mV. To je naponski nivo na osnovu koga ECU donosi ocenu o sastavu smeše. Poreklo fluktuacija povezano je sa uslovima za sagorevanje u cilindrima motora.

**Pojačane fluktuacije** – su često prisutne između 300 i 600 mV na signalu lambda sonde. Uglavnom ne poseduju dijagnostički karakter. Posledica su elektrohemijskih procesa u lambda sondi.

**Umerene fluktuacije** – po amplitudnom nivou, umerene fluktuacije često ne prelaze 150 mV. Karakterišu se propadima signala u oblasti bogate smeše. Mogu i ne moraju imati dijagnostički značaj.

**Učestale fluktuacije** – one fluktuacije koje prema amplitudnom nivou prelaze 200 mV. Ukoliko između vršnih pikova signala postoji ravnomerno vremensko rastojanje na stacionarnom režimu rada, proporcionalno broju obrtaja motora, vrlo verovatno da su fluktuacije posledica izostanka paljenja ili neravnomernosti rada motora.

Ukoliko su visokofrekventne fluktuacije izražene bez jasnih vršnih pikova, a u specijalnim testovima (test procedurama za dvostepenu lambda sondu – postoji opcija na mernoj stanici BOSCH FSA 750) te fluktuacije se drastično smanjuju, odnosno signal postaje „čistiji“, zaključuje se da su učestale fluktuacije na signalu lambda sonde posledica elektromagnetnih smetnji ili loše filtracije signala same merne stanice.

### 3. Često postavljana pitanja



### 3.1. Koja je razlika između “lažno siromašne” i “stvarno siromašne” smeše?

Ukoliko je lambda sonda ispravna lažno siromašna smeša je rezultat merenja kiseonika, koji nije učestvovao u procesu sagorevanja u cilindru. Dva su razloga lažno siromašne smeše:

1. Puknuta izduvna grana na delu pre senzora (između izduvnih ventila i senzora). Usled pulsiranja u izduvnoj grani, uzrokovanog otvaranjem i zatvaranjem izduvnih ventila, usled stvaranja zone niskog pritiska, atmosferski vazduh se usisava kroz pukotinu na izduvnoj grani i priključuje se toku izduvnih gasova. Dodatni kiseonik iz vazduha takođe učestvuje u očitavanju lambda senzora. U slučaju dvostepene, cirkonijumske lambda sonde, generisani napon opada kao rezultat izmerenog viška kiseonika u struji izduvnih gasova. ECU interpretira nizak napon lambda sonde kao previše siromašnu smešu i usled toga povećava količinu ubrizganog goriva, dužim impulsom aktiviranosti brizgača. Kao rezultat reakcije ECU motora prelazi u rad sa nepotrebno bogatom smešom.
2. Izostanak sagorevanja, najčešće uzrokovan izostankom paljenja usled neispravnog funkcionisanja svećice ili proboja visokonaponskog kabla. Usled izostanka sagorevanja nesagorelo gorivo i kiseonik bivaju potisnuti taktom izduvavanja u izduvnu granu. Visok sadržaj slobodnog kiseonika biva interpretiran kao rad motora sa siromašnom smešom.

#### **Napomena:**

Lambda sonda je senzor viška kiseonika u izduvnim gasovima, a ne količine nesagorelog goriva (ugljovodonika HC)!

Na osnovu navedenog, uslov za ocenu sastava smeše putem analize signala lambda sonde jeste ispravna izduvna grana i regularnost sagorevanja u svim cilindrima motora.

Lažno bogata smeša može biti uzrokovana:

1. kontaminacijom mernog elementa lambda sonde aditivima iz rashladne tečnosti motora ili silikonom;
2. zaglavljenim EGR ventilom u otvorenom položaju;
3. visokonaponskim impulsima koji mogu amplitudno da modulišu signal lambda sonde, usled čega ECU motora vidi višu vrednost od stvarne;
4. narušavanjem kvaliteta spoja mase lambda sonde sa masom vozila;
5. kod određenih varijanti senzora, gde se kiseonik na unutrašnju elektrodu senzora uvodi putem masene žice, uzrok lažno bogate smeše može biti kontaminacija same žice ili konektora senzora;

### 3.2. Šta se dešava sa BIAS naponom?

Većina proizvođača elektronskih sistema za upravljanje radom motora obezbeđuju tzv. BIAS napon lambda sonde, odnosno početnu vrednost napona koji se može izmeriti na signalnoj žici lambda sonde kada je paljenje uključeno, a motor ne radi ili pri radu motora dok još nisu postignuti radni uslovi. Najčešće taj napon za dvostepene cirkonijumske sonde iznosi 0,45 V i ujedno predstavlja okidački napon prelaska iz bogate u siromašnu smešu i obrnuto. Nakon starta motora, postizanjem radnih uslova lambda sonde, BIAS napon nestaje i na signalnoj žici se može izmeriti napon koji odgovara bogatoj, odnosno siromašnoj smeši. Razlog tome je što BIAS napon poseduje izuzetnu malu snagu, tako da ga i generisani napon lambda sonde koji je relativno male snage, postaje dominantan. Na osnovu vrednosti BIAS napona od 450 mV, zaključuje se da u slučaju otkaza funkcionalnosti lambda sonde ili prekida instalacije senzora, ECU očitava vrednost koja odgovara stehiometrijskoj smeši (ovo ne važi za sve modele, primer: Fiat Punto 1.2 8V).

#### 4. Zadatak

Za školsko vozilo Toyota Prius 1.5i / Prius [W20] / 1.5 / 57KW / 2003-2009 / 1NZFXE, potrebno je izvršiti sledeće:

- U OBD dijagnozi snimiti uporedni grafičko-komunikacioni prikaz sledećih radnih parametara:
  - promene napona prve lambda sonde (Oxygen sensor voltage (Bank 1 – Sensor 1)),
  - promene vrednosti lambda faktora (Oxygen sensor value (Bank 1 – Sensor 1)),
 u ispitnom radnom režimu vozila, sa dodavanjem i oduzimanjem gasa.

U	[V]																		
																		t	[s]

$\lambda$	[-]																		
																		t	[s]

Komentar:

## Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora

- Procedura za aktiviranje ispitnog (test) režima vozila Toyota Prius 1.5i [W20], obuhvata sledeće korake:
  1. \_\_\_\_\_
  2. \_\_\_\_\_
  3. \_\_\_\_\_
  4. \_\_\_\_\_
  5. \_\_\_\_\_
  6. \_\_\_\_\_
  7. \_\_\_\_\_
- Pri komunikaciji sa elektronskom jedinicom za upravljanje radom motora SUS (TCCS 1) potrebno je snimiti uporedni grafičko-komunikacioni prikaz sledećih radnih parametara:
  - promene napona prve lambda sonde (Lambda sensor (B1, S1) Lambda act. value),
  - promene vrednosti lambda faktora (Specified mixture ratio),

u ispitnom radnom režimu vozila, sa dodavanjem i oduzimanjem gasa.

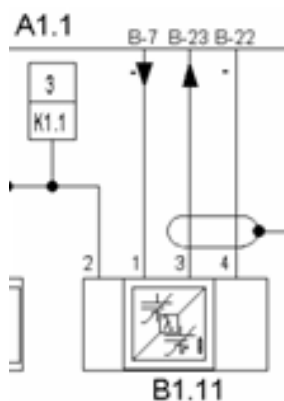
U [V]																			
																		t	[s]

$\lambda$ [-]																			
																		t	[s]

Komentar:

## Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora

- Jednokanalnim naponskim merenjem potrebno je izvršiti osciloskopski prikaz snimljen između stezaljki B-23 i B-22 elektronske kontrolne jedinice za upravljanje radom motora SUS (deo električne šeme koja prikazuje vezu lambda sonde sa računarom prikazan je u nastavku).



U [V]																				
																		t	[s]	

Komentar:

### Laboratorijska vežba 7: Ispitivanje lambda sonde u sistemima upravlja oto motora

- Dvokanalnim naponskim merenjem potrebno je izvršiti osciloskopski prikaz snimljen između stezaljki B-23 i mase (minus pol), kao i B-22 i mase (minus pol), simulirajući različite radne režime motora SUS. Da li se na osnovu snimljenih signala, ovaj tip sonde može ispitivati osciloskopskim merenjem?

U	[V]																		
																	t	[s]	

U	[V]																		
																	t	[s]	

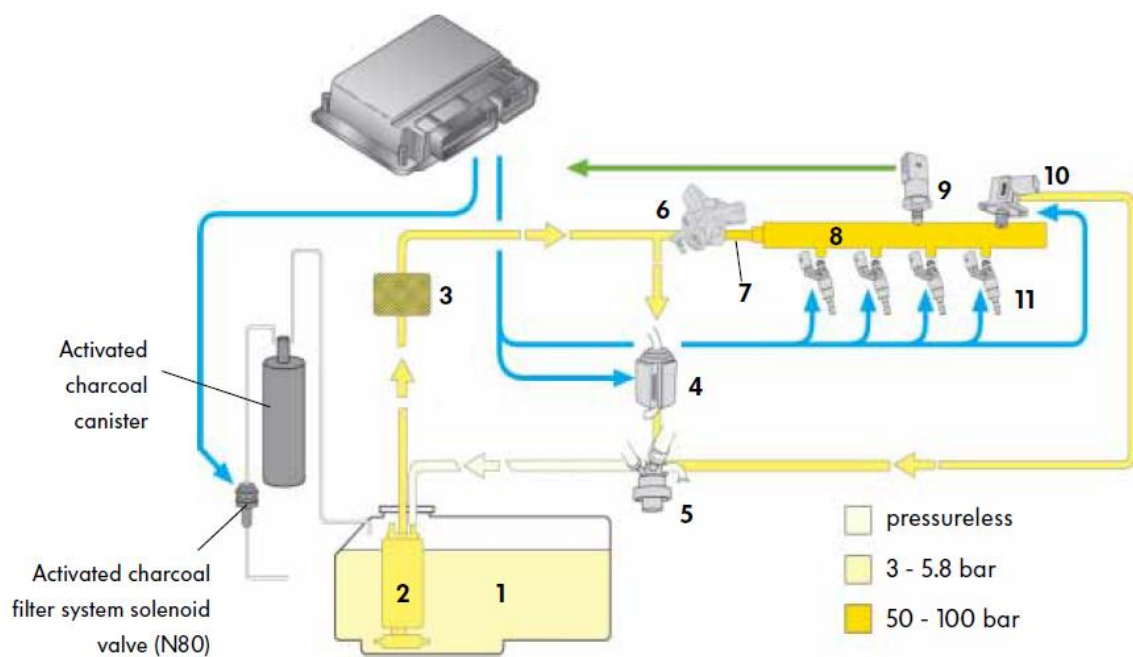
Komentar:





## Laboratorijska vežba 8

### Sistem za napajanje oto motora gorivom



253\_092

Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

### 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je upoznavanje sa osnovnim principima rada sistema za isporuku odnosno napajanje oto motora gorivom. Težište je na komponentama sistema čija je uloga neposredna priprema smeše za sagorevanje.

### 2. Opis sistema za snabdevanje gorivom

Uloga sistema za isporuku goriva je skladištenje goriva u rezervoaru, isporuka goriva iz rezervoara do uređaja za ubrizgavanje goriva i ubrizgavanje goriva indirektno, u usisni vod, kod „singlepoint“ i „multipoint“ sistema, odnosno direktno u cilindar kod sistema sa direktnim ubrizgavanjem benzina (oznake GDI, FSI, HPi, JTS, IDE, CGI, SCi, DI, SIDI, DISI itd). Osim navedenog, kod vozila sa oto motorom, sistem za napajanje gorivom ima i važnu ulogu u sprečavanju ispuštanja isparenja goriva u atmosferu. Za tu svrhu primenjuju se posude sa aktivnim ugljem (*carbon canister*), namenski vodovi za isparenja i regulacioni EVAP ventil (skraćeno od *EVAPoration*) kojim se isparenja dovode u usisni vod.

#### 2.1. Rezervoar za gorivo

Konstruktori vozila smeštaju rezervoar tako da najmanje remeti funkcionalnost kabinskog prostora, pri čemu se podrazumeva da zbog zapaljivosti goriva i potencijalne opasnosti po život putnika, položaj rezervoara mora biti izvan kabine. Uobičajeno je da rezervoar bude postavljen ispod zadnjeg sedišta, što daje mogućnost postavljanja revizionog otvora na mestu gde se nalaze pumpa za gorivo i/ili merač nivoa goriva u rezervoaru. Na taj način se znatno olakšavaju servisni zahvati na pumpi za gorivo. Poklopac (čep) rezervoara kod savremenih vozila mora da obezbedi ulazak vazduha pri pražnjenju rezervoara, kako ne bi došlo do nastanka potpritiska koji bi otežao isporuku goriva, a istovremeno mora i da spreči izlazak isparenja goriva u atmosferu.

Rezervoar za gorivo je izrađen od materijala koji je otporan na delovanje svih potencijalnih sastojaka goriva, uključujući neželjene primese i aditive. Naročita pažnja u izboru materijala za izradu rezervoara se obraća kod vozila za tržišta na kojima se koristi gorivo sa manjim ili većim udelom alkohola dobijenog iz biomase (države Južne Amerike, a naročito Brazil), jer se razlikuju korozivna i rastvaračka svojstva alkohola i benzina. Ranije je prvi izbor za materijal rezervoara bio presovani čelični lim, ali zbog njegove neotpornosti na korozivno delovanje vode i pogotovo soli u zimskim mesecima, danas se rezervoari najčešće izrađuju od sintetičkih materijala - plastike.

Na nekim savremenim vozilima rezervoar je izrađen iz dva dela: spoljašnjeg, krutog, zaštitnog oklopa koji je identičan uobičajenim rezervoarima i unutrašnjeg, mekog, vrećastog dela u koji je gorivo smešteno. Unutrašnji rezervoar je izrađen od takvog materijala da mu je u ispražnjenom stanju zapremina smanjena (skuplja se) dok se pri punjenju širi i popunjava prazan prostor do spoljašnjeg rezervoara. Funkcija ovakvog rezervoara je da površina goriva i zapremina praznog dela rezervoara budu što manji. Time se smanjuje isparavanje goriva, kao i frekventnost rada EVAP sistema. Nedostatak, koji je utvrđen pri eksploataciji sistema, se ogleda u tome što na niskim spoljašnjim temperaturama materijal od kog je izrađen unutrašnji rezervoar postaje krut, pa je zapremina rezervoara smanjena.

