

НОВЕ ГЕНЕРАЦИЈЕ ДИРЕКТНОГ УБРИЗГАВАЊА**NEW GENERATION OF DIRECT INJECTION**

Иван Милојковић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област –МАШИНСТВО

Кратак садржај – У овом раду су описани системи директног убризгавања горива у радном простору мотора. Повећање ефикасности СУС мотора одувек је била тема константног истраживања и усавршавања ради максималног искоришћења термодинамичког потенцијала, како би се реални циклус приближио идеалном. Новим концептом директног убризгавања постигнуто је боље образовање, мешање, сагоревање и клађење смеише услед целокупног убризгавања и испаравања у комори сагоревања. Подложност детонантном сагоревању је смањена, услед чега је повећан степен сабијања. Ови и други фактори утичу да се у односу на конвенционалне системе убризгавања повећају излазни параметри мотора (снага и момент), док је потрошња горива и емисија издувних гасова смањена. Слојевита смеша карактеристична за ове моторе се формира на три начина вођења пуњења: зидом, ваздухом и млазом.

Кључне речи: СУС мотор, Директно убризгавање, Повећање ефикасности, Слојевита смеша, ЕГР.

Abstract – This paper describes direct fuel injection systems in the engine working space. Increasing the efficiency of SUS engines has always been a topic of constant research and improvement in order to maximize the thermodynamic potential, in order to bring the real cycle closer to ideal. The new concept of direct injection has achieved better formation, mixing, combustion and cooling of the mixture due to the entire injection and evaporation in the combustion chamber. The susceptibility to detonation combustion is reduced, as a result of which the degree of compression is increased. These and other factors affect the increase of engine output parameters (power and torque) compared to conventional injection systems, while fuel consumption and exhaust emissions are reduced. The layered mixture characteristic of these engines is formed in three ways of conducting charge: wall, air and jet.

Keywords: IC Engine, Direct injection, Efficiency increase, Layered mixture, EGR.

1. УВОД

Убризгавање горива је првобитно реализовано механичким, затим комбинацијом механичког и електронског, да би се потпуно прешло на електронске системе.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Јован Дорић, ванр. проф.

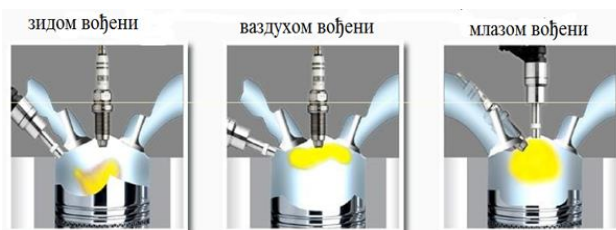
Прекретница у развоју и већој серијској производњи ових система имала је јапанска компанија *Mitsubishi*, 1996. године. Постоји три начина убризгавања горива са различитим резултатима:

- директно убризгавање са хомогеном смешом,
- директно убризгавање са слојевитом смешом,
- директно убризгавање са слојевитом смешом и компресијским сагоревањем.

Код слојевитог образовања смеише, гориво се убризгава током процеса сабијања. Неопходно је да се изврши раслојавање веома сиромашне смеише у комори сагоревања, тако да се увек у близини свећице налази таква концентрација мешавине горива и ваздуха која ће омогућити сигурно и стабилно упаљење електричном варицом. Потребан је додатан конвертор издувних гасова, због присуства азотових оксида који настају на граници између горивог и негоривог слоја где је смеша сиромашна, јер конвенционални трокомпонентни каталитички конвертори немају значај при учесталом вишку ваздуха при мањим и делимичним оптерећењима када се убризгавање врши пред крај такта сабијања [1].

Постоји три концепта у виду вођења процеса (слика 1):

- зидом,
- ваздухом и
- млазом вођеним процесом. [1]



Слика 1. Класификација процеса сагоревања код мотора са директним убризгавањем

Млазом вођени процеси имају највећи потенцијал за искоришћење предности слојевитог пуњења и повећање економичности мотора.

