

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Никола М. Станковић

Системи за напајање горивом ОТО мотора
завршни рад

Крагујевац, 2015.



**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: БМ 6431 Опрема МВМ

Број индекса: 69/2011

Никола М. Станковић

**Системи за напајање горивом ОТО мотора
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др. Александар Давинић, доц-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да одговори на тему према следећим тезама :

- Историјски развој система напајања горивом ОТО мотора
- Подела система напајања горивом са основним карактеристикама
- Објаснити и приказати захтеве ОТО мотора према квалитету гориве смеше
- Приказати и анализирати савремене системе директног убризгавања горива код ОТО мотора
- Закључна разматрања

Препоручена литература:

[1] Опрема MBM

[2] Стручни часописи MTZ,ATC...

[3] Званични сајтови произвођача опреме за напајање: BOSCH, Luccas,Mareli,Delphi...

[4] Универзитетска литература

Крагујевац,
септембар 2015.

ментор:

Др. Александар Давинић, доц.

Резиме

У овом раду објашњен је значај система за образовање гориве смеше код ото мотора. Систем за напајање горивом обезбеђује мотору, у било ком режиму рада, најповољнији састав гориве смеше. Основна улога система за образовање смеше код ото мотора јесте да обезбеди оптималан састав гориве смеше која ће сагорети у цилиндру мотора. Од појаве ових мотора па до пред крај прошлог века се то успешно радило помоћу карбуратора, међутим у данашње време се прешло на савремене системе убризгавања горива. Разлози за то су већа снага мотора, повољнији ток криве обртног момента и мања потрошња горива као и максимално побољшање квалитета издувних гасова. Главна тема овог рада односи се на савремене системе убризгавања, који се обједињују са системом паљења. Детаљно су приказани и разматрани систем *BOSCH M-Motronic* и систем директног убризгавања цилиндар.

Кључне речи: *ото мотор, систем убризгавања горива, BOSCH M-Motronic, директно убризгавање у цилиндар*

Abstract

This paper explains the importance of the fuel injection system in Otto engines. Fuel injection system ensures to engine, in any work mode, favorable composition of the fuel mixture. The main role of the fuel system in otto engine is to ensure an optimal composition of the fuel mixture that will burn in the engine cylinder. Since the appearance of these engines to the end of the last century, this was successful done by the use of the carburetor, but in today's transition it changed to a modern fuel injection systems. The reasons for this are greater engine power, better flow curves of torque and lower fuel consumption as well as the maximum improvement in the quality of the exhaust gases. The main topic of this paper refers to modern injection systems, which combine with the ignition system. System *BOSCH M-Motronic* and direct injection system in cylinder are presented and discussed in detail.

Key words: *otto engine, fuel injection system, BOSCH M-Motronic, direct fuel injection in cylinder*

Садржај

1.0 Увод.....	2
2.0 Историјски развој система за убризгавање горива код бензинских мотора.....	3
3.0 Улога система за напајањем горивом смешом - захтеви мотора.....	5
3.1 Прилагођавање гориве смеше радном режиму мотора.....	6
3.2 Састав гориве смеше и њен утицај на снагу мотора и потрошњу горива.....	7
3.3 Утицај састава гориве смеше на токсичност издувних гасова.....	8
4.0 Подела система за убризгавање горива	12
4.1. Подела система за убризгавање према дужини трајања убризгавања.....	12
4.2. Подела система према месту убризгавања.....	14
4.3. Подела система за убризгавање према начину релуглације.....	16
5.Спрегнути системи убризгавања и паљења гориве смеше.....	17
5.1. Основе функционисања на примеру система BOSCH M-Motronic.....	17
5.2. Инсталација за напајање горивом.....	28
5.3. Систем за контролу емисије испареног горива из система.....	34
6.Систем директног убризгавања горива у комору за сагоревање.....	36
6.1. Основни принципи рада.....	36
6.2. Моментом вођен систем убризгавања	37
6.3. Режији рада мотора.....	41
6.4. Инсталација за напајање и убризгавање горива	44
7.Закључак.....	52
Литература.....	53

1.0 Увод

Мотор са унутрашњим сагоревањем (СУС) подразумева уређај код кога и реактанти сагоревања (оксидант, најчешће ваздух и гориво), а и продукти сагоревања служе добијању радне енергије. Енергија се добија из топлоте која је ослобођена сагоревањем смеше оксиданта и горива. Резултат деловања врелих, гасовитих продукта сагоревања на покретним деловима мотора као што је на пример клип, је користан делотворан рад.

Ако моторе са унутрашњим сагоревањем делимо према типу циклуса онда имамо две групе – мотори са континууалним (млазни мотори код авиона) и мотори са испрекиданим сагоревањем. Испрекидано сагоревање подразумева да се у одређеном циклусу, периодично, коначне количине ваздуха и горива пале и потом пролазе кроз остале делове циклуса. Ово је типично за бензинске и дизел моторе са клиповима какве виђамо у аутомобилима. Постоје и поделе мотора са унутрашњим сагоревањем према типу горива и методи убризгавања, начину паљења, начину кретања клипова, распореду цилиндара, итд.

Најчешћи мотори са унутрашњим сагоревањем који су у употреби су бензински (ОТО) мотори и дизел четворотактни мотори. Основни хемијски елемент течних и гасовитих горива су угљеник и водоник. Горива за моторе СУС треба да задовоље следеће основне захтеве: да имају високу топлотну моћ како бисмо заданом количином горива добили што већи ефекат, да су лако испарљива, да не садрже састојке који омогућавају корозију при складиштењу, да су постојана при транспорту и складиштењу, да имају велику брзину сагоревања итд. А да би бензински мотор могао да ради и производи енергију, потребно је да се у његов радни простор доведе одговарајућа смеша ваздуха и горива. Припрему те смеше обезбеђује уређај или, боље речено, систем уређаја за напајање мотора горивом и ваздухом. Овај систем ће бити главна тема овог рада.

Систем за напајањем горива ОТО мотора има веома сложен задатак. Потреба за ваздухом и бензином код мотора мења се зависно од температуре, оптерећења мотора, брзине и т.к. Изузетно је тешко да систем обезбеди оптималну смешу у свим радним условима. Пре свега, систем мора да произведе смешу ваздуха и бензина која одлази у мотор, радну комору и пали се помоћу система за паљење. Паљење мора да се догоди у одређеном тренутку да би смеша сагорела у цилиндру мотора, покренула клипове и тако омогућила рад мотора. Ако смеша ваздуха и бензина није добра или ако временско подешавање момента паљења није прецизно, мотор неће радити или ће у најбољем случају радити слабо.

2.0 Историјски развој система за убризгавање горива код бензинских мотора

Првобитни ото мотори били су опремљени јако једноставним системима за припрему смеше, који су се углавном заснивали на усисавању ваздуха и горива под дејством подпритиска из цилиндра мотора. Систем који се до данашњих дана задржао у примени код неких мотора је карбураторски. Први карбуратори појавили су се већ крајем деветнаестог века и до данашњих дана принцип њиховог функционисања у суштини је непромењен. Карбуратори су током 80-их година углавном потиснути из употребе и данас се налазе само на моторима специјалне намене.

Први системи са убризгавањем горива појавили су се већ тридесетих година двадесетог века. Прва забележена употреба убризгавања бензина била је 1925. године код Шведског инжењера Јонаса Хаселмана. Због могућности функционисања и под утицајем великих Г-сила ови системи су нашли примену код борбених авиона из Другог светског рата. Један од првих комерцијалних система убризгавања са механичким управљањем на тржиште је избацила компанија *Bosch* 1952-е године. Други систем исте компаније користио је *Porche* крајем шездесетих и почетком седамдесетих година. *Kugelfischer*-ов систем убризгавања користио је *BMW* на моделима 2000/ 2002, као и неки модели *Peugot* и *Lancia*-е. Први комерцијални систем убризгавања са електронским управљањем произвела је компанија *Bendih* 1957-е године. Компанија *Bosch* је избацила свој систем под називом *D-Jetronic* 1967-е године. Овај систем био је прилагођен за употребу на возилима *Volkswagen*, *Mercedes-Benz*, *Saab*, *Citroen*, *Volvo* и *Porche* , док је компанија *Lucas* давала опцију за уградњу у аутомобиле компаније *Jaguar*. Компанија *Bosch* тада постаје лидер у производњи система за напајање горивом бензиских мотора, те избације нове системе , *L-Jetronic* 1974-е године, *LH-Jetronic* 1982-е године, из којих су се и развили савремени системи убризгавања бензина.

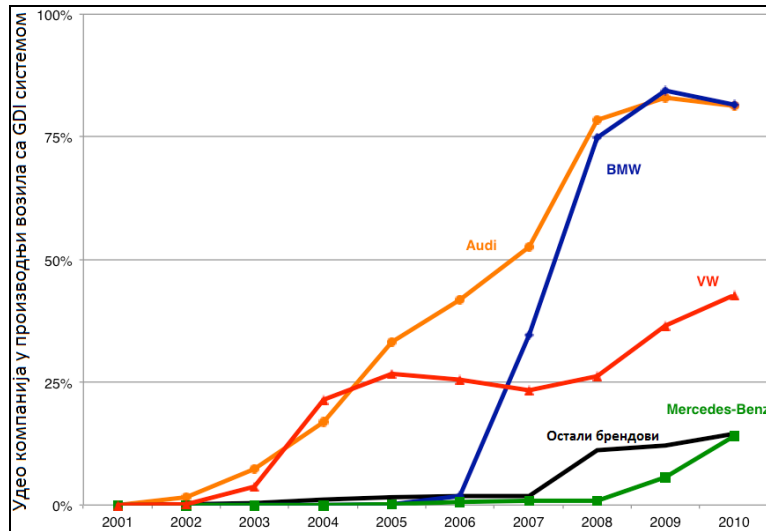
Први комерцијални систем директног убризгавања бензина у комору за сагоревање представила је компанија *Mitsubitshi* и на европско тржиште је стигао 1997-е године у моделу *Carisma GDI* (енг. *Gasoline Direct Injection*). Након *Mitsubitshi*-ја и остале компаније као што су *Volkswagen(FSI)*, *Renault (IDE)*, *Alfa Romeo (JTC)*, *Mercedes-Benz (CGI)* и друге развијају своје верзије система директног убризгавања бензина. Компанија *Hyundai* је 2011-е године представила мотор *Theta* који је један од последњих представљених мотора са системом директног убризгавања бензина.

Овакви системи први пут су се појавили средином XX века и први аутомобил у серијској производњи са *Bosch*-овим системом директног убризгавања

бензина био је *Mercedes-Benz 300 SL*. Помоћу овог система, из шестоцилиндричног мотора је добијено 215 коњских снага, скоро двоструко више од његове карбураторске верзије. Овај аутомобил је био у стању да развије брзину и до 260km/h у зависности од финалног преноса, који је бирао сам купац. У то време, ово је био најбржи серијски аутомобил. Највећи проблем првог система убризгавања био је тај што се гориво наставило убризгавати и након прекида паљења, јер је систем био механички, и испирало уље са зидова цилиндра.

Након овог аутомобила, скоро 40 година ниједан произвођач није уграђивао системе директног убризгавања у своја серијска возила. Разлог томе је знатно јефтинији, а довољно ефикасан систем индиректног убризгавања, али и недостатак довољно моћног система за управљање.

На слици 1. су графички је представљен удео произвођача система са директним убризгавањем на Европском тржишту, на њиховим новијим возилима у периоду од 2001 до 2010 године.



Слика 1. Дијаграм производње система са директним убризгавањем у Европи

3. Улога система за напајање горивом смешом - захтеви мотора

Основна улога система за образовање смеше код ото мотора јесте да обезбеди оптималан састав смеше која ће сагорети у цилиндру мотора. Иако се као гориво у моторима могу користити разни угљоводоници (течни или гасовити), најраспрострањенију примену код ото мотора има бензин. Главна тема овог рада су системи за убризгавање бензина, који стварају гориву смешу. Основна карактеристике гориве смеше је њен *састав* (однос количине горива и ваздуха), а њена друга битна карактеристика је *хомогеност*, односно уједначеност састава смеше по њеној запремини. У зависности од захтева мотора састав смеше мора бити прецизно дефинисан.

Систем за напајање горивом ото мотора треба да омогући:

- економичност трансформације хемијске енергије горива у механички рад,
- ниску концентрацију штетних продуката у издувним гасовима,
- добру возивост,
- миран и што је могуће тиши рад,
- погодну регулацију у односу на брзински режим и ниво оптерећења,
- одговарајуће “праћење” тока дозирања и количине горива на променљивим режимима рада мотора са циљем постизања жељених статичких и динамичких карактеристика мотора,
- низак ниво механичких и термичких оптерећења и дуг век мотора и инсталације за довод горива,
- компактност инсталације за довод горива и њен погодан смештај на мотор,
- поузданост у раду, што мању компликованост и што је могуће нижу цену инсталације.

Основни услов које савремени мотори захтевају од инсталација за дозирање горива на треба да испуњавају:

1. Тачно дефинисану количину убризганог горива за један радни циклус и њену стабилну периодичност, са могућношћу одговарајуће промене сходно промени режима рада мотора.
2. Распоред и дисперзију горива по запремини коморе која обезбеђује што потпуније учешће ваздуха при сагоревању.
3. Хидродинамичку униформност са циљем обезбеђења идентичне гориве смеше по коморама вишецилиндричних мотора.

3.1 Прилагођавање гориве смеше радном режиму мотора

Од самог стартовања мотора, режими рада се непрестано мењају и самим тим су потребни различити састави радне смеше да би се омогућило оптимално функционисање. Неопходне су сталне корекције смеше за различите режими рада мотора, што је уједно и најбитнија улога система за напајање. Код мотора можемо издвојити неколико посебних режима рада мотора и то: хладан старт, загревање, празан ход, делимично оптерећење, убрзање, пуно оптерећење, кочење мотором, висинска корекција смеше.

Хладан старт. Током старта хладног мотора, због слабијег струјања ваздуха, гориво отежано испарава и меша се са ваздухом. Капљице неиспарелог горива се таложе на хладним зидовима усисне цеви и/или цилиндра, па смеша постаје пресиромашна. Овај проблем је решен тако што се приликом хладног старта дозира већа количина горива, да би се смеша довољно обогатила што би олакшало паљење.

Загревање. Одмах након стартовања, док мотор још увек није достигао радну температуру, неопходна је богатија смеша као и већи број обртаја како би се постигао уједначен рад мотора. У току фазе загревања мотора, без обзира на повећану брзину струјања ваздуха, за мирнији рад мотора неопходна је богатија смеша.

Празан ход. У току празног хода подразумева се да мотор ради без оптерећења. Током овог режима тежи се ка томе да се при најмањем могућем броју обртаја обезбеди равномеран и стабилан рад мотора. Мотори у празном ходу најчешће раде са смешом приближној стехиометријској.

Делимично оптерећење. Ово је најчешћи режим рада мотора који се јавља у току експлоатације, па је из тог разлога најпожељније да потрошња горива буде најмања, као и да се при томе поштују прописи о емисији штетних гасова.

Максимално оптерећење. При овом режиму рада мотора користи се богата смеша, како би се достигла максимална снага. Током рада овог режима јавља се неповољан састав издувних гасова, па је неопходно увођење система за њихову редукцију.

Убрзање. При отварању пригушног лептира, део убризганог горива не доспева одмах у цилиндар, већ се у течном стању таложи на зидове усисног колектора. Из тог разлога се количина убризганог горива повећава сразмерно оптерећењу мотора, да би се избегло осиромашење смеше. Када се смањи оптерећење, опадне и притисак у усисној цеви, гориво са зинова испари и додатно

обогаћује смешу. Приликом успорења се у истој размери врши редуковање количине убризганог горива.

Кочење мотором. Отпуштањем командне педале гаса затвара се пригушни лептир и смањује се или у потпуности прекида довод горива мотору, што доводи до тога да се мотор тада понаша као у режиму празног хода. Међутим услед кретања возила, преко преносног механизма, мотор успорава возило. И у овом режиму рада мотора смеша је прецизно регулисана у зависности од оптерећења мотора и квалитета издувних гасова.

Висинска корекција смеше. На већим надморским висинама (ваздух је ређи) мотор усисава мању масу ваздуха и услед тога се мења састав смеше (постаје богатија). Да се не би непотребно повећала потрошња горива, потребно је кориговати количину убризганог горива у зависности од атмосферског притиска. То је био приличан проблем код старијих карбураторских система и система заснованим на мерењу масе усисаног ваздуха. Код новијих система мери се запремински проток ваздуха и у складу са тим се регулише састав смеше, што значи да је ова регулација аутоматска.

3.2 Састав гориве смеше и њен утицај на снагу мотора и потрошњу горива

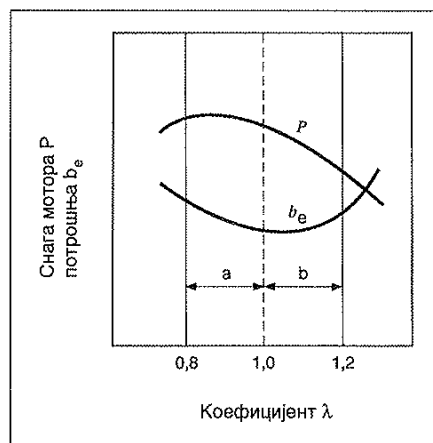
Радна смеша код бензинских мотора се састоји од мешавине испареног бензина и ваздуха у одређеном односу. Састав смеше описује коефицијент количине ваздуха λ , који се дефинише као однос стварне количине ваздуха (L_{st}) у смеши и теоријски потребне количине ваздуха (L_{teor}) за потпуно сагоревање (стехиометријска количина ваздуха). Представља се изразом:

$$\lambda = \frac{L_{st}}{L_{teor}}$$

L_{st} зависи од хемијског састава горива, а за комерцијалне бензине има вредност 14,7 кг ваздуха по 1кг горива (идеалан однос).

Границе упаливости смеше бензина и ваздуха дефинисане су вредностима $0,60 < \lambda < 1,35$.

На слици 2. дат је приказ снаге мотора и потрошње горива у зависности од коефицијента количине ваздуха. Уколико након завршетка процеса сагоревања у продуктима остане несагорелог горива, онда се ради о богатој смеси тј. $\lambda < 1$ (подручје а. на дијаграму), а уколико се у продуктима добије вишак кисеоника, смеша је сиромашна тј. $\lambda > 1$ (подручје б. на дијаграму). Упаљење сиромашне смеше је немогуће због недовољне топлоте развијене на свећици и немогућности загревања велике масе ваздуха, а код богате смеше имамо случај да сав кисеоник сагори са малом количином горива, јер остатак горива угуши процес сагоревања услед недостатка кисеоника. Код ОТО мотора највећа снага је при $\lambda = 0.85 - 0.95$, а најмања потрошња горива при $\lambda = 1.05 - 1.15$. За празан ход мотора најпогоднији је стехиометријски однос.



Слика 2. Дијаграм снаге мотора и потрошње горива у зависности од коефицијента ваздуха

3.3 Утицај састава гориве смеше на токсичност издувне емисије

Сагоревањем бензина добија се угљен диоксид (CO_2) и водена пара (H_2O). CO_2 није толико штетан у директном контакту, али ипак има негативну улогу у очувању животне средине. Због непотпуног сагоревања јављају се и штетни гасови као што су угљен моноксид (CO) и несагорео угљеноводоник (H_2). Ови гасови оксидирају са азотом који се налази у удисаном ваздуху и добијају се азотни оксиди (NO_x). Систем за убризгавање и систем за накнадну обраду издувних гасова има задатак да умањи штетни утицај издувних гасова на околину.

Угљен-моноксид (CO) је гас без боје и мириса, али је врло отрован. Смањује способност преношења кисеоника у крви, па присуство релативно мале концентрације CO изазива губитак свести, тровање и смрт након неког времена. Настаје као продукт непотпуног сагоревања, па због тога у зони богате смеше (када

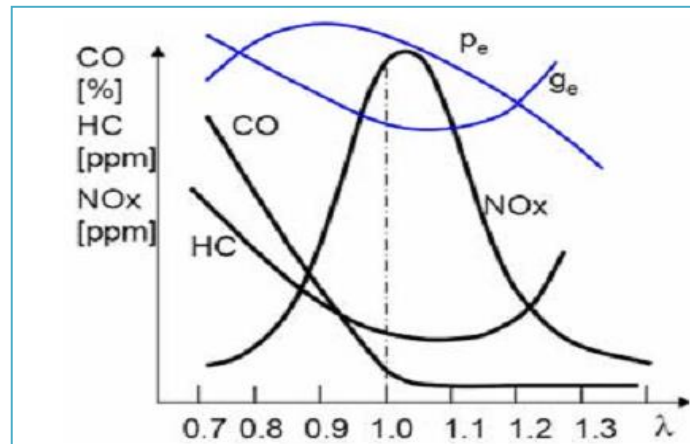
има вишка горива) постоји зависност CO од фактора ваздуха: што је смеша богатија то је концентрација CO већа. У зони сиромашне смеше не постоји значајан утицај смеше на промену концентрације CO, увек је релативно мала. Мањим делом се јавља и као последица дисоцијације, односно распадања већ формираног CO. Овом гасу се посвећује највећа пажња и његова концентрација изнад дозвољене границе директан је разлог непроласка возила на техничком прегледу.^[1]

Садржај азотових оксида (NO_x), директно је зависан од коефицијента ваздуха λ . Највећи садржај се постиже у подручју благо сиромашне смеше. У подручју богате смеше скоро сав кисеоник из ваздуха учествује у процесу сагоревања па се тек мали део веже уз азот. У подручју сиромашне смеше опада концентрација NO_x . Азотни оксиди су такође штетни за људско здравље јер надражују и оштећују дисајне органе. Њихов садржај утиче и на смањење видљивости, стварање фотохемијског смога, разарања озона у вишим слојевима атмосфере, стварање штетног озона у нижим слојевима атмосфере, као и стварање киселих киша.^[1]

Несагорели угљоводоници. "HC" је уствари симбол који означава скуп различитих врста угљоводоника, остатака несагорелог горива, који се посматрају кумулативно. Несагорели угљоводоници иритирају слузокожу дисајних органа, учествују у формирању тзв. "фотохемијског" смога (под дејством сунчеве светлости) а неки тежи угљоводоници цикличне структуре могу бити и канцерогени. HC су продукти недовршеног сагоревања које је или потпуно изостало (код неповољних услова) или потичу из зона у комори у којима долази до гашења пламена. То је слој у близини релативно хладних зидова коморе, процеп између клипа и цилиндра до првог клипног прстена и сл. HC у издувним гасовима може настати и услед повећане потрошње уља у мотору. Најмања концентрација HC се постиже у зони благо сиромашне смеше. У зони богате смеше HC се понаша слично CO, односно што је смеша богатија то је концентрација HC већа (горива има више од ваздуха па не може све да сагори), али пораст се догађа и у зони сиромашне смеше. Разлог за повећани удео HC у сиромашној смеси је непотпуно сагорвање укупне масе горива.^[1]

Оксиди азота (NO_x) иритирају слузокожу, и учествују у формирању реактивног озона и "фотохемијског" смога, а у реакцији са водом стварају киселине (одговорни су за тзв. "киселе кише"). Оксиди азота настају оксидацијом азота из ваздуха при високој температури и да би се они формирали у значајној количини потребно је дејство два фактора: високе вршне температуре циклуса (испод 2000 K практично их нема) и довољне количине кисеоника. У комори се углавном формира азотмоноксид (NO) који током издувавања и касније у атмосфери прелази у азотдиоксид (2NO).^[1]

Један од најважнијих утицајних фактора на емисију издувних гасова је састав гориве смеше. На дијаграму (сл.3) је приказана промена запреминске концентрације CO, HC и NO_x у функцији коефицијента количине ваздуха λ . Концентрација CO је скоро искључиво функција састава смеше и у богатој смеши је врло висока (и до 5-6 %) и опада са осиромашењем. При $\lambda=1$ концентрација је око 0,5-1%, а у сиромашној смеши је врло ниска. Концентрација HC је висока у богатој смеши и опада са осиромашењем, али после минимума, при благо сиромашној смеши, почиње нагло да расте, јер зона гашења пламена у близини зидова постаје све дебља. Код границе осиромашења концентрација HC постаје екстремно висока због нерегуларности сагоревања и изостанка упаљења. Максималне концентрације CH су до око 2000 ppm (не рачунајући у близини границе осиромашења). Криве ефективне снаге (p_e) и специфичне потрошње горива (g_e) одговарају истом положају команде оптерећења.



Слика 3. Утицај састава смеше ваздуха и горива на токсичне компоненте у издувним гасовима код ото мотора

Будући мотори морају највећи део радних режима у возилима прекривати економичним и еколошким перформансама. У најчешће коришћеној и најширој радној области тражи се економичан и ниско токсичан рад.

Богата смеша (коефицијент вишка ваздуха λ од 0.9 до 1) дозвољава се само: у областима максималне снаге, у динамичким условима током претицања и на празном ходу у хладним режимима. За сваки од тих режима треба изабрати одговарајући систем обраде издувних гасова са катализаторима који гарантују прописану емисију из мотора и возила.

Прописи о дозвољеној емисији за возила категорије M1 су приказани на табели 1. Мерење се врши применом стандардног *NEDC (NewEuropeanDriveCycle)* возног теста према директиви ЕЕС 90/C81/01.

NEDC	Датум примене	CO	HC	HC + NO _x Ox	NO _x	ПМ
Еуро 3	2000/01.	2,30	0,20	-	0,15	-
Еуро 4	2005/01.	1,00	0,10	-	0,08	-
Еуро 5	2009/09.	1,00	0,10	-	0,06	0,005
Еуро 6	2014/09.	1,00	0,10	-	0,06	0,005

Табела 1. Максималне дозвољене количине (g/km) појединих штетних материја у издувним гасовима моторних возила категорије M1

Како је аутомобилска индустрија била свесна негативних ефеката друмског транспорта на животну средину, она је током више деценија интензивно радила на новим технолошким решењима у циљу негативног утицаја возила на животну средину. Зато су приоритети савременог и будућег развоја возила, мотора и њихове опреме: редукција потрошње горива и смањење емисије у издувним гасовима. Развој и употреба нових технологија, а у циљу смањења емисије гасова, довела је до таквих напредних решења који су штетну емисију гасова смањили за више од 95%.

4.0 Подела система за убризгавање горива

Како је напредовало развијање технике и технологије, дошло се до идеје да се направи систем за убризгавање на моторним возилима који би требао да поправи динамичке карактеристике моторног возила и да смањи трошкове потрошње горива тј. да га учини што економичнијим. Први системи за убризгавање су били механички, затим комбинација механичког и електронског, док се данас користи само електронско убризгавање горива.

Основна подела система за убризгавање би била:

- A) Према дужини трајања убризгавања користи се:
 - a) Циклусно
 - b) Континуално убризгавање
- B) Према месту убризгавања постоји:
 - a) убризгавање у усисну цев
 - b) директно убризгавање
- C) Према начину регулisaња система постоје:
 - a) системи са механичком регулацијом
 - b) системи са електронском регулацијом.

4.1. Подела система за убризгавање према дужини трајања убризгавања

Циклусно (периодичо) убризгавање

Код овог начина, убризгавање се обавља помоћу електричних брызгалки, односно електромагнетних брызгалки. Оне се периодично отварају и затварају под утицајем електричних импулса које шаље електронска управљачка јединица. Количина горива дозира се дужином трајања електричног импулса, уз константни притисак. Убризгана колична горива, практично зависи само од времена отварања млазнице.

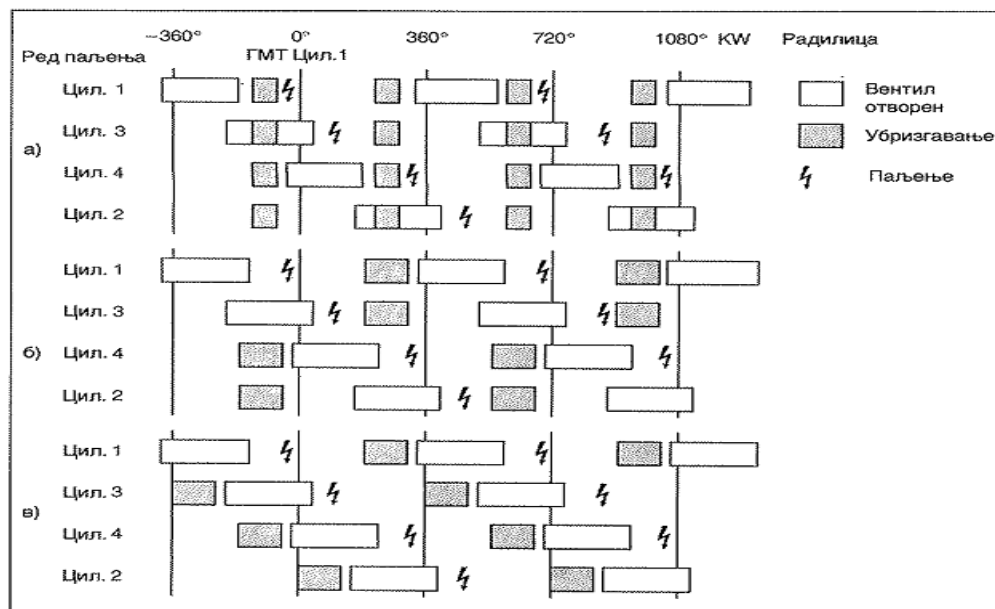
Могућности и варијације зависе од изабраног начина убризгавања:

- симултано,
- груписано или
- секвенцијално.

Симултано убризгавање. Периодично убризгавање омогућава да се мења и тренутак, односно положај убризгавања у односу на угао обртања радилице. Најједноставнији начин је симултано убризгавање. Код овог начина сваки вентил у истом тренутку почиње убризгавање горива у циклусима - једном за сваки обртај радилице, тј. два пута по обртају брегасте осовине (сл.4 а).

Групно убризгавање. Код овог начина вентили су подељени у две групе, тако да свака група убризгава гориво једном по циклусу. Такав распоред омогућава да положај убризгавања по групама зависи од радне тачке мотора, а регулације у читавој области мапе података искључују непожељно убризгавање у отворени усисни вентил (сл.4 б).

Секвенцијално убризгавање. Пружа највећу слободу при избору положаја убризгавања. Тренутак убризгавања се може слободно програмирати и подесити према свим важећим оптималним критеријумима по цилиндру (сл.4 в).



Слика 4. Шематски приказ поређења начина убризгавања : а) симултано убризгавање, б) груписано убризгавање, в) секвенцијално убризгавање

Континуално убризгавање

Код овог начина убризгавања, брызгалке се отварају под дејством притиска горива и остају непрекидно отворене док мотор ради. Гориво, се према томе, непрекидно убризгава у усисне цеви, испред усисних вентила, где се меша са ваздухом, испарава и у такту усисавања улази у цилиндри. Количина горива се дозира пригушивањем, односно променом притиска убризгавања. Добре стране овог начина су једноставнија конструкција и ниска цена, а недостатци су мања прецизност регулације и слабија дисперзија горива, посебно при нижим режимима рада мотора. Систем периодичног убризгавања је скоро потпуно потиснуо овај систем из употребе.

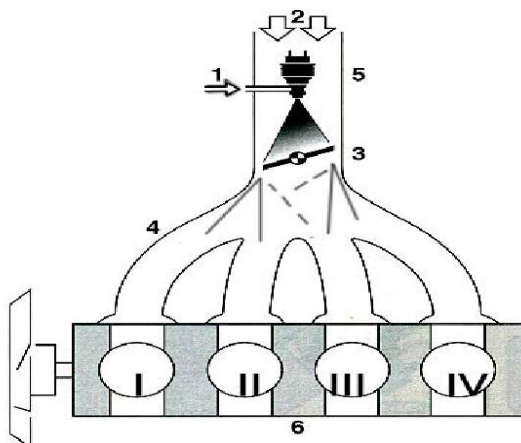
4.2. Подела система према месту убризгавања горива

Убризгавање у усисну цев

Убризгавање горива у усисну цев може бити изведено на два начина, као убризгавање у једну тачку или као убризгавање у више тачака.

Убризгавање у једну тачку (*SinglePointInjection-SPI*)

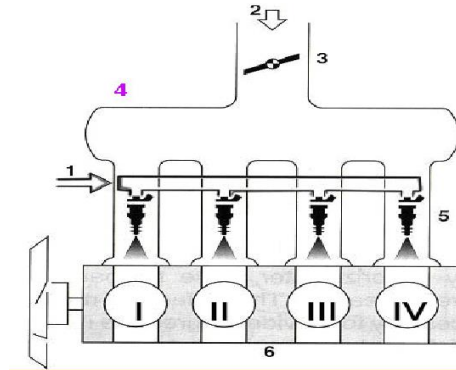
Код овог електронског система гориво се помоћу једне електромагнетне брызгалке, која је постављена испред пригушног лептира, убризгава у струју усисаног ваздуха (сл. 5). Овде се место убризгавања и место увођења горива поклапају, слично као код карбураторских система уз ту разлику што се гориво распршује под притиском. Гориво се дозира у зависности од потпритиска у усисном воду тј. од положаја пригушног лептира.



Слика 5. Шема SPI система: 1. Улаз горива у брызгач, 2. Пречишћен ваздух, 3. Командни лептир гаса, 4. Усисни колектор, 5. Модул за убризгавање, 6. Блок мотора

Убризгавање у више тачака (Multi Point Injeciton-MPI)

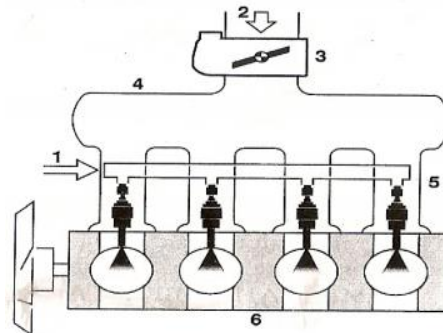
Овај систем (сл. 6) пружа далеко боље услове за прецизну регулацију мотора у односу на претходне. Усисни канал сваког цилиндра има електромагнетну брызгалку, чиме се постиже боља расподела смеше по цилиндрима. Свака брызгалка даје исту количину горива и пуњење цилиндра не зависи од геометрије усисног вода као код претходних система. Распршивање горива под притиском и при релативно високој температури, омогућава добро мешање, испаравање и хомогенизацију смеше.



Слика 6. Убризгавање у више тачака-MPI: 1.Улаз горива у разводну цев, 2.Пречишћен ваздух, 3.Командни лептир гаса, 4.Усисни колектор, 5. Електромагнетни вентил, 6.Блок мотора

Директно убризгавање

Код овог систем (сл.7) електромагнетни вентил убризгава гориво директно у комору за сагоревање (цилиндар). Зато сваки цилиндар има свој вентил (брызгалку) за убризгавање, а мешавина се ствара у самом цилиндру. За добро сагоревање неопходно је фино распршивање горива приликом убризгавања. У нормалном режиму рада, мотори са директим убризгавањем усисавају само чист ваздух, а не мешавину као код свих осталих конвенционалних система убризгавања. У томе и лежи главна предност овог система, јер нема кондензације горива по зидовима усисних цеви и цилиндара. Образовањем смеше, директно у простору за сагоревање могуће је остварити два потпуно различита начина сагоревања.



Слика 7. Директно убризгавање: 1. Улаз горива у разводну цев, 2. Пречишћен ваздух, 3. Електронски пригушни лептир, 4. Усисни колектор, 5.Електромагнетни вентил, 6. Блок мотора

4.3 Подела система за убризгавање према начину регулације

Механичка регулација

У самом почетку регулација убризгане количине горива је била чисто механичка, која самостално функционише са континуалним убризгавањем горива. Предност су јако једноставнија конструкција и нижа цена, а мана тешко обухватање већег броја утицајних чинилаца за прецизну регулацију.

Најпознатији систем је *K-Jetronic* који је представила компанија *Bosch* 70-их година двадесетог века. Систем је потпуно механички контролисан са индиректним континуалним убризгавањем бензина. Назив *K-Jetronic* потиче од континуални. Количина убризганог горива одређује се према количини усисаног ваздуха.

Електронска регулација

Ова регулација, осим континуалног, омогућава и периодично убризгавање, помоћу електромагнетних брызгалки, којима управља електронска управљачка јединица. Она има задатак да прикупља и обрађује електричне сигнале давача и да затим на основу прикупљених информација формира електричне импулсе, којима се активирају брызгалке. Тако је обухваћен већи број утицајних чинилаца као и прецизнија регулација састава смеше у овим условима рада мотора.

Први електронски систем убризгавања бензина развила је компанија *Bandix* 1957-е године и био је коришћен углавном на америчком тржишту. *Bosch* је свој први комерцијални систем овог типа на тржиште избацио 1967-е године под називом *D-Jetronic*. Након њега *L-Jetronic*, *LH-Jetronic*, *Моно-Jetronic*, *Bosch Motronic* системи итд.

5.0 Спрегнути системи убризгавања и паљења гориве смеше

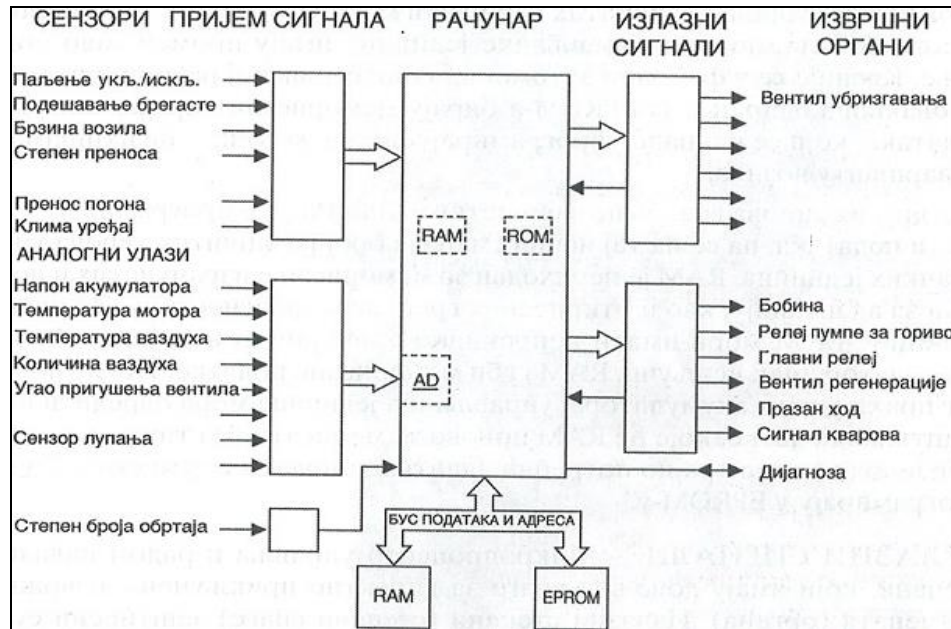
У производњи система паљења, напајања горивом и комплетним управљањем возила се издваја компанија *Bosch*. Фирма *Bosch* производи спрегнуте системе паљења и напајања горивом *Motronic*. Између осталих функција *Motronic* има и дијагностичке задатке. Они су углавном изведени из *Jetronic* система који су управљали само убризгавањем бензина. Скраћеница *Motronic* изведена је из *Motoreletrconic* и ови системи појавили су се крајем осамдесетих година. Упоредо са системима убризгавања, непрекидно су усавршавани и системи електронског управљања мотором. Тако је након 1995-е године дошло до масовне појаве електронске команде гаса и управљање мотором је постало потпуно електронско. Ови системи такође имају значајну улогу у праћењу целокупног оперативног стања аутомобила преко *OBD (On-board-diganostic)* дијагностике, на шта се троши приближно половина рачунарских и меморијских ресурса. Нервни центар овог система је микроконтролер са програмском меморијом (*EPROM* или *Flash*) у којој се складиште сви процесни алгоритми. Улазне променљиве утичу на резултате алгоритама и формирају наредбе за извршне елементе (актуаторе). У овом раду ће детаљно бити објашњен *BOSCH M-Motronic*.

5.1 Основе функционисања на примеру система **BOSCH M-MOTRONIC**

Овај систем обједињује електронско паљење и убризгавање и у данашње време тај систем можемо најчешће срести на аутомобилима са ото мотором. Целокупна електроника којом се регулише рад мотора, са свим регулационим и управљачким функцијама налази се у електронској управљачкој јединици (ЕУЈ).

Основне функције *BOSCH M-Motronic* система су управљање паљењем и убризгавањем, прикупљање и обрада основних параметара о раду мотора као и осталих информација и мерних величина. Остале управљачке и регулационе функције везане су за оптимизацију потрошње горива и квалитета издувних гасова. То су пре свега број обртаја у празном ходу, ламбда регулација, редукција испареног горива и рецикулација издувних гасова ради смањења емисије азотних оксида (NO_x). У зависности од конструкције мотора ту су још управљање радом турбо-пуњача у циљу повећања снаге мотора, подешавање брегастог вратила ради смањења потрошње горива и емисије штетних материја у издувним гасовима, као и заштита од детонантног сагоревања, прекорачење броја обртаја мотора и брзине кретања возила.

ЕУЈ је централни модул за управљање радом мотора код свих *Motronic* система, њена блок шема дата је на слици 8. Потребни подаци и параметри који карактеришу рад мотора прикупљају се помоћу више сензора. У ЕУЈ се прикупљају подаци о систему паљења, положају брегастог и коленастог вратила, брзине возила, тренутног преносног односа у мењачу, клима уређају итд. На основу сигнала сензора, а помоћу меморисаних функција, ЕУЈ израчунава управљачке сигнале за извршне елементе (индукциони калем, брызгалка итд.) и непосредно управља њиховим радом преко излазних степена.



Слика 8. Блок шема ЕУЈ код BOSCH M-Motronic система

У чврстој металној кутији налазе се процесор и остала осетљива електронска кола на штампаним плочицама. Сви сензори и извршни елементи, као и електрично напајање, везују се за управљачку јединицу преко вишеполних прикључница.

Захтеви у погледу температуре, влаге и механичких утицаја на ЕУЈ су врло строги. Слично је и са заштитом од електромагнетних сметњи и високофреквентних таласа. У нормалним условима рада управљачка јединица подноси температуре околине од -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$ и напоне акумулатора од 5 V (регулатор напона на улазу). При свим тим релативно великим променама температуре и напона обрада података и примљених сигнала мора бити беспрекорна. ^[2]

Улазни сигнали допремају се до управљачке јединице у разним облицима. Посебну групу чине аналогни улазни сигнали: напон акумулатора, температура ваздуха и мотора, количина усисаног ваздуха, угао пригушног лептира, ламбда сонда, детонантно сагоревање, мотора, као и број обртаја мотора.

Ови сигнали се одмах на улазу, преко улазних струјних кола (улазни степен), обрађују за микропроцесор. Помоћу аналогно-дигиталних (AD) претварача претварају се у дигиталне сигнале.

Сигнал броја обртаја од индуктивног давача и референтни сигнал положаја радилице обрађују се посебно да би се пригушиле импулсне сметње. Обрађујући ове сигнале микропроцесор одређује радно стање мотора и према томе израчунава вредности управљачких сигнала. Затим се управљачки сигнали појачавају у излазном степену (степен снаге) и помоћу њих се преко извршних органа управља радом мотора. На овај начин се у свим режимима рада мотора остварује оптимално убризгавање квалитетно припремљене радне смеше уз најповољнији тренутак паљења.

Потребни програми за обраду података налазе се у меморијама RAM (*RandomAccessMemory*) и EPROM (*ErasableProgrammableRead-OnlyMemory*). Ту су меморисани дијаграми и мапе података специфичне за овакве управљачке системе савремених мотора. Због великог броја различитих варијанти мотора и опреме за различите типове возила, поједине управљачке јединице имају променљиво кодирање. Касније се у фабрици аутомобила или сервисној радионици, помоћу оваквог кодирања из EPROM-а бирају меморисани дијаграми и мапе података, који се накнадно програмирају према жељеним функцијама за ту варијанту возила. Код других типова возила по завршетку у EPROM-у се програмирају комплети података, па се на тај начин смањује број различитих типова управљачких јединица.

RAM је неопходан за меморисање израчунатих и података за адаптацију, као и откривених грешака у дијагностици. За овакву функцију RAM мора имати непрекидно електрично напајање. Ако се акумулатор ипак искључи, RAM губи меморисане податке. После поновног прикључења акумулатора, управљачка јединица мора одредити нове адаптивне податке, које ће RAM поново меморисати.

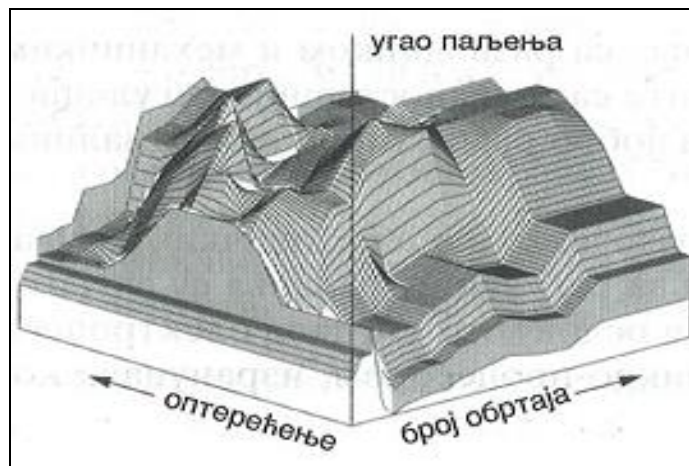
Микропроцесор управља и радом излазних степени, који имају довољно снаге за директно прикључење извршних елемената (органа). Излазни степени (степен снаге) заштићени су од кратких спојева или преоптерећења.

Дијагностичка функција управљачке јединице OBD (*On-board-diganostic*) препознаје грешке које се јављају на излазним степенима, и у случају потребе искључује неисправан излаз. RAM меморише откривене грешке, које се затим у сервисним радионицама преко одговарајућих јединица за прилагођавање ишчитавају помоћу дијагностичког уређаја.

Повезивањем централне управљачке јединице са управљачким јединицама других система, *BOSCH M-Motronic* потпомаже и усклађује рад и тих система. На пример, повезивање са управљачком јединицом аутоматског мењача омогућава се смањење потиска током преноса, што штити механизам мењача и повећава удобност вожње. Још један пример је варијанта повезивања са системом против блокирања точка и против проклизавања повећава се стабилност вожње.

Систем паљења

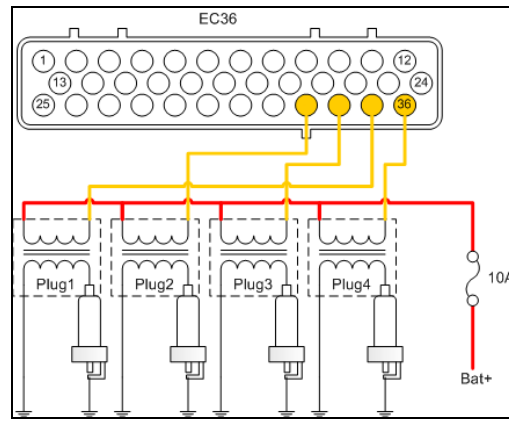
У данашње време се прешло на електронске системе паљења, јер су се у пракси показали далеко ефикаснијим у односу на конвенционалне системе. Основни параметри за регулацију паљења су сигнали броја обртаја и оптерећења мотора. На основу тих сигнала електронска управљачка јединица, са уграђеним микропроцесором израчунава угао паљења. На слици је дата тродимензионална електронска мапа (сл.9) која је меморисана у меморији ЕУЈ.



Слика 9. Мапа паљења

Код електронског паљења за сваку радну тачку мотора угао претпаљења се одређује према различитим параметрима, и то: број обртаја мотора са радилице, број обртаја са брегасте осовине, оптерећење мотора мерењем потпритиска у усисној грани, температуре мотора, температуре усисаног ваздуха, положај пригушног лептира, напон акумулатора, садржај кисеоника у издувним гасовима, појава детонатног паљења. Све ове параметре ЕУЈ обрађује и тражи најбоље компромисно решење тренутка паљења. У зависности од режима рада разликују се критеријуми који дефинишу тренутак паљења, и то је разлог слојевитости дијаграма електронског паљења.

Тренутак паљења, тј. прескакања варница на свећицама, мери се углом коленастог вратила. Да би дошло до варнице непходан је јако висок напон (и до 30.000 V) који обезбеђује индукциони калем. Некада се то радило тако што се напон индукује у индукционом калему, па се затим преко разводника доводи до свећица. У данашње време се прешло на новије врсте индукционих калемова који су изузетно малих димензија и у којима је интегрисано и прекидачко коло. Постављају се на саме свећице па се зато називају компактним индукционим калемовима или компактним бобинама (сл 10). Зависно од конструкције и положаја магнетног кола ове бобине се израђују и у цилиндричном, то јест штапном облику.



Слика 10. Шематски приказ модерног система паљења

У случају изостанка паљења, због отказа свећице или бризгальке, или неког другог дела система, несагорели гасови (делови смеше) доспевају до катализатора. То може да оштети катализатор, али и да осетно загади околину. Постоји више начина провере и то: праћењем промене угаоне брзине радилице, праћењем састава издувних гасова, праћење јонизујуће струје унутар коморе за сагоревање, праћењем притиска у комори и праћењем обртног момента мотора.

Од више различитих начина за откривање изостанка паљења најпоузданији и најчешћа је провера равномерности рада радилице, односно броја обртаја мотора. Када изостане паљење у неком цилиндру, изостаје и обртни момент који се створи у том цилиндру. Успед тога се осети извесна неравномерност и успорење у обртању радилице. При малом броју обртаја и већем оптерећењу то је осетно. Међутим при великом броју обртаја и мањим оптерећењу то успорење између два паљења је само 0,2%. Зато се обртаји морају прецизно мерити и на основу сложених израчунавања мора се препознати изостанак паљења у односу на друге сметње. Када до тог препознавања дође, ЕУЈ одмах искључује бризгальку.

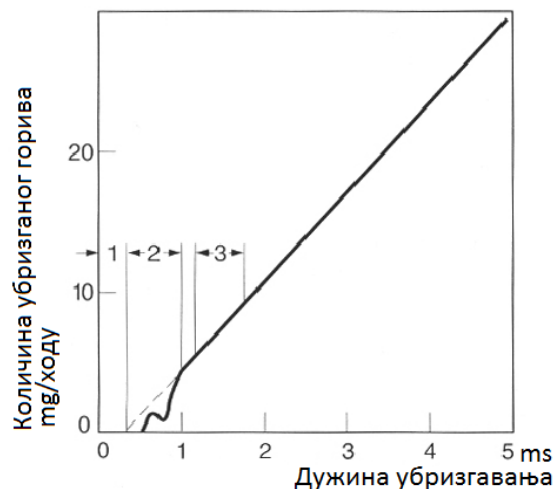
Време убризгавања горива

Оптерећење мотора је један од најважнијих података за израчунавање убризгане количине горива, као и угла паљења. Код *BOSCH M-Motronic* система оптерећење мотора се одређује помоћу:

- мерача протока количине ваздуха (запреминског протокомера) или мерача масе усисаног ваздуха (масени протокомер),
- сензора притиска у усисној цеви и
- давача положаја (угла заокретања) пригушног лептира.

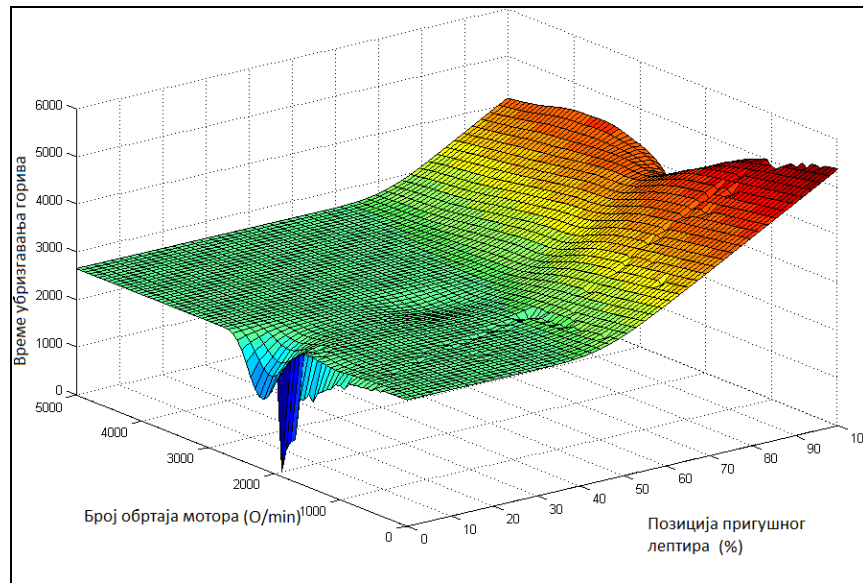
Давач положаја пригушног лептира код овог система чешће се користи као помоћни сензор за одређивање оптерећења мотора, само у ретким случајевима користи се и као главни сензор за мерење протока ваздуха.^[2]

Основно време убризгавања израчунава се непосредно из података о оптерећењу мотора и константе брызгалке. Ова константа зависи од конструкције брызгалке, а одређује проток горива у зависности од времена отварања. Производ времена убризгавања и константе брызгалке даје количину горива која одговара количини усисаног ваздуха (сл.11). Ово израчунавање односи се на идеалан, стехиометријски састав смеше, где је коефицијент количине ваздуха ($\lambda = 1$). У свим другим случајевима време убризгавања се коригује према ламбда дијаграму или се коригује при промени напона акумулатора.



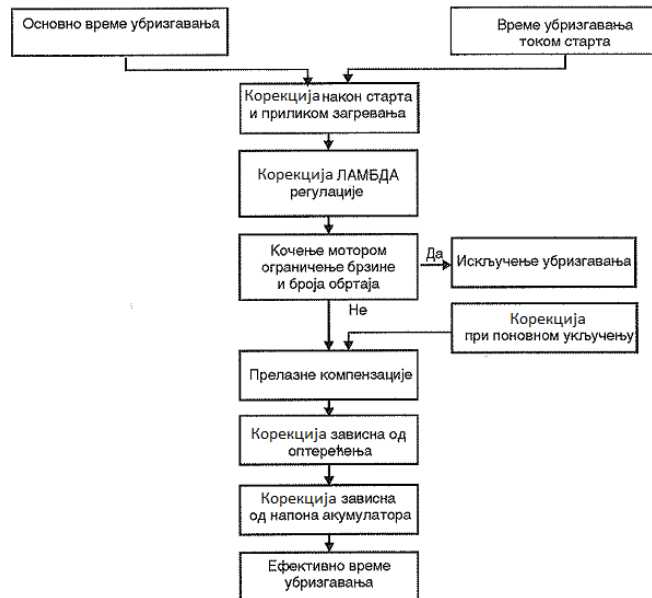
Слика 11. Карактеристика брызгача: 1-Време кашњења брызгача, 2-Део нелинеарне карактеристике, 3-Дужина убризгавања на празном ходу и ниским оптерећењима^[1]

У посебним режимима рада у ЕУЈ постоји мапа убризавања горива, по којој се врши убризавање узимајући у обзир само оптерећење мотора на основу броја обртаја и положаја команде гаса (сл.12).



Слика 12. Мапа убризавања

Стварно време убризавања добија се после свих корекција којима се узимају у обзир различити услови рада мотора. Поступак израчунавања ефективног времена убризавања шематски је приказан на слици 13. Постоји ограничење и за минималну количину убризаног горива да смеша не би постала превише сиромашна и била испод границе запаљивости. Овим се смањује садржај несагарелих угљоводоника (CH) у издувним гасовима. Време убризавања се током старта израчунава посебно, независно од сигнала оптерећења.



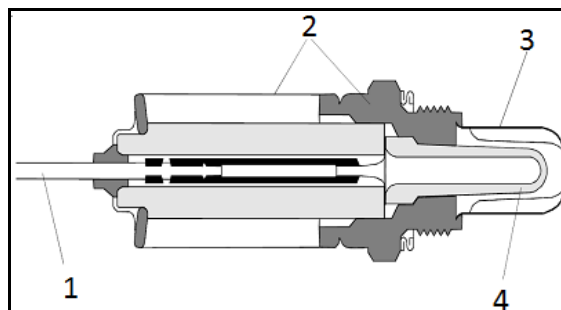
Слика 13. Блок шема времена убризавања код BOSH M-Motronic система

Ламбда сонда и њена улога у систему образовања смеше

Како би били испуњени законски прописи о емисији издувних гасова, на моторним возилима се уграђују се посебни системи за њихову обраду. Аутомобилске емисије се могу контролисати на три начина. Први начин је тежња ка потпуном сагоревању, други је повратак вишка угљоводоника назад у мотор где ће се извршити сагоревање и трећи је обезбеђивање додатног простора за оксидацију, који се назива каталитички конвертор (катализатор).

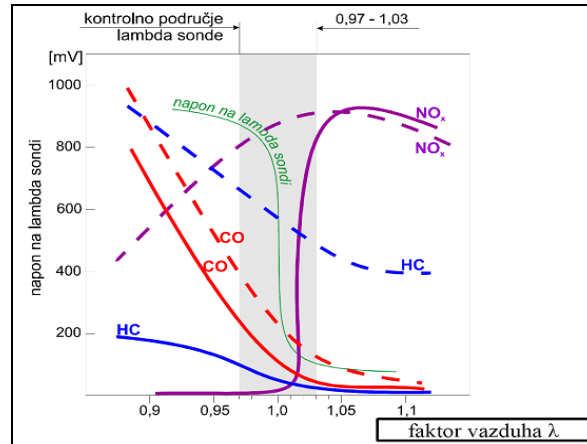
Како би катализатори деловали са максималним учинком потребан је стехиометријски однос горива и ваздуха у смеси. Да би имали информацију о том односу неопходни су нам ламбда сонда сензори који се постављају пре и након катализатора. Идеалан однос је већ раније поменут, и он износи 14,7 килограма ваздуха на 1 килограм убризганог горива ($\lambda=1$). Ламбда сонда је сензор који мери количину кисеоника у издувним гасовима те непосредно учествује као регулаторни елемент при промени гориве смеше. Функција ламбда сонде је управо да детектује одступања ламбда фактора у издувним гасовима од идеалне вредности, да их проследи ЕУЈ и да се у зависности од тога регулише количина убризганог горива.

Сонда се поставља у струју издувних гасова и обликована је тако да је спољна електрода окружена издувним гасом, а унутрашња електрода изложена ваздуху. Тело керамичке сонде је смештено у шупљем кућишту које има заштитну капу и електрични прикључак (сл.14). Површина керамичког тела сонде има микропорозни платински слој који са једне стране прецизно утиче на карактеристику сонде, док са друге стране служи као електрични контакт. Високо адхезивна и високо порозна керамичка превлака нанета је преко платинастог слоја на крају керамичког тела које је изложено издувним гасовима. Овај заштитни слој штити платински слој од ерозије чврстим честицама из издувних гасова. На страни електричног прикључка (изван издувне цеви) преко сонде је постављен заштитни метални плашт који је увијен у кућиште. Овај плашт има отвор ради осигурања компензације притиска у унутрашњости сонде, а служи још и као ослонац диск опруге.



Слика 14. Ламбда сонда; 1- Електрични контакт, 2. Кућиште сензора, 3. Заштитни омотач, 4. Керамички сензор

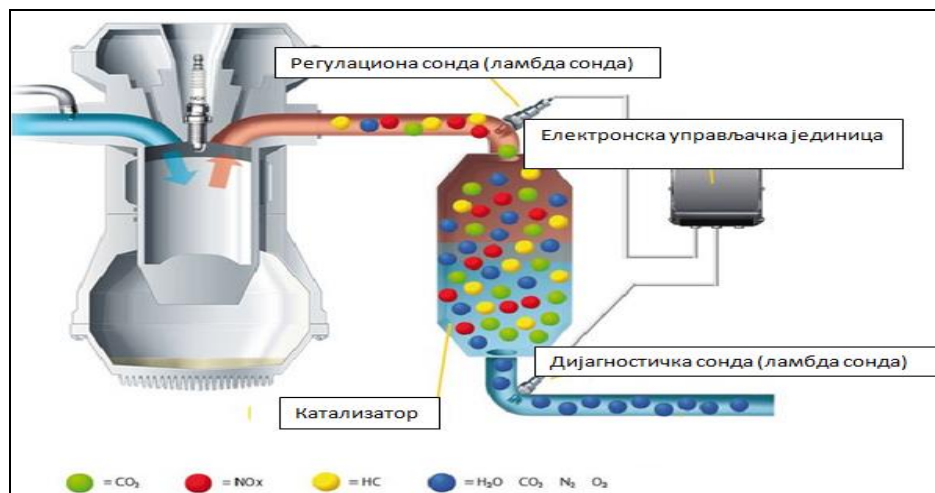
У подручју стехиометријске смеше ваздуха и горива ($\lambda = 1$), долази до скока у кривој излазног напона давача. Овај напон представља мерни сигнал, на основу њега се врши регулација убризгавања горива. Напон се креће у границама од 200mV до 800mV. На слици 15. је приказан дијаграм функције ламбда сонде, и количина издувних гасова у односу на смешу.



Слика 15. Дијаграм функције ламбда сонде^[1]

Да би се задржале насlage сагоревања у издувном гасу даље од керамичког тела, крај сонде који продире у струју издувних гасова заштићен је специјалном заштитном цеви која има отворе дизајниране тако да издувни гасови и чврсте честице у њему не долазе у директан контакт са керамичким телом. Осим овако обезбеђене механичке заштите, са успехом је смањена ефективна промена температуре сонде за време преласка са једног радног облика на други. Излазни напон λ -давача као и његов унутрашњи отпор, зависе од температуре. Поуздано функционисање сонде је једино могуће при температури издувних гасова изнад 350° C (негрејана верзија) и изнад 200° C (грејана верзија). Да би достигле радну температуру потребно им је око 30 s.

Ламбда контрола затвореном петљом представља (сл. 16), заправо, постојање повратне информације од сонде ка мотору, односно ка управљачкој јединици и уз њену помоћ се може врло прецизно одржавати однос ваздуха и горива приближно $\lambda = 1$. Употребом склопа контроле затвореном петљом формираног уз помоћ поменуте сонде, могу се установити и кориговати одступања од специфицираног односа ваздуха и горива.



Слика 16. Шематски приказ ламбда контроле са затвореном петљом

Ламбда сонда делује тако што шаље информације (електричне импулсе) да ли је смеша богатија или сиромашнија од $\lambda = 1$. Ова промена се обрађује у електронској управљачкој јединици (ЕУЈ) која је за ову сврху опремљена склопом контроле затвореном петљом. Код овог система постоји још једна ламбда сонда која је постављена након катализатора и која има улогу провере рада регулационе ламбда сонде.

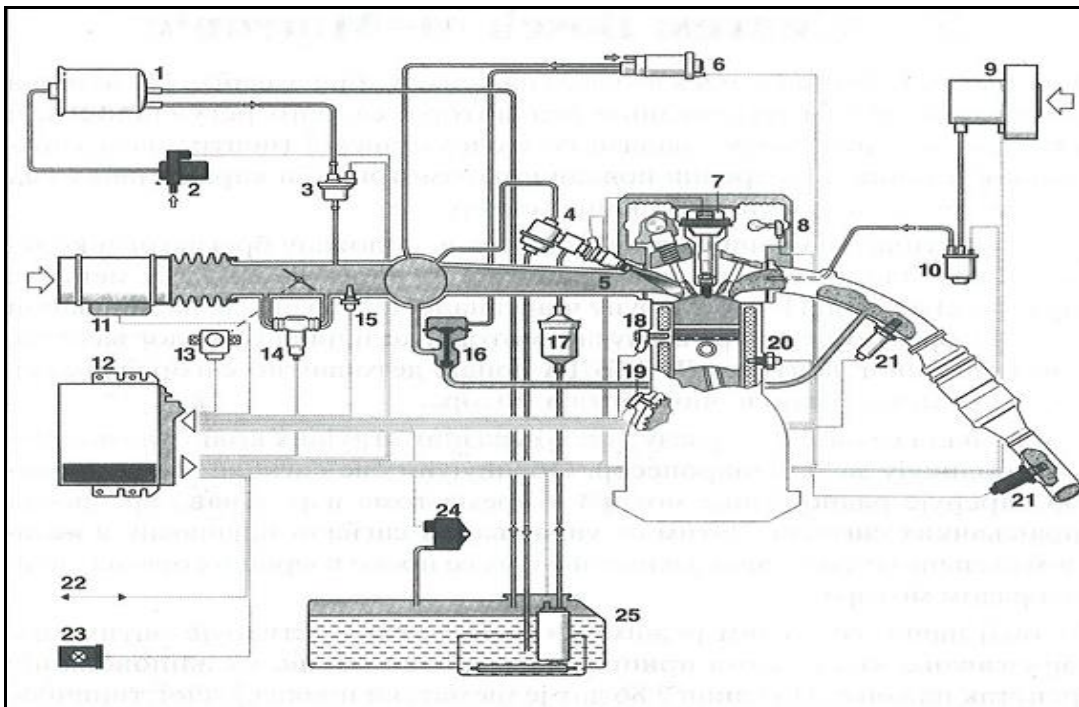
Пре него што да поуздан сигнал, сонда мора достићи температуру изнад 350 степени. Док се та температура не постигне обустављена је контрола затвореном петљом, а смеша горива и ваздуха се формира на средњем нивоу контролом отвореном петљом, дакле без повратне информације. У зависности од тренутних жеља и потреба возача ова вредност λ варира у границама од 0,8 до 1,2. Уколико се, на пример, изискује нагло и оштро убрзање централна компјутерска јединица пребацује убризгавање горива на режим отворене петље и убризгава онолико горива колико је потребно да би се остварио жељени рад мотора ($\lambda < 1$). Исто ово важи и у случајевима када се захтева кочење мотором, што је карактеристично за дуге низбрдице, у мотор ће тада бити убризгавана количина горива мања од уобичајене за неки број обртаја ($\lambda > 1$). Мотор ради у отвореној петљи и у току следећих режима рада мотора: наглог убрзања, максималном оптерећењу и моторном кочењу (када се прекида доток горива).

С обзиром на време које је неопходно да издувни гасови стигну од мотора до сонде, неопходна је извесна корекција (тзв. преткоманда) за ламбда регулацију. Ова корекција је неизбежна због кашњења, јер централна управљачка јединица управља убризгавањем на основу претходног сигнала ламбда сонде. Зато се, без те промене, дешава да непосредно по преласку из једне у другу радну тачку мотор ради са неодговарајућом смешом ($\lambda \neq 1$), све док се не успостави ново равнотежно стање. Из тих разлога, у тим прелазним режимима корекција се врши са ламбда дијаграма, који је у RAM-меморији управљачке јединице. Ако се током рада појаве

неке промене које захтевају другачију корекцију, рачунар сам изврши ту преправку, и то меморише у RAM-меморију која има непрекидно електрично напајање. Зато при новом покретању мотора, рад почиње са поправљеном регулацијом и пре него што се загреје и активира ламбда сонда. Ако се ипак прекине електрично напајање, меморисане вредности се бришу. Током рада рачунар поново врши корекцију

Шематски приказ *BOSH M- Motronic*

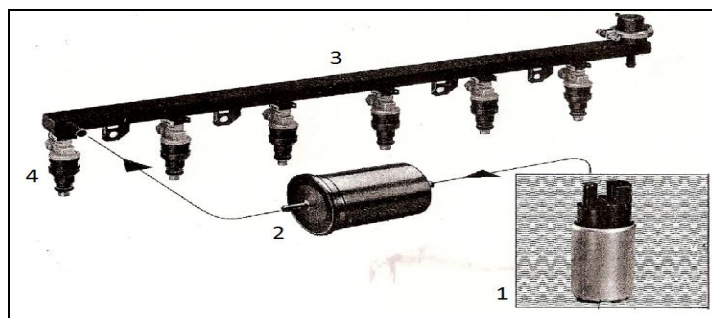
На слици 17. је дат приказ система *BOSH M- Motronic*, са свим елементима и њиховом положају у систему. У даљем делу рада детаљно ће бити објашњен систем убризгавања са његовим компонентама.



Слика 17. Шема *BOSH M-Motronic* система^[2]: 1. регенератор са активним угљем, 2. вентил за ваздух, 3. електрични вентил регенератора, 4. рефулатор притиска за гориво, 5. брызгалка, брегулатор притиска у устисној цеви, 7. индукциони калем, 8. сензор фазе, 9. пумпа за секундарни ваздух, 10. вентил секундарног ваздуха, 11. мерач протока ваздуха, 12. ECU, 13. давач положаја пригушног лептира, 14. регулатор празног хода, 15. сензор температуре ваздуха, 16. вентил за повраћај издувних гасова, 17. филтер за гориво, 18. сензор кликтања, 19. сензор броја обртаја мотора, 20. сензор температуре мотора, 21. ламбда сонда, 22. Прикључак за дијагностику, 23. сигнална лампица прикључка, 24. сензор разлике притисака, 25. резервоар за гориво са уграђеном пумпом

5.2 Инсталација за напајање горивом

Инсталација за напајање горивом (сл.18) код *BOSCH M-Motronic* система има задатак да у свим режимима рада мотору обезбеди довољну количину горива. Има електричну пумпу која преко филтера гориво из резервоара потискује ка главној разводној цеви (разделнику) на којој се налазе брызгалке и регулатор притиска.



Слика 18 . Упоршћена инсталација за напајање горивом :1-Ел. Пумпа унутар резервоара,2-Филтер за гориво,3- Главна разводна цев, 4. Електромагнетни вентил (брызгалка)

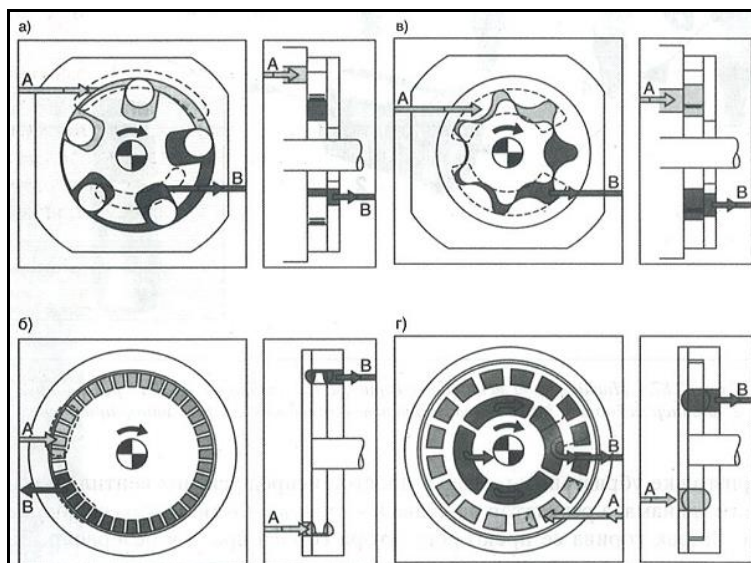
Брызгалке убрызгавају гориво у простор испред усисних вентила у усисним гранама, а регулатор одржава константан притисак у разводној цеви. Вишак горива се преко регулатора горива враћа у резервоар. Захваљујући непрекидном струјању горива под притиском, које се на тај начин и хлади, избегнуто је и стварање ваздушних мехурића. Тако се на брызгалкама одржава уобичајена разлика притиска од око 300 kPa (3 bar). У системе се уграђује и хидраулична пригушница којом се ублажавају осцилације притиска.

Електрична пумпа за гориво

Електрична пумпа се најчешће поставља у резервоар заједно са показивачем нивоа горива и посудом за одвајање ваздушних мехурића из повратног вода. Ако се постави у напојни вод, постоји опасност да повуче ваздух и ради без горива. То је онемогућено додавањем помоћне пумпе у резервоару, која под ниским притиском допрема гориво до главне пумпе.

Према конструкцији пумпе се деле у две групе. У прву групу спадају тзв. потисне ваљчaste и зупчaste пумпе, а у другу тзв. хидрауличне, центрифугалне пумпе са периферним и бочним каналима (сл. 19).

Рад ваљчastих пумпи заскива се на принципу истискивања горива. То се остварује обртањем радног кола са ваљцима, између којих се стварају обртне коморе променљивих запремина. ваљци су услед центрифугалне силе током обртања стално приљубљени за унутрашњи, ексцентрично обликован обод кућишта пумпе (сл 19.а). Ваљчaste пумпе остварују притиске и до 6 bar, а зупчaste до 4 bar, што је довољно за било коју варијанту *Motronic* система.



Слика 19. Принцип рада потисних и хидрауличних пумпи^[5]: а) Ваљчаста пумпа са ћелијама, б) центрифугална пумпа са периферним каналима и лопатицама, в) зупчаста пумпа са унутрашњим озубљењем, г) центрифугална пумпа са бочним каналима и лопатицама

Принцип рада зупчастих пумпи са унутрашњим озубљењем је сличан раду ваљчистих, само је конструкција обртних комора различита. Радно коло се састоји од мањег погонског зупчаника који се налази унутар већег, слободног зупчаника, са унутрашњим озубљењем. Спољашњи слободни зупчаник је ексцентрично постављен у односу на унутрашњи погонски и има један зуб више од њега (сл 19. в). Захваљујући оваквом распореду зубаца и зупчаника, током обртања између зубаца се стварају обртне коморе променљивих запремина. Оне, са једне стране захватају (усисавају) гориво, а са друге га потискују ка излазу.

Лопатице радног кола хидрауличних центрифугалних пумпи захватају честице течности, убрзају их и избацују ка излазном каналу, где се ствара притисак. Пумпе са периферним лопатицама имају више мањих лопатица и по обиму увлаче и избацују течност (сл. 19. б). Максимални притисак ових пумпи је до 3 bar, који је веома константан без пулсирања, па оне не стварају буку током рада.

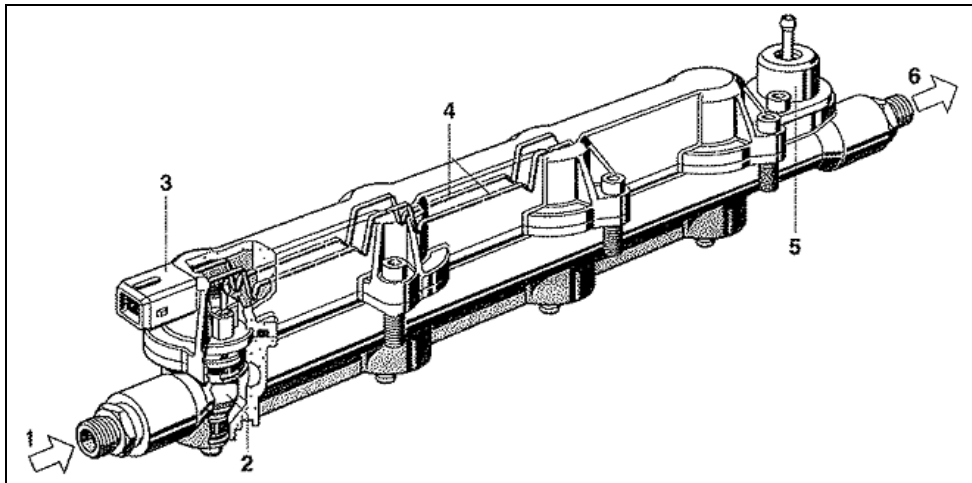
Хидрауличне пумпе са бочним каналима имају двоструко радно коло па су двостепене. Спољашње коло усисава течност и потискује га према унутрашњем, где се уз повишен притисак избацује бочно ка излазном каналу. Максимални притисак ове пумпе је свега око 1 bar, па се користи за системе са централним убризгавањем, где је тај притисак довољан. Користи се и као помоћна пумпа за пумпе у цевоводу или као предступен код двостепених пумпи (сл. 19 г.).

Филтер за гориво

Филтер за гориво је неопходан, нарочито због брызгалки и регулатора притиска којима највише сметају нечистоће у гориву. Њихова улога је да прочисте гориво од свих нечистоћа које би могле нашкодити систему. Налазе се у резервоару и гориво прво пролази кроз њих, а тек затим кроз пумпу. Користе се уобичајени папирни, микропорозни филтери.

Главна разводна цев

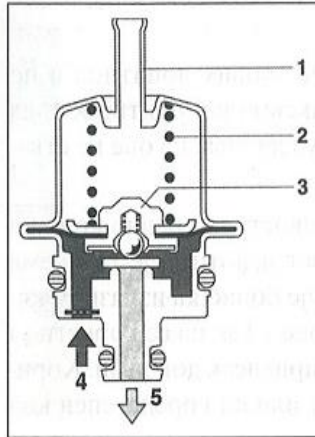
Главна разводна цев (сл.20) равномерно напаја горивом све брызгалке. Осим брызгалки, на ову цев се поставља и регулатор притиска, а по потреби и хидраулична пригушница, која ублажава осцилације притиска. Цев је тако конструисана да онемогућава локалну промену притиска услед брзог укључивања брызгалки. Тако је избегнута неравномерност убризгавања при наглим променама оптерећења или броја обртаја мотора. Израђују се од челичног лима, алуминијума или од специјалних синтетичких материјала.



Слика 20. Главна разводна цев^[5]: 1. улаз горива, 2. брызгалка, 3. електрични прикључак, 4. контактне траке, 5. регулатор притиска, 6. излаз горива

Регулатор притиска

Регулатор притиска одржава константан притисак у главној разводној цеви. Једино ако је тај притисак константан, количина убризганог горива зависи само од времена отварања брызгалки. Из тих разлога, регулатор враћа у резервоар таман толико горива да код брызгалки пад притиска бива увек исти. Ради на принципу мембранског преливног вентила (сл.21).



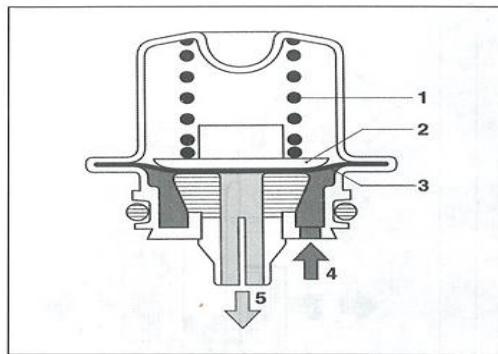
Слика 21. Регулятор притиска^[5]: 1.вод ка уисном колектору, 2.регулациона опруга, 3. држач венила, 4. улаз горива, 5. излаз горива

Регулациона опруга притиском на држач плочице заједно са мембрном затвара вентил. Када притисак горива порасте изнад подешене вредности, еластична мембрана притисне опругу и вентил се отвори. Кроз вентил се врати у резервоар одређена количина горива, која је неопходна да се на мембрани поново успостави равнотежа. Горња, ваздушна страна вентила с опругом спојена је цевчицом за уисну цев, и то иза пригушног лептира. На тај начин пад притиска у уисној цеви утиче и на мембрану регулатора, па су односи притисака исти на мембрани и на брызгалкама. Зато разлика притисака на вентилима зависи само од еластичне силе регулационе опруге и површине мембране, па према томе она је константна.

У зависности од система овај регулатор се може налазити на више места. код система за напајање са повратним водом налази се на разводној цеви, док је код система без повратног вода уз пумпу у самом резервоару. Систем без повратног вода поједностављује и појефтиније конструкцију, смањује температуру горива што доводи до мање емисије угљоводоника из резервоара чиме се постиже већи степен искоришћења система за регенерацију горива. Код овакве регулације постоји сензор притиска на разводној цеви који индиректно преко ЕУЈ управља регулатором.

Хидраулична пригушница

Задатак хидрауличне пригушнице је да умири периодичне осцилације притиска у инсталацији за гориво, које потичу од пулсирајућег потискивања електричне пумпе и вибрација услед рада вентила за убризгавања брызгалки. Те вибрације се под одређеним условима могу пренети и на ценоводе и пумпу, па и на главну разводну цев. На слици 22. је дат шематски приказ уобичајене пригушнице за акумулирање горива са еластичном мембраном.



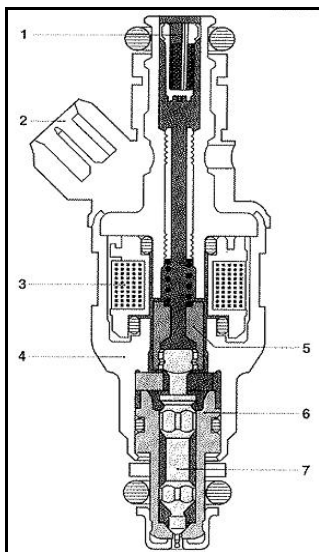
Слика 22 . Хидраулична пригушница [5]: 1. Сигнална опруга,
2. тањирасти држач опруге, 3. еластична мембрана, 4. улаз горива, 5. излаз горива

Принцип рада сличан је принципу рада регулатора притиска. Изнад мембране је ваздушна комора са спиралном опругом, а испод је комора са горивом под системским притиском. Када се притисак горива у систему повиси, мембрана се подиже потискујући опругу, а када притисак падне враћа се назад. Слично регулатору притиска, и пригушница се може поставити на главну разводну цев, или у воде за напајање горивом.

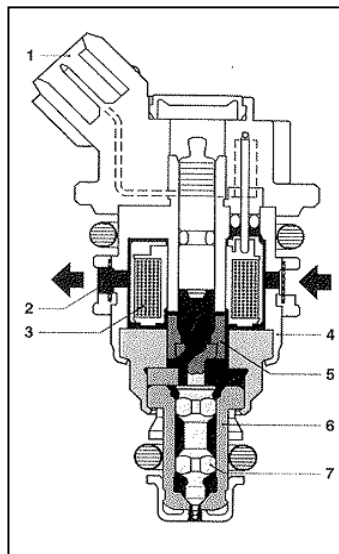
Електромагнетне брызгаљке

Убризгана количина горива мора бити сразмерна количини усисаног ваздуха. Осим тачног дозирања количине горива веома је важно и прецизно одредити транутак убризгавања. Зато сваком цилиндру припада електромагнетна брызгаљка која гориво убризгава непосредно испред вентила за усисавање. На тај начин се избегава кондензација горива на зидовима усисне цеви, која при свакој промени режима рада мотора ремети састав смеше и коефицијент вишка ваздуха. Кроз усисну цев пролази само ваздух неопходан за сагоревање, па се тако и димензионише.

Израда ових брызгаљки је веома прецизна. Иглица брызгаљке под дејством електромагнета подиже се за свега 60-100 μm . Кроз тако калибрисан отвор гориво се испушта за свега 10-15 ms, са учестаношћу од 3-125 Hz, што зависи од броја обртаја мотора. Најчешће се примењују два типа брызгаљки: са горњим уливом (сл. 23) и бочним уливом горива (сл. 24).



Слика 23. Бризгаљка са горњим уливом: 1. сито на уливу, 2. електрични прикључак, 3. намотаји магнета, 4. кућиште бризгаљке, 5. језгро магнета, 6. тело вентила, 7. иглица бризгаљке

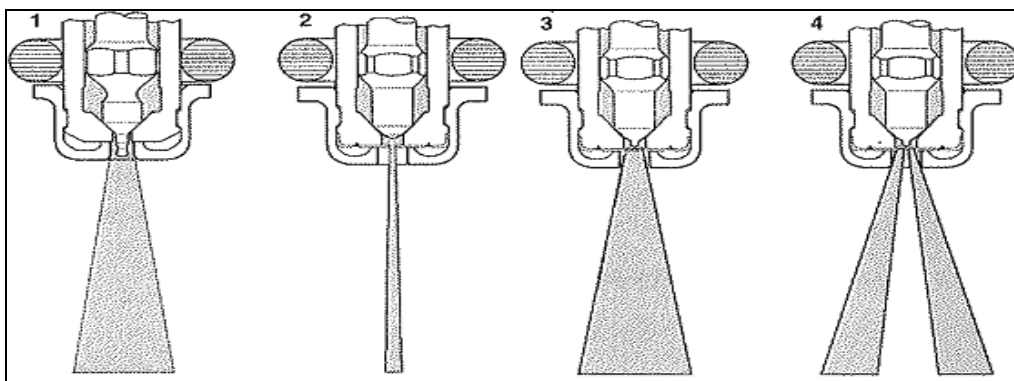


Слика 24. Бризгаљка са бочним уливом: 1. електрични прикључак, 2. сито на уливу, 3. намотаји магнета, 4. кућиште бризгаљке, 5. језгро магнета, 6. тело вентила, 7. иглица бризгаљке

Бризгаљка са горњим уливом (top-feed). Гориво се доводи са горње стране и аксијално струји кроз седиште бризгаљке. Помоћу горњег заптивног прстена причвршћује се за разводну, а помоћу доњег за усисну цев.

Бризгаљка бочним уливом (bottom-feed). Уграђује се директно у главну разводну цев. Гориво се улива са бочне стране и протиче по целом обиму бризгаљке. За разводну цев се причвршћује помоћу металног поклопца у коме су уграђене и контактне траке за електрично напајање. Захваљујући оваквом решењу цео модул од разводне цеви са уграђеним бризгаљкама има мању висину и обезбеђује добро хлађење горива, које је битно за паљење и рад већ загрејаног мотора.

Да би се постигли што боље распршивање и хомогенизација убризганог горива и ваздуха израђују се различите млазнице за бризгаљке (сл. 25). Прстенасту млазницу образује врх иглице и брушени отвор седишта вентила. Млазница са једном рупицом даје танак, оштар млаз, који једва да кваси зидове усисне цеви, али мање распршује гориво. Шири млаз даје млазница са више рупица. Груписањем рупица могу се добити дводелни или вишеделни млазови, што је погодно код мотора са више усисних вентила по цилиндру.

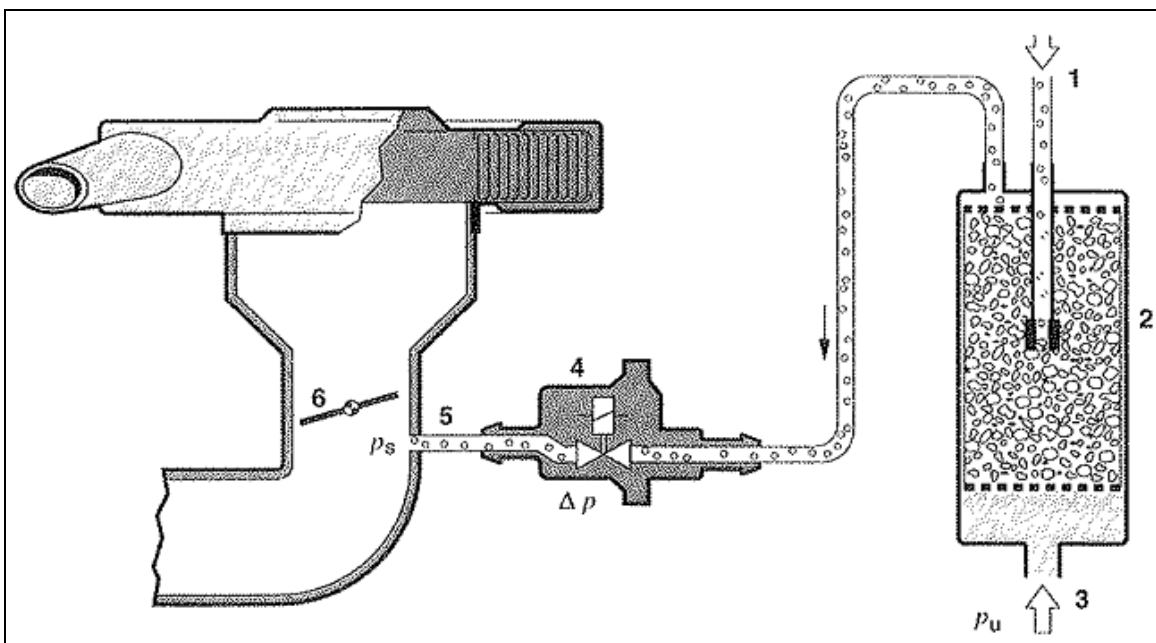


Слика 25. Начин убризгавања горива млазницама различитог облика^[1]: 1. млазница прстеностог облика, 2. млазница са једном рупицом, 3. млазница са више рупица, 4. млазница са више рупица и два млаза

Најфинија хомогенизација и распршивање постиже се код бризгальке са ваздушним удубавањем, код којих усисани ваздух према цилиндру једним делом пролази и кроз бризгальку, а затим великом брзином пролази кроз рупицу млазнице.

5.3 Систем за контролу емисије испареног горива из система

Услед загревања горива у резервоару настају испарења. Емисија тих гасова је законом ограничена, да би се испунили прописи возила су опремљена уређајима за контролу испарелог горива (сл. 26). Уређај се састоји од канистера са активним угљем (регенератора), у који је зароњена цевчица за одушак од резервоара. Угаљ апсорбује испарено гориво, а пречишћен ваздух излази кроз доњи слободан отвор. На тај начин се обезбеђује изједначавање притиска у резервоару. Да би се регенерисао активан угаљ, регнератор је помоћу друге цевчице, преко EVAP вентила (*evaporation*), повезан са усисном цеви испод пригушног лептира. Током рада мотора у усисној цеви је нижи притисак, па када је вентил отворен свеж ваздух из атмосфере, преко регенератора, продире у усисну цев. Овај ваздух односи са собом и честице горива из пора активног угља и транспортује их све до простора за сагоревање. Улога EVAP вентила је да ово испарење дозира тако да не ремети рад мотора.



Слика 26. Систем контроле испареног горива^[5]: 1. Одушак у резервоару, 2. регенератор, 3. Улаз за свеж ваздух, 4. Електрични вентил (EVAP), 5. спој на усисну цев, 6. пригушни лептир.

Испарење се састоји од мешавине ваздуха и испареног горива, чији састав варира између чистог ваздуха и ваздуха засићеног бензинским парама и улазак овог испарења може значајно пореметити смешу и регулацију ламбда сонде. Ако регенерисана мешавина у облику чистог ваздуха чини око 1% усисане количине ваздуха, то значи да ће укупна смеша сагоревања бити за свега 1 % сиромашнија. Међутим, ако је регенерисана мешавина јако засићена бензинским парама, смеша сагоревања ће бити богатија за читавих 30%. Осим тога, специфична густина бензинских пара је два пута већа од густине ваздуха.

Да се не би реметила функција адаптације радне смеше, не сме се дозволити да мотор ради циклично, у једном циклусу са нормалном, а у другом са регенерисаном смешом. Осим тога и регенерисана смеша се мора мерити и адаптирати, слично адаптацији радне смеше код ламбда регулације. Ако је садржај смеше познат, корекција се приликом промене циклуса врши продужавањем или скраћивањем времена убризгавања. И у тим прелазним режимима се морају задовољити услови ламбда регулације. Зато је неопходно познавати однос усисане количине ваздуха кроз пригушни лептир и количине регенерисане смеше која пролази кроз вентил ка усисном воду. Пропусна карактеристика вентила је таква да при релативно малој разлици притиска (пуно оптерећење мотора) пропушта највише, а при великој разлици притиска (празан ход) пропушта најмање регенерисане смеше. Помоћу електричних импулса из ECU периодично се затвара и отвара вентил, да би се доток мешавине ваздуха и горива што прецизније контролисао.

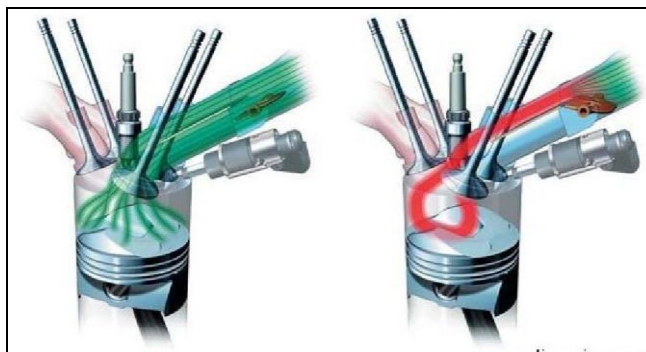
6. Систем директног убризгавања горива у комору за сагоревање

6.1 Основни принципи рада

Системи са директним убризгавањем бензина у комору за сагоревање врше убризгавање бензина директно у цилиндар у прецизно одређеном временском тренутку као и времену убризгавања. Принцип функционисања сличан је убризгавању код дизел мотора, али се ради при знатно мањим притисцима, па се и конструкција система знатно разликује. Ови системи омогућавају прецизно дефинисање састава смеше у зависности од разних параметара, и то је њихова највећа предност.

Оваквим начином управљања мотором омогућује да се у свим режимима рада мотора остварује оптимално убризгавање квалитетно припремљене радне смеше, уз најповољни тренутак паљења. Основне функције система су паљење и убризгавање као и прикупљање и обрада основних параметара о раду мотора и различитих информација и мерних величина. Додатне управљачке и регулационе функције, везане су за оптимализацију потрошње горива и квалитета издувних гасова. То су, пре свега, број обртаја у празном ходу, ламбда регулација, регенерација испареног горива и рецикулација издувних гасова, ради смањења емисије азотних оксида. У зависности од конструкције мотора ту су још управљање радом турбо-пуњача у циљу повећања снаге мотора, подешавање брегасте осовине ради смањења потрошње горива и емисије штетних материја у издувним гасовима, као и заштита од детонантног сагоревања, прекорачење броја обртаја мотора и брзине кретања возила.

Код модерних двотактних и четвортактних бензинских мотора, директно убризгавање је варијанта убризгавања горива код које се гориво, под високим притиском системом са заједничком магистарлом - *common rail system* (као код савремених дизел мотора), убризгава директно у коморе за сагоревање (сл. 27).



Слика 27. Убризгавање горива директно у цилиндар

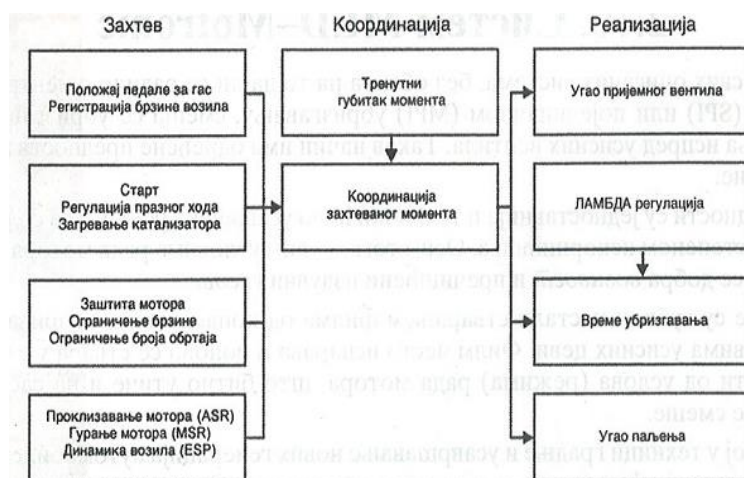
Главне предности убризгавања горива директно у комору за сагоревање су:

- повећана искоришћеност хемијске енергије садржане у гориву,
- већа излазна снага мотора уз исту потрошњу горива и
- мање штетних гасова који се емитују у атмосферу.

Ове предности постигнуте су прецизном контролом количине горива која се убризгава у цилиндри у зависности од оптерећења мотора. Број обротај мотора контролише ECU, која је централни процесор, који истовремено регулише количину горива и време паљења. Усисана количина ваздуха се слободно регулише преко пригушног лептира са електронским подешавањем. Састав смеше се контролише помоћу универзалних ламбда сонди пре и после катализатора, преко њих се регулише и рад мотора у различитим условима као и регенерација катализатора. Важно је и прецизно подешавање рецикулације издувних гасова у динамичком режиму рада (убрзање, успорење). За мерење те рецикулације предвиђен је сензор притиска којим се контролише притисак у усисној цеви.

6.2 Моментом вођен систем убризгавања горива

Директно убризгавање горива захтева: егзактне количине убризганог горива, висок притисак, неопходан за сигурно убризгавање, прецизно одређен тренутак убризгавања и директно увођење горива у простор за сагоревање. Осим овога, морају се задовољити и различити захтеви за координацију момента и за неходне регулационе величине. Структура момента вођеног система се дели на три различита функционална подручја (сл.28) и то на: моментни захтев, координацију момента, претварање момента.



Слика 28. Моментна структура система са директним убризгавањем

Унутрашњи захтеви за моментом су: старт мотора, загревање катализатора, празан ход, ограничење броја обртаја, ламбда контрола.

Спољашњи захтеви за моментом: захтев возача, аутоматски мењач, кочиони систем, клима, 'cruise' (крстарење) систем.

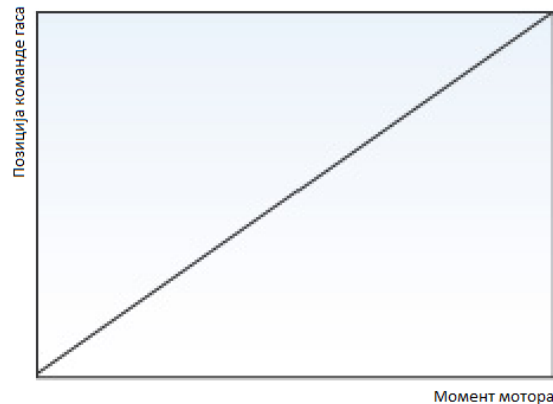
Када се обради захтевани момент, тај момент се може постићи на два начина. Први начин укључује контролисање пуњење цилиндра ваздухом, и он служи за регулисање дуготрајног захтева за моментом. Други начин, код краткотрајног захтева за моментом, момент мотора зависи искључиво од количине убризганог горива. Команда гаса је у потпуности отворена, тако да мотор увлачи максималну количину ваздуха.

Електронска контрола гаса је основа сваког система са директним убризгавањем. Она контролише отвореност пригушног лептира преко команде педале гаса. У зависности од положаја команде добијени сигнал са сензора позиције команде прослеђује се у ЕУЈ, која обрађује сигнал (сл. 29). У зависности од овог и осталих улазних сигнала ЕУЈ прорачунава захтевани момент мотора и преко актуатора генерише захтевани момент.



Слика 29. E-GAS^[4]

На слици 30. је приказан линеарну зависност позиције педале и момента мотора.



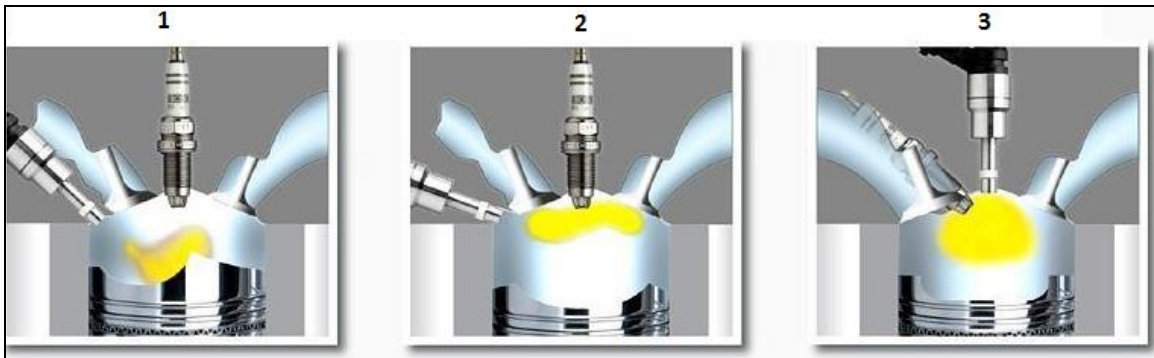
Слика 30. Дијаграм момента мотора у зависности од позиције команде гаса^[4]

Иако се показало да регулација оптерећења мотора убризганом количином горива има знатне предности (мањи пумпни губици), код ото мотора примену овог концепта (осим при пуном оптерећењу) отежава фиксна тачка извора паљења тј. свећица. Ово захтева додатни услов да управљање формирањем смеше мора бити просторно и временски контролисано да би се одржало стабилно сагоревање. Припрема одговарајуће смеше на целом подручју рада мотора је главни проблем јер је процес мешања горива и ваздуха зависи од много временски променљивих параметара.

Управо због тога, код ових мотора најодговорнија је улога система образовања гориве смеше. Тако први системи убризгавања, засновани на решењима као дизел мотори, углавном нису могли задовољити, што је у новије време довело до знатног напретка у развоју технологије управљања. Да би био ефикасан, систем мора да задовољи најмање два (хомогени и стратификовани), а оптимално три и више различита мода убризгавања.

Начин образовања смеше

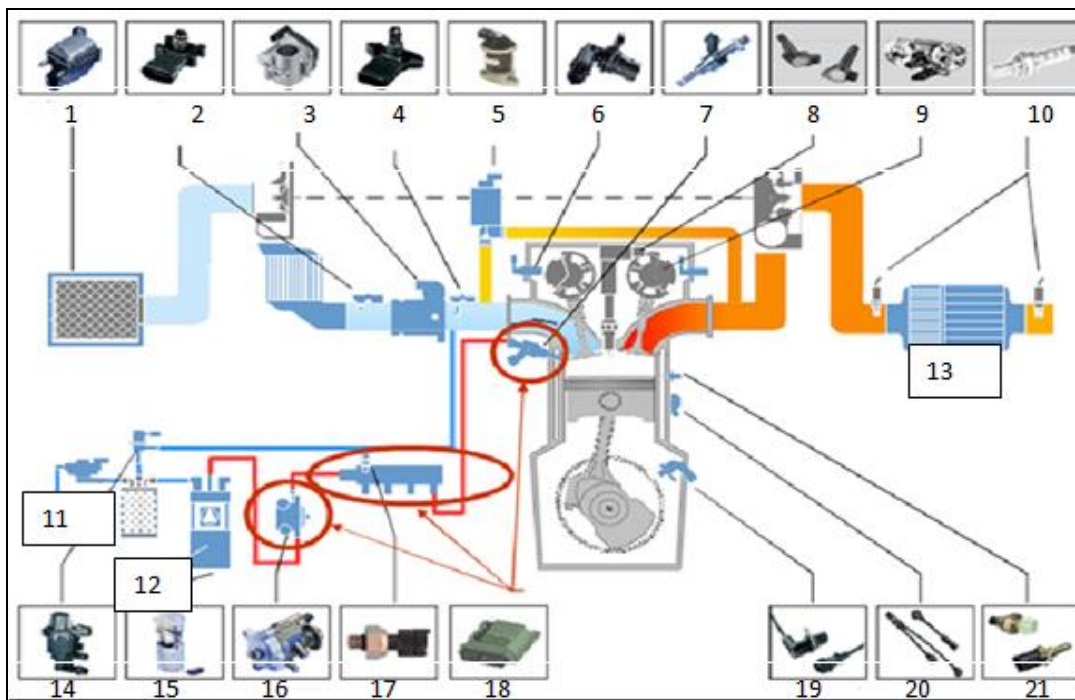
На слици 31. су приказани могући начини формирања смеше код система директног убризгавања. Код првог случаја, млаз горива се усмерава помоћу геометрије чела клипа и главе мотора. Код другог случаја млаз се усмерава помоћу ваздушних струја унутар цилиндра које изазива кретање клипа, а у трећем случају спреј горива је тај који диктира формирање смеше у комори за сагоревање.



Слика 31. образовање смеше: 1. Вођење зидовима коморе и клипа, 2. Вођење ваздухом, 3. Вођење млазом горива

Шематски приказ система

Комбиновани савремени систем директног убризгавања и паљења са свим компонентама шематски је приказан на слици 35.



Слика 35. Шема система директног убризгавања: 1) Филтер за ваздух; 2) Сензор притиска (усисна грана); 3) Лептир гаса; 4) Давач притиска са давачем температуре уисаног ваздуха у уисној грани; 5) Вентил за рецикулацију издувних гасова; 6) Давач положаја брегастог вратила; 7) Бризгаљка 8) Бобина; 9) Брегасто вратило 10) Ламбда сонда 11) Вентил за бензинска испарења; 12) Канистер са активним угљем; 13) Каталитички конвертор; 14) Elektromagnetni ventil; 15) Јединица за напајање горивом; 16) Пумпа високог притиска; 17) Сензор притиска горива; 18) ECU; 19) Давач положаја радилице; 20) Давач детонације; 21) Давач температуре мотора

6.3 Режими рада мотора

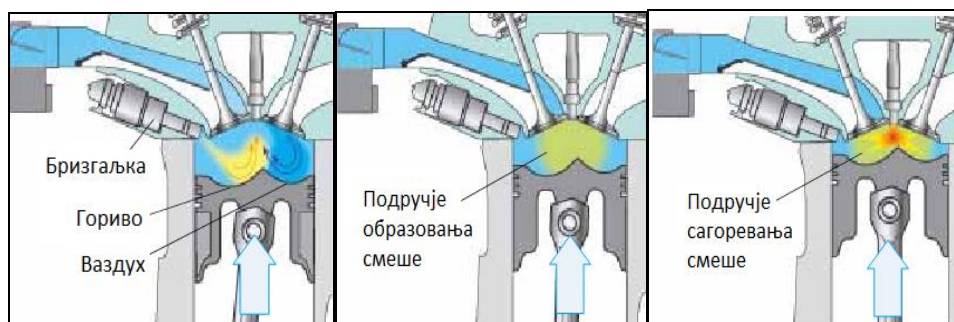
Да би се директним убризгавањем остварила осетнија уштеда горива уз максимално искоришћење снаге мотора, неопходан је врло комплексан систем за управљање радом мотора. У овом систему постоје два основна радна стања мотора:

- подручје нижег оптерећења и
- подручје вишег оптерећења.

Поред ова два основна постоји и њихова комбинација као и специјални модови образовања смеше.

У подручју нижег оптерећења

У подручју нижег оптерећења мотор ради са слојевитим пуњењем цилиндара и великим коефицијентом вишком ваздуха ($\lambda = 1,5$) да би се што више смањила потрошња. Каснијим убризгавањем, непосредно пре паљења, ствара се могућност поделе простора за сагоревање на две зоне. Једна је уз саму свећицу, испуњена је запаљивом смешом, а друга је у удаљенијем делу и испуњена је само ваздухом и остатком сагорелих издувних гасова (сл. 32). На тај начин су смањени и губитци при размени пуњења и мотор ради са смањеним пригушењем. Осим тога расте и термодинамички степен искоришћења, и то због смањених топлотних губитака током размене у простору за сагоревање. Приликом слојевитог рада корисни моменат мотора је скоро пропорционалан количини убризганог горива. Ваздушно пуњење и угао паљења незнатно утичу на произведени момент мотора. У свакодневной вожњи тиме се остварује уштеда потрошње од око 20% у поређењу с убризгавањем у усисне цеви. Да би се смањила емисија азотних оксида (NO_x), интензивно се враћају издувни гасови. ^[4]

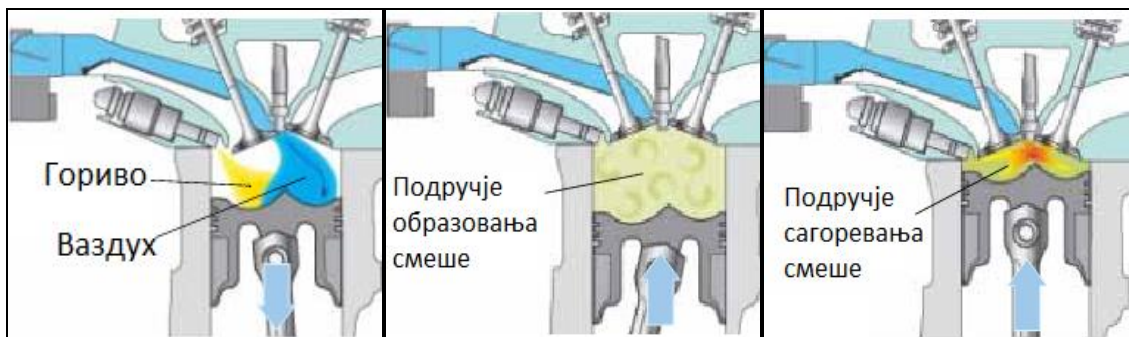


Слика.32 Слојевит мод^[4]

У подручју вишег оптерећења

Са порастом оптерећења мотора расте и количина убризганог горива, па смеша постаје све богатија ($\lambda < 1,3$). С тим се погоршава и квалитет издувних гасова, нарочито емисија чађи. У овом подручју мотор ради са хомогеним пуњењем цилиндара. Ламбда регулација преузима управљање радом мотора у подручјима између стехиометријске вредности и сиромашније смеше. Гориво се убризгава у току усисавања ваздуха да би се обезбедило што боље мешање. Код високих оптерећења и брзина мотора, користи се хомогени мод пуњења и у овом случају смеша је приближна стехиометријској.

Код овог мода (сл. 33), лептир може бити отворен или затворен, у зависности од положаја педале гаса. Клапна на усисној грани је при мањим брзинама затворена, док се при већим брзинама и оптерећењима отвара како би се усисала већа количина ваздуха. Енергија за испаравње горива се узима од ваздуха из цилиндра, чиме се он додатно хлади што омогућава подизање степена компресије. Време паљења смеше је главни фактор који одређује моменат мотора, потрошњу и емисију издувних гасова. Као и код досадашњих система са убризгавањем у усисној цеви, усисана количина ваздуха сразмерна је захтеваном обртном моменту, а регулише се помоћу пригушног лептира. Убризгана количина горива регулише се према количини усисаног ваздуха, а коригује преко ламбда регулације.^[4]



Слика 33. Хомогени мод ^[4]

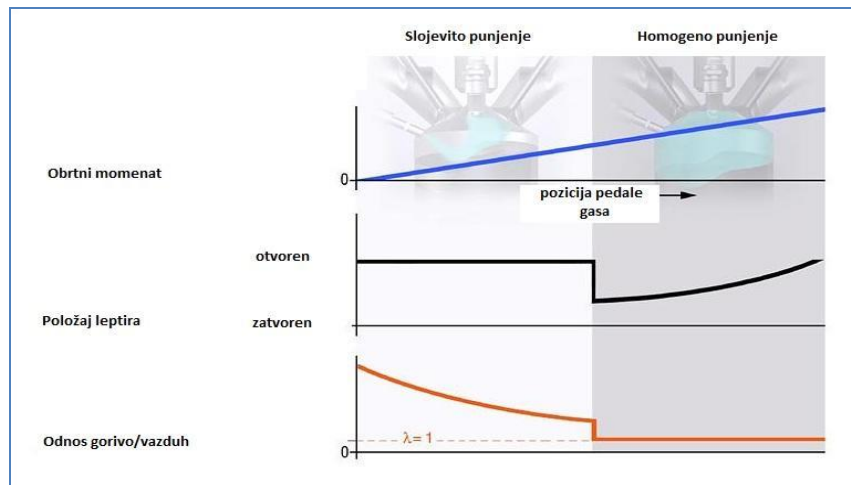
Промена подручја оптерећења

Да би се омогућио рад у два различита подручја, пред моментном регулацијом стоје два основна задатка:

- тренутак убризгавања, који се подешава зависно од режима рада мотора - касније за време такта сабијања, или раније за време такта усисавања и
- подешавање масе усисаног ваздуха, које мора бити одвојено од педале за гас да би се при нижем подручју оптерећења радило без пригушења, а при вишем подручју оптерећења радило са регулацијом пригушења.

Приликом промене рада између хомогеног и слојевитог пуњења количину горива, пуњење ваздуха и угао паљења треба тако подешавати да предати обртни момент мотора остане исти (сл.34). Непосредно пре пребацивања са слојевитог на хомогени рад, пригушни лептир се мора затворити. Са снижењем притиска у усисној цеви опада и вредност λ коефицијента. Ту постоје два ограничења:

1. У слојевитом режиму, да би се смањила чађ иде се на доњу вредност $\lambda = 1,5$ (сиромашна смеша);
2. У хомогеном режиму, због границе запаљивости, горња граница је приближно $\lambda = 1,3$ (мање сиромашна смеша).



Слика 34. Промена подручја оптерећења

Током пребацивања потребно је премостити забрањено подручје од $1,3 < \lambda < 1,5$. То се постиже повећањем количине убризганог горива у тренутку пребацивања, а скок момента смањује се краткотрајним померањем угла паљења на касније. Промена рада мотора у обрнутом смеру, са хомогеног на слојевито пуњење, одвија се обрнутим редом.

На крају, могуће је чак и хомогено - слојевито пуњење. Овај начин пуњења користи се при преласку из слојевитог у хомогено пуњење и функционише тако што се убризгавање врши у два наврата:

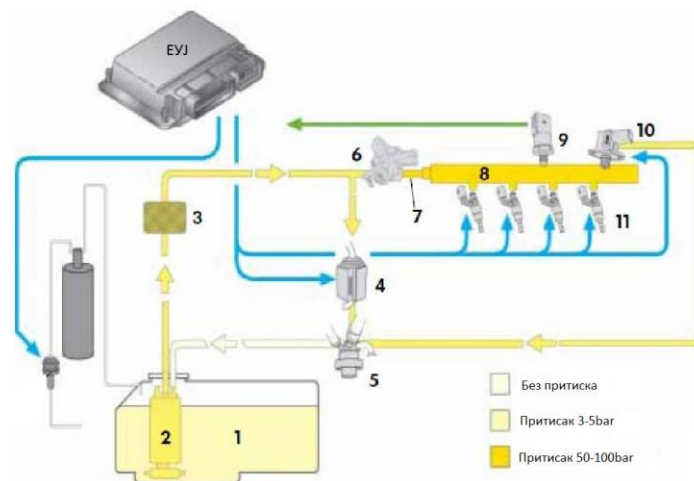
1. иницијално убризгавање врши се у такту усисавања и даје гориву довољно времена да се помеша са ваздухом и створи хомогену смешу.
2. накнадно убризгавање, у такту сабијања, где се убризгава друга количина горива која ствара богатију смешу у околини свећице која се лако пали и преноси фронт пламена на сиромашнију смешу у остатку запремине. Код овог начина убризгавања, 75% горива убризгава се иницијално, док се накнадно убризгава 25% горива.

Постоје такође и специјални модови, хомогено анти-детонантно убризгавање, слојевито убризгавање приликом загревања катализатора и богато хомогено убризгавање које се користи приликом регенерације NO_x катализатора. Сви ови модови имају специфичне односе горива и ваздух који омогућавају постизање одређених карактеристика издувних гасова, перформанси мотора и сл.

6.4 Инсталација за напајање и убризгавање горива

Захваљујући нагомилавању горива под високим притиском омогућени су слободан избор тренутка убризгавања и варијабилни системски притисак. Целокупна инсталација за напајање и убризгавање горива може се поделити на круг ниског притиска и круг високог притиска.

Притиска убризгавања јако је карактеристика за сам процес формирања смеше. Уколико је притисак превисок, атомизација горива ће бити боља, али ће честице горива имати већу продорну моћ и доспеваће и таложиће се на зидове цилиндра, што није повољан случај. Уколико је притисак мали, гориво неће бити довољно распршено и неће имати довољно велику моћ продирања кроз струју ваздуха, што ће резултовати тежим запаљењем смеше. Са обзиром на притиске убризгавања код савремених дизел мотора који иду и преко 200 bar, ово су релативно мали притисци, али у поређењу са притисцима код других бензинских система система они су и даље знатно виши. Систем директног убризгавања мора бити у стању да обезбеди касно убризгавање за слојевити мод и рано убризгавање за хомогени мод, као и да је у оба случаја потребно да гориво буде довољно распршено. У пракси се као најефикаснији показао систем са заједничком магистралом (*common-rail*) са електромагнетним брызгалкама (сл. 36).



Слика 36. Шема система за напајање горивом^[4]: 1.Резервоар; 2.Ел.пумпа; 3.Филтер; 4.Вентил за количину горива; 5.Регулатор притиска; 6.Пумпа високог притиска; 7.Вод високог притиска; 8.Вод горива до брызгача(заједничка магистрала); 9.Сензор притиска горива; 10.Регулатор притиска, 11.Брызгачи

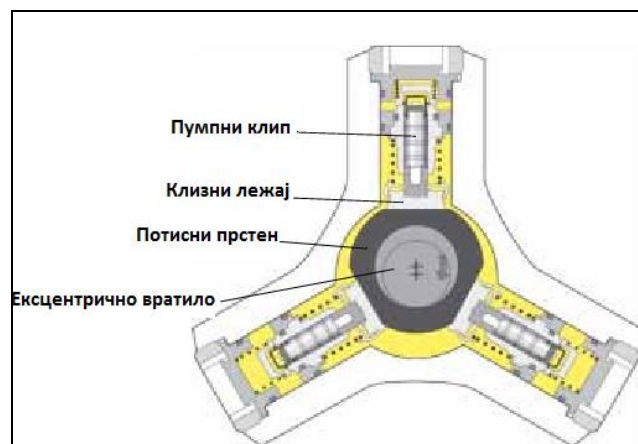
Вод ниског притиска

Део инсталације за напајање према резервоару за гориво чини тзв. круг ниског притиска у који спада електрична пумпа с паралелно везаним механичким регулатором притиска. Ова пумпа потискује гориво из резервоара под ниским притиском од око 3,5 bar и напаја пумпу ниског притиска. Користе се пумпе индентичне као код система са индиректним убризгавањем.

Вод високог притиска

Пумпа високог притиска. Задатак ове пумпе је да гориво из круга ниског притиска од 3,5 bar подигне на притисак од 120 bar и да елиминише падове притиска у разделнику за нагомилавање (акумулирање) горива под високим притиском. Осим тога, пумпа мора потискивати потпуно чисто гориво без трагова уља или других примеса. Најчешћу примену има радијална пумпа, и на слици је приказана диспозиција елемената пумпе и њен механички погон (сл.37).

Промена притиска у разделнику високог притиска се одржава у одређеним границама, коришћењем три елемента пумпе који су међусобно постављени под углом од 120° . Потисни прстен се налази на ексцентрично постављеној осовини. Када се осовина ротира, заједно са прстеном, представља покретачку силу аксијалног кретања клипа пумпе. ^[4]

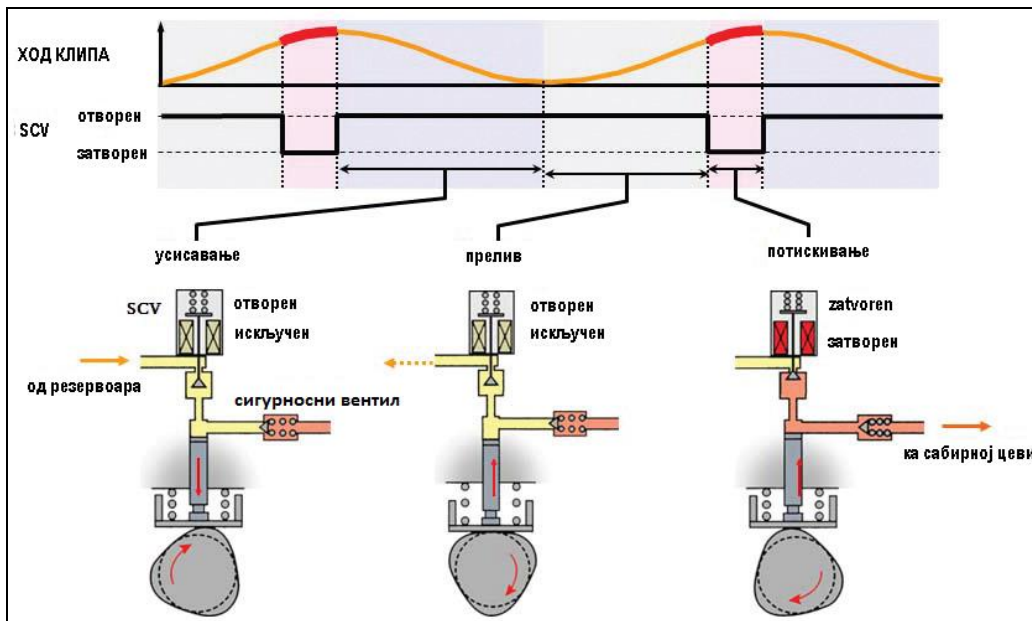


Слика 37. Радијална пумпа високог притиска^[4]

Пумпа високог притиска се погони бреглом на осовини, састоји се од клипа, преливног вентила (SCV- *Spill Control Valve*) и сигурносног вентила. У инсталацију се уграђује и пригушница за амортизацију пулсирајуће промене притиска. За сваки обрт осовине догоде се три промене положаја клипа. SCV служи за контролисање притиска у пумпи, и налази се на улазном каналу пумпе. Овај вентил се контролише од стране ЕУЈ, на основу добијених сигнала из система. Сигурносни

вентил се налази на излазном воду пумпе. Када пумпа оствари захтевани притисак, вентил се потискује и отвара се вод ка високом притиску. Овај вентил има улогу пропуштања горива у вод високог притиска, ка разделнику горива.^[8]

На слици се види начин управљања протоком горива а тиме и притиском напајања брызгача. Гориво се доводи пумпи када се пумпни клип креће ка доњој граници, SCV је отворен. Притисак горива из разделника потискује сигурносни вентил и он је затворен. Када клип крене ка горњој граници, SCV се затвара, доводи до пораста притиска горива. Када се клип налази у горњој граници, притисак горива у пумпи је већи него у воду високог притиска (сабирној цеви) и гориво потискује сигурносни вентил.



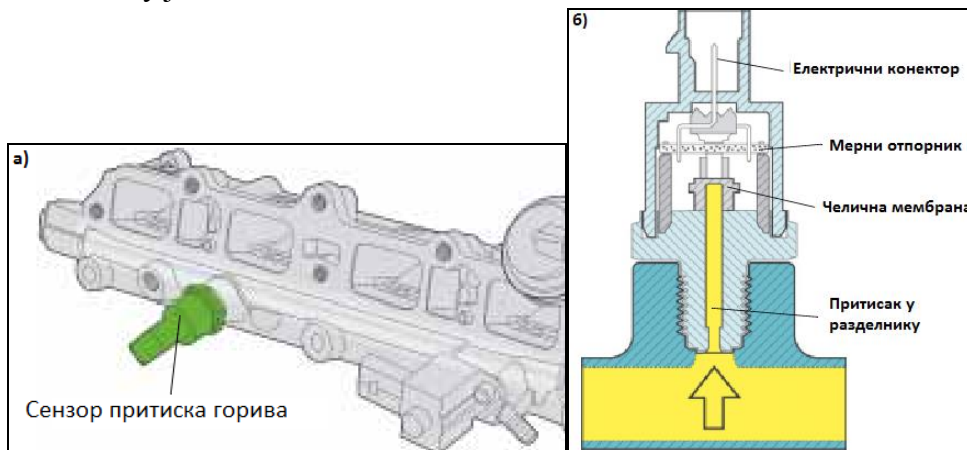
Слика 38. Принцип рада пумпе високог притиска^[8]

Разделник високог притиска

Гориво се нагомилава у заједничком воду тј. разделнику који је цевастог облика направљен од алуминијума са прикључцима за брызгальке, вентил за регулацију и пумпу високог притиска са сензорима. Овај разделник мора да буде довољно еластичан да би амортизовао промене притиска услед периодичног довођења и одвођења горива, као и довољно чврст да би се висок притисак брзо довео на ниво неопходан за рад мотора. Притисак у разделнику се контролише помоћу сензора притиска.

Сензор притиска

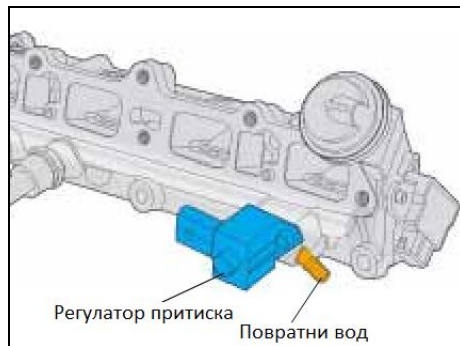
Главна улога овог сензора (сл. 39) је одређивање притиска у разделнику. Као сензорски елемент користи се заварена мембрана од племенитог метала на коме је нанет танкослојни мерни отпорник. Када је притисак у разделнику низак, отпор је висок и излазни напон је низак. Када је притисак у разделнику висок, отпор је мањи и напон на излазу је висок.



Слика 39. Сензор притиска^[4]: а) положај, б) шематски приказ

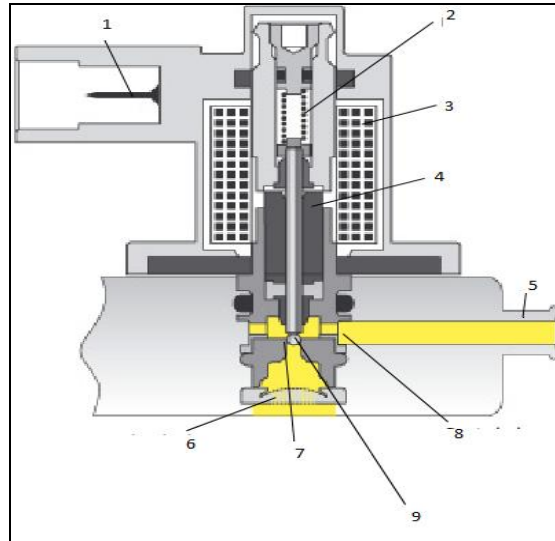
Вентил за регулацију притиска

Задатак овог вентила ,који се налази на разделнику горива (сл.40), је да омогући подешавање притиска горива у читавом подручју рада мотора према датој мапи података. У том случају притисак не зависи од количине горива које потискује пумпа или потроше брызгаљке. Вишак горива враћа се преко вентила на усисну страну пумпе високог притиска или у резервоар зависно од система. Враћањем на усисну страну пумпе високог притиска се избегава загревање горива које се налази у резервоару и непотребно оптерећење система за редукцију испарелог горива.



Слика 40. Положај регулатор притиска^[4]

У случају његовог отказа, вентилу се прекида напајање што омогућава константан довољан притисак. Механичка опруга је уграђена у овај регулатор и отвара се при притиску од 120 bar да би заштитили елементе од превисоког притиска^[4]. На слици 41. је детаљно дат приказ свих елемената регулатора.



Слика 41.. Вентил за регулацију притиска^[4] 1.Електрични конектор, 2. Опруга, 3.Намотаји електромагнета,4. Језгро магнета, 5. Повратни вод горива,6. Довод горива, 7.Седиште вентила, 8. Вентил са куглицом

Бризгаљке

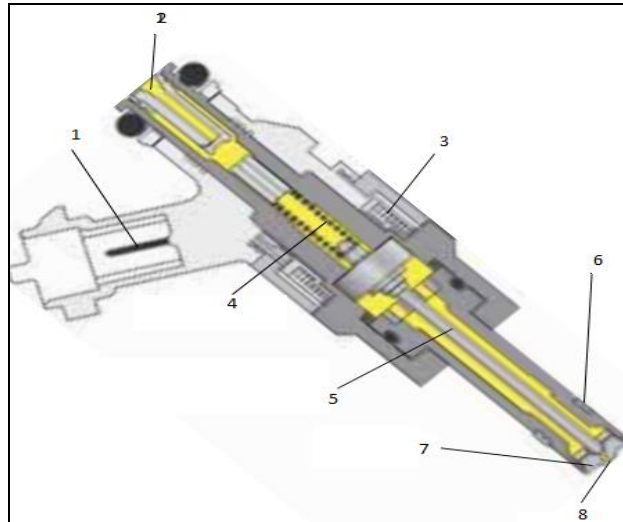
Бризгаљке су главни део система за директно убризгавање, њихова улога је врло кратко време убризгавања, линеарност током убризгавања у широком подручју режима рада мотора и карактеристичан облик млаза убризгавања.

Бризгаљке за директно убризгавање бензина везане су непосредно за разделник. Да би се осигурало отварање бризгаљки што је брже могуће, потребно је довести напон од највише 90 V након што је магнетизована јер се онда јавља интензитет струје и до 10 A. Ако је бризгаљка у потпуности отворена, довољан је напон од 30 V и струја од 3-4 A да се одржава њена отвореност.^[4]

У случају отказа бризгаљки, детектор изостанка паљења шаље сигнал у ЕУЈ која гаси одговарајућу бризгаљку, пријављује квар сигналом лампицом на инструмент табли и квар меморише у радној меморији ЕУЈ.

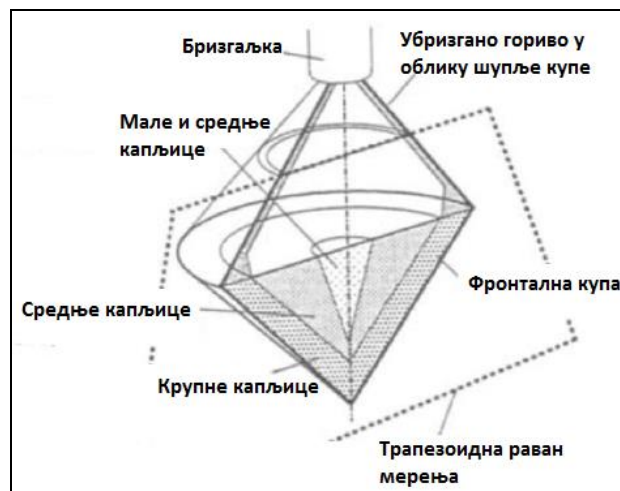
Бризгачи се пројектују тако да обезбеде што прецизнију количину добро распршеног горива са Саутеровим пречником капљица мањим од 50 μm ^[9]. Иако су дуго година развијане за дизел моторе, бризгаљке са млазницама нису се показале као ефикасне за ове системе. Млазнице са више отвора стварају нестабилно језгро пламена када се упали само једним фиксираним извором паљења. Такође, зоне са богатом смешом су преблизу зона са сиромашном смешом, па се фронт пламена не простире једнако по целој комори за сагоревање.

Конструкција која је тренутно најраспрострањенија, је брызгалка завојног типа са иглом (сл. 42) која се отвара ка унутрашњости брызгалке са једним излазним отвором.



Слика 42. Електромагнетна брызгалка ^[4]: 1. Електрични конектор, 2. Довод горива, 3. Електромагнетни намотаји, 4. Опруга, 5. Игла вентила са магнетним језгром, 6. Прстен, 7. Седиште вентила, 8. Млазница

Ове брызгалке конструишу се тако да поред аксијалног, млазу горива дају радијални момент тако што гориво пролази кроз низ тангенцијалних отвора и улази у завојну комору. Гориво се затим по отварању игле брызгача шири по комори за сагоревање у спреју облика шупље купе (сл. 43) са углом који може варирати од 25 до 180°.



Слика 43. Геометрија електромагнетних брызгалки завојног типа

Положај бризгальке

Положај бризгальке у односу на извор паљења је најважнији геометријски параметар за дизајн и оптимизацију сагоревања код савремених система убризгавања. Током хомогеног мода пуњења, бризгалька мора обезбедити што боље мешање са ваздухом и његово најбоље могуће искоришћење, а опет током слојевитог мода мора да омогући формирање лако запаљиве смеше у околини свећице. Немогуће је потпуно задовољити оба захтева, па је избор положаја бризгальке и свећице скоро увек компромис. Да би се смањила дужина пута пламена, смањила могућност детонантног упаљења смеше и обезбедило симетрично ширење пламена, свећица се најчешће поставља централно. Постоји могућност уградње две свећице, али је та могућност додатно отежана смањеним простором.

Најважнији фактори на основу којих се прорачунава положај бризгальке су:

- Просторна ограничења цилиндарске главе, вентила и усиса
- Карактеристика спреја који бризгалька производи
- Структура и јачина кретања ваздушне струје у цилиндру
- Геометрија коморе за сагоревање
- Геометрија чела клипа
- Температурна ограничења тела и врха бризгальке
- Дизајн свећице и дозвољени зазор електроде

Постављање бризгальки са издувне стране се избегава због повишене температуре. У правилу, постоје два начина постављања бризгальки, централно поред свећице, као и бочно.

Предности централно постављене бризгальке су:

- већа стабилност паљења на читавом опсегу рада,
- велика могућност слојевитог убризгавања али у кратком времену,
- омогућава добро униформисану дистрибуцију горива,
- погодно за хомогени мод пуњења,
- независна од геометрије чела клипа итд.

Мане су :

- захтевна инсталација и уклањање,
- виша температура и могућност стварања наслага,
- захтев специјалних свећица са већим зазором електроде итд.

Предности бочно постављене бризгаљке:

- могућност постављања већих вентила,
- дуже време припреме смеше,
- олакшана инсталација и уклањање,
- врх бризгача хлађен усисаним ваздухом,
- мања тенденција стварању наслага,
- више одговара за постављање вода за довод горива.

Мане су:

- слабо функционисање слојевитог мода,
- већа могућност доспевања горива на зид цилиндра,
- већа могућност разблаживања уља за подмазивање.

7.0 Закључак

Нагли развој и усавршавање бензиских мотора почело је крајем XX-ог и почетком овог века тако да има још пуно простора за напредовање, и у данашње време се јако много улаже у развој технологија за ове моторе.

Након разматрања разних система за припрему смеше, код ове мотора, можемо закључити да је она увек била условљена све строжијим захтевима за мањом потрошњом, што мањом емисијом штетних гасова и што мањом буком. Наравно, поред тога ту је и стални раст потреба за што бољим перформансама мотора, што је омогућено системом директног убризгавања горива.

Директно убризгавање бензина је једна од технологија којом се постижу највеће уштеде у гориву и знатно чистији издувни гасови. Са обзиром на развој система управљања, директно убризгавање се данас успешно преко електронске управљачке јединице комбинује и усклађује са различитим конструктивним решењима и системима на возилу. Први примери ове комбинације су били ограничење максималне брзине возила, затим контрола обртног момента у случају активирања система против проклизавања и сл.

Показало се да директно убризгавање бензина даје јако добре резултате у комбинацији са системима варијабилног управљања вентилима, па је из тог разлога овај систем нашао велику примену. Неке од иновација су примена двостепеног надпуњења и варијабилног управљања вентилима, коришћење пиезо брызгалки високе прецизности и притиска до 200 bar. Такође постоји и могућност коришћења система директног убризгавања уместо електро-покретача када је возило загрејано и овај систем познат је под називом *Start-Stop* систем.

Литература

- [1] Пешић Р., С. Петковић, С. Веиновић,: Моторна возила - опрема, Машински факултет у Бањој Луци и Крагујевцу, 2008.
- [2] Introduction to engine managment Motronic MP 3.1
- [3] Gasoline direct injection BOCH - Key technology for greater efficiency and dynamics
- [4] Self-Study Programme 253 Direct Petrol Injection System with BOSCH Motronic MED 7, Volkswagen AG 2002
- [5] Декањ Јожеф, Електрични системи паљења и убризгавања, Београд, 2005.
- [6] <http://www.motor.org.uk>
- [7] <http://www.bosch.com>
- [8] www.theicct.org/
- [9] *Mariusz Cygnar, Grzegorz Budzik, Mirosław Grzelka, Lidia Marciniak-Podsadna, Bronisław Sendyka, Ivan Samardžić* Modeling of the injection and combustion processes in the gassoline direct injection engine