#### 2.2. Niskopritisna pumpa za gorivo

Pošto se rezervoar za gorivo nalazi na nižoj tački u odnosu na uređaj za ubrizgavanje (osim kod motocikala), neophodno je da se gorivo prinudno transportuje pumpom. Niskopritisna pumpa za gorivo se može nalaziti van rezervoara, a najčešće na motoru koji je direktno mehanički pogoni. Češći je slučaj da je pumpa potopljenja u gorivo u rezervoaru ili postavljena van rezervoara, ali u nivou najniže tačke rezervoara i sa njime povezana usisnim vodom. Takve pumpe pogoni električni motor sa kojim se nalaze u zajedničkom kućištu.

Pogon pumpe za gorivo, električni motor, može biti upravljani ili neupravljani. Neupravljani motori se i dalje češće koriste zbog niže cene i jednostavnosti. U pitanju su četkični jednosmerni motori sa stalnim magnetima na statoru. Uključivanje pumpe za gorivo se vrši



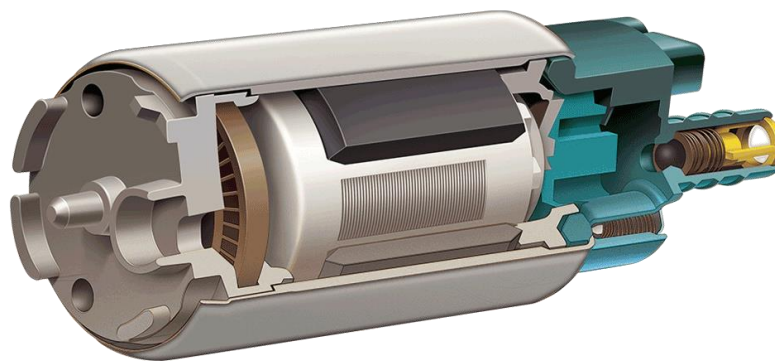
## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

putem namenskog releja. U retkim slučajevima, uglavnom na starijim vozilima, uključenje releja se vršilo direktno preko kontakt brave. Takva realizacija dovodi do pražnjenja akumulatora na kontaktu, pa na većini savremenih vozila uključenje releja pumpe vrši motorni računar. Osim releja, u kolu pumpe za gorivo postavljen je i namenski prekidač, koji u slučaju pojave ekstremnih promena brzine vozila koje se javljaju prilikom udesa razdvaja kontakte i isključuje pumpu za gorivo. Mehanizam prekidača je izrađen tako da u regularnim uslovima pri maksimalnom ubrzanju i kočenju vozila ne dolazi do razdvajanja kontakata, dok se pri prevrtanju vozila kontakti razdvajaju bez obzira da li se prevrtanje dešava brzo ili polako.

Pumpe za gorivo se najčešće izrađuju kao centrifugalne i zupčaste pumpe koje su prikazane na Slici 1. i Slici 2. Prednost zupčaste pumpe je mogućnost ostvarivanja relativno većih pritisaka, preko 5 bara, ali je prisutan i veliki nedostatak oscilovanja pritiska. Za razliku od primene zupčastih pumpi u sistemu za podmazivanje, oscilacije pritiska su izuzetno štetne u radu sistema za ubrizgavanje, jer je za pravilno odmeravanje količine goriva neophodno da pritisak u toku jednog ubrizgavanja bude što konstantniji. Zato je primena zupčastih pumpi za gorivo ograničena na starije sisteme za ubrizgavanje, pri čemu se koristi i prigušivač oscilacija pritiska - atenuator.



Slika 1. Zupčasata pumpa za gorivo.



Slika 2. Centrifugalna pumpa za gorivo. Izvor: Bosch

Centrifugalne pumpe isporučuju gorivo sa gotovo konstantnim pritiskom, a konstruktivnim unapređenjima radnog kola i pogonskog elektromotora ostvarena je mogućnost postizanja pritisaka kao sa zupčastim pumpama. Najčešće se, međutim, pritisak koji centrifugalne pumpe za gorivo ostvaruju kreće između 3 i 4 bara.

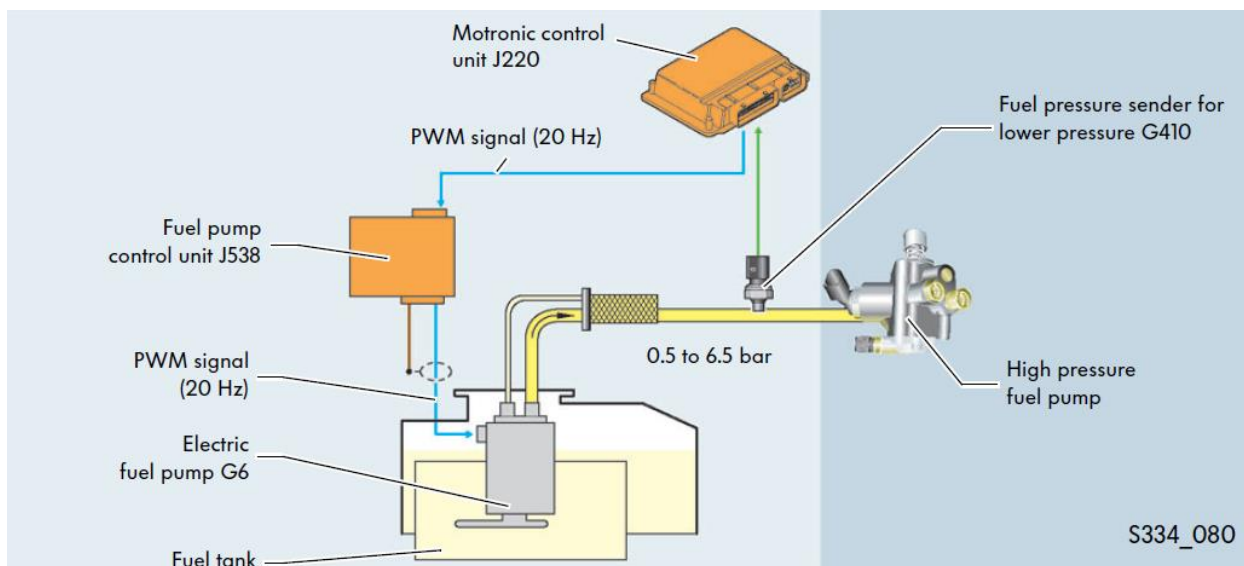
Regulacija pritiska goriva ostvaruje se na više načina: regulacionim mehaničkim rasteretnim ventilom na zajedničkoj magistrali za gorivo, regulacionim mehaničkim rasteretnim ventilom na samoj pumpi i elektronskom regulacijom rada pogonskog elektromotora. Regulacija pritiska na magistrali daje mogućnost ostvarivanja konstantne razlike pritisaka na brizgaljci (između magistrale i usisnog voda), bez obzira na promene pritiska vazduha u usisnom vodu. To se postiže povezivanjem komore rasteretnog ventila sa usisnim vodom, pri čemu potpritisak iz usisnog voda deluje u suprotnom smeru u odnosu na oprugu i smanjuje pritisak na kome se rasteretni ventil otvara tačno za vrednost tog potpritiska. Osim regulacionog ventila, kod ovakvog vida regulacije postoji i sigurnosni mehanički rasteretni ventil na pumpi za gorivo koji sprečava nastanak prevelikog pritiska u slučaju prigušivanja protoka od pumpe prema magistrali (nagnječenje creva, zapušen filter i sl.) Nedostatak ovakve regulacije se ogleda u vraćanju viška goriva iz magistrale u rezervoar. Energija uložena u povećanje pritiska u pumpi nepovratno se gubi u vidu toplotne energije na rasteretnom ventilu, što dodatno povećava temperaturu goriva koja je već porasla u pumpi, a naročito u magistrali. Tako ugrejano gorivo se meša sa gorivom u rezervoaru, povećavajući njegovu temperaturu i isparavanje, što posledično intenzivira rad EVAP sistema.

Regulacija pritiska goriva rasteretnim ventilom na pumpi za gorivo predstavlja unapređenje u pogledu zagrevanja goriva u rezervoaru, jer se gorivo zagreva u pumpi koja se na

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

taj način hladi i na mehaničkom rasteretnom ventilu, koji kod ovakve regulacije ujedno ima i ulogu sigurnosnog ventila. Nedostatak je što je pritisak goriva u magistrali konstantan, a pritisak u usisnom vodu se menja, pa je za proračun trajanja ubrizgavanja neophodno uračunati odgovarajuće korekcije u zavisnosti od pritiska u usisnom vodu. Primena složenijih proračuna ubrizgavanja išla je u korak sa razvojem i povećanjem procesorske moći mikrokontrolera.

Konačna eliminacija gubitaka električne energije u vidu toplote realizovana je primenom sistema za isporuku goriva prema zahtevu. Poseban računar upravlja radom pogonskog elektromotora tako da se u zavisnosti od režima rada menjaju i pritisak i protok goriva (Slika 3.). Razlika pritisa na brizgaljci zavisi i od promene pritiska goriva u magistrali i od promene pritiska vazduha u usisnom vodu, pa se obe veličine moraju meriti pomoću senzora i vršiti odgovarajuće korekcije trajanja ubrizgavanja.



Slika 3. Niskopritisni sistem za isporuku goriva prema zahtevu. Izvor: VW SSP 334

### 2.3.EVAP sistem

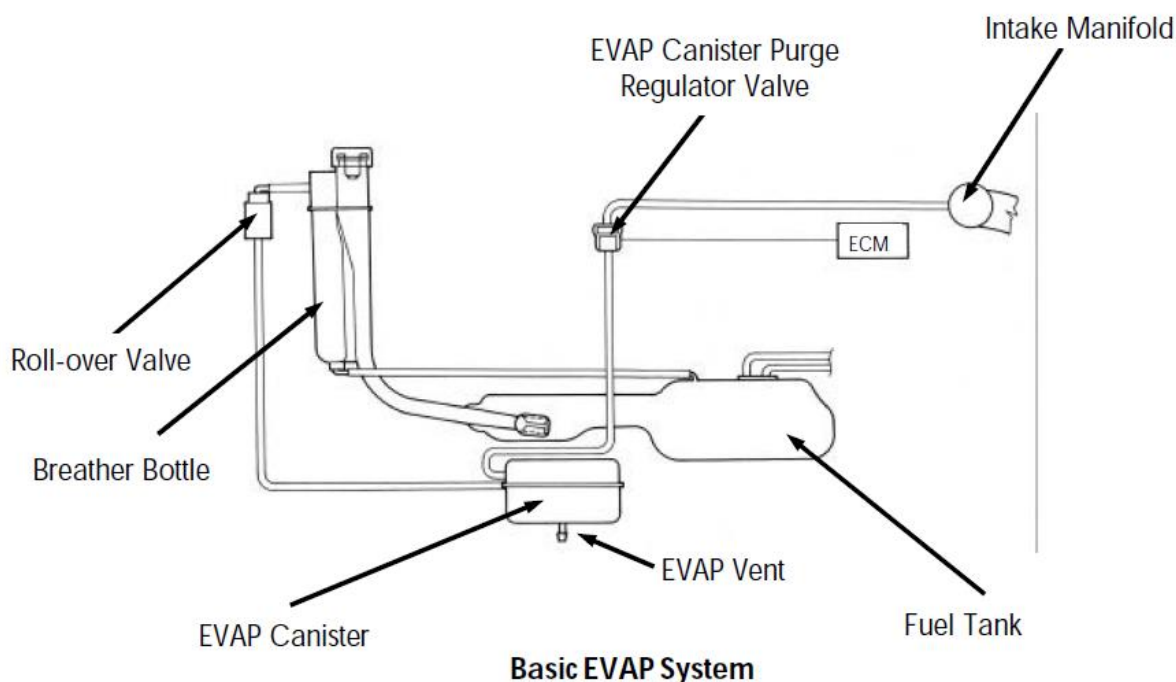
Sistem za iskorišćenje isparenja goriva primarni je mehanizam za smanjenje emisije ugljovodonika. Prema Tabeli 1. u vežbi br. 4, ugljovodonici (HC) koji se emituju iz izduvnog sistema vozila sa Euro 4 ili novijim motorom moraju biti manji od 0,1 g/km odnosno manje od 1 kilograma na 10.000 pređenih kilometara. Mnogi automobili koji ispunjavaju ove norme imaju i znatno manju emisiju ugljovodonika. Automobil bez EVAP sistema sa rezervoarom koji mora da bude otvoren prema atmosferi (posebnim vodom ili preko poklopca) za jedan topao dan parkiranja na otvorenom može da izgubi i preko 100 ml goriva odnosno približno 100 grama<sup>1</sup>. To znači da je emisija Euro 4 motora u pogledu HC na pređenih 1000 km ekvivalentna količini HC koju može da emituje parkirano vozilo bez EVAP sistema u toku samo jednog dana. Naravno, vozila bez EVAP sistema emituju ugljovodonike iz rezervoara i u pokretu, ali je tada ukupna količina emitovanih ugljovodonika uvećana za količine koje produkuje motor.

Sistem je povezan prema šemi na Slici 4. uz različite varijacije po pitanju broja ventila u sistemu i načina njihovog upravljanja. Napon pare goriva u rezervoaru potiskuje isparenja prema posudi sa aktivnim ugljem, pri čemu se rasterećenje pritiska vrši prema atmosferi, a EVAP ventil (ventil koji povezuje usisni vod sa posudom sa aktivnim ugljem i pušta isparenja goriva u motor) je zatvoren. Zbog velike poroznosti, aktivni ugalj može da zadrži u svojim šupljinama značajnu količinu isparenja goriva, a veličina posude i količina aktivnog uglja se dimenzioniraju tako da

<sup>1</sup> Ispitivanje na putničkom vozilu Nissan Micra 1.2 [K10 1990], kome je zbog neispravnosti uklonjen EVAP sistem. Rezervna količina goriva od 6 l je u potpunosti isparila u periodu kraćem od dva letnja meseca, pri čemu je vozilo bilo neprekidno parkirano na otvorenom.

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

moгу da prihvate celokupnu količinu isparenja goriva koja nastanu u rezervoaru u normalnim uslovima.



Slika 4. Standardna šema EVAP sistema. Izvor: AUDI SSP 941903

U procesu konstruisanja EVAP sistema i ventila u njemu, naročito se vodi računa da se spreči mogućnost direktnog spajanja usisnog voda i rezervoara za gorivo, bez povezivanja sa atmosferom, jer bi u tom slučaju potpritisak iz usisnog voda trajno deformisao i oštetiо rezervoar. Kada je rad EVAP sistema pravilan, isparenja goriva se dovode u usisni vod otvaranjem EVAP ventila. Tada moraju biti ispunjeni neophodni uslovi i to:

- da u usisnom vodu vlada pritisak znatno niži od atmosferskog, odnosno da je prigušni leptir samo delimično otvoren (kod sistema sa direktnim ubrizgavanjem ovaj uslov znači da motor mora da radi u homogenom režimu),
- da postoji potreba za uvođenjem dodatne količine goriva,
- da je lambda sonda ispravna i zagrejana i da sistem za upravljanje radom motora radi u zatvorenoj petlji.

