

## **IZOLOVANI I SINERGIČKI EFEKTI MAKROSTRUJANJA NA SAGOREVANJE KOD BENZINSKIH MOTORA**

UDC: 621.45.02.001.57 : 681.3.06

### **Rezime:**

*U radu su prezentirani inicijalni rezultati izolovanog i kombinovanog efekta organizovanog radijalnog i usisnog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje oko y-ose, na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje kroz komoru za sagorevanje koja se sastoji od ravne glave sa dva vertikalna ventila i cilindrične komore u klipu. Rezultati dobijeni modifikovanom verzijom KIVA 3 programa, komparirani su sa rezultatima oblika fronta plamena i njegovog prostiranja za slučaj bez ventila, odnosno bez prisustva prevrtanja usisne struje oko y-ose. Radi lakše primene KIVA 3 programa, a radi poboljšanja njegove fleksibilnosti, primenjena su i dva druga kompjuterska programa, program AVL TYCON, namenjen za proračun dinamike ventila i program AVL BOOST, namenjen za sračunavanje radnog ciklusa motora zajedno sa 1.5D strujanjem kroz cevne prolaze. Prvi od ova dva programa iskorišćen je za sračunavanje krive podizanja ventila, a drugi za sračunavanje inicijalnih i graničnih uslova u regionu ventila. Može se zaključiti da su, za slučaj sa i bez ventila, za razmatrani oblik komore za sagorevanje, dobijeni potpuno različiti rezultati oblika fronta plamena i brzine njihovog prostiranja, što proističe iz potpuno različitih oblika strujanja u blizini SMT.*

*Ključne reči: benzinski motor, modeliranje sagorevanja, efekti strujanja, komora motora.*

---

## **ISOLATED AND SINERGIC EFFECTS OF ORGANIZED FLOWS ON COMBUSTION IN S. I. ENGINES**

### **Summary:**

*This paper presents some results concerning the interaction between squish and tumble and its effect on flame front shape and its displacement through the combustion chamber geometry of the s.i. engine consisting of a flat head with two vertical valves and the cylindrical bowl. These results obtained by the KIVA 3V code were compared with the results of the flame front shape and its displacement obtained for the case with no valves i.e. without tumble. In order to alleviate the application of the KIVA 3V code and to enhance its flexibility, two additional computer codes were applied as well, i.e. the AVL TYCON code intended for cam design calculations and calculations of the dynamic behavior of timing drives and gear transmission units and the AVL BOOST code intended for engine cycle calculations, including 1.5D fluid flow calculations through pipelines. The first code was used for the calculation of the valve lift curve while the other was used for the calculation of the relevant data set in valve regions. It was found that for particular combustion chamber shapes considered the entirely different flame front shapes and propagation velocities were encountered for these two cases ensuing primarily from the entirely different fluid flow patterns in the vicinity of TDC.*

*Key words: s.i. engine, combustion modelling, flow effect, motor chamber.*

## Uvod

Već duži niz godina poznato je da su različiti oblici organizovanog strujanja u komori motora od bitne važnosti za sagorevanje, posebno sa stanovišta oblika fronta plamena i njegovog prostiranja [1, 2]. Neki rezultati koji se odnose na sinergički efekat radijalnog i vihornog strujanja na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje već su analizirani [3, 9]. Međutim, izolovani ili kombinovani efekti trećeg tipa organizovanog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje oko y-ose na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje nisu u dovoljnoj meri analizirani, što jednim delom proističe iz nejednoznačnosti tumačenja termina „prevrtanje usisne struje oko y-ose“. Naime, uprkos činjenice da je prevrtanje usisne struje blisko vezano za četvoventilske motore [10] neki dvoventilski motori, takode, pokazuju slične karakteristike [4, 8]. Pored toga, jedan od razloga je i kompjuterska dinamika fluida sa svim teškoćama koje proističu iz 3D generisanja kompjuterske mreže realnih višecilindarskih motora i eksperimentalna verifikacija numeričkih rezultata. Radi toga je u ovom radu, kao deo šireg istraživanja uticaja variranja geometrije sklopa ventili-kanali i maksimalnog hoda ventila na parametre plamena, analiziran efekat kombinovanog dejstva radijalnog i usisnog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje, na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. Ovi rezultati komparirani su sa rezultatima oblika fronta plamena i njegovog prostiranja za slučaj bez modeliranja usisne struje (bez ventila) koji indicira izolovani efekat organizovanog radijalnog strujanja.

## Modeliranje sagorevanja

Analize ovog tipa su inherentne višedimenzionalnom numeričkom modeliranju reaktivnih strujanja u komplikovanoj

geometriji, tako da je logično što je takva tehnika i primenjena [5] za analizu efekata organizovanih oblika strujanja na parametre plamena, posebno zbog činjenice da je to jedina tehnika koja razmatra geometriju sklopa ventili-kanali na eksplicitan način. Uzimajući u obzir različite opcije u okviru [5], usvojene su sledeće pretpostavke:

- prostiranje plamena kontrolisano je turbulentnom difuzijom modeliranom pomoću standardnog k-ε modela turbulencije;

- hemijski aspekti su modelirani preko kvaziglobalne ireverzibilne reakcije oksidacije goriva ( $C_8H_{18}$ ) praćene sa dve grupe reakcija, tj. onih reakcija koje se odvijaju kinetički i onih za koje se smatra da su ravnotežne i koje redukuju izvorni član u jednačini energije;

- upaljenje nije modelirano već simulirano veštačkim podizanjem temperature u određenim ćelijama, ostvarenim putem vremenskog deponovanja energije u tim ćelijama;

