

## Optimiranje motorjev - priprava motorja za elektronsko krmiljenje vbrizgavanja

### Optimisation of Engines - Preparation of an Engine for Electronic Injection Control

Jurij Avsec - Milan Marčič

*Prispevek obravnava proces optimiranja sedanjih motorjev in priprave podatkov za prihodnja elektronska krmiljenja vbrizgavanja goriva. Splošna usmeritev gre v razvoj visokotlačnega elektronskega vbrizgavanja s tlaki vbrizgavanja prek 1500 bar in s skrajšanjem časa vbrizgavanja.*

*Na tej podlagi smo izvedli raziskovalne meritve na dieselskem motorju. Meritve so bile izvedene v preskušališču z uporabo analizatorja, nabojnih ojačeval, dajala giba igle in tipal za merjenje tlakov. Z merilnimi inštrumenti smo izvedli meritve giba igle, tlakov vbrizgavanja v šobi, tlakov zgorevanja, nihanja tlakov v polnilnem in izpušnem kanalu v odvisnosti od kota zavrtitve ročične gredi, vrtilne hitrosti ročične gredi, kota prvega vbrizga in obremenitve motorja. Hkrati smo merili tudi porabo goriva, temperaturo valjev in mostičkov v motorju.*

*Z uporabo simulirnih programov smo nato izračunali temperaturo v valju motorja in druge nadzorne veličine. Težišče dela v prispevku je izvedba in opis celovitih meritev in optimiranje motorja ter priprava preglednic, diagramov, v katerih je razvidna optimalna nastavitvev motorja za posamezne obratovalne režime. S tako pripravljenimi podatki se lahko nato lotimo postopka uvajanja elektronskega krmiljenja vbrizgavanja goriva.*

© 1999 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: motorji dieselski, vbrizgavanje goriva, regulacija elektronska, optimiranje motorjev)**

*This paper deals with the optimisation of existing engines and the compilation of data to allow future electronic control of fuel injection. The general trend is toward the development of high-pressure electronic injection with injection pressures exceeding 1500 bar and with reduced injection timing.*

*We based our research of a Diesel engine on the above assumptions. The measurements were undertaken on an engine tester by means of an analyser, charge amplifiers, a needle lift transducer and pressure sensors. Using these instruments we measured the needle lift, injection pressures in the nozzle, combustion pressures, fluctuations of pressure in the charge and exhaust ducts in relation to the crankshaft angle, the number of revolutions of the crankshaft, the preinjection angle and engine loading. Moreover, we measured the fuel consumption, the temperature of cylinders and bridges in the engine.*

*We then calculated the temperature in the engine cylinder and other control characteristics using software developed for engine simulation. The research described here is focused primarily on the complex measurements and their description, as well as on the optimisation of the engine, along with the production of tables and diagrams illustrating an optimum engine adjustment to individual speeds. Thus, with the data obtained we could initiate the process of introducing electronic control of the fuel injection.*

© 1999 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: Diesel engine, injection process, electronic control, optimization)**

#### 0 UVOD

Razvoj novih dieselskih motorjev poteka predvsem v smeri manjše emisije izpušnih plinov, manjše porabe goriva, in zmanjšanja hrupa motorja. Zaradi velikih prednosti elektronskega krmiljenja dieselskega motorja (zelo občutljivo preverjanje vplivnih veličin, zelo hitra zmožnost obdelave podatkov, zelo dolga doba trajanja, hitro odkrivanje napak) pred mehanskimi sistemi, postaja elektronsko krmiljenje dieselskega motorja že skoraj realnost.