Pritisak u usisnom vodu mora da bude niži od atmosferskog, kako bi razlika pritisaka između atmosfere i usisnog voda potisnula isparenja iz posude sa aktivnim ugljem prema usisnom vodu. Svaka količina goriva koja se dovede u cilindar utiče na odnos masa goriva i vazduha. Pošto taj odnos u homogenom režimu rada mora da bude steheometrijski, pri uvođenju isparenja goriva motor mora da bude opterećen, odnosno da traži dodatnu količinu goriva, jer bi u suprotnom smeša bila bogata. Zahtev za potpritisakom u usisnom vodu i zahtev za opterećenjem motora su očigledno protivrečni, jer je za ispunjenje prvog potrebno da klapna bude zatvorena, a za ispunjenje drugog da klapna bude otvorena. Radom motora u delimičnom opterećenju, delimično su ispunjeni i jedan i drugi uslov, ali je količina isparenja koju je moguće dovesti u motor ograničena. Delimično opterećenje motora pri kome se uključuje EVAP ventil je moguće ostvariti laganim pritiskom na pedalu gasa, a kod nekih motornih računara i uključanjem velikih potrošača poput klima uređaja, dugih svetala ili grejača zadnjeg stakla. Kada su prethodna dva uslova zadovoljena (delimično), uticaj dodatnog goriva na odnos masa goriva i vazduha znači i da je potrebno izvršiti korekciju ubrizgavanja goriva, tako da se količina ubrizganog goriva smanji tačno za onu količinu goriva koja je u motor ušla u vidu isparenja iz EVAP sistema. Za proračun te korekcije, potrebna je povratna informacija koju daje lambda sonda. Ispitivanje ispravnosti funkcionisanja EVAP sistema moguće je samo kada su svi navedeni uslovi ispunjeni.

## 2.4. Zajednička magistrala

Magistrala je deo voda za gorivo na koji su direktno povezane brizgaljke i najčešće ima i ulogu njihovog držača. Na Slici 5. su prikazane različite izvedbe magistrala „multipoint“ sistema za ubrizgavanje benzina.



Slika 5. Magistrala „multipoint“ sistema proizvođača Delphi. Izvor: Delphi

Osim toga, u magistrali se skladišti određena količina goriva na takav način da pritisak goriva što manje varira u toku jednog ubrizgavanja. Kada se brizgaljka otvori i gorivo poteče, za očekivati je da pritisak naglo počne da opada, jer je gorivo, kao tečnost, nestišljivo. Magistrala tada služi kao atenuator pritiska, jer se pri povećanju pritiska magistrala elastično širi, dok se pri smanjenju pritiska skuplja i na taj način ublažava nagle oscilacije pritiska. Što je veća količina goriva koja se u jednom taktu ubrizgava veća, to je veća potreba za atenuacijom. Ukoliko sama magistrala nije dovoljno efikasan atenuator, postavljaju se interni ili eksterni atenuatori sa membranom.

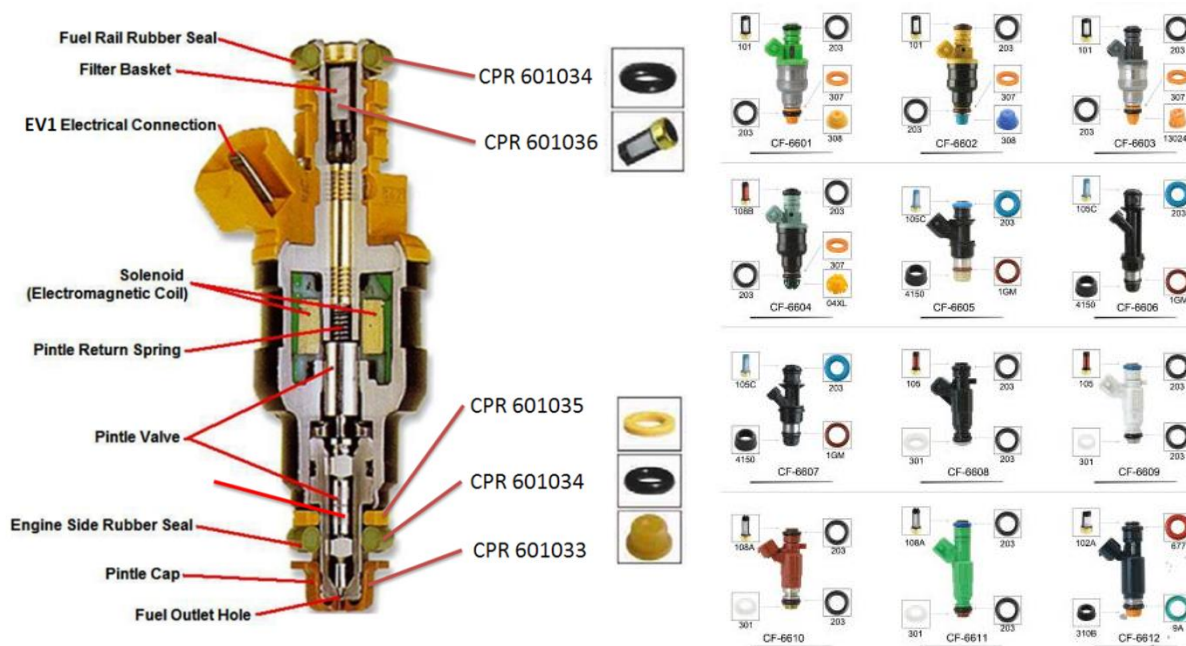
## 2.5. Brizgaljke

Uloga brizgaljke je dvostruka. Osnovni zadatak je odmeravanje odgovarajuće količine goriva, prema izmerenoj masi vazduha, odnosno prema zahtevu za momentom pri slojevitom režimu rada kod direktnog ubrizgavanja. Dodatni zadatak je usitnjavanje goriva na kapljice sa što manjim prečnikom (atomizacija), čime se poboljšava isparljivost goriva.

Princip funkcionisanja brizgaljki i način njihovog konstruisanja se vrlo malo razlikuje od najstarijih „multipoint“ sistema do sistema direktnog ubrizgavanja (Slika 6.). Gorivo se iz zajedničke magistrale uvodi u brizgaljku kroz sito za filtriranje krupnijih nečistoća i sprovodi do jedne ili više mlaznica koje zatvara igla, kada je prislonjena na sedište. Kada se namotaj elektromagneta uključi i privuče kotvu, ona za sobom povlači iglu sa sedišta i otvara put gorivu prema mlaznicama. Kada je elektromagnet u neaktivnom stanju, kotvu i iglu potiskuje opruga i zatvara, odnosno drži brizgaljku zatvorenom do narednog ubrizgavanja.



## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom



Slika 6. Presek brizgaljke i različiti tipovi brizgaljki. Izvor: BOSCH

Bez obzira na način ubrizgavanja i konstruktivne osobine brizgaljke, za tačno odmeravanje količine goriva postavljaju se sledeći zahtevi: otvaranje i zatvaranje brizgaljke mora da traje što kraće, a zapremina prostora iznad mlaznice koja preostane nakon spuštanje igle u sedište (mrtva zapremina) mora da bude što manja. U toku otvaranja i zatvaranja brizgaljke, odnosno kada je brizgaljka delimično otvorena, gorivo biva ubrizgano u cilindar. Protok kroz delimično otvorenu brizgaljku se menja u zavisnosti od trenutnog položaja igle i razlikuje se tj manji je od deklarisanog protoka brizgaljke. Ako bi otvaranje i zatvaranje brizgaljke trajalo po 0,8 ms (realan podatak), a impuls za uključenje brizgaljke trajao 4 ms, to bi značilo da brizgaljka ubrizgava sa delimičnim protokom 0,8 ms nakon uključanja, zatim 3,2 ms sa deklarisanim protokom i konačno još 0,8 ms sa delimičnim protokom nakon isključenja elektromagneta. Što su trajanja otvaranja i zatvaranja brizgaljke duža, to je njihov uticaj na odmeravanje količine goriva veći. Očigledno je i da je uticaj veći pri kratkim trajanjima ubrizgavanja, jer je kod navedenog primera brizgaljka jednu trećinu vremena delimično otvorena, a dve trećine vremena potpuno otvorena, dok bi kod impulsa od 15 ms brizgaljka bila delimično otvorena samo 10% vremena. Proračun trajanja ubrizgavanja dodatno komplikuje pojava promene vremena otvaranja brizgaljke pri promeni napona u instalaciji, dok je trajanje zatvaranja veoma malo zavisno od promene napona. Vrednost pritiska goriva takođe utiče na vremena otvaranja i zatvaranja brizgaljke. Na osnovu svega navedenog jasno je da postoji potreba da vreme potrebno za otvaranje i zatvaranje brizgaljke bude što kraće. Mrtva zapremina stvara probleme pri odmeravanju goriva, jer nije moguće kontrolisati da li, kada, kako i u kojoj meri će gorivo iz mrtve zapremine ući u radni prostor i tako uticati na maseni odnos goriva i vazduha. Jedini način kontrolisanja i korekcije ove pojave jeste rešavanjem posledice, odnosno pomoću lambda regulacije.

Druga funkcija brizgaljke, usitnjavanje goriva, ima veliki uticaj na kvalitet sagorevanja. Svaka tečnost isparava po svojoj površini. Brzina isparavanja zavisi od te površine, temperature i inteziteta strujanja vazduha. Iskustveno je poznato da će voda pre ispariti ako se prospe po podlozi, nego ako stoji u otvorenoj posudi. Prema tome, sa porastom površine kojom je tečnost izložena okolini, raste brzina isparavanja. Uzmimo za primer dve količine tečnosti u vidu loptastih kapljica istih ukupnih zapremina od  $1 \text{ cm}^3$  (1 ml), a različitih veličina. Neka je jedna količina tečnosti u vidu samo jedne kapljice od 1 ml, a druga u vidu 1000 puta više manjih kapljica čija je zapremina  $1 \text{ mm}^3$ . Poluprečnik velike kapljice izražen iz zapremine je:

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

$r_1 = \sqrt[3]{\frac{3V_1}{4\pi}} = 6,2035 \text{ mm}$ , a poluprečnik male kapljice je:  $r_2 = \sqrt[3]{\frac{3V_2}{4\pi}} = 0,62035 \text{ mm}$ . Površina velike kapljice je:  $P_1 = 4\pi r_1^2 = 483,06 \text{ mm}^2$ , a ukupna površina 1000 malih kapljica iznosi:  $P_2 = 1000 * 4\pi r_2^2 = 4830,6 \text{ mm}^2$ , tj odnos površina je u ovom slučaju 10:1 u korist tečnosti koja je izdeljena na veći broj malih kapljica. U opštem slučaju odnos površina dve iste količine tečnosti, pri čemu je jedna količina izdeljena u  $n$  manjih jednakih kapljica, se računa po formuli:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{4\pi r_1^2}{4n\pi r_2^2} = \frac{4\pi \left(\frac{3V_1}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}}{4n\pi \left(\frac{3V_2}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{4\pi \left(\frac{3nV_2}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}}{4\pi \left(\frac{3V_2}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{n^{\frac{2}{3}}}{n} = n^{-\frac{1}{3}} = \frac{1}{n^{\frac{1}{3}}},$$

odnosno  $P_2 = n^{\frac{1}{3}}P_1$ . Boljim usitnjavanjem kapljica ubrzava se isparavanje goriva, samim tim je smeša u cilindru homogenija, što ima brojne pozitivne efekte na rad motora - smanjenu potrošnju, povećani moment, odnosno snagu motora i smanjenu emisiju štetnih komponenti izduvnih gasova, uključujući i  $\text{CO}_2$  (zbog smanjene potrošnje). Oblik, dimenzije i broj mlaznica utiču na kvalitet formiranja mlaza i usitnjavanje goriva, a najveći uticaj ima vrednost pritiska pri kome se gorivo ubrizgava. Sistemi sa direktnim ubrizgavanjem benzina rade i sa 50 ili više puta većim pritiskom, pa pokazuju brojne prednosti u odnosu na niskopritisne sisteme sa ubrizgavanjem u usisni vod, čak i kada rade u homogenom režimu.

Prilikom ispitivanja ispravnosti brizgaljki koriste se uređaji za simulaciju realnih režima rada sa merenjem količine ispitne tečnosti pomoću menzura (nikada ne treba koristiti benzin zbog zapaljivosti). Ispituju se obe funkcije brizgaljke, odmeravanje količine goriva i usitnjavanje goriva. Dok se količina goriva koja protekne kroz brizgaljku u jedinici vremena lako može uporediti sa proizvođačkom kataloškom vrednošću, na drugoj strani usitnjavanje goriva i formiranje mlaza su podložni subjektivnoj oceni lica koje vrši ispitivanje. Nekada se zbog nepoznavanja načina formiranja mlaza potpuno ispravna brizgaljka proglašava neispravnom i čisti ili menja bez realne potrebe. Treba voditi računa da viskoznost ispitne tečnosti bude približna viskoznosti benzina. Čišćenje brizgaljki se vrši u ultrazvučnim posudama uz primenu manje ili više agresivnih deterdženata u zavisnosti od zaprljanosti brizgaljke.

### 3. Zadatak

Na školskom vozilu VW Polo [9N1] 1.2 BME izvršiti sledeća merenja pomoću osciloskopa:

- Izvršiti merenje napona i struje na pumpi za gorivo

U	[V]																		
																		t	[s]

I	[A]																		
																		t	[s]

Komentar:

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

- Izvršiti merenje napona i struje na upravljačkom priključku EVAP ventila u režimu kada se ventil uključuje. Menjati režime rada i opterećenje motora uz praćenje otvorenosti EVAP ventila.

U	[V]																		
																		t	[ms]

I	[A]																		
																		t	[ms]

Komentar:



## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

- Izvršiti merenje napona i struje na upravljačkim priključcima dve brizgaljke u praznom hodu

U	[V]																		
																	t	[ms]	

I	[A]																		
																	t	[ms]	

Komentar:

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

- Izvršiti merenje napona i struje na upravljačkim priključcima dve brizgaljke za opterećen motor

U	[V]																		
																		t	[ms]

I	[A]																		
																		t	[ms]

Komentar:

## Laboratorijska vežba 8: Sistem za napajanje oto motora gorivom

- Izvršiti ispitivanje brizgaljki na ispitnom uređaju pri različitim podešavanjima radnih parametara:  $[1200 \text{ min}^{-1} / 5 \text{ ms} / 1200 \text{ ciklusa}]$ ,  $[3000 \text{ min}^{-1} / 20 \text{ ms} / 1200 \text{ ciklusa}]$  i  $[6000 \text{ min}^{-1} / 10 \text{ ms} / 1200 \text{ ciklusa}]$ .

