



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje  
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

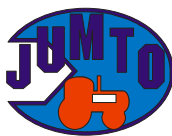
# TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE TRACTORS AND POWER MACHINES

UDK 631.372  
ISSN 0354-9496  
Godina 25  
Dec. 2020.



Novi Sad, Srbija

Trakt. i pog. maš., Trac. and pow. mach., Vol. 25, No. 1/2, p.1-90, Novi Sad, Dec. 2020.



***Naučno društvo za pogonske mašine, traktore i održavanje***  
***Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance***

Suizdavač – Copublisher

Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad  
 Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Novi Sad

Glavni urednik – Editor in chief

**Dr Milan Tomić**

Urednici - Editors

**Dr Lazar Savin**

**Dr Ratko Nikolić**

**Dr Mirko Simikić**

**Dr Radojka Gligorić**

Tehnički urednik - Technical Editor

**Dr Milan Tomić**

Tehnički sekretar - Technical Secretary

**Nevenka Žigić**

Uređivački savet - Editorial Committee

**Dr Ratko Nikolić, Novi Sad**

**Dr Lazar Savin, Novi Sad**

**Dr Milan Tomić, Novi Sad**

**Dr Mirko Simikić, Novi Sad**

**Dr Dragan Ružić, Novi Sad**

**Dr Radojka Gligorić, Novi Sad**

**Dr Ivan Klinar, Novi Sad**

**Dr Radivoje Pešić, Kragujevac**

**Dr Klara Jakovčević, Subotica**

**Dr Krešimir Čopce, Zagreb**

**Dr Laszlo Mago, Budapest, Mađarska**

**Dr Александр Пастухов, Белгород, Rusija**

**Dr Ľubomír Hujo, Nitra, Slovačka**

**Dr Hasan Silleli, Ankara, Turska**

**Dr Valentin Vladut, Rumunija**

Adresa – Address

**Poljoprivredni fakultet**

**Trg Dositeja Obradovića br. 8**

**Novi Sad, Srbija**

**Tel.: ++381(0)21 4853 391**

**Tel/Fax.: ++381(0)21 459 989**

**e-mail: milanto@polj.uns.ac.rs**

Časopis izlazi svaka tri meseca

Godišnja pretpлата za radne organizacije je 1500 din, za

Inostranstvo 5000 din a za individualne predplatnike 1000 din

Žiro račun: 340-4148-96 kod Erste banke

Rešenjem Ministarstva za informacije Republike Srbije, Br.651-115/97-03 od 10.02.1997.god., časopis je upisan u registar pod brojem 2310

Prema Mišljenju Ministarstva za nauku, Republike Srbije ovaj časopis je "PUBLIKACIJA OD POSEBNOG INTERESA ZA NAUKU"

Jurnal is published four times a year

Subscription price for organization is 40 EURO, for

foreign organization 80 EURO and individual

subscribes 15 EURO

Štampa – Printed by

Štamparija "Futura DOO Novi Sad", 21000 Novi Sad, Dr Nikole Krstića 8

Tiraž 100 primeraka



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje  
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

# TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

1/2

UDK 631.372

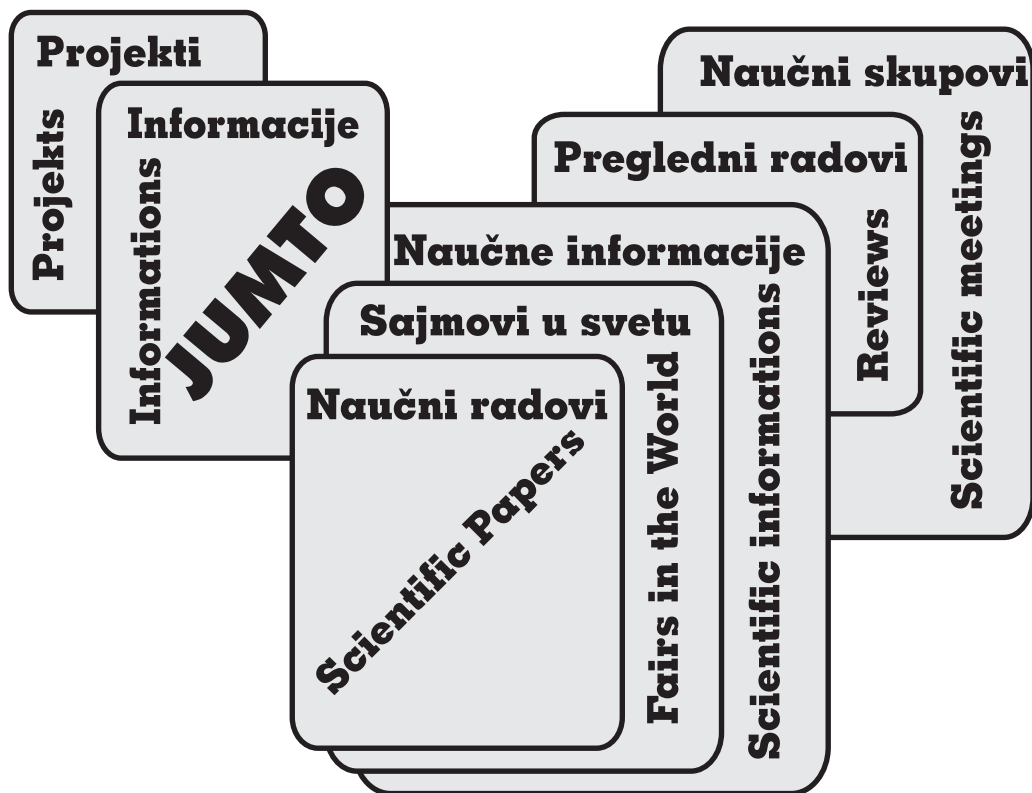
ISSN 0354-9496

Godina 25

Dec. 2020.