#### 0 INTRODUCTION

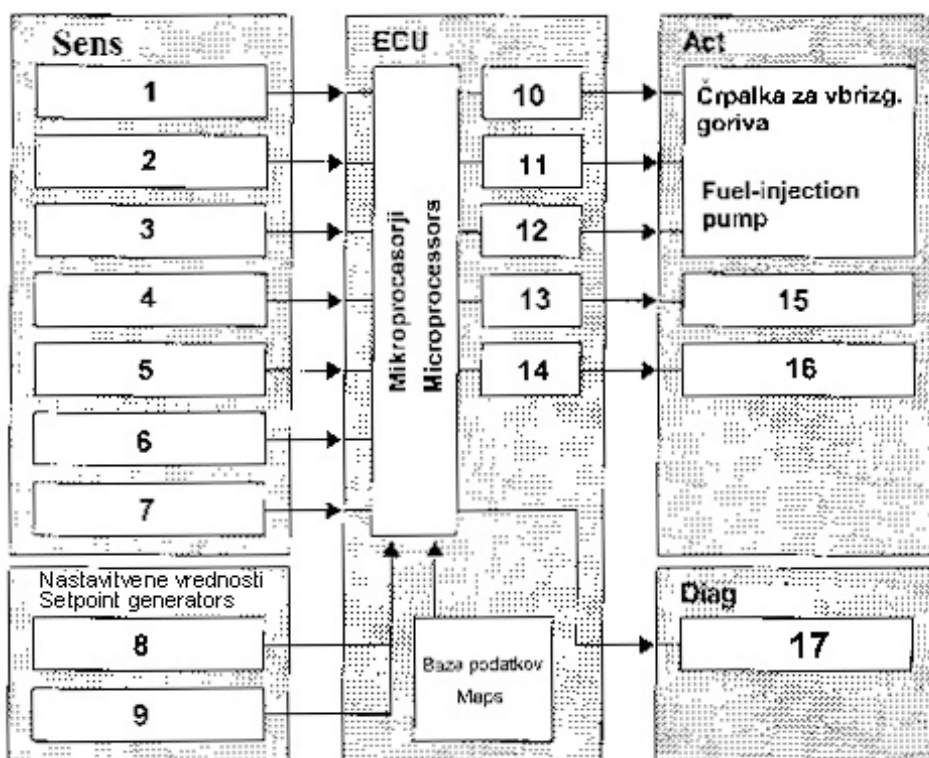
The development of new Diesel engines is directed primarily forward improving exhaust gas emission, lowering fuel consumption and reducing engine noise. Due to the great advantages of electronic Diesel engine control over mechanical systems (a very sensitive control of the main characteristics, rapid data processing, very long life, quick detection of failures, etc.), electronic Diesel engine control will soon become a reality.

Slika 1 prikazuje osnovno shemo elektronskega krmiljenja dieselskega motorja [1]. Elektronsko napravo lahko razdelimo v tri osnovne dele:

- a) **Zaznavala (Sens):** za spremljanje in merjenje delujočih vplivnih veličin. Z zaznavali se pomembne fizikalne veličine spreminjajo v električne signale.
- b) **Elektronska nadzorna enota (ECU)** obdeluje z uporabo mikroprocesorja izmerjene podatke in izračunava različne vplivne veličine z vgrajenimi računalniškimi programi. Pri tem ji pomaga **baza podatkov**, kjer so shranjeni podatki, ki so odločilnega pomena za delovanje motorja.
- c) **Izvršilniki (Act)** spreminjajo nato izhodne električne signale v mehanske veličine

Figure 1 shows the basic scheme of electronic Diesel engine control [1]. The electronic system consists of three main parts:

- a) **Sensors (Sens):** for control and measurement of major processes. By means of the sensors, physical processes are transformed into electronic signals.
- b) **Electronic control unit (ECU)** processes the measured data using a microprocessor and computes various major characteristics by means of integrated computer programs, assisted by a **database**, which contains the data vital for the operation of the engine.
- c) **Actuators (Act)** translate the electronic output into mechanical characteristics.



- |   |   |  |
|---|---|--|
| 1- Zaznavalo gibanja igle šobe<br>Needle-lift sensor                                  | 6- Zaznavala za merjenje hitrosti vozila<br>Vehicle-speed sensor                  | 12- Začetek vbrizgavanja<br>Start of injection                                   |
| 2- Zaznavalo za merjenje tempera-<br>ture<br>Temperature sensors                      | 7- Zaznavala za merjenje tlaka<br>okoljskega zraka<br>Atmospheric-pressure sensor | 13- Recirkulacija izpušnih plinov<br>Exhaust gas recirculation                   |
| 3- Zaznavalo za določanje zunanje<br>mrtve lege<br>Sensor for control collar position | 8- Zaznavala za pospeševanje<br>Accelerator sensor                                | 14- Kontrola starta motorja<br>Starting control                                  |
| 4- Zaznavalo za določanje<br>razmernika zrak - gorivo<br>Air-flow sensor              | 9- Zaznavala za merjenje dopustnih<br>hitrosti<br>Speed selection lever           | 15- Pretvornik z ventilom za recirk.<br>izp. plinov<br>Transducer with EGR valve |
| 5- Zaznavalo za merjenje hitrosti<br>motorja<br>Engine-speed sensor                   | 10- Vbrizgana količina goriva<br>Injected fuel quantity                           | 16- Naprava za hladni start<br>Glow control unit                                 |
|   | 11- Izkjučitev motorja<br>Engine shutoff  | 17- Diagnostični prikaz<br>Diagnosis display                                     |