Komentar stanja brizgaljki:



**Laboratorijska vežba 9**

**Pogon oto motora na tečni naftni gas**



**Ime i prezime studenta:** \_\_\_\_\_

**Broj indeksa:** \_\_\_\_\_

**Datum:** \_\_\_\_\_

**Vežbu pregledao:** \_\_\_\_\_

## 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je upoznavanje sa načinima rada sistema za ubrizgavanje tečnog naftnog gasa (TNG), podešavanjem radnih parametara sistema za ispravan rad i dijagnostikovanjem grešaka u radu sistema i izvedenom stanju instalacije za TNG.

## 2. TNG kao pogonsko gorivo

TNG je smeša propana ( $C_3H_8$ ), butana ( $C_4H_{10}$ ) i u manjoj meri drugih gasova koji nastaju kao produkt prerade sirove nafte. Pošto je TNG smeša gasova, sva fizičko-hemijska svojstva zavise od međusobnog odnosa količina propana i butana. Taj odnos varira od tržišta do tržišta, razlike postoje i između klimatskih područja, a razlikuje se odnos propana i butana u zavisnosti od godišnjeg doba.

Propan ima nižu tačku ključanja,  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok je kod butana tačka ključanja relativno visokih  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pošto bi butan u hladnijim područjima zimi ostajao u tečnom stanju i ne bi ostvarivao značajan napon pare (pritisak) u rezervoaru, a teško bi isparavao i prilikom pripreme smeše, zimska smeša TNG-a mora da sadrži više propana. Odnos propana i butana se u različitim državama i različitim godišnjim dobima kreće od 100% propana prema 0% butana, do 20% propana prema 80% butana. Smeša TNG-a ostvaruje pritisak u rezervoaru. Kada je u rezervoaru samo TNG, pritisak zavisi isključivo od temperature, jer TNG u tečnom stanju ostvaruje samo hidrostatički pritisak ispod nivoa tečnosti, dok pritisak koji se može izmeriti u rezervoaru zavisi od količine TNG-a u gasovitom stanju. Količina TNG-a u gasovitom stanju je direktno proporcionalna temperaturi. Pre prvog punjenja u rezervoaru za TNG se nalazi vazduh pod atmosferskim pritiskom. Za razliku od rezervoara za benzin i dizel, vazduh iz rezervoara za TNG ne može da izađe. Pošto vazduh ima manju gustinu nego TNG (i u tečnom i u gasovitom stanju), ostaće zarobljen u gornjem delu rezervoara i na  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  zauzeće približno 20% zapremine rezervoara, koja se ne može napuniti TNG-om. Azot i kiseonik iz vazduha u rezervoaru svojim parcijalnim naponima pare učestvuju u generisanju pritiska u rezervoaru, pa zato pritisak u rezervoaru za TNG delimično zavisi od stepena napunjenosti rezervoara. TNG se na aparatu za točenje pod pritiskom koji je veći od pritiska TNG-a u rezervoaru potiskuje u rezervoar. Kako bi se sprečilo da TNG zauzme više od 80% zapremine rezervoara (pritisak bi počeo značajno da raste), na cev za utakanje TNG-a postavlja se ventil koji sprečava prepunjavanje.

Propan ima višu oktansku vrednost koja iznosi 112, a oktanska vrednost butana je 94 (temperatura samopaljenja propana je  $468\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a butana  $405\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Oktanska vrednost TNG-a je uglavnom viša od oktanske vrednosti benzina, pa je moguće trenutak preskoka varnice pomeriti na ranije u odnosu na rad na benzinu. Kod starijih vozila sa razvodnikom paljenja, pomeranje paljenja se vrši zakretanjem razvodnika, dok sistemi sa kompjuterskim paljenjem zahtevaju izmenu mape paljenja. Toplotna moć propana je sa  $50,35\text{ MJ/kg}$  viša od toplotne moći butana od  $49,51\text{ MJ/kg}$ . Ipak, pošto je prodajna jedinica za TNG litar, a gustine propana i butana su  $0,5005\text{ kg/l}$ , odnosno  $0,5788\text{ kg/l}$ , kada se posmatraju toplotne moći propana i butana po litru u tečnom stanju, one iznose  $25,20\text{ MJ/l}$  i  $28,66\text{ MJ/l}$ , pa je prednost na strani butana.

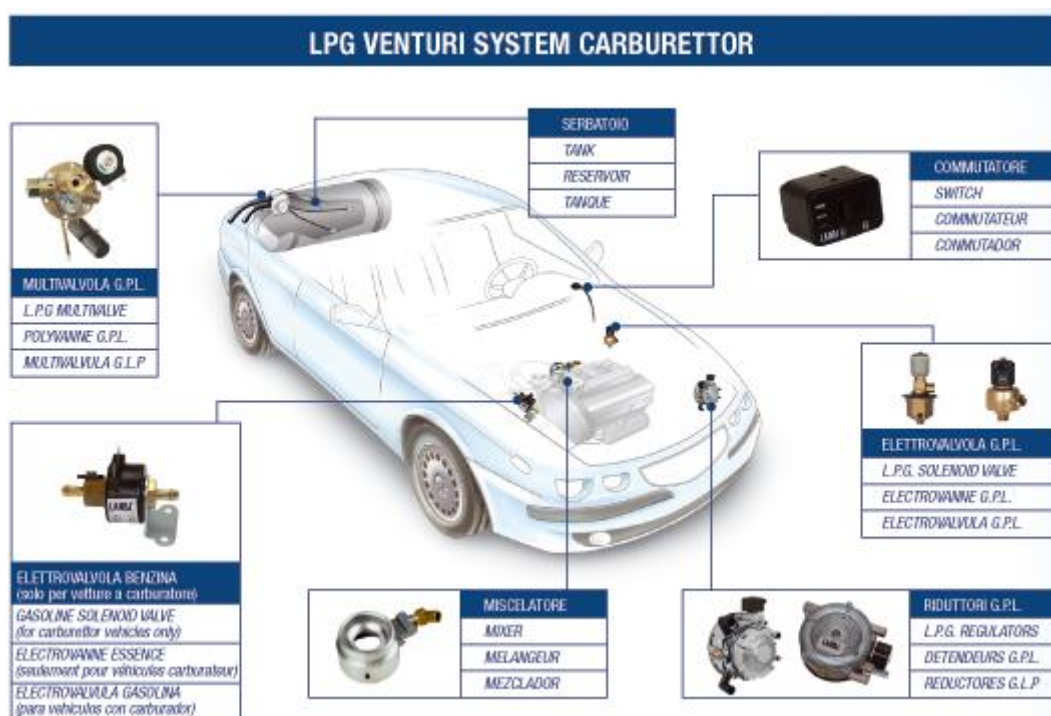
Kada se posmatra toplotna moć u gasovitom stanju, uzima se u obzir faktor širenja fluida pri prelasku iz tečnog u gasovito stanje (uvećanje zapremine jednog litra fluida pri prelasku iz tečnog u gasovito stanje). Faktor širenja propana na temperaturi od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  je 272, a butana 239. Na osnovu ovih podataka izračunava se da u gasovitom stanju na temperaturi od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  butan ima toplotnu moć od  $119,9\text{ kJ/l}$ , a propan  $92,5\text{ kJ/l}$ . To znači da za istu količinu toplote u cilindar treba da se dovede više propana nego butana u gasovitom stanju. Za razliku od tečnog goriva, koje u cilindru zauzima veoma malu zapreminu, gasovita goriva zauzimaju zapreminu koji nije zanemarljiva, pa nije moguće vazduhom maksimalno napuniti cilindar. Pošto oto motori u homogenom režimu moraju da rade sa steometrijskom smešom, smanjena količina vazduha znači i razvijanje manjih momenata i snaga motora. U poređenju propana i butana, na osnovu toplotnih moći u gasovitom stanju, zaključuje se da motor razvija manji moment i snagu kada u smeši TNG-a ima više propana. To je donekle kompenzovano drugim svojstvima propana.

### 3. Podela sistema za pogon na TNG

Sistemi za pogon na TNG mogu se podeliti po više osnova. Osnovna podela je na sisteme sa napajanjem goriva putem Venturijeve cevi („Venturi“ sistem) i sisteme sa brizgaljkama („sekvent“ - *sequent* sistem). Druga podela je na sisteme sa napajanjem TNG u tečnom stanju i u gasovitom stanju. Obzirom da nije moguće napajati motor TNG-om u tečnom stanju pomoću Venturi sistema, može se smatrati da se druga podela odnosi na podvrste sekvent sistema.

#### 3.1. Venturi sistem

Venturi sistem se po pravilu primenjuje kod vozila sa karburatorom, iako ga je moguće primeniti i kod vozila sa elektronskim sistemima ubrizgavanja. Na Slici 1. prikazane su komponente Venturi sistema i njihov uobičajen položaj na vozilu. Rezervoar može biti cilindričnog ili torusnog oblika i postavlja se u prtljažni prostor ili ispod njega na vozilima gde je to moguće. Najčešće se koristi torusni rezervoar uz postavljanje u korito rezervnog točka. Zapremina rezervoara varira od 30 l do 100 l, a može se napuniti do 80%, kao što je objašnjeno u poglavlju 2. Na rezervoaru se nalazi „multiventil“ čije su uloge sledeće: sprečava prepunjavanje rezervoara, elektromagnetnim ventilom otvara i zatvara dotok TNG-a prema motoru, rasterećuje rezervoar u slučaju previsokog pritiska, u slučaju proboja instalacije sprečava nekontrolisani protok TNG-a prema motoru i ima na sebi merač nivoa TNG-a u rezervoaru.



Slika 1. Venturi sistem proizvođača Landi Renzo. Izvor: Landi Renzo

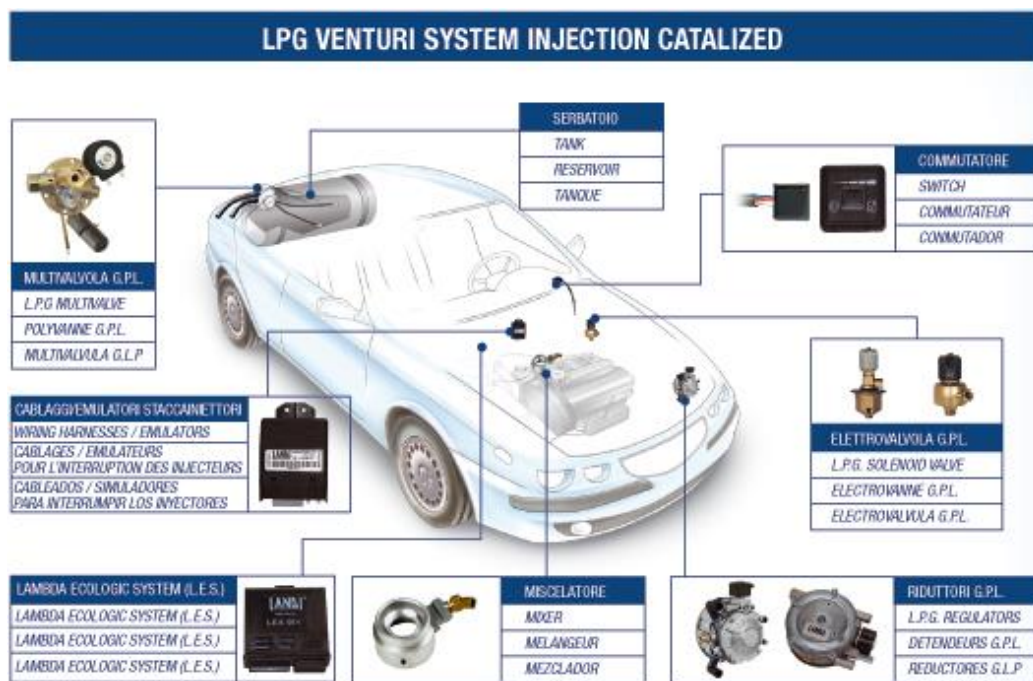
TNG iz rezervoara se dovodi do isparivača. Na vodu se nalazi ventil koji je povezan na ručni ili automatski prekidač i sa kojim se zaustavlja i pušta dotok TNG-a prema isparivaču. Odgovarajući ventil se postavlja i na vodu benzinske instalacije, kako bi pri radu na TNG bio prekinut dotok benzina u karburator. U isparivaču TNG se prevodi u gasovito stanje uz obavezno dovođenje toplote, a pritisak se smanjuje do atmosferskog. Toplotna energija koja je potrebna za prevođenje propana u gasovito stanje je 356 kJ/kg, a za butan 320 kJ/kg. Toplota za prevođenje TNG u gasovito stanje se dovodi iz sistema za hlađenje motora, pri čemu se toplota oduzima od rashladne tečnosti. Ukoliko ne bi bila dovedena toplota, TNG bi isparavao sve dok mu po površini temperatura ne padne do blizu temperature ključanja, što bi dovelo do usporavanja isparavanja uz pad pritiska, pa bi TNG u tečnom stanju dolazio do usisnog kolektora i dalje do cilindra. Sa nekontrolisanom količinom TNG-a u tečnom stanju u cilindru smeša je bogata izvan granice zapaljivosti ( $\lambda < 0,6$ ), pa nije moguće pokrenuti motor.

## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

U normalnim uslovima, TNG u gasovitom stanju na pritisku jednakom atmosferskom se dovodi do mešača. Mešač se izrađuje u vidu toroidnog šupljeg tela sa prorezima u blizini najmanje kružnice. Mešač se postavlja redno u usisni vod ispred prigušnog leptira, tako da sav vazduh koji motor usisava mora da prođe kroz mešač. Suženje mešača se ponaša kao Venturijeva cev, gde usled ubrzanja struje fluida dolazi do pada pritiska u odnosu na atmosferski. Obzirom da je unutar mešača TNG na atmosferskom pritisku, razlika pritiska potiskuje TNG kroz proreze na suženju mešača i dolazi do mešanja TNG-a i vazduha.