## TRACTORS AND POWER MACHINES

### SADRŽAJ - CONTENTS



Novi Sad, Srbija

## SADRŽAJ – CONTENTS

*Savin L., Simikić M., Tomić M., Tica N., Ivanišević M., Vejnović S.*

**ELEKTRIČNI TRAKTORI – STANJE, MOGUĆNOSTI RAZVOJA I PRIMENE  
ELECTRIC TRACTORS – SITUATION, POSSIBILITY OF DEVELOPMENT  
AND APPLICATION**

5

*Dorić J., Nikolić N., Feher D.*

**SIMULACIJA RADA MOTORA SUS VARIJABILNOG STEPENA  
KOMPRESIJE POGONJENOG NA TEČNI NAFTNI GAS  
LPG POWERED VARIABLE COMPRESSION RATIO IC ENGINE**

14

*Feher D., Dorić J., Nikolić N., Ružić D., Grujić I.*

**ANALIZA OPTEREĆENJA KLIPA MOTORA SUS PRIMENOM METODE  
KONAČNIH ELEMENATA**

**FINITE ELEMENT ANALYSIS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE  
PISTON USING MECHANICAL APPROACH**

20

*Feher D., Dorić J., Nikolić N., Stojanović N., Grujić I.*

**TOPLOTNA ANALIZA KLIPA DIZEL MOTORA IZRAĐENOG PRIMENOM  
KONVENCIJALNIH MATERIJALA**

**THERMAL ANALYSIS OF DIESEL ENGINE PISTON MADE OF  
CONVENTIONAL MATERIALS**

28

*Grujić, I., Stojanović, N., Dorić, J.*

**INVESTIGATION OF THE WORKING CYCLE OF THE NEW CONCEPTION  
OF IC ENGINE**

36

*Masoničić Z., Savić S., Pešić R.*

**ANALIZA EFEKATA PRIMENE AERODINAMIČKE MODIFIKACIJE  
USISNOG SISTEMA MOTORA SUS NA STRUJNU SLIKU**

**THE EFFECTS OF IC ENGINE INTAKE SYSTEM AERODYNAMIC  
MODIFICATION ONTO FLUID FLOW PATTERN**

42

*Nikolić N., Dorić J., Feher D.*

**UTICAJ GLAVNE KINEMATIČKE KARAKTERISTIKE NA OPTEREĆENJE  
GLAVNIH LEŽIŠTA KOLENASTOG VRATILA MOTORA SUS**

**IMPACT OF CONNECTING ROD RATIO ON IC ENGINE CRANKSHAFT  
BEARINGS LOAD**

51

*Vejnović S., Simikić M., Savin L., Tomić M.*

**VIRTUELNI TEST ZAŠTITNE STRUKTURE PREMA OECD PRAVILNIKU 4  
VIRTUAL TEST OF PROTECTIVE STRUCTURE IN ACCORDANCE WITH  
OECD CODE 4**

58

*Ružić D., Homa D., Simikić M., Vejnović S.*

**TEMPERATURA KABINA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA IZLOŽENIH  
ZRAČENJU SUNCA**

**TEMPERATURES OF CABS OF FARM TRACTORS EXPOSED TO SOLAR  
RADIATION**

66

*Krstić V., Krstić B., Božićković S.*

**MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA EKONOMIČNOSTI MOTORNIH VOZILA  
POSSIBILITY OF IMPROVEMENT THE MOTOR VEHICLES ECONOMY**

72

*Vasiljević S., Glišović J., Stojanović N., Grujić I.*

**MEHANIZAM HABANJA KOČNICA I NASTANAK ČESTICA  
BRAKE WEAR MECHANISM AND PARTICULATE FORMATION  
SADRŽAJ VOL. 24  
CONTENS VOL.24**

**80**

**89**

Štampanje ove publikacije pomoglo je:  
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

Biblid: 0354-9496(2020) 25:1/2, p. 42-50  
UDK: 631.3:621.825.6

Naučni rad  
Scientific paper

## ANALIZA EFEKATA PRIMENE AERODINAMIČKE MODIFIKACIJE USISNOG SISTEMA MOTORA SUS NA STRUJNU SLIKU

## THE EFFECTS OF IC ENGINE INTAKE SYSTEM AERODYNAMIC MODIFICATION ONTO FLUID FLOW PATTERN

Masoničić Z.<sup>1</sup>, Savić S.<sup>2</sup>, Pešić R.<sup>3</sup>

### REZIME

*U ovom radu prikazani su rezultati evolucije strujnog polja i prostorne distribucije kinetičke energije turbulencije tokom usisavanja i sabijanja u razmatranoj komori za sagorevanje motora. Takođe su razmatrani i efekti aerodinamičke modifikacije usisnog sistema. Tokom usisavanja strujnu sliku karakteriše kombinacija dva tipa organizovanog makro strujanja, vihorno strujanje i vrtlog prevrtanja usisne struje. U blizini UMT dolazi do promena koje uzrokuju sasvim drugačiju strujnu sliku tokom takta sabijanja. Efekti vihornog strujanja kao i istiskivanja struje koje se takođe može uočiti, polako slabe dok preovlađuje vrtlog prevrtanja usisne struje. Rezultati su dobijeni primenom višedimenzionalnog numeričkog modeliranja reaktivnog strujanja u geometrijskoj konfiguraciji motora SUS sa pokretnim granicama. Zanimljivi rezultati do kojih se došlo podstiču dalji nastavak istraživanja.*