Sl. 1. Osnovna shema elektronskega krmiljenja dieselskega motorja  
Fig. 1. Basic diagram of Diesel engine electronic control

## 1 PRIPRAVA BAZE PODATKOV

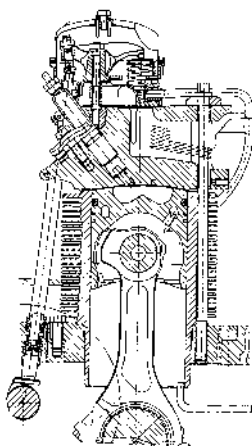
Baza podatkov je ena izmed najpomembnejših in najdražjih stopenj pri pripravi motorja za uvajanje elektronskega krmiljenja. V njej so zbrani vsi podatki o delovanju in potrebnih nastavitvah motorja za primer optimalnega obratovanja in so rezultat dolgotrajnih in sistematskih meritev.

V predstavljenem prispevku smo izvedli meritve na dieselskem motorju TAM BF6L515C. Osnovna shema motorja je predstavljena na sliki 2.

## 1 PREPARATION OF DATABASE

The database preparation is one of the most important and most expensive stages in the introduction of electronic control for the engine. It stores all data regarding performance and the necessary adjustments of the engine in order to ensure its optimum operation, and is a result of long-lasting and systematic measurements.

For this study, measurements were carried out on the TAM BF6L515C Diesel engine. Figure 2 illustrates the basic schematic drawing of the engine.



Sl. 2. Motor TAM BF6L515C  
Fig. 2. TAM BF6L515C engine

Za motor BF6L 515C smo izvedli raziskovalne meritve na preskušališču z uporabo procesne naprave PUMA 4, s katero je mogoče merjenje povprečnih vrednosti, ter z uporabo digitalnega analizatorja (sl. 3), s katerim lahko merimo trenutne vrednosti v odvisnosti od kota ročične gredi. Vse meritve so bile izvedene v odvisnosti od obremenitve motorja, števila obratov in statičnega kota predvbrizga. Poudariti je treba, da so vse meritve narejene brez krmilnika kota predvbrizga. S procesno napravo PUMA 4 smo merili naslednje vplivne parametre:

- moment na motorju, dejansko moč, specifično porabo goriva,
- temperature valjev, mostičkov, polnilnega zraka, izpušnih plinov,
- tlake v polnilnem kanalu, za hladilnikom polnilnega zraka,
- emisije izpušnih plinov ( $\text{NO}_x$ , saj,  $\text{CO}_2$ ), razmernika zraka,
- masne pretoke goriva, zraka itn.

Raziskovalne meritve, ki so bile opravljene z analizatorjem, so prikazane na sliki 3 in so obsegale meritve:

- tlak na izhodu iz tlačilke, tlaka na izstopu iz visokotlačne cevi, tlak zgorevanja, tlake v izpušnem zbiralniku, tlake v polnilnem sistemu,
- dvig igle  $h_i$ .

The measurements of the BF6L 515C engine were carried out on an engine tester by means of the PUMA 4 processing unit, which allows measurement of average values, and by means of a digital analyser (Fig. 3), designed for measuring current values in relation to the crankshaft angle. All measurements were made in relation to the engine loading, number of revolutions and static preinjection angle. What needs to be emphasized is that all of the measurements were made without control of the preinjection angle. By means of the PUMA 4 processing unit we measured the following major parameters:

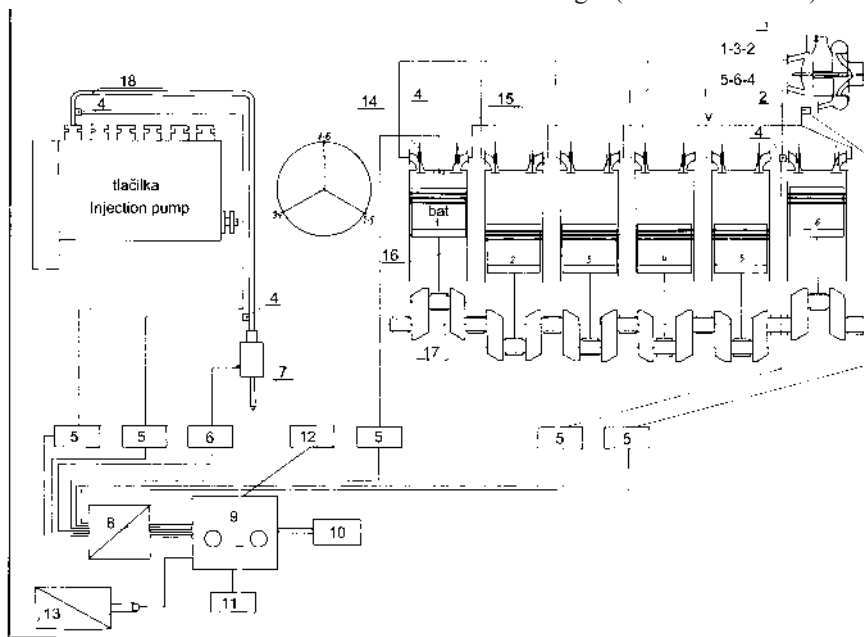
- engine torque, effective power output, specific fuel consumption,
- temperature of cylinders, bridges, charge air, exhaust gases,
- pressures in the charging duct, behind the charge air cooler,
- emission of exhaust gases ( $\text{NO}_x$ , soot,  $\text{CO}_2$ ), air-fuel ratio,
- mass flows of fuel, air etc.

The measurements made by means of the analyser are shown in Figure 3 and include the following:

- pressure at the outlet from the pump, pressure at the outlet from the high-pressure pipe, combustion pressure, exhaust manifold pressure, charge system pressure,
- needle lift  $h_i$ .

Vse signale smo vodili na analogno digitalni pretvornik, kjer se spremeni signal iz analogne v digitalno obliko. Te signale smo nato vodili v računalnik, kjer smo lahko analizirali izmerjene rezultate. Z uporabo izmerjenih vrednosti smo lahko nadalje tudi z lastnimi programi izračunavali fizikalne veličine, kakor so: temperatura v valju motorja, sproščena toplota, zakasnitev vžiga, odvod tlaka zgorevanja po kotu ročične gredi (hrup zgorevanja) in izkoristki.

All signals were fed to the analog-to-digital converter, where the signal is transformed from the analog to the digital form. These signals were then sent to the computer, where we could analyse the measured results. By means of the measured values we could subsequently, using our own programs, calculate physical characteristics such as temperature in the engine cylinder, released heat, ignition time lag, combustion pressure derivation in relation to the crankshaft angle (combustion noise) and efficiencies.



- |   |  |   |
|---|--|---|
| 1- Plinska turbina<br>Gas turbine                       | 7- Pretvornik dviga igle<br>Needle-lift transducer | 13- Optični kotni marker za določ.<br>zunanje mrtve lege<br>Optic trigger |
| 2- Piezouporovni dajalnik<br>Piezoresistive transducer  | 8- A/D pretvornik<br>A/D converter                 | 14- Izpušni ventil<br>Exhaust valve                                       |
| 3- Kompresor<br>Compressor                              | 9- Računalnik<br>Computer                          | 15- Polnilni ventil<br>Inlet valve  |
| 4- Piezoelektrični dajalnik<br>Piezoelectric transducer | 10- Risalnik<br>Plotter                            | 16- Ojnica<br>Shaft   |
| 5- Nabojni ojačevalnik<br>Charge amplifier              | 11- Terminal<br>Monitor                            | 17- Ročična gred<br>Crankshaft  |
| 6- Mostični ojačevalnik<br>Bridge amplifier             | 12- Shranjevanje podatkov<br>Data saving           | 18- Visokotlačna cev<br>High-pressure pipe                                |

Sl. 3. Načrt meritve z uporabo analizatorja  
Fig. 3. Diagram of measurements by means of the analyser

## 2 OMEJITVENI DEJAVNIKI

Zaradi vse ostrejših predpisov o onesnaženju okolja, hrupa in preostalih vplivnih dejavnikov smo po temeljiti analizi določili omejitvene vrednosti, do katerih je še dopustno obratovanje motorja na posameznih režimih:

temperatura izpušnih plinov	700°C
temperatura valjev	205°C
temperatura mostičkov	260°C
tlak zgorevanja	135 bar
emisija NO <sub>x</sub>	18 g/kWh

## 2 LIMITING FACTORS

Due to ever-stringent environmental protection, noise control regulations, and other important factors, we identified, after a thorough analysis, the limiting values up to which the operation of the engine at various speeds is still permitted:

temperature of exhaust gases	700°C
temperature of cylinders	205°C
temperature of bridges	260°C
combustion pressure	135 bar
NO <sub>x</sub> emission	18 g/kWh

emisija delcev 0,7 g/kWh  
odvod tlaka zgorevanja po kotu zavrtitve ročične gredi 8 bar/1°RG

Zahteve so postavljene zelo strogo. V primeru prekoračitve navedenih veličin bi bila nadaljnja meritev veličin na določenem režimu obratovanja nesmiselna in je treba nadaljnjo meritev ustaviti.