Dotok TNG-a, a time i  $\lambda$  faktor smeše se podešava na slavini sa zavojnim vretenom koja se nalazi između isparivača i mešača. Pošto slavinu ima fiksnu karakteristiku protoka, podešavanje smeše odgovara samo jednom radnom režimu motora. Obično se protočni presek na slavinu podešava tako da smeša bude steometrijska za područje rada motora kada je moment maksimalan. Takvo podešavanje uslovljava neodgovarajuću smešu u svim drugim režimima rada, uključujući i prazan hod. Kako bi i u režimu praznog hoda smeša bila odgovarajuća, postavlja se mehanizam kojim se dotok TNG-a reguliše na samom isparivaču.

Unapređena verzija Venturi sistema uključuje primenu elektronske slavinu na crevu između isparivača i mešača. Regulaciju vrši jednostavan računar na osnovu signala sa lambda sonde, senzora broja obrtaja motora i senzora položaja prigušnog leptira. Uobičajen naziv za unapređeni Venturi sistem je „Lambda kontrol“ sistem (Slika 2.).



Slika 2. Lambda kontrol sistem proizvođača *Landi Renzo*. Izvor: *Landi Renzo*

### 3.2. Sekvent sistem za ubrizgavanje TNG u usisni vod u gasovitom stanju

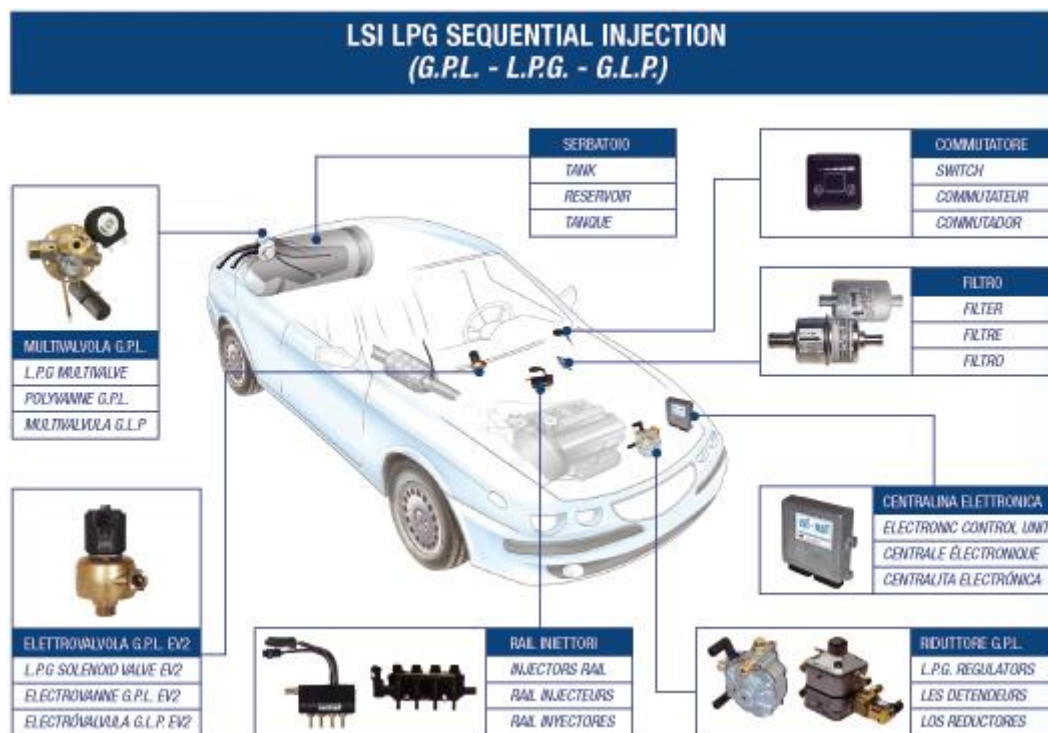
Sekvent sistem predstavlja potpuni ekvivalent sistema za ubrizgavanje benzina. TNG se iz rezervoara vodi do isparivača koji ga prevodi u gasovito stanje uz redukciju pritiska na podesivu vrednost oko 1 bar. TNG se dalje vodi do brizgaljke koje su sačinjene od elektromagnetnih ventila koji puštaju TNG kroz crevo i odgovarajućih mlaznica usadenih kroz zid usisnog voda. Osnovna instalacija se ne razlikuje mnogo od Venturi sistema, osim što je zbog većeg pritiska iza isparivača moguće uvesti prečistač gasovitog TNG-a. Na Slici 3. je prikazana instalacija sekvent sistema za TNG u gasovitom stanju.

Sekvent sistem mora da poseduje namenski računar koji razdvaja brizgaljke za benzin od motornog računara i emulira njihov rad, jer bi u suprotnom u motornom računaru bila prisutna greška otvorene veze na brizgaljkama. Karakteristika brizgaljke za TNG se mora razlikovati od karakteristike brizgaljke za benzin, pa trajanje ubrizgavanja ne može biti isto. Zato je neophodno



## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

odrediti korekzione faktore (multiplikativne) kojima se definiše odnos trajanja ubrizgavanja koje zadaje motorni (benzinski) računar i trajanja ubrizgavanja koje treba da zada TNG računar. Na osnovu trajanja signala za uključenje benzinskih brizgaljki i korekcionih faktora, računar za TNG proračunava trajanje ubrizgavanja za gasne brizgaljke. Korekzione faktore je moguće automatski odrediti, kroz odgovarajuću proceduru, ali se po pravilu taj posao mora ručno odraditi iterativnim postupkom. Računaru za TNG se može pristupiti RS232 ili USB vezom. Na personalnom računaru sa kojim se pristupa TNG računaru mora da bude instalirana odgovarajuća aplikacija. Proizvođači računara za TNG uglavnom slobodno distribuiraju aplikacije za podešavanje rada sekvent sistema, mada je moguće da napredne funkcije zaključaju i pristup daju samo svojim distributerima.



Slika 3. Sekvent sistem za TNG u gasovitom stanju proizvođača *Landi Renzo*. Izvor: *Landi Renzo*

Podešavanje TNG računara, koje je neophodno izvršiti pre puštanja u rad instalacije sekvent sistema obuhvata:

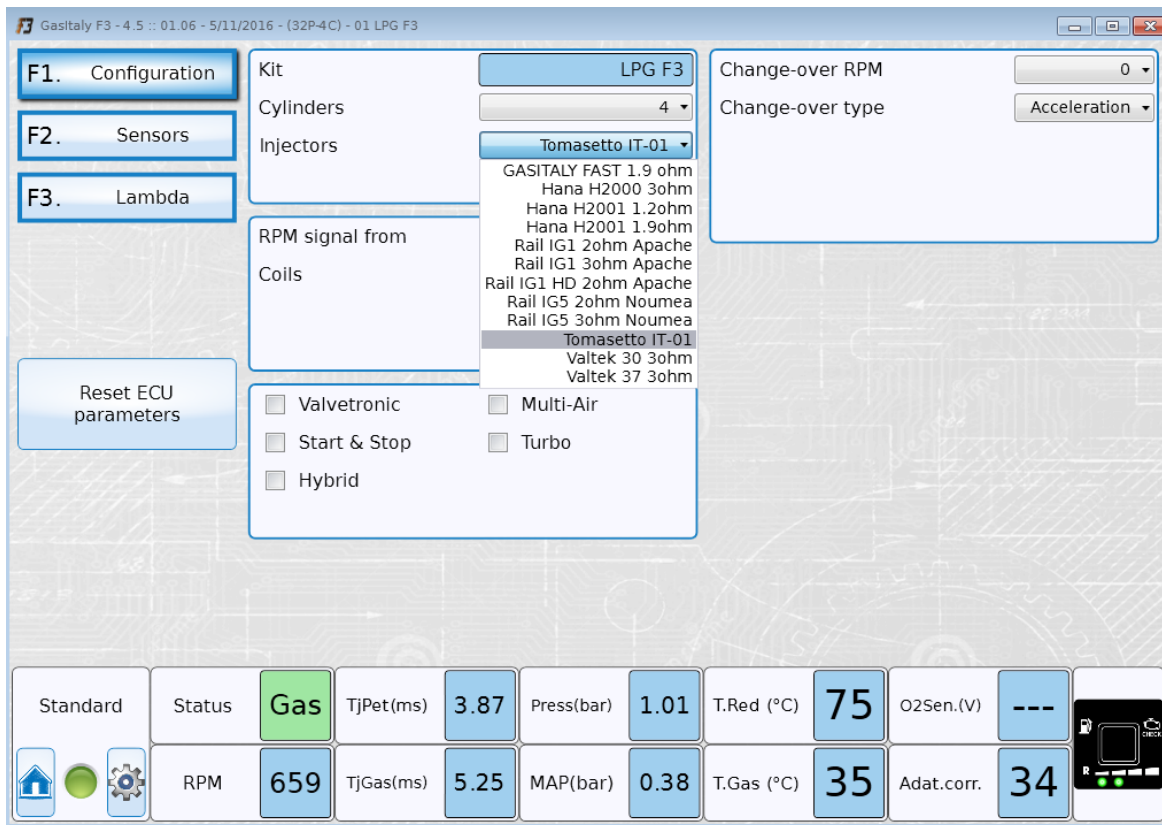
- izbor tipova komponenti i podešavanja TNG sistema: tip gasnih brizgaljki, tip senzora temperature gasa, tip senzora pritiska gasa, tip senzora nivoa TNG u rezervoaru, vrednost pritiska TNG na koju je podešen isparivač,
- izbor tipova komponenti benzinskog sistema: broj i vrsta priključenih lambda sonde, oblik i učestanost signala senzora broja obrtaja motora,
- izbor dodatnih funkcija: obogaćenje smeše pri ubrzanju, osiromašenje smeše kod motora koji rade u „homogenous lean“ režimu, prilagođenje rada TNG sistema tipu pogona na vozilu (hibridni, sa start-stop sistemom, sa automatskim menjačem itd), rad samo na TNG, OBDII komunikacija itd i
- podešavanje vrednosti u tabeli korekcionih faktora za trajanje ubrizgavanja TNG automatski ili ručno.

Na Slici 4. je prikazan izbor tipa elektromagnetnih ventila brizgaljki. Izuzetno je važno da elektromagnetni ventili TNG brizgaljki budu prilagođeni načinu rada sistema za ubrizgavanje benzina. Na primer, za benzinske sisteme kod kojih su najmanja trajanja ubrizgavanja kraća nego što je uobičajeno (ispod 3 ms), nepravilan izbor TNG brizgaljki (spore brizgaljke) dovodi do prebogate smeše u režimu kratkog trajanja ubrizgavanja. Tada motorni računar kroz zatvorenu



## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

lambda petlju skraćuje trajanje ubrizgavanja putem kratkotrajne korekcije. Ako se u narednom trenutku naglo pređe u režim sa dugim trajanjem ubrizgavanja, kratkotrajna korekcija i dalje osiromašuje smešu (potrebno je najmanje nekoliko sekundi za promenu vrednosti kratkotrajne korekcije). Sa siromašnom smešom nije moguće ostvariti velike momente i snage motora, a u graničnim vrednostima može doći i do izostanka paljenja. To je naročito nezgodno u situaciji kada vozač zahteva maksimalno ubrzanje (pri preticanju i sl.), a zbog siromašne smeše izostaje očekivani odziv motora. Najčešće se u slučaju nepravilno pripremljene smeše u memoriju motornog računara upisuje kod greške za prebogatu ili presiromašnu smešu, što je dobar pokazatelj loše podešenosti ili lošeg izbora komponenti TNG sistema.



Slika 4. Izbor elektromagnetnih ventila kod sistema *GasItaly* F3.

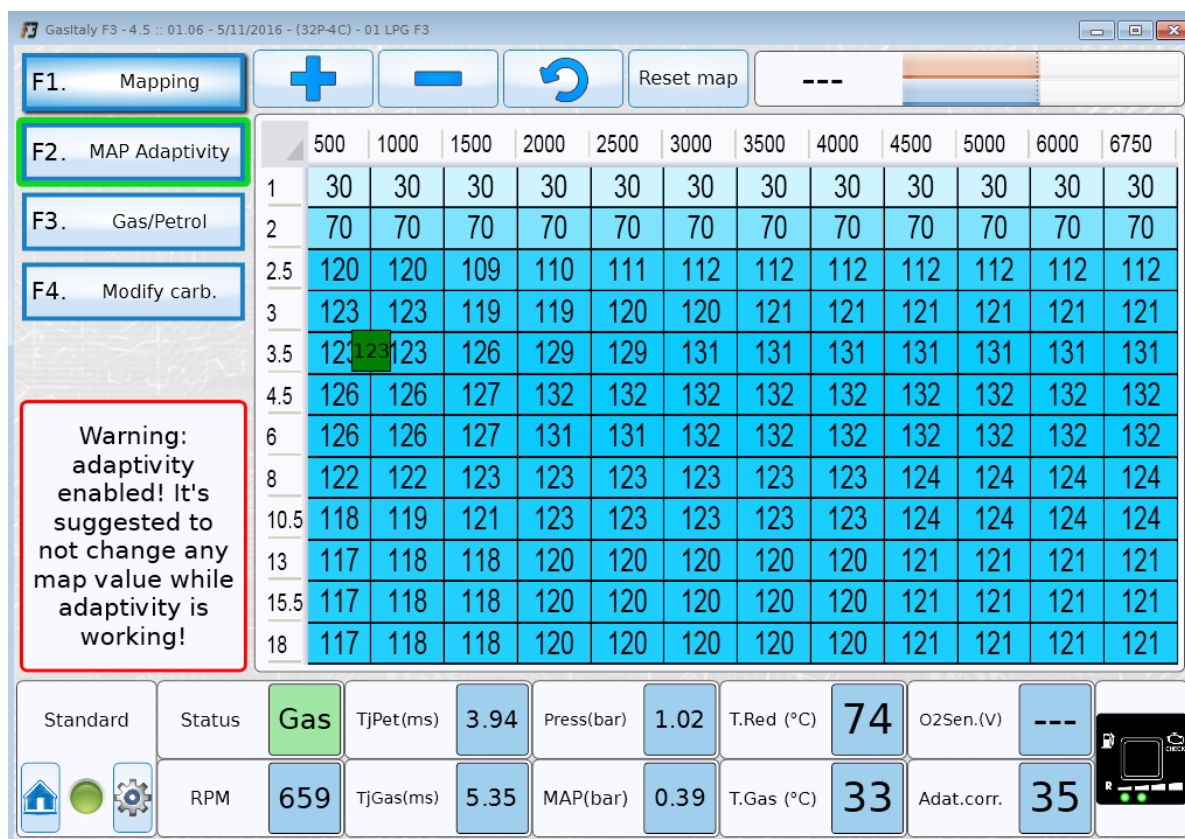
Osim samog elektromagnetnog ventila, motoru se mora prilagoditi i mlaznica. Mlaznice su dostupne sa različitim protočnim presecima, pa je moguće izborom mlaznice odabrati odgovarajuću karakteristiku ubrizgavanja. Ne može se govoriti o „premaloj“, „prevelikoj“ ili „taman“ btizgaljci, jer karakteristiku ubrizgavanja određuje i pritisak TNG-a koji je podešen na isparivaču. U određenim slučajevima moguće je sa mlaznicom manjeg protočnog preseka, uz povećanje pritiska ostvariti linearniju karakteristiku ubrizgavanja i bolje rezultate rada TNG sistema - manja odstupanja lambda regulacije, bolje upravljanje momentom motora pri velikim promenama opterećenja, manju potrošnju itd. Isto može da važi i za mlaznice većeg preseka uz niži pritisak.