- početak i trajanje deponovanja energije podešeno je u odnosu na lokaciju maksimalnog pritiska u cilindru motora, definisanu uz pomoć BOOST programa [7];

- za slučaj sa ventilima, relevantne vrednosti na otvorenim granicama takode su sračunate pomoću BOOST programa;

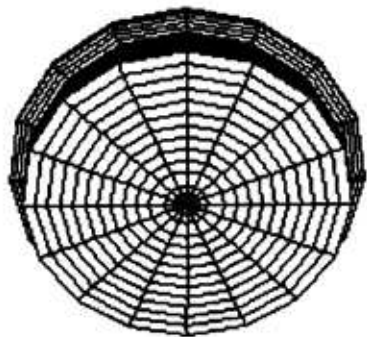
- krive podizanja ventila sračunate su pomoću programa TYCON [6], dok je početak otvaranja usisnog ventila definisan na osnovu serijskih kalkulacija sa programom BOOST [7].

## Rezultati istraživanja

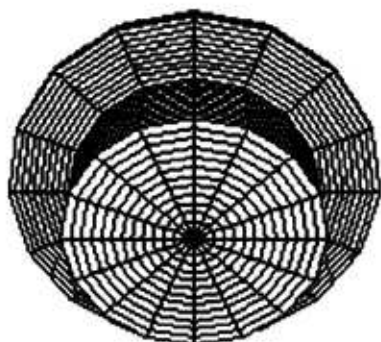
### *Izolovani efekat radijalnog strujanja*

Analiza izolovanog efekta radijalnog strujanja na oblik fronta plamena i nje-

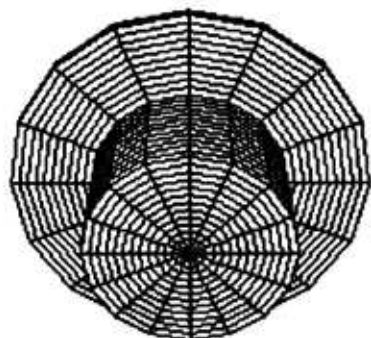
govo prostiranje ostvarena je putem variranja zone istiskivanja (SA) u opsegu od 23% do 63% u odnosu na površinu poprečnog preseka cilindra. Neke od analiziranih geometrija u formi perspektivnog izgleda, prikazane su na slikama 1, 2 i 3.



Sl. 1 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 23% (bez ventila)



Sl. 2 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 54% (bez ventila)



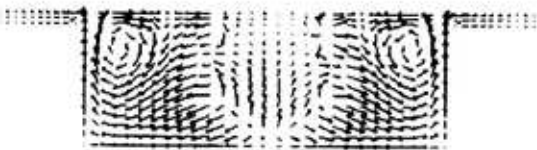
Sl. 3 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 63% (bez ventila)

Može se uočiti da je komora za sagorevanje u obliku cilindrične komore u klipu sa promenljivim prečnikom (u opsegu od 2,533, 2,806, 3,071, 3,34, 3,609) i dubinom (u opsegu od 1,383, 1,155, 0,9653, 0,815, 0,698). Ključni razlog za variranje oba parametra je osiguranje invarijantnosti stepena kompresije od 9,5. Dodatni set podataka je odnos prečnika i hoda klipa 8,25/9,2; ukupna zapremina 550 cm<sup>3</sup>, koeficijent punjenja  $\eta_v = 0,82$ ; kvalitet smeše  $\lambda = 1$  i broj obrtaja motora  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ . Strujno polje tokom kompresije je za svih pet razmatranih slučajeva sa različitim SA uglavnom kontrolisano kretanjem klipa i slično, sem u blizini SMT. Strujno polje reprezentovano u obliku vektora u x-z ravni, za slučaj SA = 23% prikazano je na slici 4.



Sl. 4 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na 9,78° KKV pre SMT (SA = 23%, bez ventila, ekstremni slučaj)

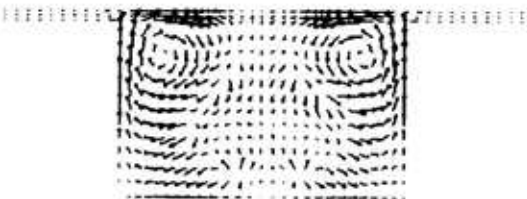
Može se videti da usled ustrujavanja fluida iz zone istiskivanja dolazi do formiranja prstenastog toroidalnog vrtloga oko ivice cilindrične komore u klipu (slika 4). Pod uticajem nailaska fronta plamena (veće brzine ispred fronta plamena) ovi vrtlozi redukuju svoju veličinu, tako da je generalno strujno polje kontrolisano prostiranjem plamena. Vrlo slična situacija dobija se i za SA = 34%. Nasuprot tome, za slučajeve sa SA = 44% i SA = 54% (slika 5) situacija je sasvim drugačija. Evidentno je da ne postoji mirna zona u komori, sem iza fronta plamena, što je posledica velikog oslobađanja toplote i, shodno tome, povećanja viskoziteta, što u nekim slučajevima do-



Sl. 5 – Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,01^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 54\%$ , bez ventila, realan slučaj)

vodi do relaminarizacije strujanja. Vrtložno strujanje oko perimetra komore u klipu izuzetno je dobro formirano i dovoljno snažno da može da dođe do fronta plamena, ali ne u meri u kojoj može da ugrozi njegovo prostiranje. Naime, dolazi do formiranja tzv. koincidirajućeg strujanja, odnosno do koalescencije brzina generisanih vrtložnim strujanjem i brzina ispred fronta plamena, što dovodi do osetnog povećanja brzine prostiranja plamena.

U slučaju sa  $SA = 63\%$  (slika 6) strujno polje i prostiranje plamena su pod apsolutnom dominacijom radijalnog strujanja, tj. radijalno strujanje kontroliše prostiranje plamena, što je u potpunoj suprotnosti sa slučajevima sa  $SA$  u opsegu od  $23\%$  do  $44\%$  gde plamen upravlja strujnom slikom. Vrtložno strujanje oko perimetra komore u klipu izuzetno je jako i penetrira ka  $z$ -osi u meri koja prouzrokuje zaustavljanje plamena, posebno u gornjem delu komore za sagorevanje. Interesantno je naglasiti da je u



Sl. 6 – Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 63\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

slučaju dominacije plamena maksimalna kinetička energija turbulencije skoncentrisana u centralnom delu komore, što predstavlja indicaciju zanemarljivog efekta radijalnog strujanja.

Prostiranje plamena kroz nesagorelu smešu predstavljeno je u obliku izokontura temperature u opsegu od minimuma do maksimuma, a za korespondentne  $SA$  slučajeve predstavljeno je na slikama 7, 8 i 9. Egzaktna lokacija fronta plamena nalazi se u zoni maksimalne gustine linija zbog identične temperaturske razlike između izokontura. Svećica je za svih pet slučajeva  $SA$  locirana na  $z$ -osi. Izuzimajući makrostrujanje, prostiranje plamena kroz nesagorelu smešu kontrolisano je turbulentnom difuzijom, odnosno visokim intenzitetom turbulencije i kaskadnim procesom cepanja velikih vrtloga u male, što je u skladu sa pretpostavkama  $k$ - $\epsilon$  modela turbulencije. U svakom slučaju, najmanje pet konfliktnih mehanizama koji deluju istovremeno [1, 2] od suštinske su važnosti za određivanje oblika fronta plamena i brzine njegovog prostiranja. To su, pored ostalog, samogenerišuća turbulencija usled prostiranja plamena, kompresija smeše ispred fronta plamena, povećanje viskoziteta iza fronta plamena, znak i veličina gradijenta gustine preko fronta plamena i efekat velikog oslobađanja toplote usled hemijskih reakcija.

Kao što se može videti sa slike 7, u slučaju sa nedovoljnim radijalnim strujanjem (dominacija plamena) front plamena je razvučen, brzina njegovog prosti-



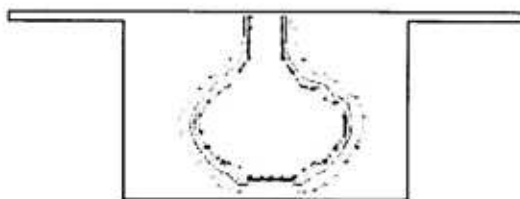
Sl. 7 – Prostorna distribucija izokontura temperature u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 23\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

ranja mala i u celini kontrolisana prethodno navedenim mehanizmima. U slučaju sa  $SA = 54\%$ , prikazanom na slici 8, evidentan je efekat makrostrujanja.

Front plamena je skoro sferičan i propagira brže nego u prethodnom slučaju. Veće brzine ispred fronta plamena koincidiraju sa vrtložnim strujanjem oko perimetra komore u klipu, i doprinose povećanju brzine prostiranja plamena.



Sl. 8 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 54\%$ , realan slučaj)

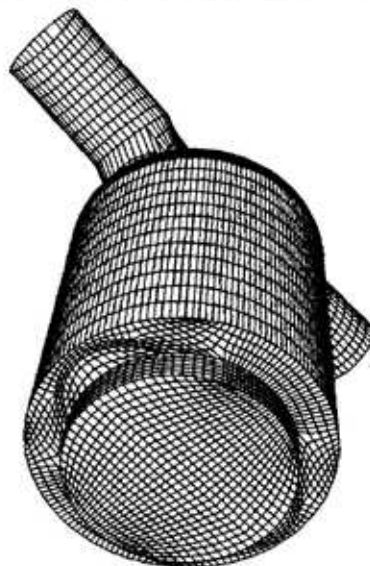


Sl. 9 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 63\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

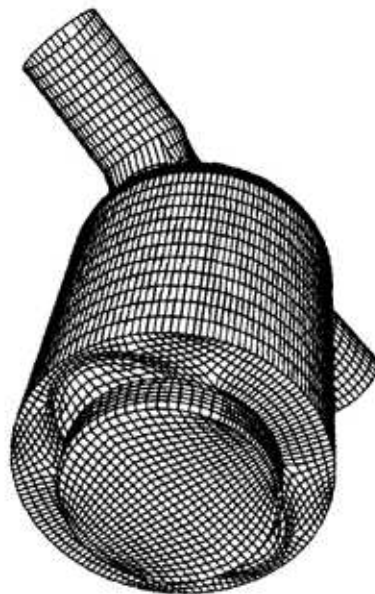
U slučaju sa  $SA = 63\%$ , prikazanom na slici 9, jasno su vidljivi svi negativni aspekti prejakog radialnog strujanja. Naime, u gornjem delu komore za sagorevanje dolazi skoro do prekida fronta plamena. Evidentno je da jako radialno strujanje bočno pritiska front plamena, deformiše ga, pri čemu se vrh plamena naglo pomera nadole duž z-ose, formirajući pri tome karakteristični „pečurkasti“ oblik. Ovakav oblik fronta plamena u kasnijoj fazi dovodi do formiranja džepova nesagorelog goriva u gornjem delu komore za sagorevanje.

### Kombinovani efekat radialnog i usisnog strujanja

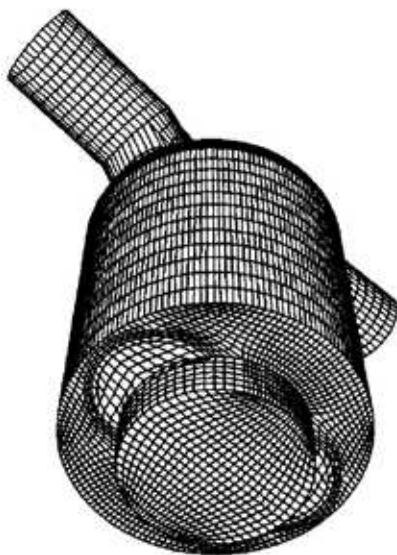
Analiza kombinovanog efekta radialnog i usisnog strujanja, odnosno pre-



Sl. 10 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje ( $SA = 44\%$ ) sa ventilima



Sl. 11 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje ( $SA = 54\%$ ) sa ventilima



Sl. 12 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje (SA = 63%) sa ventilima

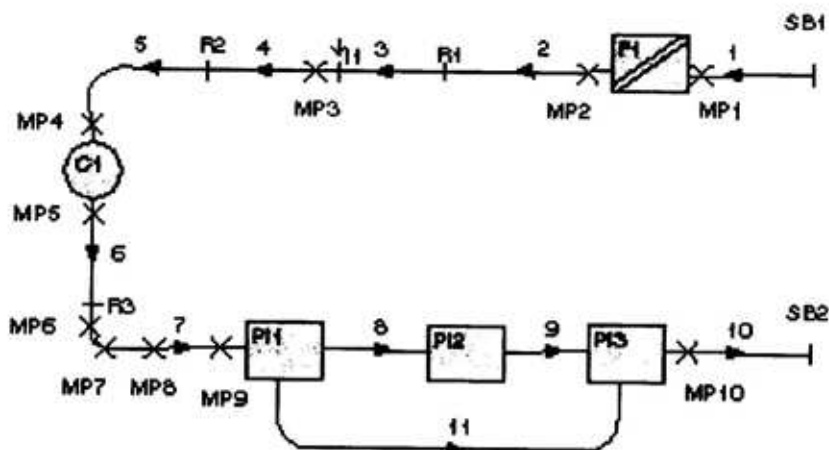
vrtnja usisne struje oko y-ose (tumble) na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje kroz nesagorelu smešu, urađena je za identične geometrijske forme komora za sagorevanje, tj. za SA u opsegu od 23% do 63%, kao što je prikazano na slikama 10, 11 i 12.

Prema prezentiranim rezultatima evidentno je da su dva slučaja sa nedo-

voljnim radialnim strujanjem (dominacija plamena) potpuno irelevantna (SA = 23%, SA = 34%), i stoga isključena iz dalje analize. U ovim slučajevima prostiranje plamena je skoro identično kao u slučaju sa ravnim klipom.

Ventili komore za sagorevanje, prikazani na slikama 10, 11 i 12 razmatrani su kao integralni deo kompletnog monocilindričnog motora, šematski predstavljenog na slici 13.

Kao što se vidi sa slike 13, pored monocilindra (CYL), uključene su različite komponente kao što su prečistač vazduha (F1), elementi izduvnog sistema (P11, P12, P13), krivine (5), restrikcije u sistemu koje označavaju pad pritiska (R1–R3) (nagle promene preseka, leptiri, itd.) i cevovodi različitog preseka i dužine (1–11). Rastojanje od referentnih tačaka (MP5 i MP6) je specificirano tako da odgovara lokaciji otvorenih granica (leva i desna strana kanala na slikama 19–27). Svaki pojedinačni element zahteva odgovarajući set specifikacija. Naime, za cilindar se, pored specifikacije sklopa ventili-kanali (poprečni presek kanala, tempera-



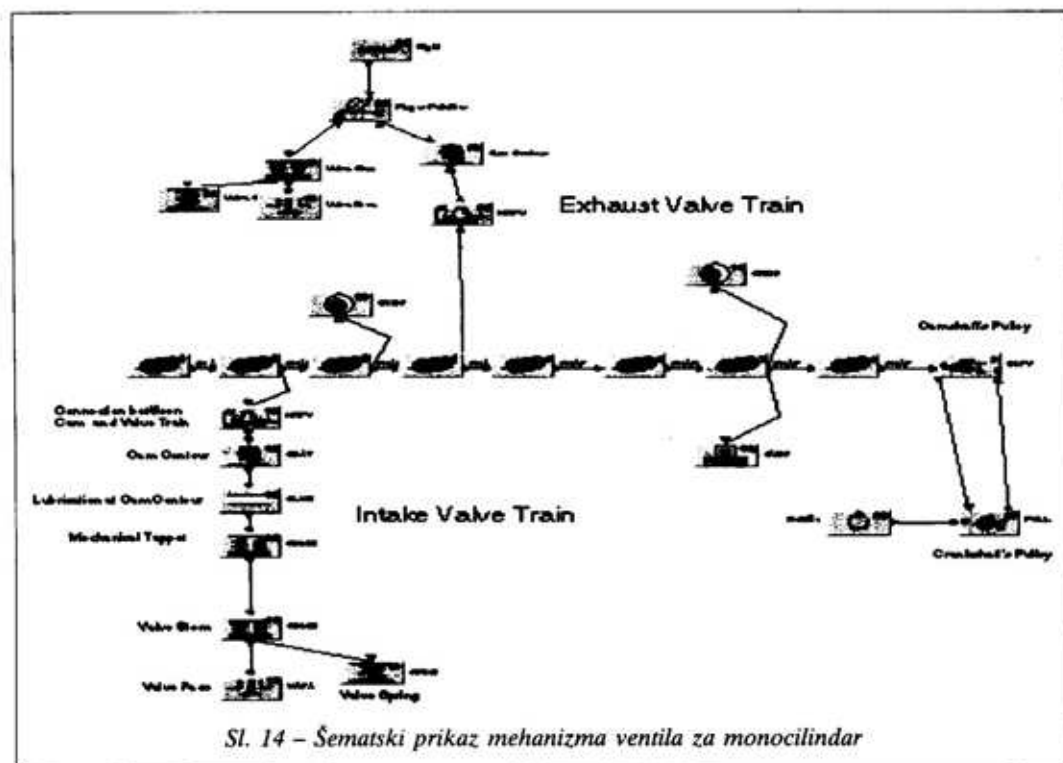
Sl. 13 – Šematski prikaz kompletnog motora

tura zida, geometrijski podaci, klirens, početak otvaranja i zatvaranja ventila, itd.) zahteva i geometrija komore za sagorevanje (npr. Heron kao na slikama 10, 11 i 12), lokacija svećice, početak paljenja, itd. Krive podizanja ventila i njihove brzine sračunate su pomoću programa TYCON [6]. Naime, kompletan mehanizam ventila za monocilindar šematski je prikazan na slici 14. Evidentno je da se on sastoji od elemenata koji konstituišu usisni ventil (na slici 14, intake valve train), izduvni ventil (exhaust valve train) i bregasto vratilo (camshaft). Svi pojedinačni elementi, šematski prikazani na slici 14, kao što su profil brega, opruge, podmazivanje, kaišni prenos, itd., lako su prepoznatljivi.

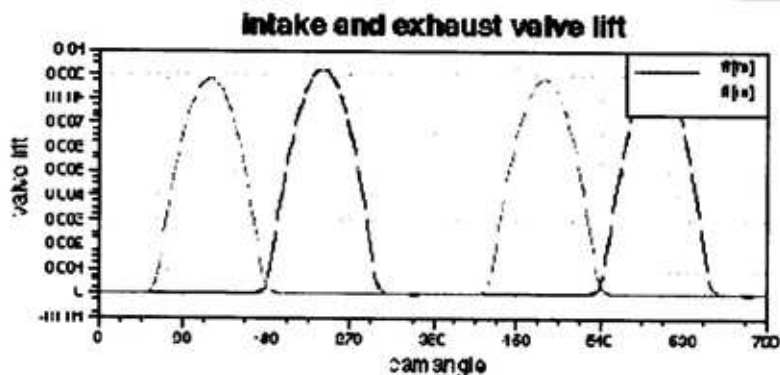
Pored toga, model pretpostavlja da monocilindar ima samo jedan usisni i jedan izduvni ventil. Kompletan lista ula-

znih podataka sa dodatnim objašnjenjima prikazana je u [6]. Rezultati dobijeni sa programom TYCON prikazani su na slikama 15 i 16.

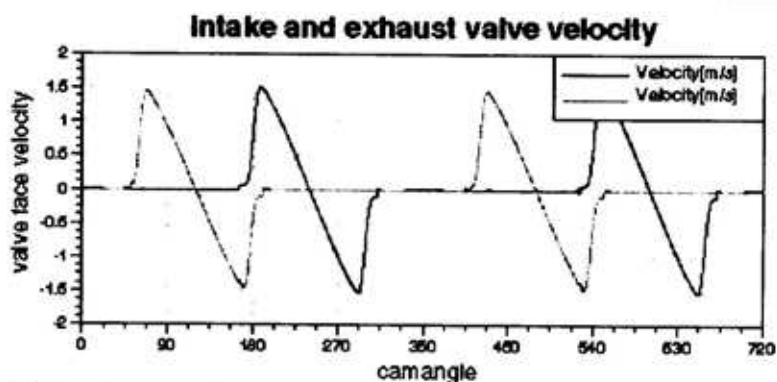
Krive podizanja usisnog i izduvnog ventila prikazane su u funkciji ugla bregastog vratila. Uzimajući u obzir da su sva sračunavanja vezana za monocilindar, navedene krive su razvučene po apscisi (ugao kolena kolenastog vratila) i uključene kao set ulaznih podataka u program BOOST. Početak otvaranja usisnog ventila (IVO), koji je neophodan kao ulazni podatak u KIVA 3V program, određen je preko serijskih kalkulacija koje podrazumevaju variranje početka otvaranja usisnog ventila pomoću u BOOST-u za to predviđene opcije. Radi određivanja inicijalnih i graničnih vrednosti, posebno u regionu ventila, kao što su pritisci (slika 17), temperature (slika 18), brzine, kon-



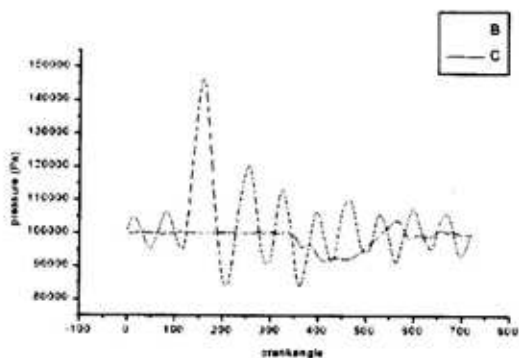
Sl. 14 - Šematski prikaz mehanizma ventila za monocilindar



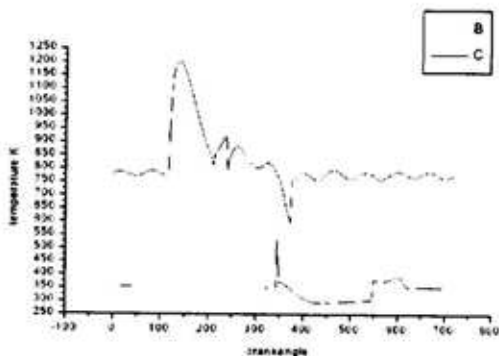
Sl. 15 – Krive podizanja usisnog i izduvnog ventila (ordinata) u funkciji ugla bregastog vratila (apscisa)



Sl. 16 – Brzine podizanja usisnog i izduvnog ventila (ordinata) u funkciji ugla bregastog vratila (apscisa)



Sl. 17 – Tok pritiska u funkciji ugla kolenastog vratila u referentnim tačkama MP5 i MP6 za SA = 44%



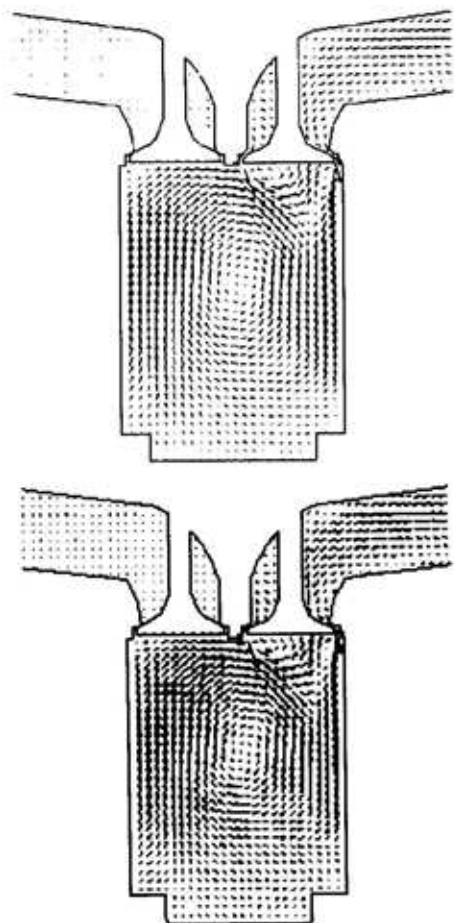
Sl. 18 – Tok temperature u funkciji ugla kolenastog vratila u referentnim tačkama MP5 i MP6 za SA = 44%



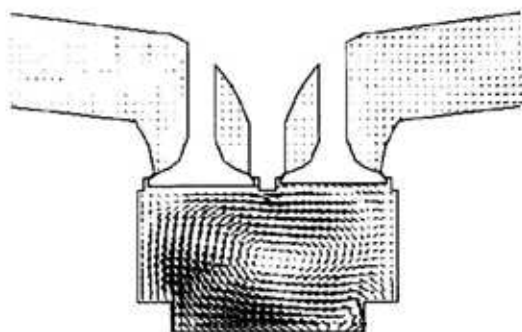
centracije komponenata i parametri turbulencije, veliki broj preliminarnih kalkulacija ciklusa obavljen je pomoću programa BOOST. Potrebno je naglasiti da svaka promena geometrije komore, tj. SA, zahteva nove preliminarne kalkulacije ciklusa.

Sračunate vrednosti za različite SA na odgovarajući način su uključene u KIVA 3V program.

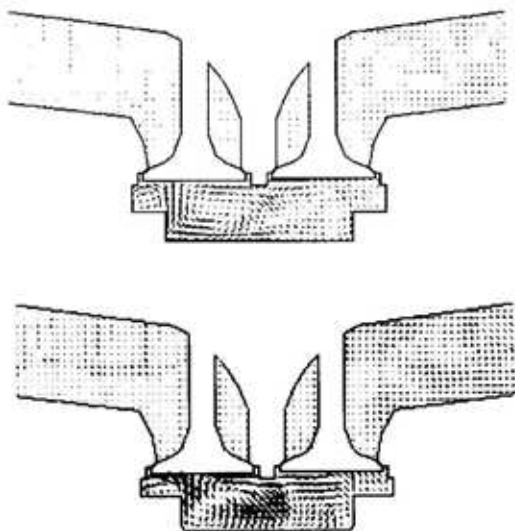
Evolucija strujnog polja za geometrije komore za sagorevanje sa ventilima i različitim SA ( $SA = 44\%$  i  $SA = 54\%$ ) prikazana je na slikama 19, 20 i 21.



Sl. 19 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $180^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 44\%$ ) (gore) i ( $SA = 54\%$ ) (dole)



Sl. 20 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $300^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 44\%$ ) (gore) i ( $SA = 54\%$ ) (dole)



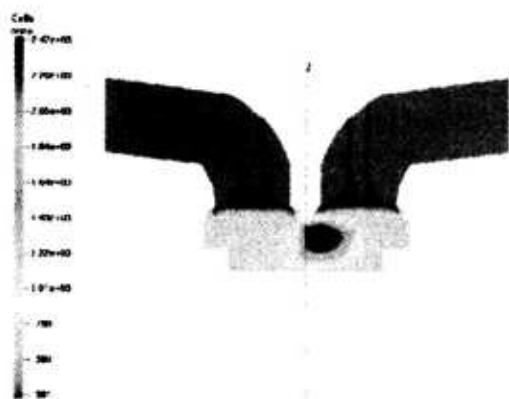
Sl. 21 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 44\%$ ) (gore) i ( $SA = 54\%$ ) (dole)

Tokom otvaranja usisnog ventila usisna struja udara u čelo klipa, zavija i počinje da formira reverzibilno prevrtanje oko y-ose sa centrom rotacije u zoni ispod izduvnog ventila. Istovremeno usisna struja udara u zid cilindra, odbija se od njega, dostiže čelo klipa, zavija i udara u čelo ventila promovišući separaciju struje i formiranje dva vrtloga, jednog lociranog ispod leve strane usisnog ventila koji koincidira sa reverzibilnim prevrtanjem usisne struje oko y-ose i drugog lociranog ispod desne strane usisnog ventila koji rotira u suprotnom smeru. Tokom usisavanja intenzitet reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose raste dok se njegov centar rotacije postepeno pomera ka centralnom delu komore. Pored toga, vrtložno strujanje od separacije, potisnuto od reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose, dostiže usku zonu u neposrednoj blizini usisnog ventila, i ograničava dejstvo samo na tu zonu, dok je drugi vrtlog od separacije potisnut do zida cilindra (slika 19). Očigledno je da je u slučaju sa ventilima strujno polje na početku kompresije potpuno različito u poređenju sa strujnim poljem nulte brzine kao u slučaju bez ventila. Porast intenziteta reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose tokom kompresije promovise destrukciju svih vrtloga osim onog oko z-ose i na  $300^\circ$  KKV posle SMT centar njegove rotacije je pozicioniran u zoni ispod usisnog ventila. U tom momentu počinje razvlačenje reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose, odnosno vrtlog trpi kompresiju usled kretanja klipa i biva polako istiskivan iz zone usisnog ventila (slika 20). Istiskivanje reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose nastavlja se sve do  $\approx 350^\circ$  KKV posle SMT, kada se ne primećuje bilo kakvo vrtložno strujanje u zoni usisnog

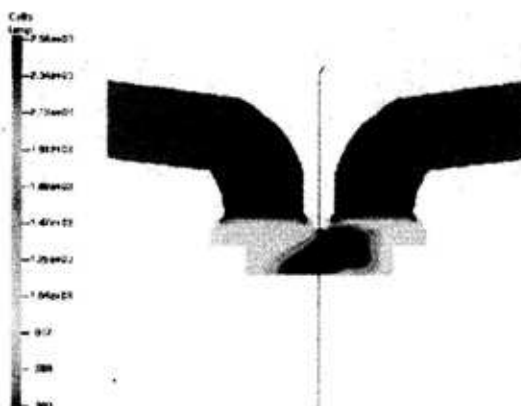
ventila. Nasuprot tome, u zoni izduvnog ventila vrtložno strujanje oko y-ose iskazuje određeni efekat (slika 21). Naime, u slučaju sa ventilima, tokom usisavanja i kompresije, centar rotacije reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose postepeno se premešta iz zone izduvnog ventila u zonu usisnog ventila i obrnuto. Egzistencija vrtloga oko y-ose u zoni izduvnog ventila u blizini SMT dominantno utiče na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. U slučaju bez ventila takvo vrtložno strujanje nije primećeno. Evidentno je da je strujno polje za SA = 44% i SA = 54% potpuno identično.

U slučaju sa ventilima oblik fronta plamena i njegovo prostiranje za odgovarajuće uglove i različito SA prikazano je na slikama 22 do 27.

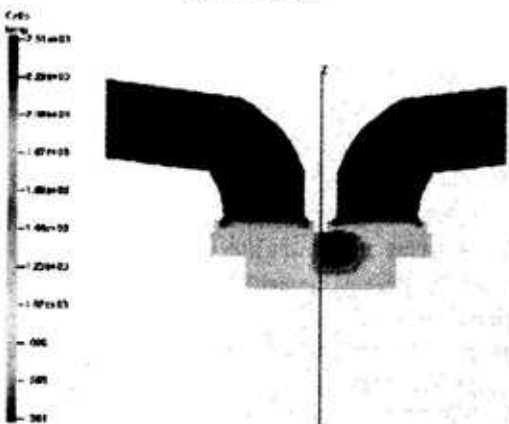
Kao što se može videti sa slika 22 i 23, svećica je centralno postavljena. Evidentno je da je oblik fronta plamena ekstremno neregularan i okarakterisan prostorno neuniformnom brzinom prostiranja za oba slučaja SA (SA = 44% i SA = 54%). Defleksija fronta plamena nastaje od samog početka (momenta paljenja) i direktno je uzrokovana vrtložnim strujanjem oko y-ose u zoni izduvnog ventila. Naime, to vrtložno strujanje ispod izduvnog ventila dovodi do stalne defleksije plamena koja približavanjem SMT postepeno postaje sve izraženija. Takav trend je vidljiv, kako za SA = 44% (slike 22, 24 i 26), tako i za SA = 54% (slike 23, 25 i 27), što dovodi do pojave zone zaustavljanja plamena ispod izduvnog ventila. Malo veća kinetička energija turbulencije za slučaj SA = 54% daje veću brzinu prostiranja plamena. U principu vrlo slična situacija dobija se za obe vrednosti SA, što indicira zanemarljiv efekat radijalnog strujanja u



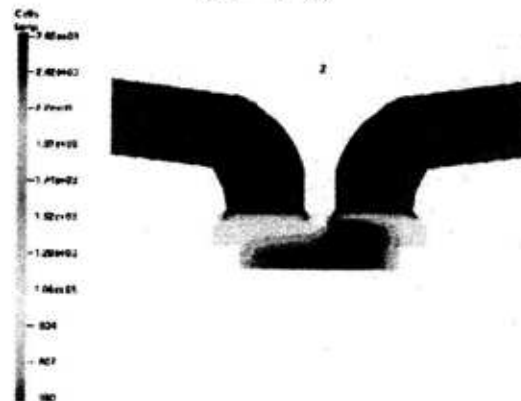
Sl. 22 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $340^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



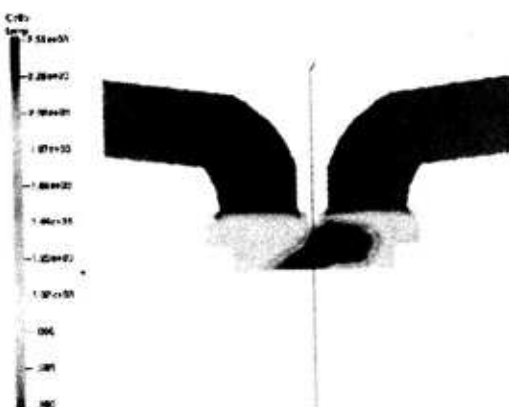
Sl. 25 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)



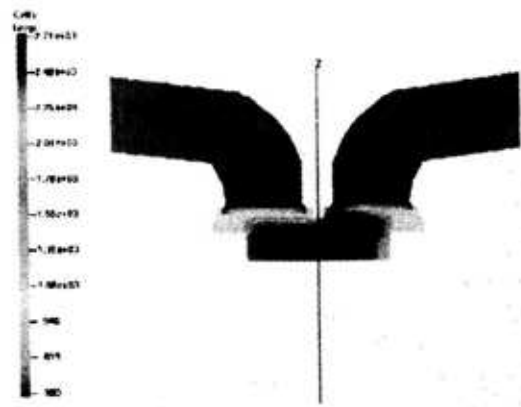
Sl. 23 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $340^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)



Sl. 26 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $360^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



Sl. 24 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



Sl. 27 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $360^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)

celom opsegu SA. Naime, efekat prevrtanja usisne struje oko y-ose je dominantan.

## Zaključak

Kod komore za sagorevanje bez ventila radijalno strujanje je vrlo važno za oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. U prisustvu vihornog strujanja značaj radijalnog strujanja se relativizira. Za razmatrani generalni oblik komore razlikuju se tri različite forme sa aspekta uticaja, tj. nedovoljno radijalno strujanje ( $SA = 23\% - 44\%$ ) koje dovodi do apsolutne dominacije plamena i formiranja strujne slike pod njegovim uticajem, umereno radijalno strujanje ( $SA = 44\% - 54\%$ ) koje karakteriše koincidentno strujanje i sferni oblik fronta plamena i eksektivno radijalno strujanje ( $SA = 63\%$ ) koje upravlja strujnom slikom i dovodi do neregularnog oblika fronta plamena. U slučaju razmatrane geometrije komore i sklopa ventili-kanali oblik fronta plamena i njegovo prostiranje su u celini kontrolisani karakterom usisnog strujanja. Jako reverzibilno vrtloženje oko

y-ose ispod izduvnog ventila u blizini SMT, generisano usisnim strujanjem, apsolutno anulira bilo kakav uticaj radijalnog strujanja u opsegu od nedovoljnog do eksektivnog, i izaziva detenciju prostiranja plamena u toj zoni u kasnijoj fazi.

## Literatura:

- [1] Jovanović, Z.: The role of tensor calculus in numerical modeling of combustion in i.c.engines, pp. 457-541, in Computer Simulation for Fluid Flow, Heat and Mass Transfer, and Combustion in Reciprocating Engines, ISBN 0-89116-392-1, Hemisphere Publishers, 1989.
- [2] Petrović, S., Jankov, R., Tomić, M., Filipi, Z., Jovanović, Z.: Modeliranje sagorevanja kod Otomotora, Univerzitet u Beogradu, ISBN 86-7083-262-3, 1995.
- [3] Jovanović, Z., Petrović, S.: The mutual interaction between squish and swirl in s.i.combustion chamber, p. 72-86, MVM, vol. 23, No. 3, 1997.
- [4] Chen, A., Lee, K. C., Yianneskis, M.: Velocity characteristics of steady flow through a straight generic inlet port, International Journal for Numerical Methods in Fluids, vol. 21, 1995.
- [5] Amsden, A. A.: KIVA3V: A Block-Structured KIVA Program for Engines with Vertical or Canted Valves, LA-13313-MS, Los Alamos, 1997.
- [6] AVL TYCON, Users Manual, ver. 4.3, 1998.
- [7] AVL BOOST, Users Manual, ver. 3.3., 2000.
- [8] Mahmood, Z., Chen, A., Yianneskis, M.: On the structure of steady flow through dual intake engine flow, Kings College (internal report).
- [9] Jovanović, Z., Petrović, S.: 3D Fluid Flow in i.c.engine combustion chamber of arbitrary geometry, p. 31-37, Proceedings, Vol. II, Russe, ISBN 954-90272-2-8, 1997.
- [10] Jovanović, Z., Basara, B.: The structure of intake flow in 4.-valve engines, p. 4, YUMV 010022, 2001.