### 3 REZULTATI MERITEV

Za izdelavo baze podatkov in optimiranja motorja so rezultati predstavljeni s tridimenzionalnimi preglednicami. Iz njih je razvidna vrednost merjene veličine v odvisnosti od vrtilne frekvence  $n$  (1100, 1300, 1700, 2150 min<sup>-1</sup>), obremenitve motorja (25%, 50%, 75%, 100%) oz. srednjega dejanskega tlaka (4, 6, 8, 10, 12, 13.5, 14, 15 bar) in statičnega kota predvbrizga AP (14, 16, 18, 20, 22°). V predstavljenem članku so prikazane nekatere izmerjene vrednosti za emisijo dušikovih oksidov (preglednica 1), specifične porabe goriva (preglednica 2) in dimnih vrednosti (preglednica 3) ter nekatere izračunane vrednosti: zakasnitev vžiga (preglednica 4), dejanski izkoristek (preglednica 5) in največji tlaki v zgorevalni komori (preglednica 6). Slike 4, 5, 6 pa prikazujejo nekatere vplivne veličine pri vrtilni frekvenci ročične gredi 1300 min<sup>-1</sup>, ki so bile izmerjene z analizatorjem (tlaki zgorevanja, polnitve) ali pa so bile izračunane z uporabo lastnih računalniških programov (temperatura zgorevanja, sprostitve toplote).

S povečanjem kota predvbrizga se občutno povečuje emisija NO<sub>x</sub> v izpuhu. Vzrok za to je v povečanju zakasnitve vžiga ter s tem tudi povečanja količine goriva do pričetka zgorevanja. S tem je pripravljena za zgorevanje večja količina goriva. Sledi zgorevanje z veliko hitrostjo in visokimi temperaturami. Z zmanjšanjem kota predvbrizga pa se količina saj v izpuhu povečuje. Občutno se povečuje količina saj tudi s srednjim dejanskim tlakom zaradi naraščanja količine goriva.

Poraba goriva kaže pri manjši vrtilni frekvenci neobčutljivost na kot predvbrizga zaradi razmeroma dolgega časa za oblikovanje zmesi. Z višjimi srednjimi dejanskimi tlaki se poraba goriva zmanjšuje zaradi boljšega nastajanja mešanice zrak - gorivo. Dejanski izkoristek, ki je produkt mehanskega in indiciranega, je najvišji pri številu obratov ročične gredi 1300 min<sup>-1</sup>.

Z uporabo izmerjenih podatkov lahko nato optimiramo motor oziroma pripravimo bazo podatkov za optimalno delovanje motorja. Elektronsko krmiljenje omogoča spremenljivi kot predvbrizga. V našem primeru je treba zaradi emisije dušikovih oksidov nastaviti pri polni obremenitvi motorja zelo majhen kot predvbrizga (AP=14°) Pri nizkih (AP=18°) in delnih obremenitvah (AP=16°) pa je ugodneje nastaviti statični kot predvbrizga zaradi manjše porabe goriva in manjše emisije delcev.

particle emission 0.7 g/kWh  
derivation of combustion pressure in relation to crankshaft angle 8 bar/1°CS

The requirements are very strict. In case the indicated values are exceeded, any further measurement of the engine characteristics at a particular operating speed would be pointless, and therefore measurement must be stopped.

### 3 RESULTS

For the development of the database and optimisation of the engine the results are presented by means of three-dimensional tables. They show the value of the measured characteristics in relation to the number of revolutions  $n$  (1100, 1300, 1700, 2150 rpm), engine loading (25%, 50%, 75%, 100%) or mean effective pressure (4, 6, 8, 10, 12, 13.5, 14, 15 bar) and static preinjection angle AP (14, 16, 18, 20, 22°). In this paper some measured values are indicated regarding the emission of nitrogen oxides (Table 1), specific fuel consumption (Table 2) and smoke values (Table 3), as well as some calculated values of ignition time lag (Table 4), efficiency (Table 5) and maximum pressures in the combustion chamber (Table 6). Figures 4, 5, 6, on the other hand, contain some important characteristics measured by means of the analyser at 1300 rpm (combustion pressures, charging), or otherwise calculated by means of our own computer programs (combustion temperature, heat release).