Za TNG brizgaljke sa definisanom karakteristikom određuje se tabela korekcionih faktora (Slika 5.). Tabelu je moguće odrediti u postupku autokalibracije, kada TNG računar navodi korisnika kroz niz postupaka i radnih režima motora, pri čemu naizmenično prebacuje pogon na TNG i benzin uz promenu vrednosti korekcionih faktora i poređenje trajanja ubrizgavanja koja zadaje motorni računar. Kada se promena trajanja ubrizgavanja motornog računara smanji ispod određene granice (varira od proizvođača do proizvođača TNG računara), TNG računar usvaja trenutni korekcionni faktor kao odgovarajući. Određuju se korekcionni faktori za mali broj radnih režima u mestu bez opterećenja motora, a nedostajući faktori u tabeli se proračunavaju

## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

interpolacijom. Ovako izračunati korekcionni faktori retko predstavljaju zadovoljavajuće rešenje, ali predstavljaju dobru polaznu osnovu za dalje fino podešavanje rada TNG sistema.

Ručno određivanje korekcionnih faktora je algoritamski slično automatskom. Korisnik treba da menja radne režime motora (različiti parovi brojeva obrtaja motora i trajanja ubrizgavanja) i vrši promenu korekcionnih faktora u više iteracija. Za svaku zadatu vrednost korekcionnog faktora, treba ustaliti određeni radni režim motora pri radu na benzin, pa promeniti pogonsko gorivo na TNG. Ako motorni računar reaguje smanjenjem trajanja ubrizgavanja, to znači da je zadati korekcionni faktor previše veliki i obrnuto. U narednoj iteraciji se u zavisnosti od reakcije motornog računara korekcionni faktor smanjuje ili povećava i to ako je motorni računar produžio trajanje ubrizgavanja, treba povećati korekcionni faktor i obrnuto. Kada je promena trajanja ubrizgavanja relativno mala, manja od 5% od ukupnog trajanja ubrizgavanja, vrednost korekcionnog faktora je odgovarajuća i može se preći na sledeći radni režim.



Slika 5. Tabela korektivnih faktora trajanja ubrizgavanja TNG-a.

Zbog veličine tabele korekcionnih faktora nije realno da se izvrši podešavanje svakog korekcionnog faktora ponaosob, već se podešavaju faktori za one radne režime koji se često javljaju u eksploataciji. Preostali korekcionni faktori se određuju interpolacijom. Najjednostavnija metoda interpolacije, koja je i prihvatljiva za podešavanje TNG sistema je linearna interpolacija. Linernom interpolacijom se međuvrednosti određuju tako što se postavljaju na pravu koja povezuje dve poznate vrednosti. Recimo da su poznate dve vrednosti korekcionnih faktora u tabeli kao na Slici 5. za isti broj obrtaja (npr  $2000 \text{ min}^{-1}$ ) i različita trajanja ubrizgavanja (3 ms i 8 ms). Neka je vrednost faktora za par [ $2000 \text{ min}^{-1}$ , 3 ms] jednaka 1,3 (ili 130), a za par [ $2000 \text{ min}^{-1}$ , 8 ms] jednaka 1,38. Nepoznata su tri faktora koja se nalaze između, za parove [ $2000 \text{ min}^{-1}$ , 3,5 ms], [ $2000 \text{ min}^{-1}$ , 4,5 ms] i [ $2000 \text{ min}^{-1}$ , 6 ms]. Najjednostavniji način da se izračunaju vrednosti linearnom interpolacijom jeste da se razlika između poznatih vrednosti podeli na onoliko delova koliko se nepoznatih vrednosti nalazi između plus jedan. U ovom slučaju razlika je  $1,38 - 1,3 = 0,08$ . Broj nepoznatih vrednosti je 3, što znači da se razlika deli na  $3 + 1 = 4$  dela tj jedan korak je  $0,08/4 = 0,02$ . Vrednost koraka se sukcesivno dodaje na

manju poznatu vrednost ili se oduzima od veće poznate vrednosti, pa se određuju sledeće vrednosti korekcionih faktora:

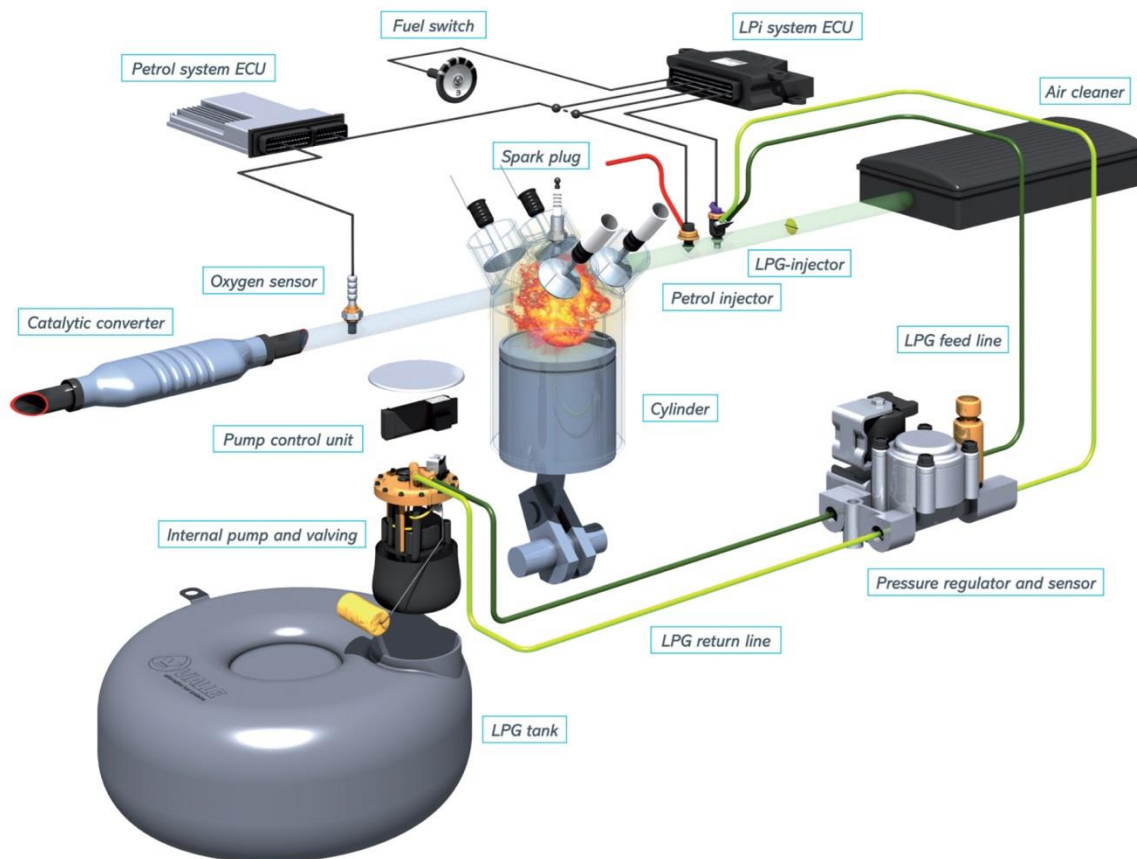
- $[2000 \text{ min}^{-1}, 3,5 \text{ ms}]$ :  $1,3 + 0,02 = 1,32$  ili  $1,38 - 0,02 - 0,02 - 0,02 = 1,32$
- $[2000 \text{ min}^{-1}, 4,5 \text{ ms}]$ :  $1,3 + 0,02 + 0,02 = 1,34$  ili  $1,38 - 0,02 - 0,02 = 1,34$
- $[2000 \text{ min}^{-1}, 6 \text{ ms}]$ :  $1,3 + 0,02 + 0,02 + 0,02 = 1,36$  ili  $1,38 - 0,02 = 1,36$

Mnogi TNG računari imaju funkciju adaptacije korekcionih faktora kako bi se sistem prilagodio promenama uslova rada (npr zaprljanje TNG brizgaljki i filtera, velike promene sastava zimske smeše TNG u odnosu na letnju itd). Vrednost adaptacije se čuva u posebnoj tabeli i može se popuniti samo automatski. Tačnije, moguće je sprovesti navodeno određivanje vrednosti adaptacije od strane instalatera, u mestu, odnosno bez opterećenja, za različite brojeve obrtaja u statičkom i dinamičkom režimu (dodavanje gasa) pri radu na benzin i TNG. Drugi način je uključivanje procedure učenja pre primopredaje vozila vlasniku, a vrednosti adaptacije se određuju u toku vožnje, takođe pri radu i na benzin i na TNG. Prednost druge metode je što se vrednosti adaptacije određuju u realnim uslovima i režimima rada, ali je nedostatak što po završenom procesu učenja instalater nema informaciju o rezultatu učenja.

Pravilno ugrađen sistem za TNG je neophodno održavati prema previđenim servisnim intervalima. Prilikom redovnog servisa zamenjuje se filter gasne faze TNG, čiste se mlaznice, a po potrebi i elektromagnetni ventili i isparivač. Takođe, vrši se i provera korekcionih faktora i podešavanje po potrebi.

### 3.3.Sekvent sistem za ubrizgavanje TNG u usisni vod u tečnom stanju

Sekvent sistem za ubrizgavanje TNG u tečnom stanju se retko ugrađuje na tržištu Srbije i uglavnom se radi o vozilima koja su uvezena iz Holandije. Na Slici 6. prikazana je instalacija za ubrizgavanje TNG u tečnom stanju proizvođača *Vialle*. U rezervoaru se nalazi membranska pumpa koja ostvaruje pritisak 5 bara veći od pritiska u rezervoaru sa rasterećenjem na 8 bara.



Slika 6. Sistem LPI proizvođača *Vialle* za ubrizgavanje TNG u tečnom stanju. Izvor: *Vialle*

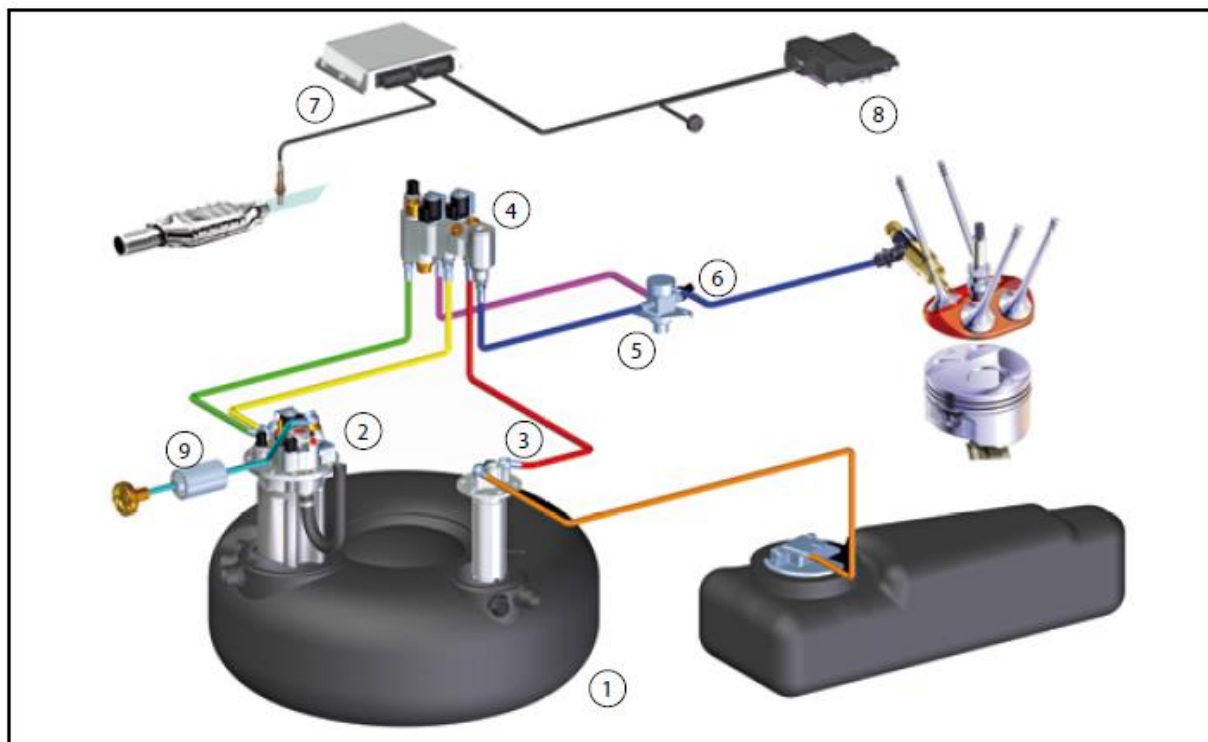
## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

Od pumpe, TNG se u tečnom stanju dovodi do regulatora pritiska koji dodatno ublažava oscilacije pritiska i takođe ga održava 5 bara iznad pritiska u rezervoaru. Pritisak u rezervoaru zavisi od temperature TNG u rezervoaru i može da bude u opsegu manje od 1 bara do 25 bara. Preko 25 bara otvara se rasteretni ventil na multiventilu i rasterećuje rezervoar (važi za sve vrste TNG sistema). TNG računar ima kompleksan zadatak da na osnovu trajanja ubrizgavanja koje zadaje motorni računar i vrednosti pritiska TNG proračuna dužinu trajanja ubrizgavanja za TNG brizgaljke. Brizgaljke za TNG su izrađene kao benzinske brizgaljke, kod kojih se i elektromagnetni ventil i mlaznica nalaze u jednom kućištu. Pritisak na brizgaljkama je jednak pritisku u sistemu odnosno od  $1+5=6$  bara do  $25+5=30$  bara. Celokupna instalacija mora da bude otporna na visoke pritiske za razliku od instalacije za ubrizgavanje TNG u gasovitom stanju.