**Ključne reči:** motor SUS, kompjuterska dinamika fluida, modeliranje turbulencije

### SUMMARY

*In this paper some results concerning the evolution of fluid flow pattern and kinetic energy of turbulence during induction and compression stroke in particular combustion chamber were elucidated. The effects of implemented aerodynamic modification of the intake system onto fluid flow pattern were tackled as well. During induction fluid flow pattern was characterized with the combination of two types of organized flows i.e. swirl and tumble. In the vicinity of BDC the deterioration of established fluid flow pattern takes place yielding the completely different fluid flow pattern during compression. The effects of swirl and squish motion, whose presence can be encountered as well, slowly attenuate and the effects of the tumble motion prevail. All results were obtained by dint of multidimensional modeling of reactive flows in*

<sup>1</sup> Masoničić Zoran, MsC, Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Department for IC engines and Vehicles, M. Petrovića Alasa 12-14, 11351 Belgrade, masonicz@vinca.rs

<sup>2</sup> Slobodan Savić, PhD, full professor, Faculty of Engineering University of Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Serbia, e-mail: ssavic@kg.ac.rs

<sup>3</sup> Pešić Radivoje, PhD, full professor, Faculty of Engineering University of Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Serbia, e-mail: pesicr@kg.ac.rs

*arbitrary geometry of IC engine combustion chamber with moving boundaries. Some interesting results emerged rendering impetus for further quest in the near future.*

**Keywords:** IC engines, computational fluid dynamics, turbulence modelling

## UVOD

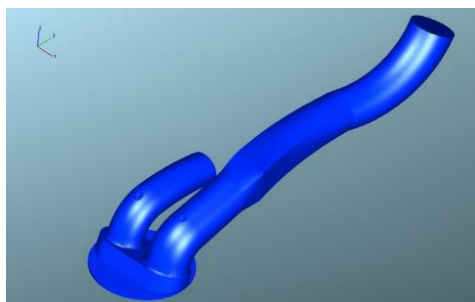
Rezultati prezentirani u ovom radu predstavljaju samo jedan segment znatno šireg istraživanja uticaja geometrije usisnog sistema oto motora na različite oblike makro strujanja tokom taktova usisavanja i kompresije kao i njihov krajnji efekat na strujnu sliku kao i oblik i brzinu prostiranja fronta plamena. Mnogobrojnim istraživanjima [1, 2] je utvrđeno da geometrijski sklop usisni vod-usisni ventil kao i vreme otvaranja usisnog ventila imaju velike važnosti na strujnu sliku naročito tokom rane faze takta usisavanja. Strujna slika, već tokom ovog perioda, je veoma kompleksna i sastoji se od niza vrtloga bitno različitih dimenzija i strukture. Tokom prve polovine takta usisavanja veličina ovih vrtloga se menja, u određenoj srazmeri, proporcionalno kretanju klipa [1] što je ujedno i glavni razlog zbog koga analiza strujanja na bazi aproksimacije sa stacionarnim strujanjem daje loše rezultate. Istraživanja [1, 2, 3, 4] su takođe pokazala da turbulencija generisana tokom takta usisavanja kao posledica konzervacije energije usisne struje, tokom kompresije veoma brzo atenuira što može imati negativnih efekata na odvijanje daljih procesa među kojima se naročito ističe sagorevanje. Upravo na bazi ovih zaključaka prepoznata je ideja tj. mogućnost da se indukovanjem određenih vidova strujanja pojava atenuacije kao i negativni efekti koje ona donosi supresira. Osnovna ideja se, suštinski, bazira na pokušaju da se određenim vidovima organizovanih strujanja unutar turbulencije, tzv. koherentnim strujanjima, inkapsulira određeni moment kretanja usisne struje. Pri tome, od suštinske je važnosti indukovati one vidove koherentnog strujanja koji su u razmatranoj geometriji cilindarskog prostora dominantni i koji u što manjoj meri disipiraju tokom kompresije čuvajući, na taj način, energiju turbulencije što duži vremenski period. Rezultati istraživanja jasno pokazuju da se, naročito kod usisnih sistema sa koso postavljenim ventilima, pravilnom modifikacijom geometrije usisnog sistema može postići optimalna kombinacija koherentnih strujanja koja će nadalje imati pozitivne efekte kako na odvijanje procesa sagorevanja (brže sagorevanje, kraće vreme formiranja inicijalnog fronta plamena) tako i celokupan rad motora (manja potrošnja goriva, bolja izduvna emisija). Međutim, potrebno je imati u vidu i činjenicu da loša kombinacija ili preveliki intenzitet određene vrste koherentnog strujanja može imati nepoželjnih efekata pre svega u vidu smanjenja koeficijenta punjenja kao i redukciji izlaznih parametara motora.

## GEOMETRIJSKI MODEL I METODOLOGIJA PRORAČUNA

Analiza strujnog polja i efekata aerodinamičke modifikacije usisnog sistema je bazirana na geometrijskoj konfiguraciji oto motora koja je prikazana na slikama 1÷4.

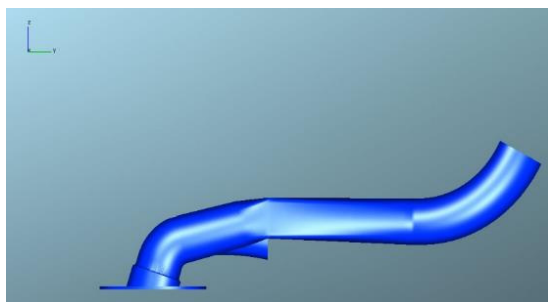
Sa prethodnih prikaza jasno se može uočiti da razmatrana modifikacija usisnog sistema podrazumeva postavljanje specijalno razvijenog deflektora u usisni sistem čime se postiže zatvaranje jedne polovine usisnog kanala. Pretpostavka je da se ovom modifikacijom usisnog sistema postiže bolje usrujavanje radne materije u cilindar motora tangencijalnog karaktera. Tangencijalni ulaz radne materije sa povećanom brzinom strujanja omogućava intenziviranje turbulencije naročito na niskim i srednjim brojevima obrtaja, kada je protok relativno mali. Intenziviranje turbulencije tokom takta usisavanja i kompresije za posledicu ima poboljšanja tokom procesa sagorevanja u vidu smanjenja perioda pritajenog sagorevanja i kvalitetnijeg odvijanja celog procesa uopšte kao i direktnog pozitivnog uticaja na izlazne karakteristike i izduvnu emisiju motora. Na visokim radnim režimima motora protok je znatno bolji te je tada

potrebno obezbediti, pre svega, što manje otpore u usisnom sistemu radi postizanja visokih vrednosti koeficijenta punjenja kao i izlaznih karakteristika motora (snaga, obrtni momenat i sl.). U tom slučaju deflektor se postavlja u otvoren položaj čime se postiže potpuno iskorišćenje kompletnog protočnog preseka usisnog kanala. U daljem tekstu, situacija koja se odnosi na slučaj otvorenog deflektora će biti označene sa *TO* dok će slučaj zatvorenog deflektora kada je jedna polovina usisnog kanala „zatvorena“ biti označena sa *TC*. Na osnovu datih aksonometrijskih prikaza jasno se uočava da je u pitanju konfiguracija oto motora sa ravnim čelom klipja, klinastom komorom za sagorevanje u glavi motora (engl. „pent roof“) i dva koso postavljena ventila. Osnovni geometrijski podaci razmatranog motora su dati u sledećoj tabeli.



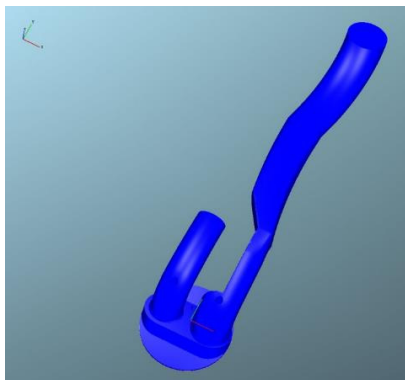
*Sl. 1. Perspektivni prikaz geometrijske konfiguracije komore za sagorevanje, bez modifikacije*

*Fig. 1. Perspective view of the combustion chamber geometry layout without modification*



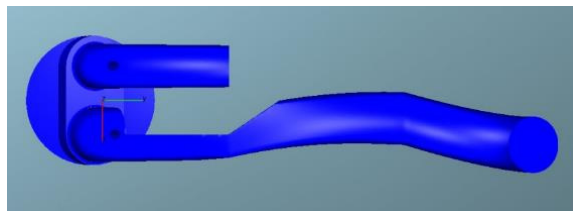
*Sl. 2. Bočni prikaz geometrijske konfiguracije komore za sagorevanje, bez modifikacije*

*Fig. 2. Side view of the combustion chamber geometry layout without modification*



*Sl. 3. Perspektivni prikaz geometrijske konfiguracije komore za sagorevanje sa implementiranom modifikacijom*

*Fig. 3. Perspective view of the combustion chamber geometry layout with implemented modification*



*Sl. 4. Gornji prikaz geometrijske konfiguracije komore za sagorevanje sa implementiranom modifikacijom*

*Fig. 4. Upper view of the combustion chamber geometry layout with implemented modification*

Analiza je sprovedena pri broju obrtaja motora od  $3300 \text{ min}^{-1}$ , i kvalitetu smeše  $\lambda=1$ . Imajući u vidu da su analize ovog tipa prvenstveno zbog eksplicitnog obuhvatanja geometrije strujnog prostora, inherentne višedimenzionalnom numeričkom modeliranju reaktivnog strujanja sasvim je prirodno što je takva tehnika i primenjena u ovom istraživanju. Proračun je obavljen primenom namenskog komercijalnog softverskog paketa *AVL FIRE* [5]. Iako su tehnike višedimenzionalnog numeričkog modeliranja prediktivnog tipa i zahtevaju samo definisanje inicijalnih i graničnih uslova ipak je njihova primena veoma komplikovana i podrazumeva čitav niz aproksimacija kao što su:

- ◆ 3D konzervacioni oblik jednačina koje opisuju nestacionarno turbulentno strujanje kompresibilnog fluida je rešen na relativno finoj kompjuterskoj mreži ( $5000.000-1200.000$  ćelija) u fizičkom domenu, primenom metode konačnih zapremina [6],
- ◆ turbulencija je modelirana primenom fenomenološkog  $k - \epsilon$  modela turbulencije,
- ◆ difuzija se ponaša po *Fick*-ovom zakonu,
- ◆ za sračunavanje tenzora napona i toplotnih flukseva primenjene su „zidne funkcije“ tj. granični uslovi su primenjeni u blizini a ne na samom zidu,
- ◆ za toplotne flukseve primenjena *Reynolds*-ova analogija.

## REZULTATI

U nastavku će biti prezentirani dobijeni numerički rezultati proračuna sprovedenog sa benzinom kao pogonskim gorivom. Prezentirani rezultati predstavljaju samo jedan, reprezentativan, deo od ukupno generisanih dijagrama (ukupno ih ima preko 1000). Evolucija strujnog polja data u obliku vektora brzina (tzv. strujna slika) kao i prostorna distribucija kinetičke energije turbulencija će biti date u dve osnovne presečne ravni:

- $y$ - $z$  ravan, tj. ravan preseka kroz usisni ventil,
- $x$ - $z$  ravan, tj. ravan preseka kroz usisni i izduvni ventil.

Na slikama 5 ÷ 8 je dato strujno polje na samom početku usisavanja,  $15^\circ$  KKV, za oba položaja deflektora.

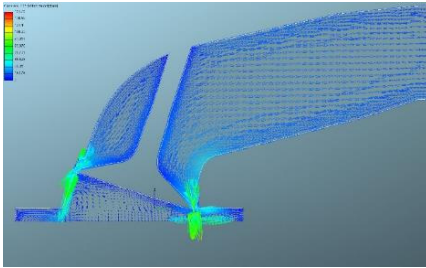
Kao što se može uočiti, usisna struja udara u čelo klipa, povija se i započinje stvaranje vrtloga oko  $y$  ose. Drugi deo usisne struje udara u zid cilindra što takođe indukuje stvaranje još jednog vrtloga oko iste ose. Osim toga, evidentan je i početak vihornog strujanja oko  $z$  ose kao i asimetričnost kompletne strujne slike. U slučaju zatvorenog deflektora jasno se uočava intenzivnije strujanje u zoni sedišta ventila ali i tokom cele usisne grane. Intenzivniji tangencijalni ulaz u cilindar za posledicu ima nešto izraženije vihorno strujanje oko  $z$  ose (eng. *squirl* vrtlog).

Uočeni trend se nastavlja i dalje kao što se može uočiti na slikama 9 ÷ 12 na kojima je prikazano strujno polje u svim presečnim ravnima na  $75^\circ$  KKV.

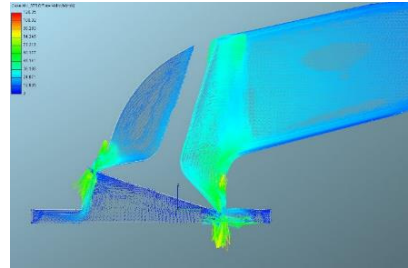
**Tab. 1. Osnovni konstruktivni podaci razmatranog motora**

**Tab. 1. Basic block data sheet of the engine considered**

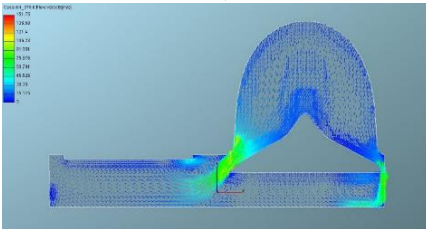
|                                                             |                  |
|-------------------------------------------------------------|------------------|
| Prečnik klipa                                               | 80,5 mm          |
| Hod klipa                                                   | 67,4 mm          |
| Dužina klipnjače                                            | 128,5 mm         |
| Zazor između čela klipa i cilindarske glave (“squish” zona) | 2,11 mm          |
| Stepen kompresije                                           | $\epsilon = 9,2$ |
| Broj ventila                                                | 2                |
| Maksimalna visina izdizanja usisnog ventila                 | 9,2 mm           |
| Maksimalna visina izdizanja izduvnog ventila                | 9,2 mm           |
| Ugao prepaljenja                                            | $16^\circ$ BTDC  |



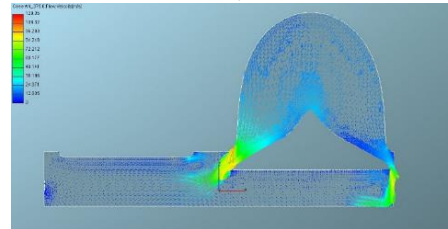
Sl. 5. Strujno polje u y-z ravni, 15° KKV, TO  
Fig. 5. Fluid flow pattern in y-z ravni, 15° ATDC, TO



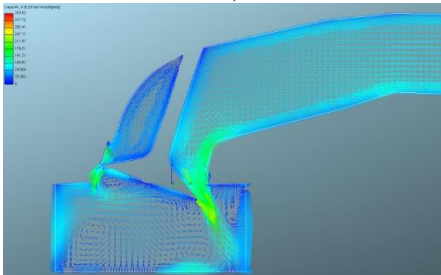
Sl. 6. Strujno polje u y-z ravni, 15° KKV, TC  
Fig. 6. Fluid flow pattern in y-z plane, 15° ATDC, TC



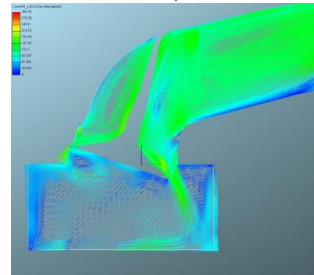
Sl. 7. Strujno polje u x-z ravni, 15° KKV, TO  
Fig. 7. Fluid flow pattern in x-z plane, 15° ATDC, TO



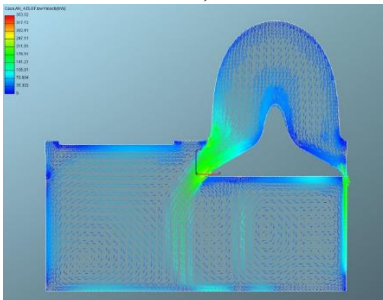
Sl. 8. Strujno polje u x-z ravni, 15° KKV, TC  
Fig. 8. Fluid flow pattern in x-z plane, 15° ATDC, TC



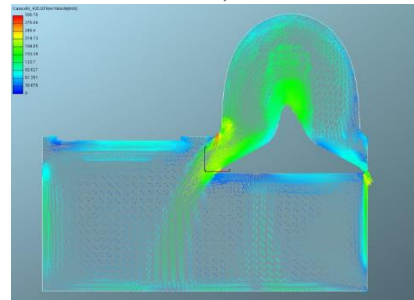
Sl. 9. Strujno polje u y-z ravni, 75° KKV, TO  
Fig. 9. Fluid flow pattern in y-z plane, 75° ATDC, TO



Sl. 10. Strujno polje u y-z ravni, 75° KKV, TC  
Fig. 10. Fluid flow pattern in y-z plane, 75° ATDC, TC



Sl. 11. Strujno polje u x-z ravni, 75° KKV, TO  
Fig. 11. Fluid flow pattern in x-z plane, 75° KKV, TO

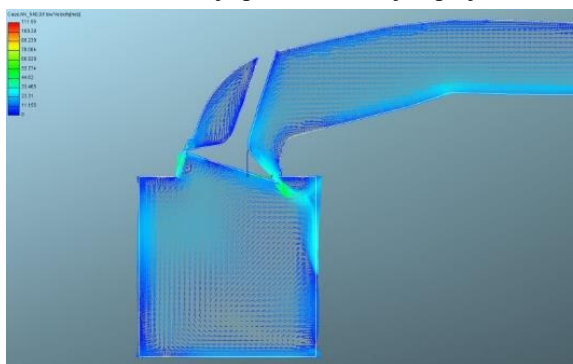


Sl. 12. Strujno polje u x-z ravni, 75° KKV, TC  
Fig. 12. Fluid flow pattern in x-z plane, 75° ATDC, TC

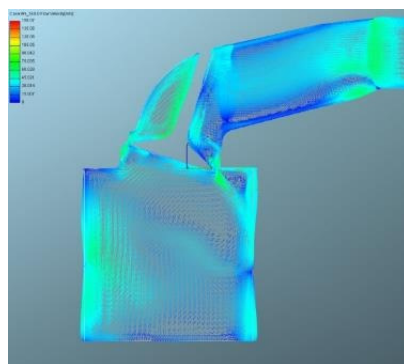
Daljim kretanjem klipa ka UMT i intenziviranjem strujanja dolazi do formiranja veoma komplikovane i u potpunosti trodimenzionalne strujne slike. U ovom trenutku jasno je uočljivo da postoji čak tri jasno razvijena vrtloga oko  $x$  ose i dva koja se tek javljaju, u slučaju otvorenog deflektora. U slučaju zatvorenog deflektora, zahvaljujući intenzivnijem strujanju na ulazu u cilindar, svih pet vrtloga je jasno uočljivo. U drugoj presečnoj ravni ( $x$ - $z$  ravni) uočavamo postojanje dva vrtloga oko  $y$  ose u zoni ispod usisnog ventila i jednim razvijenim vrtlogom u zoni ispod izduvnog ventila. U gornjem delu komore, između izduvnog ventila i zida cilindra uočava se postojanje još jednog, znatno manjeg vrtloga oko iste ose.

I u ovom slučaju, prisustvo deflektora i posledično, intenziviranje usisne struje je jasno uočljivo. Upravo vrtlog lociran u središnjem delu ispod usisnog ventila predstavlja začetak vrtloga koji će vršiti prevrtanje usisne struje (eng. *tumble* vrtlog).

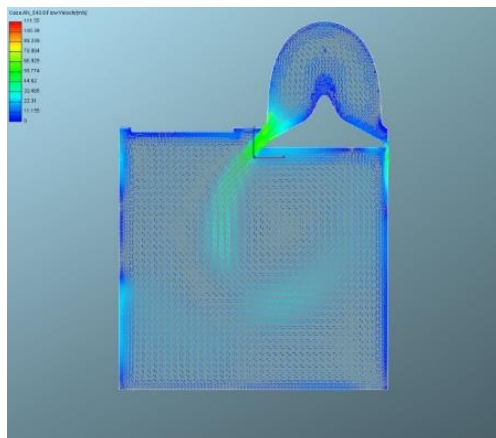
Na slikama 13 ÷ 16 je prikazano strujno polje na  $180^\circ$  KKV.



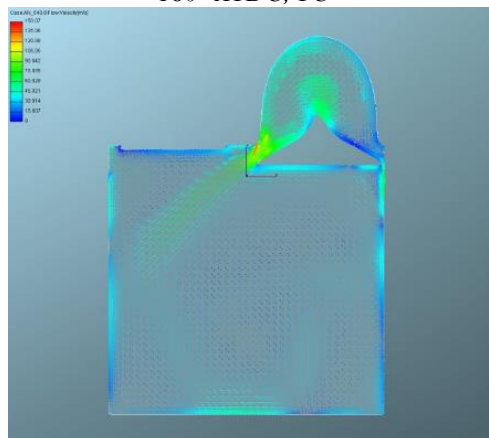
Sl. 13. Strujno polje u  $y$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  KKV, TO  
Fig. 13. Fluid flow pattern in  $y$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  ATDC, TO



Sl. 14. Strujno polje u  $y$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  KKV, TC  
Fig. 14. Fluid flow pattern in  $y$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  ATDC, TC



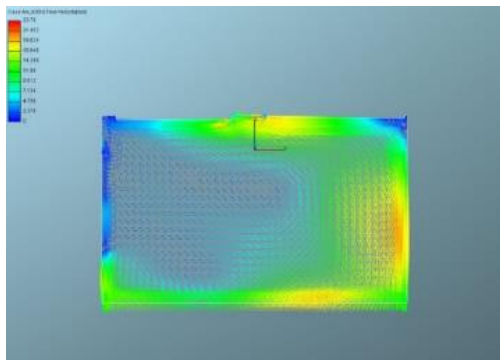
Sl. 15. Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  KKV, TO  
Fig. 15. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  ATDC, TO



Sl. 16. Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  KKV, TC  
Fig. 16. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  ravni,  $180^\circ$  ATDC, TC

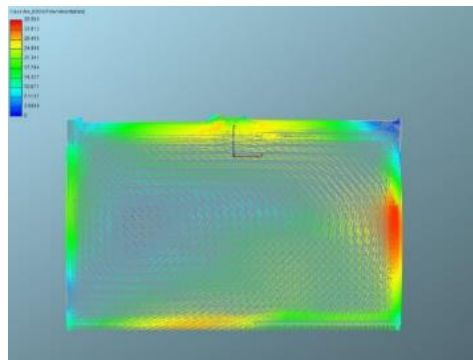
Elevacija usisne struje koja doprinosi jačanju vrtloga oko  $x$  ose ( $y$ - $z$  presečna ravan) dovodi do detencije vrtloga u gornjem desnom uglu komore i promenu njegovog smera (slike 13 i 14). U ovom trenutku jasno je uočljiv i razvijeni *tumble* vrtlog u  $x$ - $z$  presečnoj ravni u zoni ispod usisnog ventila. Dobijena strujna slika je u saglasnosti sa rezultatima navedenim u [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9]. Efekat deflektora je i dalje prisutan u obliku nešto intenzivnijeg strujanja, međutim, kvalitativne razlike u strujnoj slici ne postoje.

Na slikama 17 ÷ 18 je prikazano strujno polje tokom takta kompresije, na 270° KKV.



Sl. 17. Strujno polje u  $y$ - $z$  ravni, 270° KKV,  
TO

Fig. 17. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  plane, 270°  
ATDC, TO

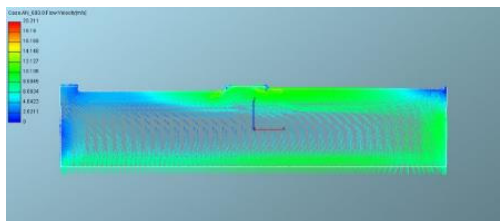


Sl. 18. Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni, 270° KKV,  
TC

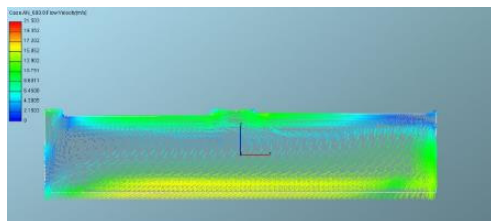
Fig. 18. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  plane, 270°  
ATDC, TC

Promena smera kretanja klipa nagore i zatvaranje usisnog ventila dovodi do drastične reorganizacije uspostavljene strujne slike. Logično je za očekivati da će doći do određenog slabljenja brzinskog polja usled gubitka usisne struje koja je, do tada, predstavljala glavni izvor produkcije turbulencije [1]. Primetno je izraženo konfliktno dejstvo *tumble* vrtloga sa ostalim vrtlozima, u  $x$ - $z$  presečnoj ravni, gde se uočava da povećanje njegovog intenziteta na račun manjih vrtloga koji bivaju potisnuti ka zidovima cilindra. Intenzivnija strujna slika sa zatvorenim deflektorom indikuje i pojavu trećeg oblika strujanja tj. radijalnog strujanja ka centru komore (tzv. *squish*), ali znatno manjeg intenziteta od prethodna dva. Ovo je sasvim logična situacija pošto je sama komora za sagorevanje koncipirana sa relativno malom zonom istiskivanja (tzv. *squish* zona) kada ovaj oblik strujanja nije dominantan

Na slikama 19 ÷ 20 je prikazano strujno polje u blizini SMT, na 330° KKV, dok je na slikama 21 ÷ 24 prikazana evolucija prostorne distribucije kinetičke energije turbulencije na 330° KKV i 360° KKV, respektivno.

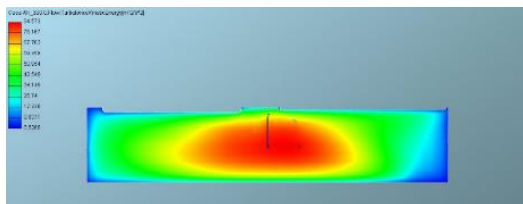


Sl. 19. Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni, 330° KKV, TO  
Fig. 19. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  plane, 330°  
ATDC, TO

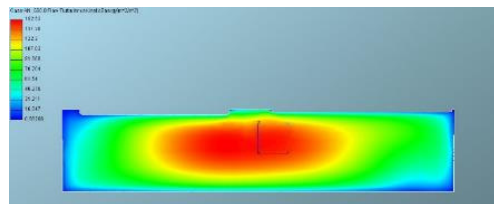


Sl. 20. Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni, 330° KKV, TC  
Fig. 20. Fluid flow pattern in  $x$ - $z$  plane, 330°  
ATDC, TC

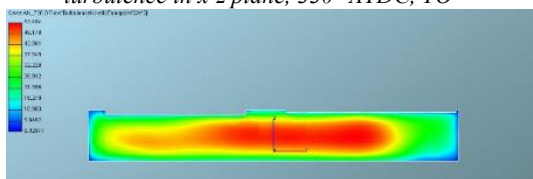
Uočava se da dobro оформljeni *tumble* vrtlog visokog intenziteta sada, praktično, zahvata celu komoru za sagorevanje i potpuno dominira strujnom slikom. Povećanje intenziteta *tumble* vrtloga je praćeno, praktično, potpunom destrukcijom svih ostalih vrtloga.



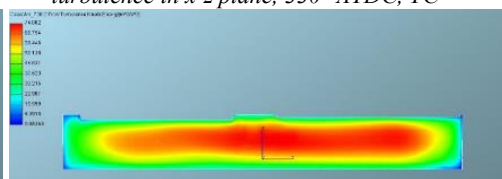
Sl. 21. Prostorna distribucija kinetičke energije turbulencije u x-z ravni, 330° KKV, TO  
Fig. 21. Spatial distribution of kinetic energy of turbulence in x-z plane, 330° ATDC, TO



Sl. 22. Prostorna distribucija kinetičke energije turbulencije u x-z ravni, 330° KKV, TC  
Fig. 22. Spatial distribution of kinetic energy of turbulence in x-z plane, 330° ATDC, TC



Sl. 23. Prostorna distribucija kinetičke energije turbulencije u x-z ravni, 360° KKV, TO  
Fig. 23. Spatial distribution of kinetic energy of turbulence in x-z plane, 360° ATDC, TO



Sl. 24. Prostorna distribucija kinetičke energije turbulencije u x-z ravni, 360° KKV, TC  
Fig. 24. Spatial distribution of kinetic energy of turbulence in x-z plane, 360° ATDC, TO

Iz teorije o turbulenciji [3] je poznato da vrtložno vlakno pod dejstvom kompresije smanjuje svoju dužinu i promovise kretanje na većoj dužinskoj skali tj. povećava rotacionu brzinu oko svoje ose. Ovaj efekat je poznatiji pod imenom „*spin up*“ efekat. Sa prethodnih dijagrama se jasno uočava intenzifikacija turbulencije koja je posledica raspadanja *tumble* vrtloga usled kompresionog dejstva čela klipa na njega.

Najšira zona na dijagramu potiče isključivo i jedino od *tumble* vrtloga, dok je nešto uža zona gde se uticaj *tumble* vrtloga superponira sa uticajem malih vrtloga. Zona sa najvećom kinetičkom energijom odgovara centru *tumble* vrtloga ali ujedno to je i zona gde postoji vrtloženje oko sve tri ose i gde je najintenzivnije. Približavanjem ka SMT lokacija maksimuma kinetičke energije turbulencije ostaje približno nepromenjena ali je zato jasno uočljivo povećanje zone sa visokim vrednostima kinetičke energije turbulencije, kao posledica „*spin up*“ teorije .

## ZAKLJUČAK

Rezultati prezentirani u ovom radu imaju za cilj bolje sagledavanje komplikovanih procesa koji se u motoru dešavaju. Detaljnijim upoznavanjem sa procesima i pojavama u motoru otvara se mogućnost za nove inovacije i poboljšanja. Već duže vreme je poznato da su određene vrste organizovanog makro strujanja od suštinske važnosti za odvijanje radnog procesa u motoru. Međutim, u zavisnosti od koncepcije motora, svaka od ovih vrsta ima manji ili veći uticaj na razmatrani motor.

Strujna slika u oto motoru tokom procesa usisavanja i kompresije je veoma kompleksna i u potpunosti trodimenzionalna. Tokom procesa usisavanja na strujnu sliku presudan uticaj ima geometrija usisnog sistema. Usisna struja tokom takta usisavanja predstavlja glavni izvor turbulencije. Takt usisavanja se završava zatvaranjem usisnog ventila i prekidom usisne struje

tako da nestaje i glavni izvor produkcije turbulencije. Uslovi na kraju takta usisavanja predstavljaju inicijalne uslove za nastavak takta sabijanja i oni reflektuju stanje na granici ventil-usisni vod. Tokom takta sabijanja evidentno je da uticaj ovih inicijalnih uslova postepeno opada a primarni uticaj na strujnu sliku polako preuzima geometrija strujnog prostora koja je sa jedne strane ograničena čelom klipa a sa druge komorom u cilindarskoj glavi. Postepenim približavanjem klipa gornjoj mrtvoj tački dolazi do drastične reorganizacije strujne slike.

Analizom efekata primenjene aerodinamičke modifikacije usisnog sistema nedvosmisleno se može zaključiti da vihorno strujanje, u konkretnom slučaju, ima sekundarni značaj dok je od primarne važnosti *tumble* vrtlog. Posledično, od bilo kakve modifikacije koja utiče na isključivo na intenziviranje vihornog strujanja ne mogu se očekivati neka značajnija poboljšanja.

U procesu inovacije, od esencijalne je važnosti prepoznati pravac u kome treba ići i gde treba tražiti mogućnosti za poboljšanjima. Primena savremenih tehnika modeliranja radnog procesa svakako predstavlja jedan od nezaobilaznih alata kako za definisanje pravaca istraživanja tako i za analizu efekata primenjenih modifikacija.

## ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je realizovano zahvaljujući podršci Ministarstva Nauke, Prosvete i Tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 14074, TR 35041 i OI 174014.

## REFERENCE

- [1.] Arcoumanis C, Whitelaw J. Fluid mechanics of internal combustion engines – a review. Proc. Instn. Mech. Engrs.; 1987; 201(C1);p. 57-74;
- [2.] Lumley J. Engines – An introduction. New York: Cambridge University Press; 1999;
- [3.] Hill P, Zang D. The effects of swirl and tumble on combustion in spark-ignited engines. 1994; Prog. Energy Combust. Sci.; 20; p. 373-429;
- [4.] Fulcher P. Summary: The effect of swirl and tumble on combustion in spark-ignition engines. 2015;
- [5.] AVL FIRE v2013.2 – CFD Solver v2013.2. Graz: AVL List GmbH; 2013;
- [6.] Ferziger J, Perić M. Computational Methods for Fluid Dynamics 3<sup>rd</sup> Edition. Berlin: Springer; 2002
- [7.] Falfari S, Brusiani F, Pelloni P. 3D CFD analysis of the influence of some geometrical engine parameters on small PFI engine performances – the effects on the tumble motion and the mean turbulent intensity distribution. 2014; Enery Procedia; 45; p. 701-710;
- [8.] Lee K, Lee C. Effects of tumble and swirl flows on turbulence scale near top dead centre in a four-valve spark ignition engine. 2003; Proc. Instn. Mech. Engrs.; 217(D); p. 607-615;
- [9.] Arcoumanis C, Bae C, Hu Z. Flow and Combustion in Four-Valve, Spark-Ignition Optical Engine. 1994; SAE Technical Paper 940475; p. 197-211;
- [10.] Pešić R, Petković S, Hnatko E, Stefanović R, Veinović S. Strategije pogona vozila i pogonskih materijala. 2018, Traktori i pogonske mašine; 23; p. 39-48; ISSN 0354-9496;
- [11.] Pešić R, Milojević S, Davinić A, Taranović D, Petković S, Hnatko E, Stefanović R, Veinović S. Uvođenje naučne ekologije u sve oblasti poljoprivredne mehanizacije. 2018, Traktori i pogonske mašine; 23; p. 49-60; ISSN 0354-9496

Rad primljen: 11.10.2020.

Rad prihvaćen: 19.10.2020.