2. ИСТОРИЈАТ РАЗВОЈА И СПЕЦИФИЧНА КОНСТРУКЦИЈСКА РЕШЕЊА

Историја Ото мотора са директним убризгавањем бензина дели се на неколико етапа, од периода основних идеја и концепција, преко првог Ото мотора 1878. године са основним деловима конструкције и законима измене притиска у цилиндру сличним данашњим моторима [4], до последњег периода са убрзаном применом електронике у управљању процесима мотора СУС.

Daimler Benz је представио четвороцилиндарни, троли-тарски мотор са директним убризгавањем и два вен-тила по цилиндру почетком 1954. године. За разлику од данашњих електричних, овде се користила механичка пумпа за гориво. Због учесталих проблема по питању стварања филма горива у цилиндру, клипу мотора, као и спирања уљног филма, поготово приликом старта мотора, у доњем кућишту је складиштено чак 15 литара уља како би мотор избегао прегревања приликом учесталих кратких релација.

Године 1996., аутомобилска компанија *Mitsubishi* пред-ставља *GDI* концепт директног убризгавања горива, и то са 1.8 литарским *4G93* мотором, који се одликовао са 4 вентила по цилиндру и два брегаста вратила постављена изнад коморе сагоревања. Неки модели су имали и променљив рад вентилског склопа *MIVEC*.

Године 2000., *Volkswagen* је развио 1.4 литарски *FSI* мотор са директним убризгавањем, регулисан од стране *Bosch Motronic Med 7* јединице, која управља оптимал-ним решењима за образовање мешавине горива и ваздуха, пратећи константно различите режиме рада и оптерећења мотора [2]. Омогућено је раслојавање и стварање хомогене смеше, душло убризгавање по такту ради повећања обртног момента и температуре издувних гасова приликом рада са сиромашном смешом.

Mercedes-Benz 2007. године развија директно убризга-вање горива у модел *CLS 350 CGI*, са првим пијезо-електричним бризгачима и млазом вођеним процесом.

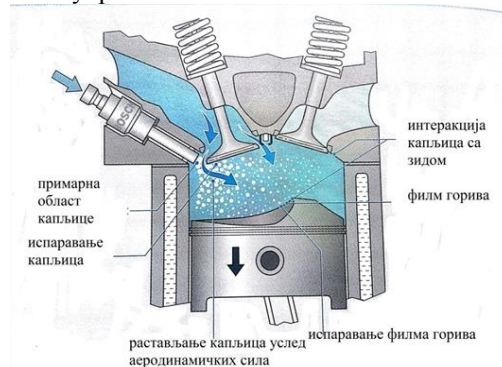
3. КОНЦЕПТ МОТОРА СА ДИРЕКТНИМ УБРИЗГАВАЊЕМ БЕНЗИНА У КОМОРИ ЗА САГОРЕВАЊЕ

Bosch Motronic Med систем, управљајући радом мотора, повећава динамику вожње уз очување или смањење радне запремине, где се уз електронску савремену контролу управљања постиже ефикасан процес сагоре-вања у зависности од броја обртаја, оптерећења и режима рада мотора [2]. При нижим обртајима мотора (слојевити мод), где је брзина усисног ваздуха мања, неопходно је обезбедити ефикасније мешање горива и ваздуха, што се обезбеђује интензивнијим вртложењем помоћу вентила у усисној грани. Како је краћи период од места убризгавања и упаљења горива, битна функ-ција вентила вртложења омогућава остварење стабил-ног мешања радне смеше, сагоревања и ниске емисије штетних материја приликом рада у слојевитом моду, што за резултат има циљану нижу потрошњу горива. Под одређеним условима, ради ефикасније криве саго-ревања, у састав свежег ваздуха додаје се и одређена количина издувних гасова помоћу вентила за рецирку-лацију издувних гасова, чијим прецизним радом управља ЕУЈ [2].

3.1. Директно убризгавање са хомогеном смешом

Током рада мотора са директним убризгавањем и хомогеним модом, одликују се режими виших бројева обртаја са већим обртним моментом и снагом. Хомогенизација се постиже због довољног времена за припрему смеше која је присутна код убризгавања у раним фазама такта усисавања (слика 2), када се клип креће ка УМТ, како се одвија и код индиректног убризгавања. Смеша има сличну концентрацију, уз

боље излазне параметаре мотора (снаге и момента), као и редукације емисије штетних честица у корист директног убризгавања.



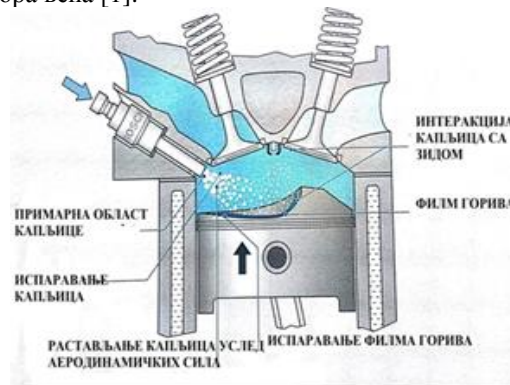
Слика 2. Убризгавање у такту усисавања

Предности директног у односу на индиректно убри-згавање се по питању степена сабијања може објас-нити следећим факторима:

- повећано је хлађење смеше услед целокупног испаравања у комори сагоревања,
- мања подложност ка детонантном сагоревању,
- постојање изолирајућег слоја ваздуха,
- могућност бржег образовања смеше услед виших релативних брзина и притисака.

3.2. Директно убризгавање са слојевитом смешом

Други мод формирања смеше горива и ваздуха је слојевити мод, са задатком остваривања специфичних услова рада у нижим и делимичним оптерећењима, са краћим временом формирања смеше. Гориво се убризгава током процеса сабијања (слика 3). Смеша је веома сиромашна, раслојена, па је економичност мотора већа [1].



Слика 3. Убризгавање у такту сабијања

Неопходно је да увек у близини свећице буде концентрација радне материје која ће омогућити сигурно и стабилно упаљење електричном варницом, тј. да упаљиви део смеше буде у близини електроде свећице у тачки паљења ($\lambda=1$). У области мало даље од свећице је веома сиромашна ($\lambda=3-5$), али и даље запаљива смеша, чист ваздух, или издувни гасови из предходног циклуса [1].

Зидом вођеним процесом, образовање и кретање сме-ше од бризгача до свећице одвија се посредством зида коморе цилиндра, а чело клипа са својом конструк-цијом специјалног удубљења, обликованог као усме-

равач млаза горива, потпомаже да се очува слој са смешом од експанзије по радном простору у цилиндру [1].

Тешко је одвојити процес вођења зидом и ваздухом, јер су увек у већој или мањој мери присутна оба процеса [1].

За разлику од зидова вођених процеса, контакт између горива и зидова коморе се избегава ради смањења токсичности, и у идеалним случајевима не постоје депозити горива на зидовима коморе за сагоревање. Вртлог ваздуха ствара ваздушни јастук који спречава поменути контакт чела клипа и горива.

Код млаза вођених процеса, путања убризгавања и кретања горивог слоја која иде директно према свећици је знатно краћа [5]. Највећи проблеми мотора овог типа, са највећим потенцијалом искоришћења предности слојевитог пуњења, јесу релативно мала растојања бризгача и свећице, позиционираних између вентила [5].

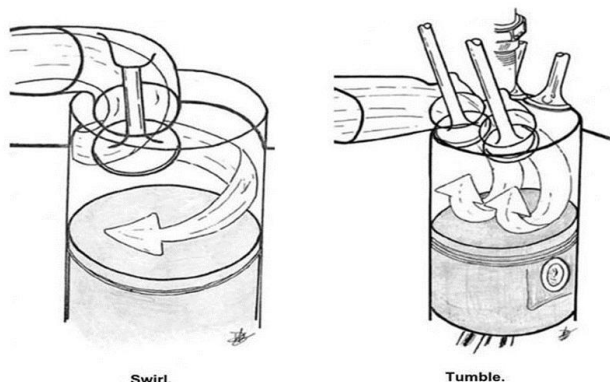
Чело клипа је конструисано да кретањем ваздуха чува слој са смешом.

4. КАРАКТЕРИСТИКЕ СМЕСЕ ГОРИВА И ВАЗДУХА

Један од најбитнијих процеса код мотора СУС је процес образовања смеше, где долази до мешања ваздуха и горива, при чему се формира упаљива смеша која ће сагоревати у циљу добијања корисног рада у такту ширења.

Подешавање образовања смеше зависи од броја обртаја мотора, радне температуре, постигнуте величине притиска и геометрије убризганог горива, интензитета вртложења усисног ваздуха, облика коморе сагоревања, степена сабијања.

Различито усмерено кретање пуњења на улазном каналу може бити реализовано на два начина ротационог усмерења. Код вртлога (*swirl*), оса ротације је паралелна са осом цилиндра. Код другог вида (*tumble*), оса ротирања је управна на осу цилиндра (слика 4).



Слика 4. Различито усмерено кретање пуњења на улазном каналу лево (*swirl*) и десно (*tumble*).

Након убризгавања горива, фаза образовања смеше је одређена кидањем млаза, формирањем капљица, испаравањем капљица горива и мешањем са ваздухом. Кидање млаза се може постићи формирањем капљица, таласа и атомизацијом.

5. ТРЕТМАН ИЗДУВНИХ ГАСОВА И КАРАКТЕРИСТИЧНА РЕШЕЊА

Садржај токсичних компоненти у продуктима сагоревања зависи од састава смеше, угла претпаљења и конструкције мотора. У зависности од тога да ли је смеша богата, сиромашна или негде између, јавља се у одређеној мери концентрација CO и CxHy [1].

5.1 Емисија

Поред свих наведених предности директног у односу на индиректно убризгавање, недостаци у виду неповољне емисије HC и NOx, представљају проблеме са третманом издувних гасова, поготово у режимима нижих обртаја.

Није довољан више само конвенционалан тростепени каталитички неутрализатор, који је и даље ефикасан у хомогеном моду са стехиометријском смешом, већ је неопходан додатни конвертор за неутрализацију азотових оксида, који настају на граници између горивог и негоривог слоја, где је смеша сиромашна [1].

Проблем високе температуре издувних гасова може бити решен смањењем протока свежег ваздуха помоћу делимичног пригушења, уз веће струјне губитке. Овај принцип не представља адекватно решење, као што је постигнуто рецикулацијом издувних гасова, тј. са ЕГР вентилом, где се одвија мешање издувних гасова са свежим пуњењем за време такта усисавања.

5.2 Истраживање на екстремним притисцима убризгавања

Повећање притиска свежег пуњења доводи до увећаног оптерећења компоненти мотора, а ради одржања поузданог рада, неопходно је извршити увећање димензије мотора, масе као и примену квалитетнијих материјала [1]. Увећани топлотни губици који су предати зидовима цилиндра утичу негативно на поузданост рада мотора, погоршавањем услова подмазивања уљем и другим факторима који су ограничавајућег карактера за имплементацију повећаног притиска убризгавања горива у цилиндар, који би обезбедили ефикаснији процес рада мотора [1].

Остварени су притисци убризгавања од око 200 бара, услед ограничене издржљивости система убризгавања (200 бара код млазом вођеним, а до 150 бара код зидом и ваздухом вођеним процесима) [1]. Испитивања са повећањем притиска око 600 бара спроведена су у лабораторијским условима, где је гориво убризгивано у специјалну комору. Резултати су показали да је са екстремним притисцима остварено смањење величине капљица горива, потрошње горива и формирања чађи.

5.3 Упаљење и ток сагоревања сиромашне смеше

Системи паљења морају задовољити посебне захтеве код слојевитог мода, као што су: стабилно место упаљења веома сиромашне смеше, неосетљивост на течну фазу горива тј. квашење чела клипа и неосетљивост на депозите. Високе вредности брзине струјања пуњења у близини електрода свећице додатно отежавају формирање језгра пламена.

Квашење свећице горивом не може се искључити због кратког времена за образовање смеше током слојевитог мода пуњења [1]. Због великог имплуса млаза горива у

области паљења, посебно у слојевитом моду, долази до великих брзина струјања у процепу између електрода свећице. Главни недостатак сагоревања је тај да је за смањење емисије NOx потребан сложени каталитички систем претварача.

5.4 Детонантно сагоревање

Детонантно сагоревање се јавља у оним деловима простора за сагоревање који су далеко од свећице, а близу загрејаних зидова цилиндра [1]. Осим рада код стабилног тока сагоревања, где су испуњени услови за правилно простирање фронта пламена, постоји и други вид сагоревања а то је ненормално сагоревање, које може бити [3]:

- детонантно
- површинско (неконтролисано)
- дисоцијација продуката сагоревања.

Мотори са директним убризгавањем могу радити са већим степеном сабијања у односу на конвенционалне моторе. Детонантно сагоревање је карактеристично и по томе што се, за разлику од нормалног сагоревања и простирања фронта пламена, овде јавља самопаљење као код дизел мотора на једној или више локација у комори сагоревања, претежно при крају такта сабијања. При крају такта сабијања код СМТ, спонтано паљење неупаљене смеше резултира брзом конверзијом горива, уз јављање јаког таласа притиска, механичких оштећења и манифестације звука сличном ударању метал о метал [3].

6. ОТКЛАЊАЊЕ ГРЕШАКА ДИЈАГНОСТИЧКИМ УРЕЂАЈИМА

Аутомобили савремених генерација опремљени су модулима електронске контроле управљања на готово свим системима моторног возила. Управља се мотором, трансмисијом, управљачем, системима активне и пасивне безбедности (АБС, АСР, ЕСП, ваздушним јастуцима). Рад савремених возила контролише електронска управљачка јединица, која информисе возача у случају неисправности, режиму рада појединих система (укључен и искључен систем против проклизавања, деактивација одређеног ваздушног јастука), тако да је возило већ опремљено сопственом дијагностичком опремом. Сигнализација која упозорава возача може се уочити светлећим, звучним или комбинованим сигналом.

Опрема за електронску дијагностику (комуникациони уређаји), доступна на тржишту, а дели се у три категорије:

- опрема ниског квалитета,
- опрема доброг квалитета (ограничене функције) и
- професионална опрема за ауто-сервисе.

Три основна статуса грешака су:

- АТТ - стална грешка тј. сигуран квар, односно неисправност,
- МЕМ - меморисана грешка тј. није активна али са повременим појављивањем и
- грешка коју систем није једнозначно препознао.

7. ЗАКЉУЧАК

У последњих 25. година, дошло је до велике експанзије и константног усавршавања система директног убризгавања горива, који у све већој мери замењује конвенционалне индиректне моторе. Циљ данашње експанзије развоја ових система је технолошка борба ауто-компанија, како би понудили на тржишту што ефикаснији, економичнији и поузданији мотор, са циљем што већег профита.

Даљи развој Ото мотора иде ка усавршавању постојећих решења са акцентом на истраживање високих притиска убризгавања и до три пута већим него постигнутим до сада у серијској производњи. Будућа решења представљају изузетно важан корак за функционисање у слојевитом моду и за остварење што већег потенцијала рада са сиромашном смешом.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јован Дорић, *Теорија мотора СВС*, Нови Сад, 2015.
- [2] Robert Bosch GmbH: *Gasoline-Engine Management*, 2006.
- [3] Клинар Ј. Иван, *Мотори са унутрашњим сагоревањем*, Нови Сад, 2013.
- [4] Ратко Николић, Лазар Савин, Мирко Симикић, Милан Томић, *Погонске машине мотори СВС*, Нови Сад, 2014.
- [5] Robert Bosch GmbH: *Gasoline-Engine Management*, 2001.

Кратка биографија:

Иван Милојковић, рођен у Пожаревцу 1993. године, након завршене средње школе у Великом Градишту, своје образовање наставља на Војној Академији у Београду, где је 2016. године стекао звање дипломираног инжењера машинства.

контакт: imilojkovic62@gmail.com