Prednost sistema se ogleda u tome što TNG od trenutka ubrizgavanja do usisavanja ne stiže u potpunosti da ispari, pa zauzima manju zapreminu u cilindru i manji je gubitak snage nego kod ubrizgavanja TNG u gasovitom stanju. Nedostatak je veći broj komponenti, a naročito postojanje pumpe u rezervoaru, koja ima relativno kratak vek trajanja i najčešći je uzročnik otkaza sistema.

### 3.4. Sekvent sistem za direktno ubrizgavanje TNG-a

Sistem za direktno ubrizgavanje TNG se primenjuje samo na motorima sa direktnim ubrizgavanjem benzina, jer koristi postojeće benzinske brizgaljke i postojeću pumpu visokog pritiska za benzin. Izmena goriva se vrši u ventilskom modulu koji je na Slici 7. označen pod brojem 4. Ventilski modul vrši spajanje niskopritisnih grana za benzin odnosno TNG sa usisnim vodom visokopritisne pumpe za gorivo.



- 1 - Serbatoio GPL - LPG Tank
- 2 - Flangia ZLI - ZLI LPG Pump
- 3 - Flangia Benzina - Petrol Pump
- 4 - FSU - FSU
- 5 - Pompa alta pressione (HP) GPL/Benzina - LPG / Petrol High pressure pump

- 6 - Sensore di temperatura pompa alta pressione - High pressure pump temperature sensor
- 7 - Centralina elettronica ZLI - ZLI ECU
- 8 - Centralina elettronica benzina - Petrol ECU
- 9 - Filtro GPL - LPG Filter

Slika 7. Sistem direktnog ubrizgavanja TNG proizvođača Zavoli. Izvor: Zavoli

## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tečni naftni gas

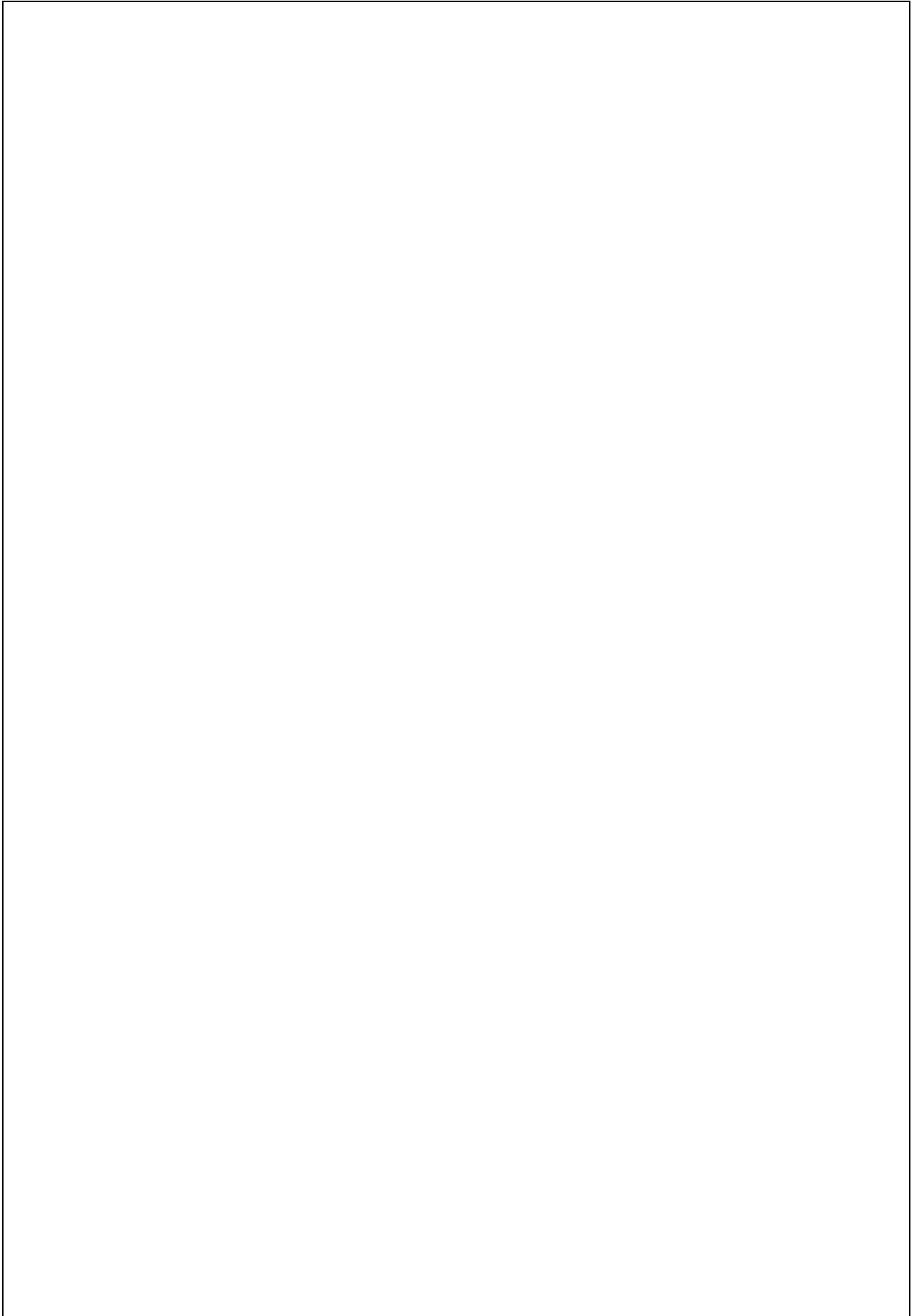
Takođe modul vrši i rasterećenje vodova koji su zatvoreni kada se zbog porasta temperature poveća pritisak i sprečava mešanje benzina i TNG, odnosno prolazak TNG-a koji je pod pritiskom prema benzinskom rezervoaru, koji ne bi izdržao taj pritisak.

Kod sistema za direktno ubrizgavanje TNG važi isti nedostatak kao kod sistema za ubrizgavanje TNG u tečnom stanju, a to je postojanje pumpe za TNG. Velika prednost je odsustvo potrebe za računarom ubrizgavanja TNG-a, već se primenjuje mnogo jednostavniji računar za uključenje i isključenje ventila u ventilskom modulu.

### **4. Zadatak**

Na dostupnom vozilu uspostaviti komunikaciju sa TNG računarom. Pre svih izmena snimiti sadržaj memorije TNG računara, da bi u slučaju pogrešnog podešavanja bilo moguće izvršiti povratak na prethodne vrednosti. Izvršiti promene radnih parametara tako da se optimizuje rad TNG sistema. Izvršiti promene radnih parametara tako da se motorni računar izvede izvan granica regulacije i snimi grešku vezanu za sastav smeše.

Komentar:

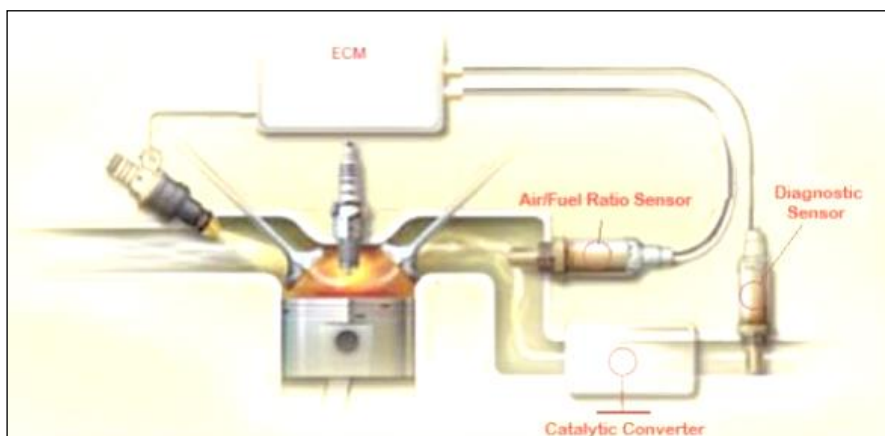






### Laboratorijska vežba 10

## Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji



Ime i prezime studenta: \_\_\_\_\_

Broj indeksa: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Vežbu pregledao: \_\_\_\_\_

## 1. Cilj laboratorijske vežbe

Cilj laboratorijske vežbe je razumevanje funkcionalnosti lambda kontrole u zatvorenoj petlji, razumevanje kratkotrajne i dugotrajne korekcije, što je od suštinskog dijagnostičkog značaja za celokupno razumevanje sistema upravljanja radom benzinskih motora. Praktičan zadatak predviđa sprovođenje komunikacionih i osciloskopskih merenja na dostupnom vozilu, uz donošenje relevantnih dijagnostičkih zaključaka što treba strukturirano da se predstavi odgovarajućim izveštajem.

## 2. Lambda kontrola u zatvorenoj petlji

### 2.1. Zatvorena petlja (Closed loop control)

Preko lambda sonde elektronska upravljačka jedinica motora određuje sadržaj kiseonika u izduvnim gasovima kako bi se pravilno odredila količina ubrizganog goriva, održala efikasnost rada katalizatora i regulisala emisija izduvnih gasova. Režimi rada motora u kojima elektronska upravljačka jedinica radi u otvorenoj petlji su:

- start motora;
- niska radna temperatura;
- naglo ubrzanje;
- cut-off režim (prekidanje ubrizgavanja);
- potpuno otvoren prigušni leptir;

### 2.2. Korekcije ubrizgavanja

Usled promene radnog stanja motora i karakteristika senzora tokom vremena u cilju održavanja zahtevanih performansi i emisije vozila na predviđenom nivou tokom celokupnog eksploatacionog veka, odgovarajući kompenzacioni program korekcija ubrizgavanja (fuel trim) je implementiran u kontrolu upravljanja. Kada motor radi u zatvorenoj petlji, krajnje vreme ubrizgavanja se određuje na osnovu signala lambda sonde.

Prema OBD dijagnozi, postoji podela korekcija ubrizgavanja na:

- kratkotrajnu korekciju ubrizgavanja (Short Fuel Trim),
- dugotrajnu korekciju ubrizgavanja (Long Fuel Trim).

#### 2.2.1. Kratkotrajna korekcija (Short Fuel Trim - SFT)

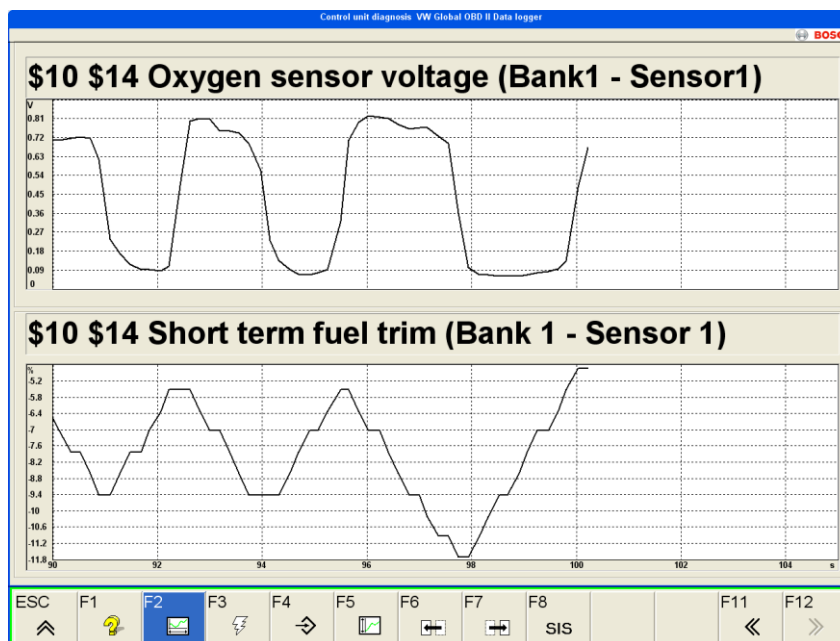
Predstavlja jednovremeno produženje ili skraćenje osnovnog vremena ubrizgavanja. Kratkotrajna korekcija određuje se na osnovu signala lambda sonde, što znači da funkcioniše samo pri zatvorenoj petlji. Ukoliko je vrednost kratkotrajne korekcije bliska 0%, može se zaključiti da sistem radi bez funkcionalnih poremećaja u odnosu na početno-ispravno stanje. Kada je vrednost kratkotrajne korekcije pozitivna, ECU produžava vreme ubrizgavanja. Negativna vrednost kratkotrajne korekcije ukazuje na smanjenje osnovno izračunatog vremena ubrizgavanja. Vrednosti kratkotrajne korekcije su privremene i ne skladište se u memoriji računara. Može se reći i da kratkotrajna korekcija modifikuje dugotrajnu korekciju. Kada se vrednost kratkotrajne korekcije u dužem vremenskom periodu zadrži izvan opsega, ECU motora povećava ili smanjuje vrednost dugotrajne korekcije.

#### Kako radi kratkotrajna korekcija:

Kratkotrajna korekcija je privremena korekcija u finalnoj isporuci goriva, koja se menja sa svakim radnim ciklusom signala lambda sonde. Pri normalnom radnim uslovima, kratkotrajna korekcija fluktuiira oko vrednosti od 0% i operativna je samo pri radu motora u zatvorenoj petlji. Pri očitavanju vrednosti ovog parametra sa komunikacionim uređajem, moguće je pronaći je i pod nazivom „Lambda Integrator“ (BOSCH). U OBD dijagnozi se pronalazi pod nazivom Short Fuel Trim.

Kratkotrajna korekcija se menja prema signalu lambda sonde, kako je prikazano na Slici 1.





Slika 1. Uporedni signal lambda sonde i kratkotrajne korekcije (Lambda Integrator)

Pri radu motora sa siromašnom smešom, kratkotrajna korekcija ima pozitivnu vrednost (od +1 do +20%), kako bi se u narednom radnom ciklusu lambda sonde izvršilo obogaćenje smeše.

Pri radu motora sa bogatom smešom, kratkotrajna korekcija ima negativnu vrednost (od -1 do 20% ), kako bi se izvršilo osiromašenje smeše za naredni radni ciklus lambda sonde.

Kada se vrednost kratkotrajne korekcije menja u opsegu +/- 0%, ovo predstavlja neutralno stanje kada je osnovno vreme ubrizgavanje veoma blisko vremenu ubrizgavanja da bi se obezbedila načelno stehiometrijska smeša.

### 2.2.2. Dugotrajna korekcija (Long Fuel Trim - LFT)

Predstavlja sastavni element kalkulacije osnovnog vremena ubrizgavanja i njena vrednost je skladištena u memoriji ECU. Dugotrajna korekcija je naučena vrednost, koja potiče od poremećaja u sistemu koji dovodi do odstupanja očekivane vrednosti lambda faktora, usled neodgovarajuće količine ubrizganog goriva, mehaničkog istrošenja motora, vakuumske nezaptivenosti usisne grane, varijacija u pritisku goriva... Obzirom da se vrednost dugotrajne korekcije ne briše po isključenju kontakt ključa, kalkulacija osnovnog vremena ubrizgavanja uključuje vrednost dugotrajne korekcije i u zatvorenoj i u otvorenoj petlji.