At larger preinjection angles the NO<sub>x</sub> emissions in the exhaust increase substantially. The reason is an increased ignition time lag resulting in a larger quantity of fuel prior to the beginning of the combustion process. This means that a larger quantity of fuel is ready for combustion. What follows is rapid combustion at high temperatures. With a reduction in the preinjection angle the volume of soot in the exhaust increases. The quantity of soot also increases substantially at the mean effective pressure as a result of the increase in the fuel volume.

At low revolutions the fuel consumption shows insensitivity to preinjection angle due to a relatively long period of time for the formation of the air-fuel mixture. At higher mean effective pressures fuel consumption is reduced because of a better formation of the air-fuel mixture. The efficiency, a product of the mechanic and induced efficiency, is highest at 1300 rpm.

By means of the measured data we can then optimise the engine, i.e. prepare a database for optimum engine operation. The electronic control allows a variable preinjection angle. In our case a very low preinjection angle (AP=14°) must be adjusted at full engine loading due to the emission of nitrogen oxides. At low (AP=18°) and partial loads (AP=16°), however, it is more comfortable to set a static preinjection angle due to lower fuel consumption and lower particle emission.

Preglednica 1. Emisija dušikovih oksidov

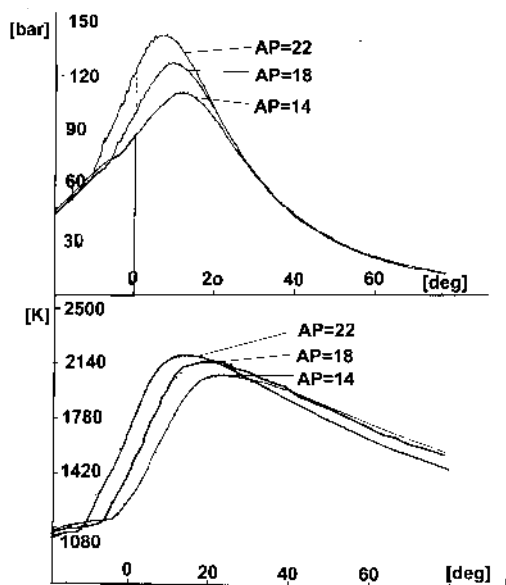
Table 1. Emission of nitrogen oxides

$n$ (min <sup>-1</sup> )	AP	NO <sub>x</sub> (g/kWh)							
		4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	12 bar	13 bar	14 bar	15 bar
1100	14°	10,93	11,75	12,10	12,33	11,68			
	16°	12,97	14,55	14,78	14,46	13,08			
	18°	15,66	18,17	18,26	17,88	16,77			
	20°	19,70	23,71	24,03	22,20	19,88			
	22°	22,92	26,96	26,07	24,20	21,08			
1300	14°	9,88	10,52	11,19	12,16	12,66		12,65	12,52
	16°	11,97	12,47	13,10	14,55	14,69		14,57	14,30
	18°	14,77	16,36	17,01	18,18	17,64		17,18	17,18
	20°	18,07	20,74	21,35	21,68	18,10		20,96	19,79
	22°	21,63	24,03	24,10	24,68	23,43		22,81	21,86
1700	14°	8,36	8,49	8,71	10,04	9,92	9,68		
	16°	8,82	9,95	10,32	11,54	11,93	11,75		
	18°	11,68	12,62	12,87	13,86	14,59	14,44		
	20°	13,88	15,45	15,62	17,71	17,38	17,26		
	22°	16,11	18,25	18,55	20,26	19,95	19,94		
2150	14°	6,24	8,04	8,30	9,14	8,57			
	16°	6,89	7,27	8,79	9,61	11,08			
	18°	10,24	11,52	12,23	13,16	13,09			
	20°	11,53	15,18	14,40	15,25	15,21			
	22°	13,79	15,30	16,68	16,86	18,11			

