

## ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

### *„Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива“*

#### **Аутори техничког решења**

- *Др Радивоје Пешић, ред. проф.,*
- *Мр Александар Давинић, асистент и*
- *Мр Драган Тарановић, асистент,*

#### **Наручилац техничког решења**

- Министарство за науку и технологију Републике Србије

#### **Корисник техничког решења**

- Пројекат: Развој новог мулти процесног ото/дизел мотора за ефикасно коришћење биодизела и етанола, ЕЕ 273001,

#### **Година када је техничко решење урађено**

- 2006.

#### **Област технике на коју се техничко решење односи**

- Техничко решење се односи на апарате и инструменте за научна испитивања у лабораторијама (Класа 9 из Међународне класификације роба и услуга).

## 1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Локално гледајући људи имају најдуже искуство у коришћењу био-сировина. Производи алкохолног врења спадају у природне феномене. Прва горива за моторе сус су била гасна, а од течних алкохолна. Без обзира на то први међународни ИСО стандарди о гасним и био-горивима су донети после 2000. године.

Код нас су усвојена два ЕУ стандарда који одобравају – а што је још важније прописују квалитет и методе тестирања– био горива. Први се односи на горива која ће се користити као додаци нафтним дизел горивима. Тај стандард, ЕН 14214:2003: је превод са енглеског на српски језик: *Automotive fuels — Fatty acid methyl ester (FAME) for diesel engines — Requirements and test methods*. Други стандард се односи на горива која ми зовемо лож уља. Он је идентичан са међународним стандардом ЕН 14213:2003: *Heating fuels-Fatty acid methyl esters (FAME)-Requirements and test methods*.

Ови европски стандарди добијају статус националних стандарда или објављивањем идентичног текста или одобравањем најкасније до јануара 2004. године, а противречни национални стандарди морају бити повучени најкасније до јануара 2004. године.

ЕУ стандарди утврђују захтеве и методе испитивања за метил естре масних киселина (FAME) који се испоручују тржишту или као гориво за моторна возила за дизел-моторе у концентрацији од 100% или као додатак гориву за моторна возила за дизел-моторе у складу са захтевима стандарда ЕН 590. У концентрацији од 100% се примењује као гориво које се употребљава у возилима са дизел-моторима која су конструисана или накнадно прилагођена да користе 100% FAME. Метил естри масних киселина су добијени из уља уљане репице и сунцокрета.

Истраживање и оптимирање радног процеса дизел мотора предпостављају познавање моторских карактеристика коришћеног горива, посебно његове самоупаљивости описане цетанским бројем (ЦБ). За разлику од њега постоји и Цетански индекс (ЦИ) који представља математичку процену Цетанског броја и због једноставности је постао веома популаран. Образац за прорачун се базира на две или четири променљиве (густина и поједине температуре дестилације). Развијен је само за нафтна горива (АСТМ Д 976 и АСТМ Д 4737) али не и за био-дизеле и друга алтернативна горива. Дакле, у случају примене горива добијених из био-маса, као и класичних горива са адитивима за побољшање самоупаљивости (т.з. цетански импрувери), једина опција за одређивање ЦБ је моторски метод.

## 2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Стандардни тест ИСО 5165 (АСТМ Д613), ДИН 51773 и слични захтевају примену специфичних, веома скувих, лабораторијских инсталација, тако да је релативно мали број институција акредитован за овај тест. *Лабораторија за моторе СУС и погонске материјале* Машинског факултета у Крагујевцу је усмерена ка

истраживању примене еколошки прихватљивих горива из делимично обновљивих извора [2, 5], па се јавила реална потреба за изналажење могућности за одређивање цетанског броја дизел горива. Анализа стандарда [3] и могућности наше лабораторијске опреме је дала охрабрујуће резултате, што је резултирало развојем специфичног лабораторијског постројења - моторске методе за одређивање карактеристика самоупаљивости класичних и био-горива.

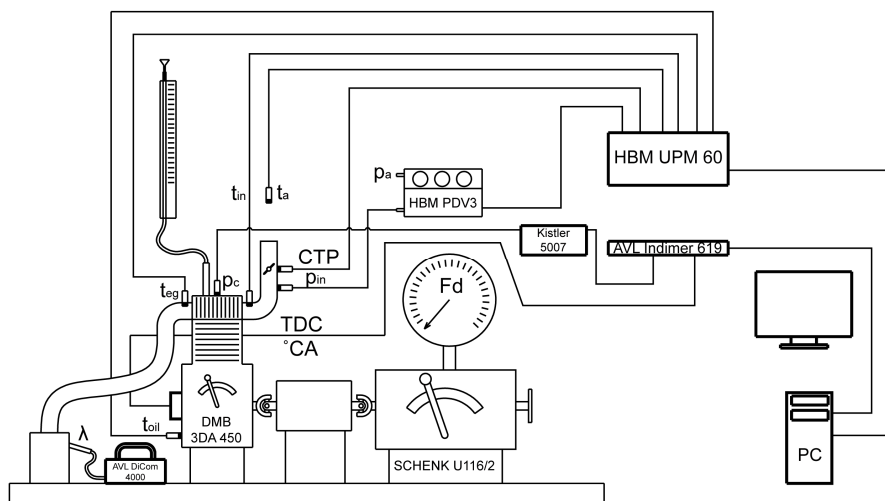
### 3. Суштина техничког решења

Цетански број (ЦБ, на сликама латиницом СВ или CN-*Cetane Number*) дизел горива се одређује поређењем његове карактеристике упаљивости са упаљивошћу референтних горива познатог цетанског броја, моторским тестом, под стандардним радним условима. Под карактеристиком упаљивости се тада подразумева период изостанка паљења. Практично, према стандарду ISO 5165, СВ испитиваног узорка се одређује интерполацијом између вредности два референтна горива познатог СВ, која имају нешто нижу (LRF), односно нешто вишу (HRF) вредност од самог узорка. Током теста се одржавају константним: број обртаја, потрошња горива, период изостанка паљења и термички параметри тест мотора. Променом геометријског степена сабијања (промена компресионе запремине) у цилиндру се обезбеђују такви услови, да је период изостанка паљења исти и за узорак и за референтна горива. Вредности очитане на скали уређаја за промену степена компресије се користе за линеарну интерполацију вредности СВ узорка.

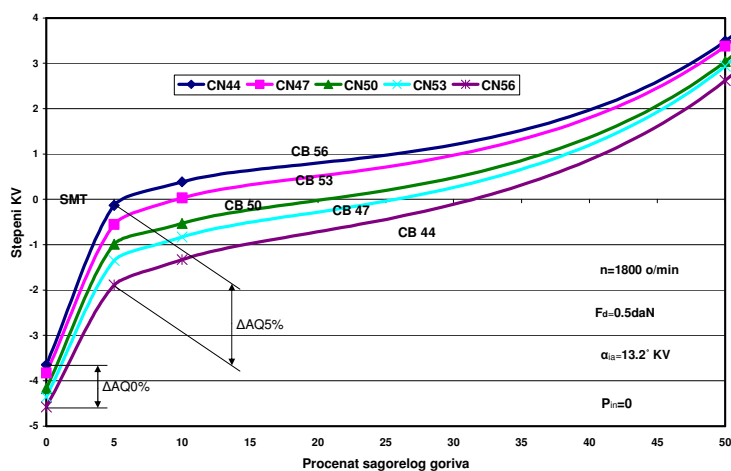
Ми користимо модификован серијски мотор ДМБ 3LD 450. То је једно цилиндарски, ваздухом хлађени дизел мотор са директним убризгавањем, опремљен свережимским регулатором и пригушним лептиром у усисном воду. Мотор се оптерећује хидрауличком кочницом. При свакој промени горива мотор се разгушује и доводи на исти т.з.в. *базни радни режим*. Услов константног периода изостанка паљења за горива различитих карактеристика упаљивости се постиже пригушењем у усисном воду мотора. При томе упаљење мора наступити у СМТ, а број обртаја остати не промењен чиме је остварен т.з.в. *референтни радни режим*. Цетански број испитиваног узорка се одређује интерполацијом вредности СВ референтних горива у функцији подпритиска у усисном воду, или релативног положаја пригушног лептира. Ово су главне разлике у односу на методологију стандарда ISO 5165. Остале процедуре, секвенце испитивања и начин израчунавања резултата су углавном исти.

### 4. Детаљан опис техничког решења

Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја, које је развијено у Лабораторији за моторе СУС на Машинском факултету у Крагујевцу приказано је на слици 1.



**Слика 1:** Схематски приказ побољшаног лабораторијског постројења за одређивање цетанског броја горива на Машинском факултету у Крагујевцу

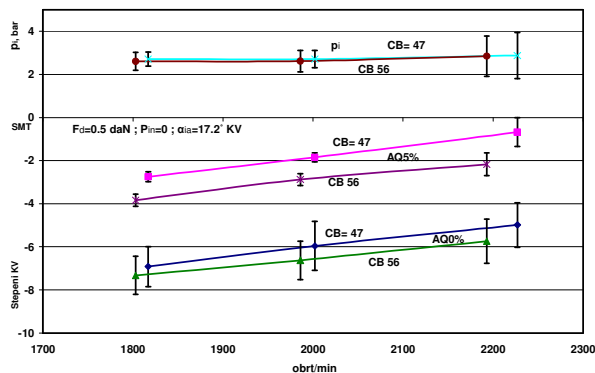


**Слика 2:** Утицај цетанског броја ( $CB=CN$ ) горива на закон сагоревања

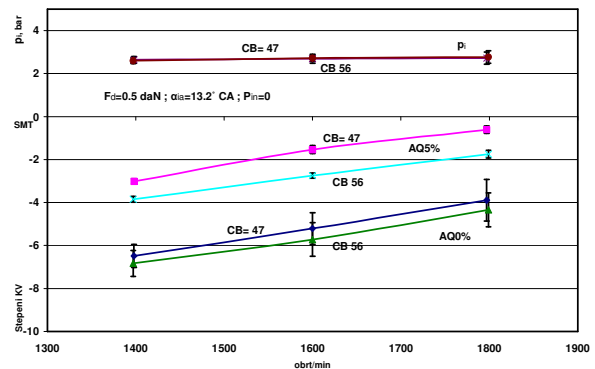
Период задршке упаљења је одређен тренутком почетка убризгавања са једне и тренутком паљења са друге стране. Почетак убризгавања се предходно подешава и константан је током испитивања.

За одређивање тренутка паљења користили смо индицирање цилиндарског притиска у домену угла коленастог вратила помоћу мерног система AVL INDIMER 619. На бази обраде резултата индицирања 50 узастопних циклуса, поред осталог, израчунавани су: средњи индикаторски притисак циклуса ( $p_i$ ), средњи индикаторски притисак високопритисног дела циклуса ( $p_{ih}$ ), средњи индикаторски притисак нископритисног дела циклуса ( $p_{il}$ ) и закон сагоревања. Добијене су и дискретне вредности положаја сагоревања одређених количина циклусне количине горива ( $AQ0\%$ ,  $AQ5\%$ ,  $AQ10\%$ ,  $AQ50\%$  и  $AQ90\%$ ). Све ове величине су дате са својим средњим вредностима и стандардним девијацијама.

Пре свега је изабран критеријум краја периода задршке упаљења. На слици 2 је приказан утицај цетанског броја горива на закон сагоревања, где се види да је опсег промене тренутка сагоревања 5% убризганог горива  $\Delta AQ5\%$ , двоструко већи од опсега промене почетка сагоревања  $\Delta AQ0\%$ . Исти закључак се може извести и из дијаграма приказаних на сликама 3 и 4, где је приказана зависност параметара  $AQ0\%$  и  $AQ5\%$  од броја обртаја за различите углове пред убризгавања. Такође је уочљиво да је стандардна девијација параметра  $AQ5\%$  знатно мања у односу на  $AQ0\%$ , поготову у случају мањег угла пред убризгавања. Овиме се показало да је параметар  $AQ5\%$  осетљивији и прецизнији, па је исти изабран за критеријум краја периода задршке упаљења.



**Слика 3:** Утицај броја обртаја на параметре сагоревања (фабричко подешавање  $\alpha_{ia}$ )



**Слика 4:** Утицај броја обртаја на параметре сагоревања (касније убризгавање)

Под базним радним режимом се подразумева комбинација броја обртаја  $n$  и оперећења не пригушеног ( $p_{in}=0$ ) мотора исказаног силом на динамометарској кочници  $F_d$ .

При избору базног радног режима мотора се водило рачуна о следећим критеријумима:

- циљани опсег тестирања цетанских бројева  $CB=47-56$ ,
- стабилан рад мотора са горивима из наведеног опсега,
- тренутак паљења горива са  $CB=47$  непосредно пре СМТ

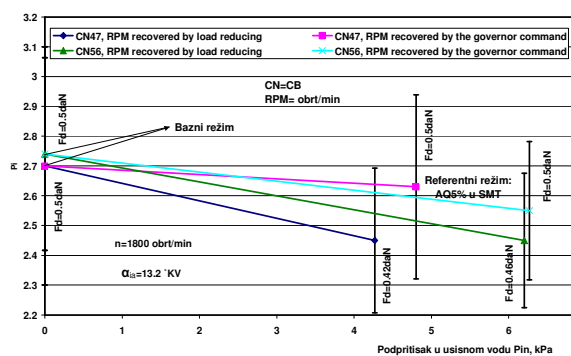
Избор броја обртаја базног радног режима је тесно повезан са углом пред убризгавања. Наиме, мотор 3LD 450 има фиксни угао пред убризгавања (подешен на  $\alpha_{ia}=17.2^\circ \text{ KV}$ ). На слици 3 се види да је у том случају оптимални број обртаја изнад 2200 о/мин, када мотор улази у мање стабилно радно подручје. Девијације параметра  $AQ5\%$  нагло расту, као и девијације средњег индикаторског рада. Знатно равномернији рад мотора се постиже подешавањем угла пред убризгавања на  $\alpha_{ia}=13.2^\circ \text{ KV}$ , када је оптимални број обртаја  $n=1800$  о/мин (слика 4).

Треба напоменути да средња вредност и стабилност броја обртаја радикално утичу на резултате теста, тако да се исти мора одржавати у што је могуће ужим границама. Ми смо током свих мерења постигли  $n=1800 \pm 8$  о/мин.

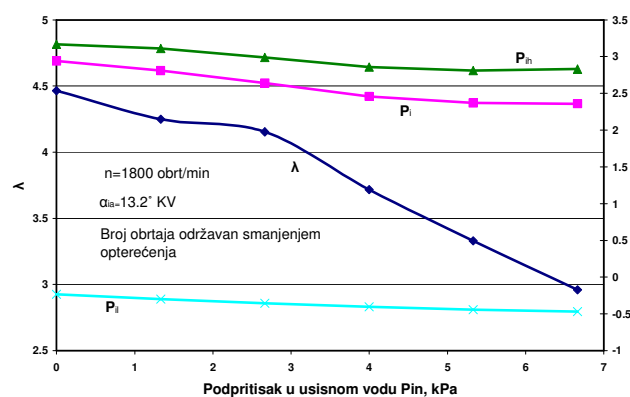
Оптерећење мотора на базном радном режиму је задато силом на кочници од  $F_d=0.5 \text{ daN}$ . Разлози су објашњени накнадно.

Референтни радни режим се постиже пригушивањем усисног вода мотора који је радио на базном радном режиму, док се тренутак сагоревања 5% убризганог горива не доведе у СМТ ( $AQ5\%=0$ ), при константном броју обртаја. Пошто се пригушивањем ремети радни процес мотора, неизбежно долази до пада броја обртаја. Све режимски регулатор у извесној мери компензује насталу промену по цену повећања циклусне количине горива. Постоје два начина да се број обртаја мотора врати на почетну вредност:

- кориговањем положаја команде регулатора ( $F_d=\text{const.}$ ) – **recovered by governer command**
- растерећењем мотора т.ј. смањењем силе на кочници  $F_d$  – **recovered by load reduction.**



Слика 5 Поредица различитих начина постизања референтног режима



Слика 6: Утицај подпритиска у усисном воду на коефицијент количине ваздуха  $\lambda$  и средњи индикаторски притисак  $p_i$

Са слике 5 се види да први начин остваривања референтног режима захтева јаче пригушивање. Због повећане количине убризганог горива пад средњег индикаторског притиска у односу на базни режим је веома мали, што значи да долази до обогаћивања смеше по оба основа.

Неизбежна последица остваривања референтног режима пригушивањем је знатна промена састава смеше (слика 6), праћена порастом количине заосталих продуката сагоревања. Како и у коликој мери то утиче на резултате теста за сада нам није познато. У сваком случају, ниско оптерећење базног радног режима, мања пригушења у референтном радном режиму и одржавање броја обртаја мотора растерећењем, умањују поменуте утицаје.

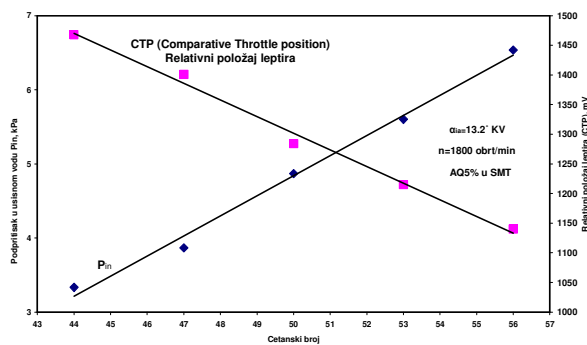
## Референтна горива

Референтна горива коришћена у тесту су добијена мешањем одређених запремина две базне компоненте (тзв. секундарних референтних горива): *T-fuel* (CB=67.3) и *U-*

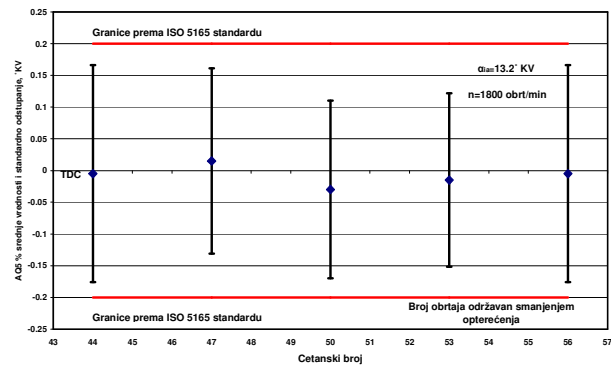
*fuel* (CB=29), сходно стандарду ISO 5165. Ова горива су добијена селекцијом фракција средњих нафтних дестилата.

### Калибрација теста који се спроводи у побољшаном лабораторијском постројењу

Калибрација теста је рађена са пет различитих мешавина горива (CB= 44, 47, 50, 53 и 56). Базни радни режим је задат са  $n=1800$  о/мин и  $Fd=0.5$  daN, а довођење у референтни радни режим се вршило растерећењем мотора. Том приликом су праћене промене два параметра: подпритиска у усисном воду  $p_{in}$  и релативног положаја пригушног лептира-СТР, што је приказано на слици 7. Уочава се да се оба параметра са променом CB горива мењају готово линеарно. Такође се може закључити да је тест довољно осетљив:  $\Delta p_{in}/\Delta CB=0.27$  kPa/CB<sub>јединици</sub>, односно  $\Delta STR/\Delta CB=28$  mV/ CB<sub>јединици</sub>.



**Слика 7:** Резултати калибрације параметара теста



**Слика 8:** Прецизност постављања параметра AQ5% на референтном режиму

На слици 8 су приказане средње вредности и стандардне девијације параметра AQ5% у свим референтним режимима, одакле се види да је крај задршке упаљења настајао у непосредној околини СМТ, унутар толерантног поља прописаног стандардом ISO 5165.

### Оцена прецизности побољшаног лабораторијског постројења

Ради оцене прецизности методе у побољшаном лабораторијском постројењу извршена је провера поновљивости резултата. Базни радни режим је постављен на  $n=1800$  о/мин,  $Fd=0.5$  daN, а довођење на референтни режим је вршено растерећењем мотора.

Изабрана су три горива познатог CB, и то: LRF (енгл. *low reference fuel*) са  $CB_{LRF}=47$ , S (енгл. *sample*) са  $CB_S=50$  и HRF (енгл. *high reference fuel*) са  $CB_{HRF}=53$ . Комплетна процедура теста је спроведена четири пута узастопно према табеларном приказу на слици 9.

<b>Podpritisak u usisnom vodu pin i relativni položaj leptira (CTP) su beleženi</b>																	
<b>HRF</b>		<b>2</b>	<b>4</b>			<b>8</b>	<b>10</b>		<b>12</b>		<b>14</b>				<b>18</b>	<b>20</b>	
<b>Sample</b>	<b>1</b>			<b>5</b>	<b>7</b>			<b>11</b>				<b>15</b>		<b>17</b>			<b>21</b>
<b>LRF</b>		<b>3</b>			<b>6</b>			<b>9</b>			<b>13</b>			<b>16</b>			<b>19</b>



**Слика 9:** *Схема испитивања за тест поновљивости одређивања цетанског броја у побољшаном лабораторијском постројењу*

Сваки пут је вршено израчунавање вредности  $CN_S$  према следећим интерполационим формулама:

- а) користећи параметар подпритиска у усисном воду (ознака  $CN$  – cetane number у једначинама и на сликама представља цетански број -  $CB$ )

$$CN_S = CN_{LRF} + \left( \frac{P_{inS} - P_{inLRF}}{P_{inHRF} - P_{inLRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF})$$

- б) користећи параметар релативног положаја пригушног лептира

$$CN_S = CN_{LRF} + \left( \frac{CTP_S - CTP_{LRF}}{CTP_{HRF} - CTP_{LRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF})$$

## 5 Литература

- [1] D. Gruden: *Ekološki razvoj – Predviđanja budućnosti automobilskih motora sa unutrašnjim sagorevanjem*, MVM'04. Naučno-stručni simpozijum u Kragujevcu, oktobar 2004.
- [2] R. Pešić, Docent D. Ješić, S. Veinović; *Pogonski materijali u budućoj poljo-privrdnoj mehanizaciji srbije*, PoMT' 2003 Novi Sad, 05.12.2003.
- [3] INTERNATIONAL STANDARD "Petroleum products-Determination of the ignition quality of diesel fuels – Cetane engine method", ISO 5165:1998(E), p. 1-15.
- [4] Jon Wan Gerpen: *Cetane Number Testing of Biodiesel*, Iowa States University, Ames, Iowa.
- [5] R. Pešić, S. Veinović: *Experimental Engines for research of fuels and lubricants*, Mobility & Vehicle Mechanics, International Journal for Vehicle Mechanics Engines and Transportation Systems, Volume 27 Number 1&2, March 2001, p. 33-41, ISSN 1450 – 5304
- [6] A. Davinić, R. Pešić, D. Ješić, S. Veinović: *Experimental determination of auto-ignition characteristics of alternative and classical fuels using the engine method*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2006, Proceeding on CD- ISBN 86-80581-95-X, MVM20060117, Kragujevac 4th-6th October 2006., p. 1-9.
- [7] Pešić Radivoje B., Davinić Aleksandar Lj., Veinović Stevan P., *New engine method for biodiesel cetane number testing*, Thermal Science, vol. 12, br. 1, str. 125-138, 2008.



Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр.01-1/1128-14 од 22.04.2010. године именовани смо за рецензенте техничког решења „*Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива*“ аутора др Радивоја Пешића, ред. проф., мр Александра Давинића, асистента и мр Драгана Тарановића, асистента.

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „*Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива*“ аутора др Радивоја Пешића, ред. проф., мр Александра Давинића, асистента и мр Драгана Тарановића, асистента, реализовано 2006 године, приказано је на 8 страница формата А4, писаних Cambria фонтом, 12р, једноструким проредом, садржи 9 слика. Састављено је следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже) и
5. Литература.

Техничко решење припада области апарати и инструменти за научна испитивања у лабораторијама (Класа 9 из Међународне класификације роба и услуга).

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту „Развој новог мулти процесног ото/дизел мотора за ефикасно коришћење биодизела и етанола, ЕЕ 273001“, Министарство за науку и технологију Републике Србије.

Основна полазна идеја за ово техничко решење прихваћена је и објављена у часописима *Mobility & Vehicle Mechanics*, *International Journal for Vehicle Mechanics Engines and Transportation Systems* и *Thermal Science*.

Примена предложеног техничког решења је остварена у лабораторији за моторе СУС на Машинском факултету у Крагујевцу. За коришћење овог техничког решења постоји интерес Рафинерија за производњу горива из Србије. за Рафинерију нафте из Панчева рађена су већ одговарајућа испитивања цетанског броја узорака нових дизел горива као и био дизел горива за „*Викторију оил*“.

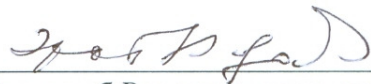
## МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења **„Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива“** су јасно приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења. Реализовано битно побољшано лабораторијско постројење користи савремене мерне уређаје који битно повећавају тачност одређивања цетанског броја горива. Аутори су вешто искористили предности једноставног експерименталног мотора, који су сами развили, и квалитетне савремене мерне инсталације за снимање и обраду индикаторских дијаграма мотора па су успешно направили битно побољшано лабораториско постројење за експериментално одређивање цетанског броја горива са нижим трошковима испитивања али са већом прецизношћу. Овим техничким унапређењем дат је и допринос даљем развоју биодизела у Србији јер је на њему, први пут у Србији, експериментално одређен цетански број биодизела произведеног у Србији. Са задовољством предлагемо да се техничко решење **„Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива“** прихвати као ново техничко решење из групе **БИТНО ПОБОЉШАНО ЛАБОРАТОРИЈСКО ПОСТРОЈЕЊА**.

08.06.2010., у Крагујевцу



Проф. др Мирслав Демић, дипл. инж.  
Члан Академије инжењерских наука Србије  
Академик Академије Транспорта Руске Федерације  
Академик Академије Квалитета Руске Федерације  
Члан Научног друштва Србије



Проф. др Драгољуб Радоњић, дипл. инж.



Универзитет у Крагујевцу  
Машински факултет у Крагујевцу  
Број : **ТР-48/2010**  
10. 06. 2010. године  
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

## О Д Л У К У

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења **„Побољшано лабораторијско постројење за одређивање цетанског броја горива“**, аутора **Др Радивоја Пешића, мр Александра Давинића и мр Драгана Тарановића.**

Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Мирослав Демић, ред. проф., Машински факултет Крагујевац**
2. **Др Драгољуб Радоњић, ред. проф., Машински факултет Крагујевац**

Достављено:  
Ауторима  
Архиви



ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Др Мирослав Бабић, ред. проф.