Vrednost dugotrajne korekcije se tokom eksploatacije vozila relativno sporo menja, prema graničnim vrednostima kratkotrajne korekcije. Vrednosti dugotrajne korekcije se kreću u opsegu +/- 20%, gde kao i kod kratkotrajne korekcije pozitivne vrednosti ukazuju na obogaćenje smeše, a negativne na osiromašenje.

Dugotrajna korekcija se ne briše iz memorije računara po isključenju rada motora.

Pregled različitih faktora koji utiču na vrednosti korekcija prikazani su u Tabeli 1.

Visoka negativna vrednost korekcije (Smeša izvorno bogata)	Visoka pozitivna vrednost korekcije (Smeša izvorno siromašna)
Mogući uzroci:	Mogući uzroci:
Vožnja vozila na velikoj nadmorskoj visini	Vrednost pritiska ubrizgavanja suviše niska
Visoka koncentracija goriva u sistemu za odzračivanje motora	Nezaptivenost usisne grane (falš vazduh)
Neispravnost sistema za regeneraciju isparenja goriva	Nezaptivenost izduvne grane, pre katalizatora
Prevelika recirkulacija izduvnih gasova	Neispravnost u radu sistema za sekundarni vazduh

Nezaptivanje regulatora pritiska goriva	Velika zastupljenost kiseonika u gorivu
Visoka vrednost pritiska goriva	Narušavanje pravilnosti mlaza za ubrizgavanje goriva
Curenje brizgača	Kontaminiranost goriva vodom

Tabela 1. Uzroci pozitivnih i negativnih vrednosti korekcija

### 2.3. Monitoring korekcija ubrizgavanja (Fuel system monitor)

Monitoring korekcija ubrizgavanja predviđen je da prijavi odgovarajuće kodove grešaka ukoliko vrednosti korekcija ubrizgavanja izađu izvan predviđenih opsega. Procenti, odnosno dopuštene vrednosti korekcija ubrizgavanja specificiraju se jednoznačno za svaki motor i vozilo. U cilju pravilnog sprovođenja dijagnostičkog postupka potrebno je poznavanje osnovne proračunske metodologije elektronske upravljačke jedinice motora. Osnovni zadaci te jedinice su svakako određivanje parametara vezanih za pravilno vođenje procesa paljenja i procesa ubrizgavanja tokom rada motora.

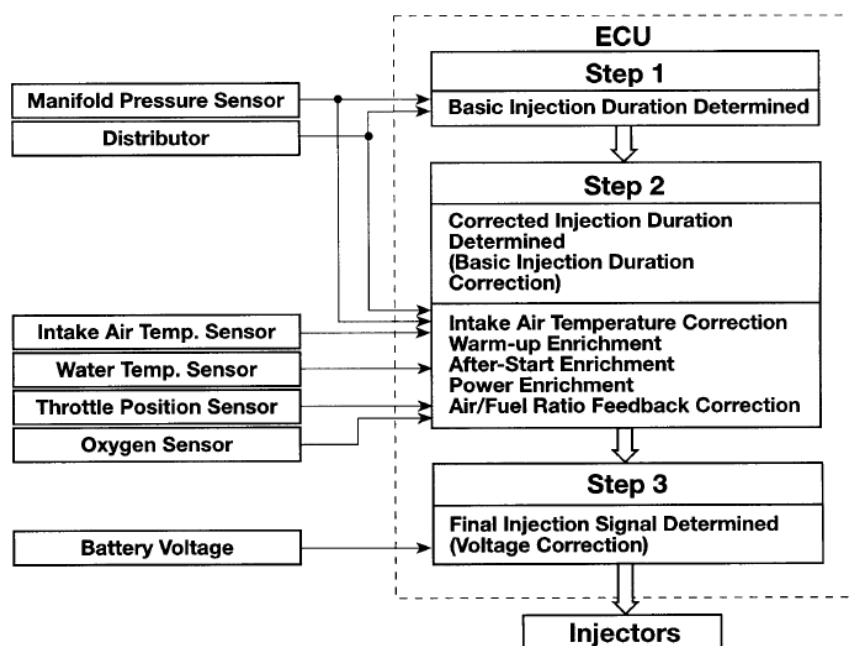
Osnovno vreme ubrizgavanja i izračunavanje ugla predpaljenja su načelno funkcija signala samo dva senzora: senzora brzine obrtanja motora i senzora optetrećenja motora. (korak 1, Slika 2)

Ostali senzori, kao što su:

- senzor temperature rashladne tečnosti motora,
- senzor temperature usisanog vazduha,
- senzor ugla prigušnog leptira
- senzor viška kiseonika u izduvnim gasovima.

utiču na izračunavanje korigovanog vremena ubrizgavanja (korak 2, Slika 2).

Finalno vreme ubrizgavanja određuje se na osnovu naponske korekcije (korak 3, Slika 2).



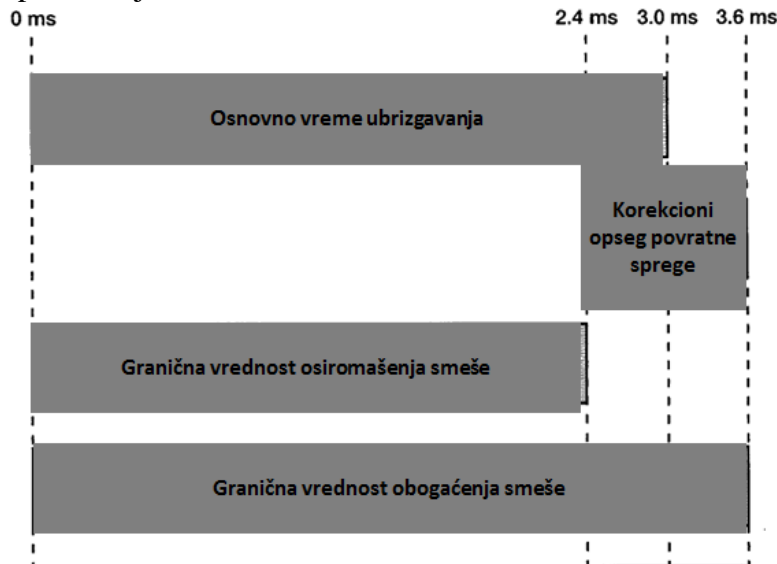
Slika 2. Funkcionalna šema izračunavanja vremena ubrizgavanja (kod sistema upravljanja u otvorenoj petlji)

Sistemi upravljanja u zatvorenoj petlji za proračun osnovnog vremena ubrizgavanja uključuju i dugotrajnu korekciju.

## Laboratorijska vežba 10: Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji

Osnovno vreme ubrizgavanja je uglavnom relativno tačno, sa maksimalnom razlikom od +/- 20% od tačno potrebnog vremena ubrizgavanja.

Uticaj povratne sprege (korekcija prema signalu lambda sonde), ogleda se prema procentualnom udelu potrebne korekcije na potrebno vreme ubrizgavanja. Ukoliko vrednost korekcije na osnovu povratne sprege predje opseg od +/- 20%, potrebno je u računicu osnovnog vremena ubrizgavanja uvesti ili korigovati vrednost dugotrajne korekcije (Long Fuel Trim). Primer opisanog postupka prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Primer odnosa osnovnog vremena ubrizgavanja i korekcionog opsega povratne sprege

### 3. Zadatak

Praktičan zadatak ove laboratorijske vežbe podrazumeva sprovođenje sveobuhvatne dijagnostičke procedure za određeno savremeno motorno vozilo sa benzinskim motorom.

Krajnji ishod pravilne dijagnostičke procedure predviđa donošenje relevantnih dijagnostičkih zaključaka uz primenu ispravne metodologije tokom rada, kao i korišćenje savremene dijagnostičke opreme. Veoma je važno istovremeno kvantifikovanje uticaja svih relevantnih faktora tokom sprovođenja dijagnostičke procedure, što pored analitičkog zahteva i holistički pristup. Što veća parametrizacija različitih uticajnih elemenata u skupu odlučivanja može umnogome da skрати dijagnostički proces i da uz što manje ostalih utrošenih resursa dovede do ispravnih zaključaka. Ipak, treba biti veoma oprezan pri uzimanju u obzir određenih nepravilnosti, jer „nepravilnost“ ne mora istovremeno da znači „neispravnost“. Iz tog razloga je veoma važno napredno poznavanje sistema u kome se problem manifestuje, kao i interakcija tog sistema sa ostalim sistemima od značaja tokom sprovođenja dijagnostičke procedure. To u praktičnom smislu znači, da bi se ustavio problem u sistemu upravljanja radom benzinskog motora, nije dovoljno poznavanje rada samo tog, mehatronički zaista najkompleksnijeg sistema u savremenom motornom vozilu, već i sistema za snabdevanje električnom energijom, CAN-BUS sistema, karakteristika i mogućnosti komunikacionog uređaja koji se koristi, karakteristika i mogućnosti osciloskopa, uticaja elektromagnetnih smetnji, itd...

Mehatronički sistemi, kojima pripadaju i sistemi upravljanja savremenim motorima SUS, u svojoj osnovi su multidisciplinarni, pa je veoma teško, praktično ne moguće koncipirati generalan ispravan pristup za svaki od mogućih simptoma koji mogu da se pojave. Naravno, da iskustvo nekada ima presudnu ulogu i da je veoma važno, međutim upravo ovako kompleksni sistemi su karakteristični po visokom stepenu razvoja i relevantni parametri u procesu odlučivanja (npr. radni parametri sistema) mogu drastično da se razlikuju kroz generacije. Zato

### Laboratorijska vežba 10: Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji

je i pored iskustva veoma važno neprekidno usavršavanje, odnosno unapređenje tehničkog razumevanja i primenjenih radnih metodologije. Pomenuta interakcija predstavlja osnovu za izgradnju ekspertnih sistema podrške odlučivanju, a krajnje je benefita i pri rešavanju konkretnih tehničkih problema.

U skladu sa opisanim, potrebno je na dostupnom savremenom vozilu sa benzinskim motorom izvršiti struktuiran dijagnostički proces uz eventualno rešavanje samog problema, koji treba da obuhvati sledeće radne zadatke:

- verifikaciju problema,
- sprovođenje jednostavnih dijagnostičkih testova i vizuelnu inspekciju,
- očitavanje memorije grešaka,
- pretragu potrebnih podataka u tehničkoj dokumentaciji,
- analiza radnih parametara,
- sprovođenje testa aktuatora,
- sprovođenje funkcionalnih testova,
- sprovođenje osciloskopskih merenja u cilju utvrđivanja ispravnosti elektronskih komponenti i instalacije vozila,
- sprovođenje ostalih neelektričnih ispitivanja:
  - ispitivanje izduvnih gasova motora,
  - sprovođenje testova za utvrđivanje zaptivenosti motora,
- utvrđivanje problema,
- rešavanje problema i određivanje njegovog uzroka,
- verifikacija izvršene popravke i brisanje memorije grešaka.

U slučaju da ne postoji konkretan problem u sistemu upravljanja radom benzinskog motora, potrebno je bazirati se na komunikaciono-osciloskopska ispitivanja uz analizu radnih parametara, sa naročitim akcentom na potpuno razumevanje rada lambda kontrole u zatvorenoj petlji.

Ukoliko je moguće, preporučuje se simuliranje određenih kvarova koji neće ostaviti dugoročne negativne posledice po rad motora, osim trenutnog izazivanja poremećaja u sistemu sa ciljem praćenja korekcija koje kao posledica poremećaja nastaju.

Po završenoj dijagnostičkoj proceduri, preporučuje se formiranje dijagrama toka sprovedenih aktivnosti sa formiranim zaključcima, u cilju sveobuhvatne evaluacije i analize dijagnostičke procedure.

**Vozilo:** \_\_\_\_\_

**Izveštaj o sprovedenoj dijagnostičkoj proceduri:**

Laboratorijska vežba 10: Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji  
Izveštaj o sprovedenoj dijagnostičkoj proceduri:

Laboratorijska vežba 10: Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji  
Izveštaj o sprovedenoj dijagnostičkoj proceduri:

Laboratorijska vežba 10: Sistem upravljanja radom oto motora u zatvorenoj petlji  
Izveštaj o sprovedenoj dijagnostičkoj proceduri:

## Laboratorijska vežba 9: Pogon oto motora na tegni naftni gas



## LITERATURA

- [1] Tomić M., Petrović S., *Motori sa unutrašnjim sagorevanjem*, Mašinski fakultet Beograd, ISBN 86-7083-353-0, 2000.
- [2] Centar za motore MFB, *Termodinamički ciklusi – numerički primeri*, Mašinski fakultet Beograd, predmet: Osnovi motora SUS.
- [3] James D. Halderman, *Engine Performance Diagnosis*, Pearson, 5<sup>th</sup> Edition, ISBN-13: 978-0132540094, 2011.
- [4] Pešić R., Petković S., Veinović S., *Motorna vozila i motori, Oprema*, Mašinski fakultet Kragujevac, ISBN 978-99938-39-20-0, 2008.
- [5] Dunderski I., Predavanja iz predmeta: *Motori i motorna vozila, Održavanje motora i motornih vozila*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd.
- [6] Robert BOSCH GmbH, *BEA 150/BEA 250/BEA 350*, Uputstvo za upotrebu, SRBIJA Robert Bosch d.o.o.
- [7] Grupa nemačkih autora, *Tehnika motornih vozila*, Hrvatska obrtnička komora i Pučko otvoreno učilište Zagreb, ISBN 953-6054-95-7, Zagreb, 2010.
- [8] Tomić M., *Oprema motora*, Mašinski fakultet Beograd, ISBN 86-7083-510-X, 2005.
- [9] Robert BOSCH GmbH, *Gasoline Engine Management*, 3<sup>rd</sup> Edition, ISBN-13: 978-0470057575 2006.
- [10] Robert BOSCH GmbH, *Automotive Handbook*, 7<sup>th</sup> Edition, ISBN 13: 9780470519363, 2007.
- [11] Program: *BOSCH ESI[tronic] 2.0*.
- [12] Matijević V., Predavanja iz predmeta: *Senzori i aktuatori, Elektronski sistemi paljenja i ubrizgavanja*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd.
- [13] Jožef Dekanj, *Enciklopedija autoelektrike*, Građevinska knjiga, ISBN: 86-395-0480-6, Beograd, 2006.
- [14] <http://www.autoshop101.com/>