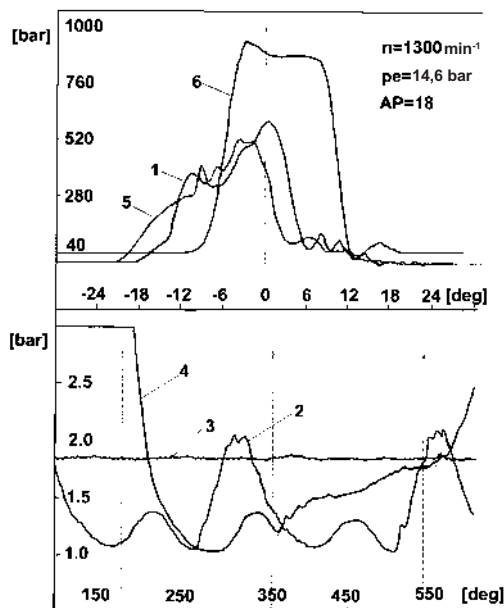
Preglednica 2. Specifična poraba goriva

Table 2. Specific fuel consumption

$n$ (min <sup>-1</sup> )	AP	BE (g/kWh)							
		4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	12 bar	13 bar	14 bar	15 bar
1100	14°	216,4	207,2	206,7	209,0	213,1			
	16°	218,1	209,2	205,8	206,6	211,8			
	18°	217,6	207,9	204,5	206,0	208,7			
	20°	219,5	205,8	201,8	203,4	210,7			
	22°	220,4	207,0	204,9	205,0	211,7			
1300	14°	220,5	209,2	203,5	202,5	200,4		202,9	204,7
	16°	220,9	209,8	202,3	199,0	199,5		201,0	201,6
	18°	220,3	207,0	201,9	199,6	199,9		198,6	199,5
	20°	220,4	205,3	200,7	198,5	197,7		198,0	198,8
	22°	222,2	206,2	201,4	198,6	198,3		198,8	198,6
1700	14°	230,0	215,8	212,0	207,3	205,8	206,1		
	16°	231,1	214,5	209,6	205,7	204,5	204,4		
	18°	230,1	213,8	208,0	204,0	201,7	201,8		
	20°	225,8	213,5	206,6	202,8	199,6	199,0		
	22°	230,0	213,4	206,6	203,1	200,2	198,0		
2150	14°	257,7	237,9	233,5	228,9	225,8			
	16°	256,9	240,7	229,2	225,9	222,1			
	18°	253,3	230,5	222,8	221,8	219,4			
	20°	247,0	227,5	221,4	217,7	215,4			
	22°	245,0	227,3	220,5	217,0	214,0			

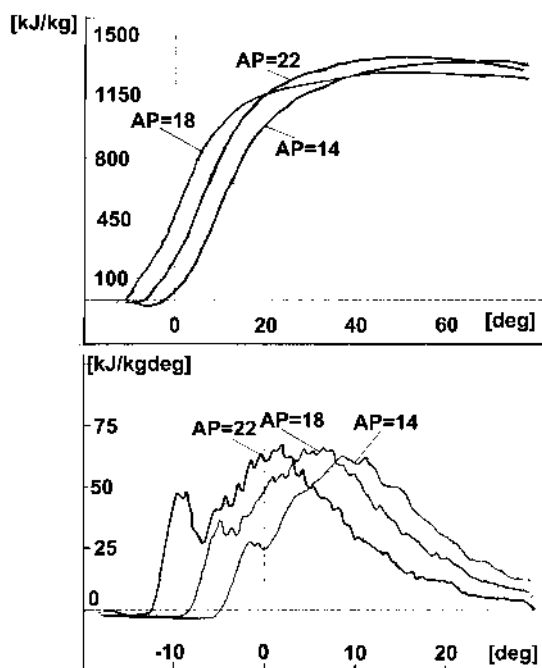


Sl. 4. Tlak in temperatura v zgorevalni komori v odvisnosti od statičnega kota predvbrizga pri  $n = 1300 \text{ min}^{-1}$  in  $p_e = 14,6 \text{ bar}$   
 Fig. 4. Pressure and temperature in the combustion chamber in relation to the static preinjection angle ( $n = 1300 \text{ rpm}$  and  $p_e = 14.6 \text{ bar}$ )



1 - tlak pri izstopu iz visokotlačne cevi, 2 - tlak v izpušnem zbiralniku, 3 - tlak polnitve, 4 - tlak zgorevanja, 5 - tlak na izstopu iz tlačilke, 6 - dvig igle  
 1 - pressure at the outlet from high-pressure pipe, 2 - pressure in exhaust manifold, 3 - charging pressure, 4 - combustion pressure, 5 - pressure at the outlet from pump, 6 - needle lift

Sl. 5. Meritev veličin v odvisnosti od kota zavrtitve ročišne gredi  
 Fig. 5. Measurement of characteristics in relation to crankshaft angle



Sl. 6. Sprostitev toplote in hitrost sprostitve toplote pri  $n=1300 \text{ min}^{-1}$  in  $p_e=14,6 \text{ bar}$   
 Fig. 6. Heat release and rate of heat release at  $n=1300 \text{ rpm}$  and  $p_e=14.6 \text{ bar}$

Preglednica 3. Emisija delcev

Table 3. Particle emission

$n$ (min <sup>-1</sup> )	emisija delcev (HRT) / particle emission (HRT)								
	AP	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	12 bar	13 bar	14 bar	15 bar
<b>1100</b>	14°	2,0	7,5	15	20	44			
	16°	1,5	4,0	10	17	34			
	18°	0,5	3,0	7	15	21			
	20°	0,5	4,1	7	12	18			
	22°	0,5	4,5	6	11,5	21			
<b>1300</b>	14°	1,5	6	11	11,5	15		18	20
	16°	1,5	10	8	9	14		13	14
	18°	0,5	4,2	4	7	9		12	11
	20°	0,5	4,5	5	5,2	10		11,6	11,5
	22°	0	4	5	4,5	7,5		12,1	12,3
<b>1700</b>	14°	2	2	5	7	11,5	13		
	16°	6	1,5	3	1,5	11	7		
	18°	1,5	1,5	2	3	5	6		
	20°	0,5	0,5	1,5	2	4	4,5		
	22°	0	0	0,5	1,5	2	4		
<b>2150</b>	14°	4	7,5	5	11	17			
	16°	2	3	4,5	10	11			
	18°	1,5	1,5	4		5			
	20°	1,5	2	3,5	6	5,5			
	22°	0,5	2	2	4,5	4			

Preglednica 4. Zakasnitev vžiga

Table 4. Ignition time delay

$n$ (min <sup>-1</sup> )	AP	zakasnitev vžiga (°) ignition time lag (°)			
		25%	50%	75%	100%
<b>1100</b>	14°	2,8	2,4	1,9	1,5
	18°	2,5	1,9	2,1	1,8
	22°	4,0	3,5	3,2	3,0
<b>1300</b>	14°	2,7	2,9	2,2	1,2
	18°	3,0	2,5	2,0	1,7
	22°	4,3	3,0	2,7	2,4
<b>2150</b>	14°	2,4	1,6	1,5	1,5
	18°	2,4	2,0	2,3	1,5
	22°	2,5	2,2	2,4	1,8

Preglednica 5. Dejanski izkoristek motorja

Table 5. Engine efficiency

$n$ (min <sup>-1</sup> )	AP	dejanski izkoristek motorja engine efficiency			
		25%	50%	75%	100%
<b>1100</b>	14°	0,352	0,401	0,407	0,389
	18°	0,357	0,403	0,408	0,400
	22°	0,350	0,400	0,407	0,410
<b>1300</b>	14°	0,372	0,404	0,415	0,406
	18°	0,370	0,409	0,420	0,416
	22°	0,366	0,410	0,421	0,419
<b>2150</b>	14°		0,350	0,360	0,366
	18°	0,308	0,366	0,375	0,381
	22°	0,304	0,369	0,388	0,395



Preglednica 6. *Najvišja temperatura zgorevanja*  
 Table 6. *Maximum combustion temperature*

<i>n</i> (rpm)	AP	najvišja temperatura zgorevanja [K] maximum combustion temperature [K]			
		25%	50%	75%	100%
<b>1100</b>	14 <sup>o</sup>	1380	1730	1950	2095
	18 <sup>o</sup>	1500	1760	2000	2140
	22 <sup>o</sup>	1600	1860	2100	2250
<b>1300</b>	14 <sup>o</sup>	1450	1760	2000	2120
	18 <sup>o</sup>	1550	1870	2080	2170
	22 <sup>o</sup>	1640	1890	2090	2200
<b>2150</b>	14 <sup>o</sup>	1360	1600	1730	1762
	18 <sup>o</sup>	1420	1610	1750	1860
	22 <sup>o</sup>	1510	1680	1770	1900

4 LITERATURA  
 4 REFERENCES

[1] Bosch, Diesel fuel injection, I izdaja, Robert Bosch GmbH, ISBN 1-56091-5420

Naslov avtorjev: dr. Jurij Avsec  
 prof.dr. Milan Marčič  
 Fakulteta za strojništvo  
 Univerze v Mariboru  
 Smetanova 17  
 2000 Maribor

Authors' Address: Dr. Jurij Avsec  
 Prof.Dr. Milan Marčič  
 Faculty of Mech. Engineering  
 University in Maribor  
 Smetanova 17  
 2000 Maribor, Slovenia

Prejeto: 6.10.1999  
 Received:

Sprejeto: 3.12.1999  
 Accepted: