

# Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora

---

**Kesner, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:352125>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**Marko Kesner**

**POTROŠNJA GORIVA U OVISNOSTI O IZVEDBI  
SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE SMJESE KOD  
SUVREMENIH BENZINSKIH MOTORA**

**ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 2015.

Zagreb, 1. lipnja 2015.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**  
Predmet: **Cestovna prijevozna sredstva**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 1937

Pristupnik: **Marko Kesner (0135226962)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora**

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je analizirati potrošnju goriva kod različitih sustava za ubrizgavanje benzinskih motora. Objasniti princip rada Otto motora te opisati značajke benzinskih goriva prilikom eksploatacije vozila. Prikazati različite vrste sustava za ubrizgavanje kod benzinskih motora te analizirati njihov utjecaj na potrošnju goriva u različitim uvjetima.

Zadatak uručen pristupniku: 16. ožujka 2015.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Goran Zovak

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**POTROŠNJA GORIVA U OVISNOSTI O IZVEDBI  
SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE SMJESE KOD  
SUVREMENIH BENZINSKIH MOTORA**

**FUEL CONSUMPTION DEPENDING OF PERFORMACE  
SYSTEM FOR INJECTION MIXTURE IN MODERN  
GASOLINE ENGINES**

Mentor: prof. dr. sc. Goran Zovak  
Student: Marko Kesner, 0135226962

Zagreb, 2015.

## **SAŽETAK**

Potrošnja goriva u najvećoj mjeri ovisi od vrste i efikasnosti motora u automobilu, stila vožnje, tipa prometnice i konfiguracije puta kojim se automobil kreće, kao i od pravilnog održavanja vozila. Ispravnost sustava za napajanje gorivom od velike je važnosti za pravilan i ispravan rad motora. Bitan utjecaj na potrošnju goriva također imaju i različiti tipovi, vrste ubrizgavanja koji su razvijanjem tehnike i tehnologije trebali popraviti dinamičke karakteristike vozila te upravljati protokom i raspršivanjem goriva u određeni dio za izgaranje. Indirektni i direktni sustavi ubrizgavanja kod benzinskih motora imaju svoje prednosti i nedostatke koji ih čine različitim pa i samo korištenje određene vrste ubrizgavanja donosi dobre i loše rezultate.

**KLJUČNE RIJEČI:** benzinski motor, potrošnja goriva, vrste ubrizgavanja, način pripremanja smjese ubrizgavanjem, dovod goriva

## **SUMMARY**

Fuel consumption largely depends on the type and efficiency of the engine in the car, driving style, road types and configuration times that the car is moving, as well as proper maintenance of vehicles. The accuracy of the system for the fuel is of great importance for the proper and correct operation of the engine. A significant impact on fuel consumption also have different types, types of injection that are developing and technology should improve dynamic characteristics of the vehicle and to manage the flow and spray in a specific part of the combustion chamber. Indirect and direct injection system for petrol engines have their own advantages and disadvantages that make them different, and so only use a certain type of injection brings good and bad results.

**KEYWORDS:** the petrol engine, fuel consumption, type of injection, the method of preparing the mixture injection, fuel supply

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ BENZINSKIH MOTORNIH VOZILA I SUSTAVA UBRIZGAVANJA.....	3
3. PRINCIP RADA BENZINSKIH MOTORA.....	6
3.1. PRINCIP RADA ČETVEROTAKTNOG BENZINSKOG MOTORA.....	6
3.2. PRINCIP RADA DVOTAKTNOG BENZINSKOG MOTORA.....	9
3.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI DVOTAKTNIH MOTORA U ODNOSU NA ČETVEROTAKTNE.....	12
4. UBRIZGAVANJE SMJESE KOD BENZINSKIH MOTORA.....	14
4.1. INDIREKTNO UBRIZGAVANJE.....	19
4.2. DIREKTNO UBRIZGAVANJE.....	25
5. SUSTAV DOVODA GORIVA I UBRIZGAVANJE.....	29
6. NAČIN PRIPREMANJA GORIVE SMJESE UBRIZGAVANJEM.....	32
6.1. POMOĆU RASPLINJAČA.....	35
6.2. POMOĆU UBRIZGAVANJA.....	37
7. ZAKLJUČAK.....	38
8. LITERATURA.....	40
POPIS SLIKA.....	41
POPIS TABLICA.....	42
METAPODACI.....	43
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST.....	44

## 1. UVOD

Danas je bez obzira na napredak tehnologije i sustava kvalitete poslovanja teško pronaći rješenje da potrošnja goriva zadovolji svakog korisnika automobila. S obzirom da cijene goriva stalno rastu i ne vidi se kraj takvom slijedu, potrošnja goriva sve je veći problem današnjeg korisnika automobila te sukladno tome ljudima je prioritet utjecati na potrošnju goriva svog automobila. Pogon većini današnjih automobila daju motori s unutarnjim izgaranjem, a energija koja je potrebna za pokretanje vozila kod ovih se motora dobiva sagorijevanjem smjese goriva i zraka u cilindrima. Zrak koji je potreban da bi gorivo sagorjelo, uvodi se iz atmosfere u cilindar preko usisnih kanala, a gorivo, koje je smješteno u spremniku, priskrbljuje pumpa koja ga dostavlja sustavu za ubrizgavanje ili kod starijih automobila, rasplinjaču. U cilju uštede potrošnje goriva pristupa se sa različitih strana, a jedno od mogućih rješenja je vrsta i način ubrizgavanja gorive smjese kod suvremenih benzinskih motora. Naslov rada je: **Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora**. Rad je podijeljen u sljedećih 7 cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj benzinskih motornih vozila i sustava ubrizgavanja
3. Princip rada benzinskih motora
4. Ubrizgavanje smjese kod benzinskih motora
5. Sustav dovoda goriva i ubrizgavanje
6. Način pripremanja gorive smjese ubrizgavanjem
7. Zaključak

Na početku rada, u drugom poglavlju, kratko je opisana povijest razvoja automobila od onoga trenutka kada je čovjek uočio da je predmete laganije pomicati ako se oni kotrljaju po podlozi umjesto da se guraju i vuku. Opisani su najpoznatiji svjetski proizvođači automobila kroz povijest kao što su Lenoir, Otto, Benz, Daimler, koji su proizvođači različite tipove automobila sa različitim oblicima pogona utjecali na razvoj automobila sve do danas.

U trećem poglavlju dotaknuti su principi rada kako četverotaktnog tako i dvotaktnog benzinskog motora. Kod dvotaktnog principa rada motora opisana su dva takta rada motora

koja su na taj način jednostavnija od četverotaktnog principa rada motora koji sadrži četiri takta te tako čini složeniju vrstu rada motora.

Ubrizgavanje smjese kod benzinskih motora opisano je zasebno te kasnije kroz temu pomoću vrsta ubrizgavanja, a to su indirektni i direktni sustavi ubrizgavanja. Jedna od svakako najvećih prednosti sistema za ubrizgavanje goriva u odnosu na rasplinjač ogleda se u preciznosti sa kojom ovaj sustav radi odnosno ubrizgava gorivo. Izostavljanjem rasplinjača i uvođenjem brizgaljki skraćen je put koje gorivo mora prijeći do ulaska u cilindar. Nedostatak ovog sustava svakako je cijena koja je, naravno, veća od cijene rasplinjača.

Na kraju rada, u petom i šestom poglavlju, dotaknut je sustav dovoda goriva te način pripremanja smjese ubrizgavanjem. Sustav za napajanjem motora ima složen zadatak jer potreba za zrakom i benzinom kod motora se mijenja ovisno o temperaturi, opterećenju motora i brzini. Svrha sustava za dovod goriva je unošenje smjese zraka i benzina u odgovarajućem omjeru u motor, a na motorima sa sustavom ubrizgavanja goriva, dovod goriva se obavlja pomoću ubrizgivača goriva.

## **2. RAZVOJ BENZINSKIH MOTORNIH VOZILA I SUSTAVA UBRIZGAVANJA**



Razvoj cestovnih prijevoznih sredstava započeo je onog trenutka kada je čovjek uočio da je predmete laganije pomicati ako se oni kotrljaju po podlozi umjesto da se guraju i vuku. Kao što sama definicija automobila kaže da je automobil cestovno motorno vozilo namijenjeno za prijevoz putnika ili robe većim brzinama na veće udaljenosti, tako i povijest razvoj automobila, u najširem smislu, počinje s prvim nastojanjem ljudi da načine prijevozno sredstvo koje će se samo pokretati, bez uporabe ljudske ili životinjske snage. Povijest automobila započinje konstrukcijom prvih motora s unutarnjim izgaranjem, koji su preteča današnjih modernih automobilskih motora.

Francuz Lenoir 1860. godine izrađuje prvi motor s unutarnjim izgaranjem. To je bio dvotaktni plinski motor, ali njegov stupanj korisnosti bio je vrlo mali, toliko su tada imali i parni strojevi pa prva pokusna vožnja nije dala dobre rezultate. N. A. Otto 1867. godine izlaže poboljšanu verziju Lenoirovog motora s korisnošću od 9 posto da bi 1876. godine konstruirao prvi motor s kompresijom smjese goriva. Motor je bio četverotaktni i to je bio prvi automobil na benzinski pogon. No, tek su izumi K. Benza i G. Daimlera potpuno istaknuli prednosti automobila pogonjenoga motorom s unutarnjim izgaranjem što je potvrdio daljnji razvoj. 1885. godine Daimler konstruirao prvi motorkotač, a 1886. godine Benz konstruirao motorno vozilo s tri kotača na benzinski pogon. [1]



Slika 1. Daimlerov motorkotač

Izvor: [2]



Slika 2. Benzova trokolica

Izvor: [3]

Otada počinje nagli razvoj automobila. Otkriveno je gorivo koje je omogućilo izgradnju ekonomičnog i lako upravljivoga vozila, konstruirani su jači i brzohodniji motori, oblik se sve više mijenjao i prilagođivao različitim potrebama. Razvoj automobila, posebice nakon 1930. godine, bio je vrlo brz. Godine 1954. Mercedes izrađuje prvi automobilski Ottov motor s izravnim ubrizgavanjem goriva, a 1966. godine Bosch izrađuje elektronički upravljano ubrizgavanje benzina u serijska vozila. Usavršena je konstrukcija vozila, motori su postali snažniji, lakši i ekonomičniji, povećana je brzina. Pritom se kao pogodan za pogon gospodarskih vozila (teretni i srodni automobili te autobusi) ustalio Dieslov motor, a za pogon osobnih automobila Ottov (benzinski) motor. U posljednjim je desetljećima za razvoj automobila karakteristično povećanje njihove aktivne i pasivne sigurnosti, te poduzimanje mjera za smanjenje potrošnje goriva i poboljšanje njihovih ekoloških značajki. Tu svakako treba spomenuti uvođenje ubrizgavanja goriva u benzinskom motoru, koje je podržano elektroničkim sustavom za reguliranje i optimiranje izgaranja, a po kriteriju smanjenja specifične potrošnje goriva i emisije sastojaka štetnih za zdravlje u ispušnom plinu. [1]

U posljednjim godinama pojavljuju se osobni automobili s hibridnim pogonom što ga čini kombinacija benzinskog i električnog motora. Napajanje kod takve vrste pogona vrši se pomoću odgovarajućeg goriva iz spremnika te dodatnog elektromotora, napajanog električnom energijom iz akumulatora. Na kratkim udaljenostima u gradu oni pokazuju ekološki gotovo idealne značajke, a na duljim relacijama izvan naselja vozna svojstva

identična automobilima s klasičnim pogonom. Osim toga, hibridna vozila, kada ih se uspoređuje sa vozilima istih voznih svojstava, postižu znatno nižu potrošnju goriva te bolja vozna svojstva vozila i povećanu udobnost u vožnji.

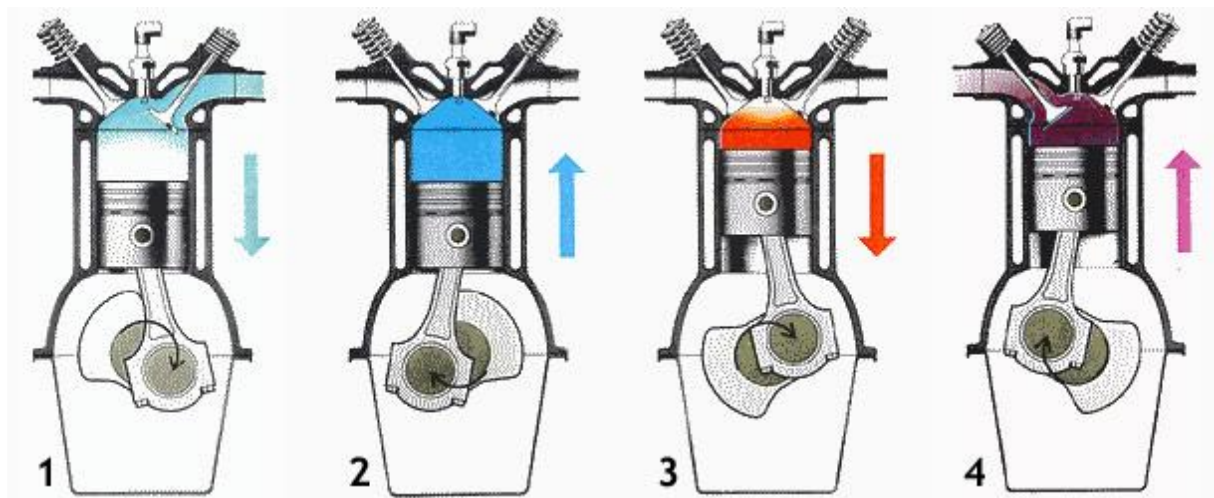
### 3. PRINCIP RADA BENZINSKIH MOTORA

Motori s unutarnjim izgaranjem su motori kod kojih gorivo izgara u radnom prostoru koji služi i za pretvaranje kemijske energije goriva u toplinsku energiju, a potom iz toplinske energije u mehanički rad. Princip rada benzinskih motora može se podijeliti na princip rada četverotaktnih benzinskih motora i princip rada dvotaktnih benzinskih motora.

#### 3.1. PRINCIP RADA ČETVEROTAKTNOG BENZINSKOG MOTORA

Četverotaktni benzinski motor danas je jedan od najzastupljenijih pogonskih generatora u automobilima. Osnovna koncepcija i konstrukcija benzinskog motora nije se mijenjala od samog začetka 1876. godine kada ga je konstruirao njemački inženjer Nicolaus Otto.

Kod četverotaktnog benzinskog motora radni proces odvija se unutar četiri takta (slika 3.). U ta četiri takta radilica napravi dva, a bregasto vratilo jedan puni okretaj. Za svaki okretaj radilice klip napravi dva hoda od jedne do druge mrtve točke, koje se nazivaju krajnjim točkama gibanja klipa. [1]



Slika 3. Četiri takta

Izvor: [4]

Kao što je prikazano na slici, četverotaktni motor radi u četiri takta, a to su usis, kompresija, ekspanzija i ispuh.

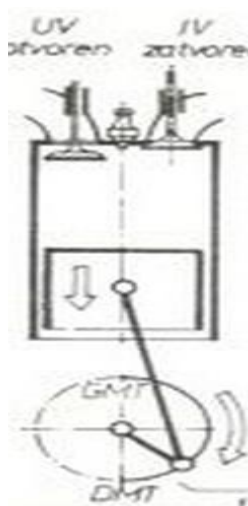
Tijekom prvog takta otvoren je usisni ventil. On se počinje otvarati prije nego je klip došao u poziciju vanjske mrtve točke, a zatvara se nakon što je klip prošao poziciju unutarnje mrtve točke. Gibanjem klipa od gornje mrtve točke prema donjoj mrtvoj točki povećava se radni prostor, a zbog otpora u usisnoj grani tlak u cilindru niži je od tlaka okoline za 0,1 – 0,3 bara. Kako je tlak u cilindru niži od atmosferskog to se zrak prije usisava u usisne cijevi pa se smjesa goriva i zraka stvara ili u usisnoj cijevi ili unutar samog cilindra. Kada klip dođe u svoju donju mrtvu točku usisavanje je završeno.

Drugi takt koji se naziva kompresija započinje hodom klipa od donje mrtve točke prema gornjoj mrtvoj točki pri čemu se radni prostor odnosno volumen smanjuje, a to vodi porastu tlaka i temperature. Tlak gorive smjese iznosi oko 11 – 18 bara, a temperatura iznosi 400 – 600 °C. Budući da su oba ventila na cilindru zatvorena vrši se komprimiranje para goriva i zraka. Na taj način su molekule para goriva i zraka dovedene blizu jedne drugima čime je olakšano njihovo međusobno povezivanje odnosno oksidacija goriva. Tlačenje smjese povisuje toplinski stupanj iskoristivosti odnosno dobiva se veća snaga uz manju potrošnju goriva. Osim toga, neisparene čestice goriva u ovom taktu isparavaju i miješaju se sa zrakom, a u sljedećem taktu smjesa izgara brzo i potpuno. Kada klip dođe u područje gornje mrtve točke kompresija je završena.

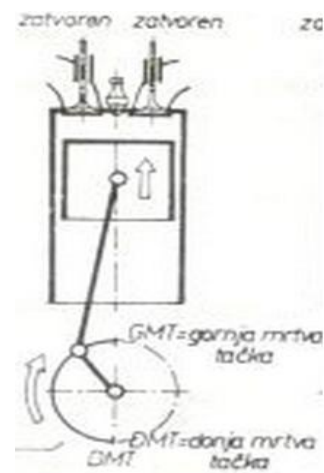
Nakon završetka kompresije slijedi treće radni takt, izgaranje smjese i ekspanzija izgorjelih plinova. Komprimirana smjesa goriva i zraka, neposredno prije nego što je klip ponovno došao u poziciju vanjske mrtve točke pali se električnom visokonaponskom iskrom svjećice čime se postiže vrlo brzo izgaranje gorive smjese. Nakon paljenja počinje izgaranje te se tlak i temperatura naglo povećavaju. Tlak plinova izgaranja iznosi oko 40 – 60 bara, a temperatura iznosi 2000 – 2500 °C. Izgaranje goriva odvija se samo na prvom dijelu hoda klipa prema donjoj mrtvoj točki dok na drugom dijelu hoda klipa plinovi ekspandiraju potiskujući klip. Takt ekspanzije jedini je takt u kojem se dobiva korisni rad. Paljenje mora uslijediti u pravom trenutku kako bi maksimalni tlak bio što bliže gornje mrtve točke, a bez negativnih posljedica. Time se postiže maksimalna potrošnja goriva uz maksimalnu snagu. Ispušni ventili otvaraju se prije nego što klip dođe u donju mrtvu točku pa dio plinova izlazi iz cilindra vlastitim tlakom. Time se gubi nešto korisnoga rada, ali zato klip u taktu ispuha ima manji

protu-tlak, a to znači puno veću uštedu pa motor ima i veću snagu. U radnom taktu energija odnosno toplina pretvara se u mehanički rad.

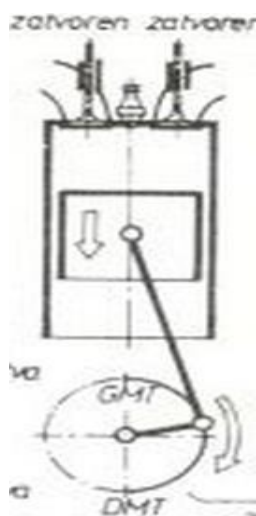
U četvrtom taktu, taktu ispuha, ispušni plinovi iz cilindra potiskuju se kretanjem klipa od donje mrtve točke prema gornjoj mrtvoj točki. Plinovi izgaranja se u toku takta ispuha nalaze pod tlakom od 1,05 – 1,20 bara, a pri punoj snazi motora temperatura ispušnog benzinskog motora kreće se od oko 700 – 1000 °C. Na kraju ispuha u cilindru se pojavljuje podtlak što daje mogućnost otvaranja usisnih ventila i prije gornje mrtve točke. Poslije završetka četvrtoga takta sve počinje iznova odnosno taktom usisa. Skup od ova četiri takta naziva se ciklus, a cijeli ciklus četverotaktnog benzinskog motora obavi se u dva puna okreta koljenastog vratila.



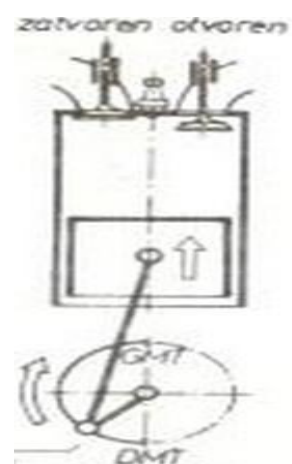
Slika 4. Usis



Slika 5. Kompresija



Slika 6. Ekspanzija



Slika 7. Ispuh

Izvor slika: [5]

### 3.2. PRINCIP RADA DVOTAKTNOG BENZINSKOG MOTORA

Dvotaktni motor je motor unutarnjim izgaranjem koji cijeli svoj radni ciklus obavi u dva takta te se time razlikuje od četverotaktnog motora koji to obavi u četiri takta.

Dvotaktnom motoru nisu potrebni posebni sklopovi za izmjenu plinova (razvodni mehanizam) jer izmjenom plinova upravlja klip prekrivajući otvore u zidu cilindra. Zbog toga je dvotaktni motor jednostavnije konstrukcije od četverotaktnog. Radni ciklus dvotaktnog motora odvija se u jednom okretaju radilice (360°) odnosno u dva radna takta. Tijekom radnog ciklusa kod dvotaktnog motora kao i kod četverotaktnog, izmjenjuju se procesi usisa, kompresije, izgaranja i ispuha. Razlika je u tome što su ovi procesi pomaknuti i različitog trajanja što se može vidjeti u tablici 1.

Tablica 1. : Procesu u dvotaktnom motoru

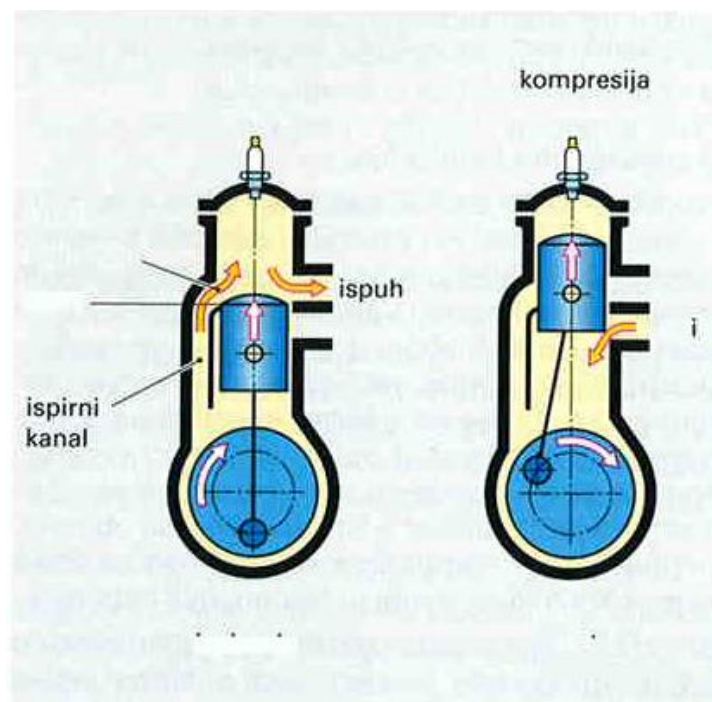
U cilindru (iznad klipa)	ispiranje kompresija radni proces ispuh	←
U kućištu (ispod klipa)	predusis usis pretkompresija ispiranje	↑

Izvor: [1], str. 126.

Radni ciklus kod četverotaktnog motora odvija se samo u cilindru i to u četiri takta (dva okretaja radilice). Da bi se radni ciklus kod dvotaktnog motora mogao smjestiti u dva takta (jedan okretaj radilice), cilindar i kućište radilice moraju uzajamno djelovati. Kako kućište radilice i cilindar s donjom stranom klipa tvore pumpu, to kućište kod dvotaktnog motora mora biti potpuno nepropusno. [1]

Princip rada dvotaktnog motora je jednostavan. Dvotaktni motor ima dva takta, prvi takt sadrži usis i komprimiranje zraka, dok je drugi takt radni, odnosno sadrži ekspanziju i ispuh. [6]

Prvi takt je kompresijski takt u kojem se klip giba od donje mrtve točke prema gornjoj mrtvoj točki. Nakon što klip prekrije spojne otvore, u komori radilice nastaje podtlak od 0,2 – 0,4 bara zbog povećanja volumena komore. Taj se proces naziva predusisavanje. Kod procesa usisa oslobađanjem usisnih otvora počinje pravi proces usisa gorive smjese. Kada se govori o procesima u prostoru izgaranja tu se onda misli na proces kompresije kod kojeg nakon prekrivanja ispušnih otvora u cilindru počinje kompresija smjese. Nakon toga neposredno pred gornjom mrtvom točkom slijedi paljenje.

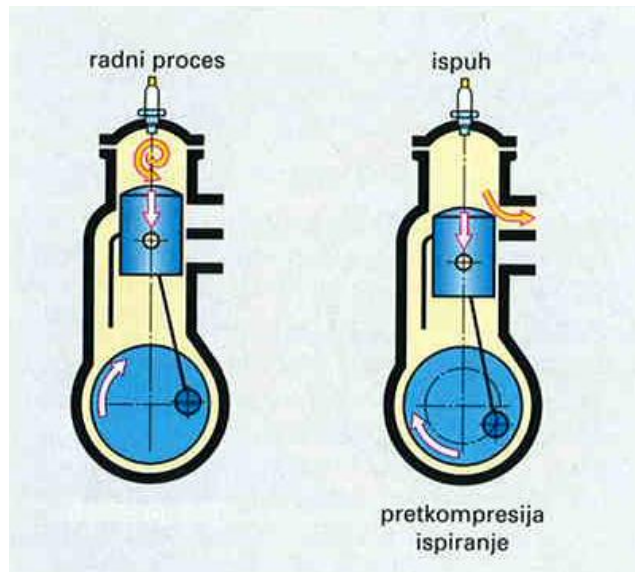


Slika 8. Prvi takt dvotaktnog motora

Izvor: [1], str. 127.

Kod drugog odnosno radnog takta klip se giba od gornje mrtve točke prema donjoj mrtvoj točki. Postoji proces u prostoru izgaranja u kojem se pojavljuje radni proces kod kojeg tlak plinova izgaranja potiskuje klip prema donjoj mrtvoj točki, a kada se govori o procesu u komori radilice tu počinje predkompresija gorive smjese na približno 0,3 – 0,8 bara. [1]





Slika 9. Drugi takt dvotaktnog motora

Izvor: [1], str. 127.

Kod procesa ispuha gornji brid klipa otvara ispušne otvore i ispušni plinovi izlaze izvan cilindra. Daljnjim hodom klipa prema donjoj mrtvoj točki otvaraju se spojni otvori pa pretkomprimirana svježa smjesa prodire u prostor izgaranja i ispire cilindar od zaostalih plinova izgaranja. Zbog protutlaka u ispušnom kanalu zaostali plinovi izgaranja pri otvaranju spojnog kanala nastoje prodrijeti prema komori radilice. Zbog toga se povećava tlak pretkompresije s 0,3 bara na tlak ispiranja od približno 0,8 bara. Zahvaljujući tom povećanju tlaka svježi plinovi mogu propuhati i isprati cilindar.

Tablica 2. Tlakovi [bar]

Usis	Kompresija	Radni proces (ekspanzija)	Ispuh
- 0,4...- 0,6	8... 12	25...40	3...0,1
predusis	pret-kompresija		ispiranje
- 0,2...- 0,4	0,3...0,8		1,3...1,6

Izvor: [1], str. 127.

### **3.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI DVOTAKTNIH MOTORA U ODNOSU NA ČETVEROTAKTNE**

Ono što je bitno kod dvotaktnih motora je njihov stupanj iskorištenja koji je u odnosu na četverotaktne motore puno veći i povoljniji. Jedan od razloga zašto je to tako je sama bit odnosno temelj rada dvotaktnih motora u odnosu na četverotaktni motor jer je kod dvotaktnih motora samo jedan takt rada neiskorišten, a kod četverotaktnih motora postoje takva 3 takta. Dvotaktni motori nemaju ventile, uljnu pumpu i karter oblikovan tako da se nalazi na dnu motora, a takva izvedba, kao što je i prije navedeno, daje im jednostavnost, manji volumen, manju težinu i ono što je bitno, čini ih jeftinijim. Karter dvotaktnih motora ne sadrži ulje za podmazivanje ležajeva, klipa, radilice, već se ti dijelovi podmazuju uljem koje se miješa sa gorivom pa iz tog razloga dvotaktni motori su podložniji kvarovima, ali kao što sam već i rekao oni su jednostavniji i daleko jeftiniji rješenje te mogu raditi jer mogu raditi u bilo kojem položaju.

Bitna odrednica dvotaktnih motora u odnosu na četverotaktne je ujednačen okretni moment motora. Manji broj cilindara omogućuje velika brzinu vožnje uz niske brzine vrtnje motora pa se na kraju ostvaruje niža potrošnja goriva što je u današnje vrijeme velika prednost za korisnike automobila. Smanjena potrošnja goriva danas je osnovni preduvjet za uspješnu primjenu sustava, četverotaktni ili dvotaktni motor, za pogon osobnog automobila.

Prednosti:

- jednostavnija konstrukcija
- manje pokretnih dijelova (samo tri osnovna: klip, klipnjača i radilica)
- ravnomjerniji okretni moment, bez neradnih taktova
- manja vibracija
- kompaktna konstrukcija
- manja težina
- manja specifična masa motora
- velika volumenska snaga
- mirniji rad pri jednakom broju cilindara
- manji proizvodni troškovi
- visoka brzina vrtnje

Nedostaci:

- slabije punjenje cilindara, unatoč dvostruko većem broju radnih taktova zbog otvorene izmjene plinova postiže se samo do 30% veća snaga motora
- više štetnih produkata izgaranja, veća emisija neizgorelih CH
- veće toplinsko opterećenje, nestaju neradni taktovi
- manji srednji tlakovi zbog lošijeg punjenja
- nemirniji rad motora na praznom hodu zbog veće količine zaostalih plinova izgaranja
- veća specifična potrošnja goriva i ulja
- veća potrošnja ulja za podmazivanje [1] i [7]

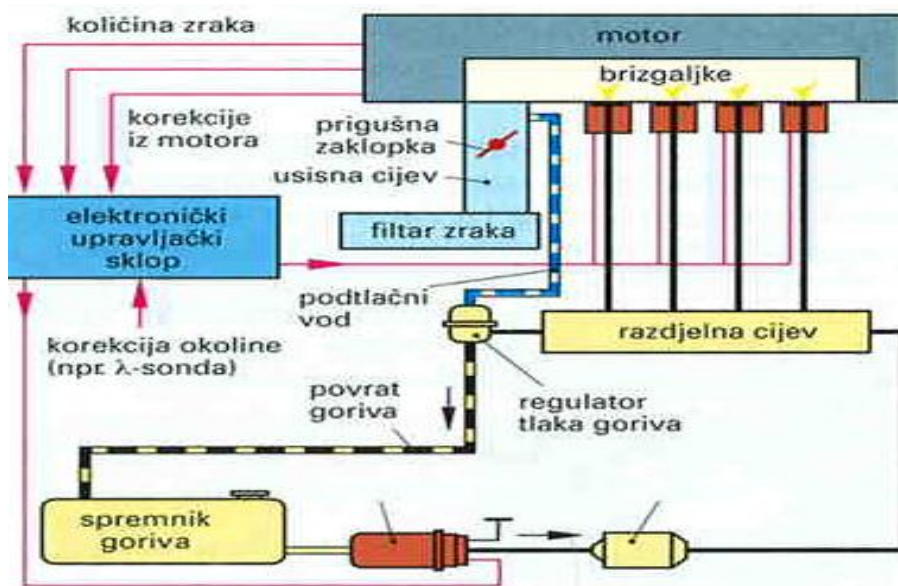
## 4. UBRIZGAVANJE SMJESE KOD BENZINSKIH MOTORA

Kako je napredovalo razvijanje tehnike i tehnologije, došlo se do ideje da se napravi sustav za ubrizgavanje na motornim vozilima koji bi trebao popraviti dinamičke karakteristike motornog vozila i ono što je bit, smanjiti troškove potrošnje goriva. Od prvog benzinskog motora pa do danas značajno se razvilo načelo i upravljanje ubrizgavanja, paljenja, obradom ispušnih plinova, ali i samom mehanikom benzinskog motora. Benzinski motora danas u svijetu još uvijek drže određenu količinu svojih automobila na tržištu, a da bi taj udio zadržali proizvođači moraju uložiti velike napore u daljnji razvoj benzinskih motora kako bi se mogli ravnomjerno nositi sa dizel motorima. Glavni zadatak sustava ubrizgavanja goriva je upravljati protokom i raspršivanjem goriva u određeni dio za izgaranje na osnovi poznavanja određenih parametara i stavki rada motora te obrade dobivenih informacija. Također može se reći da je sustav ubrizgavanja jedan od sustava koji ima veliku važnost za ispravan i stalan rad motora. Također je ubrizgavanje značajno kod određenih brzina i opterećenja vozila gdje se nadgleda protok goriva i njegova raspodjela po cilindrima.

Kako je ulogu rasplinjača preuzeo sustav za ubrizgavanje, to se gorivo sad raspršuje samim ubrizgavanjem. Kada govorimo o Diesel i benzinskim motorima onda razlika ipak postoji odnosno tlakovi ubrizgavanja znatno su niži u benzinskom motoru i kreću se od 0,8 do 15 bara, a ubrizgava se prije ili tokom usisnog takta izravno u cilindre ili usisnu cijev.

Zadaci sustava za ubrizgavanje su sljedeći:

- fino raspršiti gorivo u usisavani zrak i stvoriti što ravnomjerniju smjesu
- prilagoditi kvalitetu smjese trenutačnim potrebama motora
- stvoriti što manju količinu štetnih tvari u ispušnim plinovima
- ubrizgavanje u pravom trenutku
- kontrola tlaka ubrizgavanja
- ubrizgavanje u točno određenom vremenskom intervalu
- ubrizgavanje u točno određenu točku
- ispravna količina ubrizganog goriva [1] i [8]



Slika 10. Blok shema sustava ubrizgavanja

Izvor: [1], str. 69.

Kao što je prikazano na slici sustav ubrizgavanja sastoji se od nekoliko elemenata kao što su spremnik goriva, regulator tlaka goriva, filtrar zraka, usisna cijev, prigušna zaklopka te elektronički upravljački sklop koji svoje djelovanje prenosi na brizgaljke koje omogućavaju ubrizgavanje u sam motor.

Korištenje sustava za ubrizgavanje goriva može se očitovati u njegovim prednostima koje se odnose na sljedeće:

- točnije stvaranje smjese u svim pogonskim uvjetima rada motora
- bolje punjenje zbog povoljnijeg oblikovanja usisnih kanala i boljeg hlađenja
- veći okretni moment i volumenska snaga motora
- gorivo se fino raspršuje izravno u cilindar
- brže isparavanje goriva i stvaranje homogene smjese
- svakom cilindru daje se jednaka količina goriva
- kratki putovi vremena i transporta smjese do cilindra
- dobri prijelazi pri promjeni opterećenja i bolja elastičnost motora [1] i [8]

Kako sam i ranije spomenuo, danas su ulogu rasplinjača preuzeli sustavi za ubrizgavanje pa sam analizirajući podatke vezane za obe vrste došao do zaključka da su sljedeće značajke ubrizgavanja prednost pred rasplinjačem. Prije svega to je veći okretni moment i uz to povećana snaga rada motora s kojim se postiže manja specifična potrošnja goriva. Gledajući okolinu uspostavlja se manja emisija štetnih tvari pa se postiže bolje stvaranje optimalne gorive smjese. Nadalje su to prednosti kao što su točnije stvaranje smjese u svim pogonskim uvjetima, bolje punjenje, brže isparavanje goriva, bolje ubrzanje i kočenje motora radi brže reakcije sustava ubrizgavanja te ujednačeni prijelazi pri promjeni opterećenja i bolja elastičnost motora.

Međutim, stvaranje optimalne gorive smjese često je otežano ili onemogućeno specifičnim ograničenjima motora, specifičnim ograničenjima vozila, ali i zahtjevima koje postavlja tržište. Neki od njih mogu biti:

- ograničenje udjela štetnih sastojaka u ispušnim plinovima (na svim tržištima postoje zakonski okviri koji propisuju granice unutar kojih se moraju kretati štetni sastojci unutar ispušnih plinova te oni danas postaju sve zahtjevniji)
- ograničenje temperature ispušnih plinova
- ograničenje tlaka unutar komore izgaranja (potrebno je uspostaviti ravnotežu između tlaka izgaranja i trajnosti dijelova motora koji su izloženi naprezanju)
- ograničenje broja okretaja motora (ako se povećava količina ubrizganog goriva u određeni dio za izgaranje onda broj okretaja motora raste, u suprotnom može doći do razaranja motora jer je mogući kritični maksimalni okretaj motora)
- ograničenje momenta
- dopuštena naprezanja pojedinih komponenata vozila i motora

Razlikujemo sljedeće vrste sustava za ubrizgavanje:

- kontinuirano ili neprekinuto
- impulsno ili prekidno ubrizgavanje
- direktno
- indirektno ubrizgavanje
- centralno
- decentralizirano ili pojedinačno

Kontinuirano ubrizgavanje može biti mehaničko-hidrauličko s mjerenjem količini zraka (takozvani K-Jetronic) i mehaničko-hidrauličko s dodatnom elektronikom za korekciju smjese (takozvani KE-Jetronic).

Impulsno ubrizgavanje uvijek je upravljano elektronikom te može biti:

- s mjerenjem volumnog protoka zraka (takozvani L-Jetronic)
- s mjerenjem masenog protoka zraka (takozvani LH-Jetronic)
- s mjerenjem tlaka zraka (takozvani D-Jetronic)
- s centralnim ubrizgavanjem
- s decentraliziranim ubrizgavanjem (takozvani Multi Point Injection)
- povezano s paljenjem (takozvani Motoronic)

Kod sustava ubrizgavanja s elektroničkim upravljanjem i regulacijom ubrizgavanja goriva koriste se tri osnovna dijela. To su usisni dio odnosno filter zraka koji se još naziva usisna cijev, usisna grana. Nadalje sustav goriva koji sadrži spremnik, pumpu, filter, regulator tlaka i brizgaljku. Upravljački sklop posljednji je dio sustava ubrizgavanja s elektroničkim upravljanjem i regulacijom ubrizgavanja goriva koji sadrži senzore, upravljačku jedinicu te postavne članove. [1]

Za razliku od rasplinjača sustav za ubrizgavanje goriva je kudikamo jednostavniji jer se smjesa goriva i zraka neposredno pred usisnim ventilom. Time se pojednostavljuje konstrukcija usisne cijevi koja se sada mora brinuti samo o pravilnom strujanju zraka. [9]

Jedna od svakako najvećih prednosti sistema za ubrizgavanje goriva u odnosu na rasplinjač ogleda se u preciznosti sa kojom ovaj sistem radi odnosno ubrizgava gorivo. Izostavljanjem rasplinjača i uvođenjem brizgaljki skraćen je put koje gorivo treba proći do ulaska u cilindar. Druga velika prednost je u veličini kapljice energenta koja je kod ubrizgavanja nekoliko puta manja što ima za posljedicu njeno mnogo lakše isparavanje u usisnom kanalu, a samim time i poboljšano miješanje sa zrakom. Takav novi sistem omogućava više prostora što konstruktori koriste da bi maksimalno optimizirali usisne kanale u cilju dobivanja što povoljnijeg obrtnog momenta te da bi se što bolje aerodinamički oblikovao prednji dio vozila. [10]

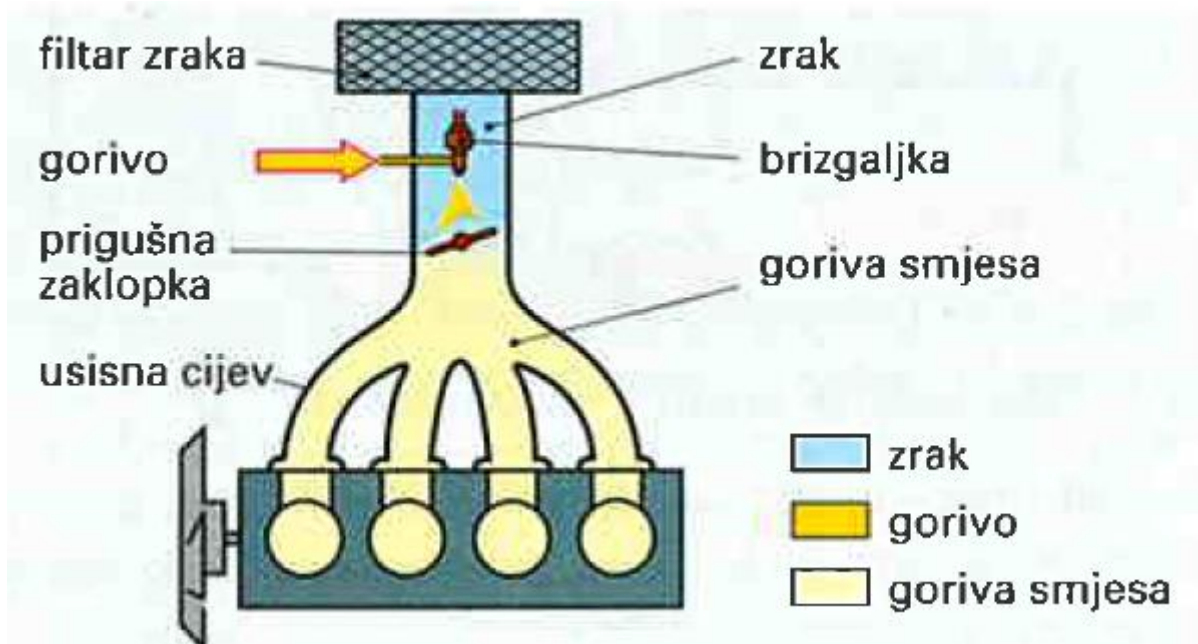
Cijene je svakako najveći nedostatak ovog sustava te njegova kompleksna konstrukcija koja određuje i stručnu obuku servisera.



## 4.1. INDIREKTNO UBRIZGAVANJE

Gorivo se ubrizgava ispred usisnih ventila ili u kućište leptira gasa. To znači da se radi o vanjskom stvaranju smjese, a samo ubrizgavanje goriva može biti izvedeno u jednoj točki, Single Point Injection, ili više točaka, Multi Point Injection.

Kao što je već rečeno, Single Point Injection označava ubrizgavanja goriva u jednoj točki, u kućištu prigušne zaklopke ispred leptira. Uparivanju goriva pridonose i zagrijavane stijenke usisne grane kao i ugrađeni grijajući elementi. Prednost ovakvog sistema rada je jednostavnija i jeftinija konstrukcija, međutim nedostatak Single Point Injection sustava je nejednolika raspodjela goriva po cilindrima zbog različite dužine usisnih grana i otpora strujanja (to se odnosi na stvaranje vrtloga, hrapavosti stijenki i ostali aerodinamički otpori). Osim toga, na stijenkama usisne cijevi stvara se film goriva pa cilindri dobivaju različitu kvalitetu smjese. [1]

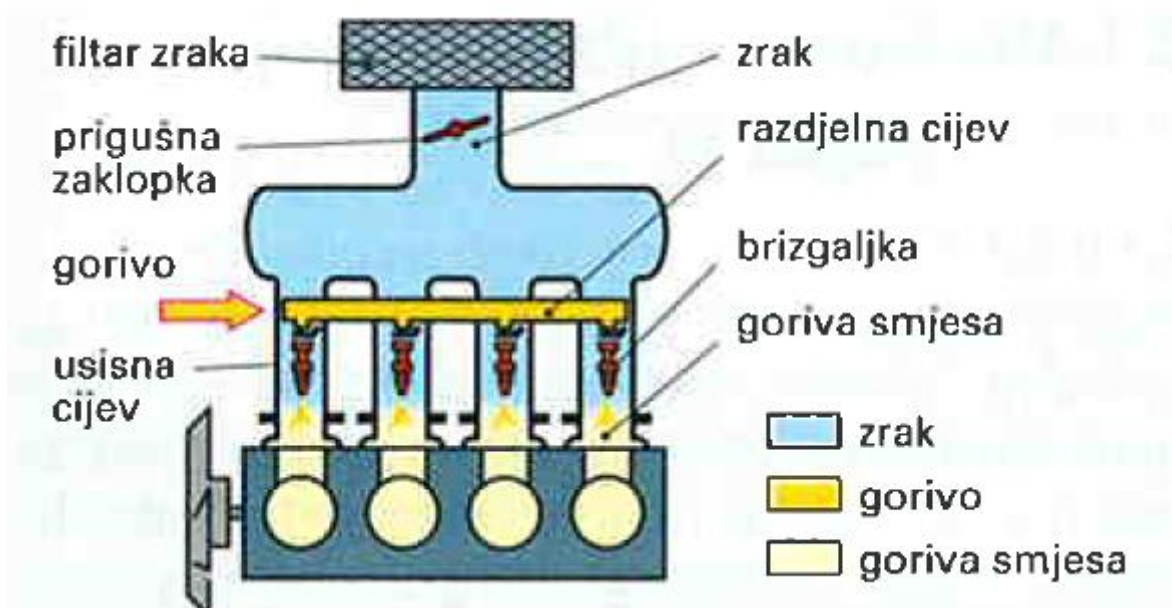


Slika 11. Single Point Injection

Izvor: [8]

Kod sustava Multi Point Injection, regulator tlaka goriva ima ulaznu vezu s razvodnikom goriva i izlaz koji omogućuje povratak goriva u spremnik. Snaga pritiska određuje tlak goriva i drži ga na određenoj vrijednosti.

Svakom cilindru pridružena je po jedna brizgaljka, bilo u usisnim cijevima ili neposredno ispred usisnih ventila. Svaki cilindar dobiva jednako kvalitetnu smjesu i to je velika prednost ovoga sustava koji je dosta rasprostranjen te pruža najbolje usluge za preciznu regulaciju motora.



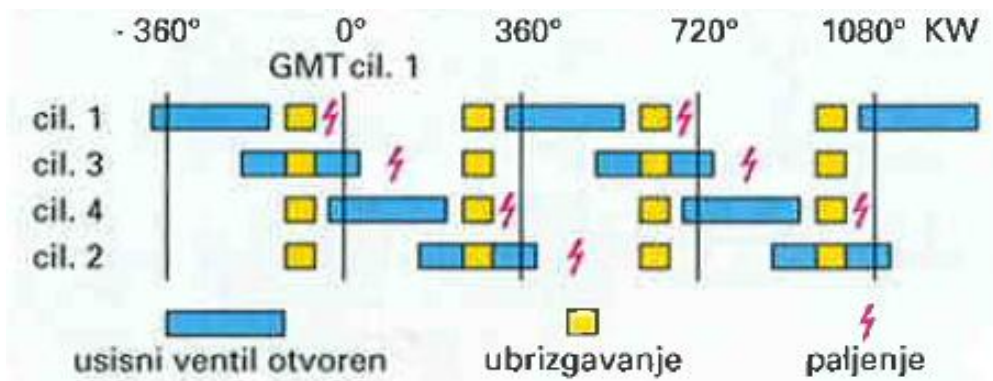
Slika 12. Multi Point Injection

Izvor: [8], str. 70.

Multi Point Injection sustav ubrizgavanja razlikuje nekoliko načina odnosno vrsti ubrizgavanja:

- istodobno ili simultano ubrizgavanje
- grupno ubrizgavanje
- slijedno ili sekvencijalno ubrizgavanje [1]

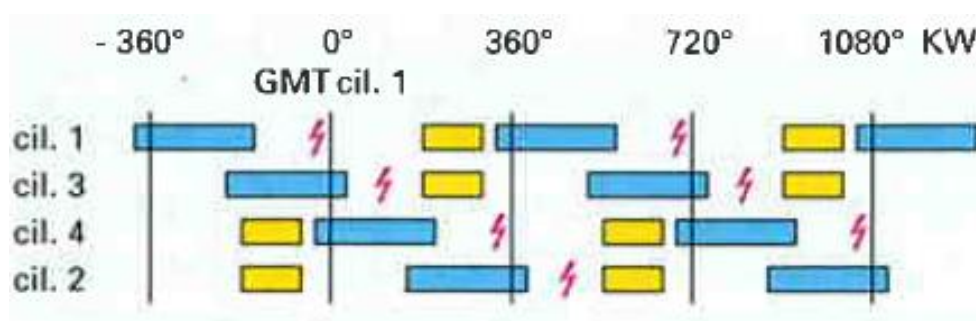
Kod istodobnog ubrizgavanja sve se brizgaljke istodobno otvaraju bez obzira na odvijanje taktova u pojedinim cilindrima pa su i vremena za stvaranje smjese vrlo različita. Kako bi se unatoč tome stvorila smjesa više-manje podjednake kvalitete po svim cilindrima, ukupna količina goriva ubrizgava se u dva navrata (za svaki okretaj radilice pola količine).



Slika 13. Istodobno ubrizgavanje

Izvor: [1], str. 70.

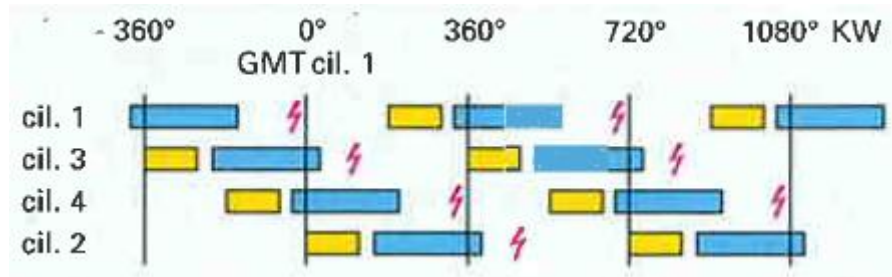
Grupno ubrizgavanje povoljnije je od istodobnog i kod njega se brizgaljka prvog i trećeg te brizgaljka drugog i četvrtog cilindra izmjenično otvaraju tako da ubrizgavaju uvijek prije takta usisa. Ubrizgava se kompletna količina goriva, ali vremena za stvaranje smjese su različita za različite cilindre. [1]



Slika 14. Grupno ubrizgavanje

Izvor: [1], str. 70.

Slijedno ubrizgavanje je ono kod kojeg se svaka brizgaljka aktivira neposredno prije početka takta usisa odnosno cilindra kada se ubrizgava ukupna količina goriva. Prednosti ovakvog načina ubrizgavanja su optimalna smjesa za sve cilindre i bolje unutarnje hlađenje cilindara dok je vrijeme za stvaranje smjese jednako za sve cilindre. [1]



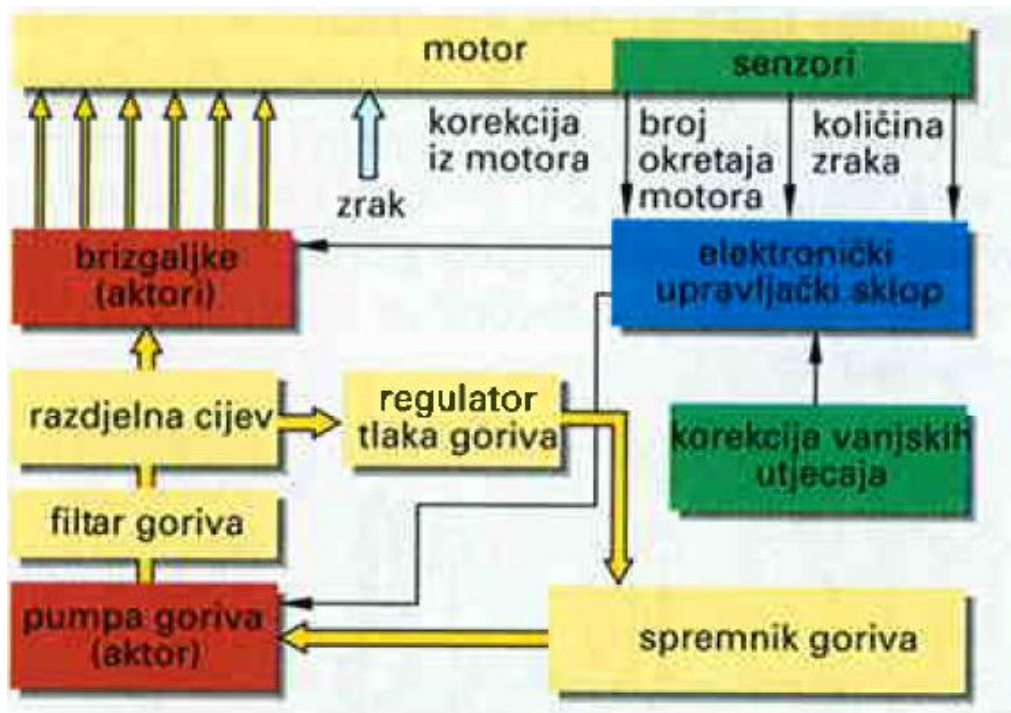
Slika 15. Slijedno ubrizgavanje

Izvor: [1], str. 70.

Kada govorimo o indirektnom ubrizgavanju bitno je za spomenuti impulsni, indirektni, decentralizirani, elektronikom upravljani Multi Point Injection sustav ubrizgavanja pod nazivom L-Jetronic. Osnovni parametar kod ovakvog načina ubrizgavanja su količina usisanog zraka (opterećenje) koji se mjeri elektroničkim putem i broj okretaja motora.

Najvažniji dijelovi L-Jetronic sustavu su:

- sustav goriva
- mjerač količine zraka
- senzori
- aktori
- elektronički upravljani sistem [1]



Slika 16. Shema L-Jetronica

Izvor: [1], str. 73.

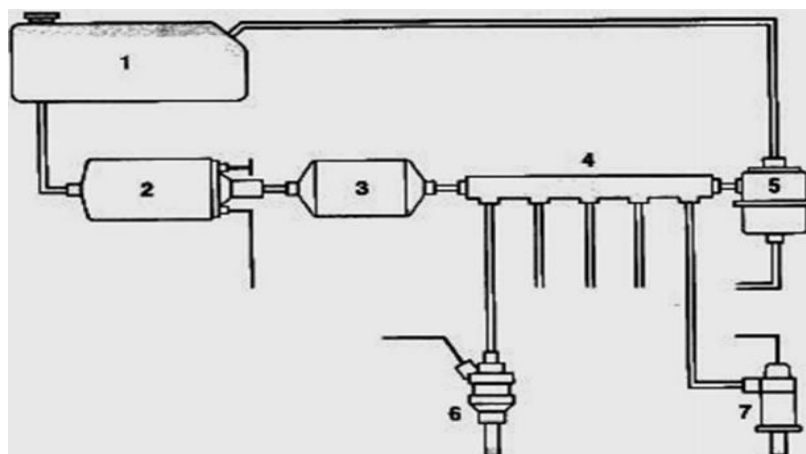
Na slici 16. prikazana je shema L-Jetronica odnosno dijelovi takve vrste ubrizgavanja. Sustav dobave goriva čine spremnik goriva, električna pumpa, filtar goriva, regulator tlaka i relej za uključivanje pumpe goriva. Mjerač količine zraka daje upravljačkom sklopu bitnu informaciju o količini usisavanog zraka te on mjeri volumenski protok. Osjetnici odnosno senzori mjere sve potrebne parametre i šalju ih upravljačkom sklopu u obliku naponskih signala ili promjene otpora. Elektronički upravljački sklop obrađuje prispjele bitne informacije sa senzora i upravlja aktorima odnosno izvršnim elementima kao što je brizgaljka. [1]

Ovaj sistem obuhvaća sve promjene koje nastaju tokom radnog vremena motora kao što su istrošenost dijelova, talozi u prostoru za sagorijevanje i podešavanje ventila. Posebna specifičnost ovog sistema ubrizgavanja je električno mjerenje protoka usisane količine zraka te to pruža velike mogućnosti regulacije i prilagođavanja ubrizgane količine goriva u različitim režimima rada motora.

L-Jetronic sustav ubrizgavanja može se podijeliti na tri svoje funkcionalne uloge:

- instalacija za napajanje gorivom
- prikupljanje i obrata podataka o radu motora
- regulacija ubrizgane količine goriva

Instalacija za napajanje gorivom sadrži rezervoar, električnu pumpu, filter, glavnu razvodnu cijev, regulator pritiska, brizgaljku hladnog starta i brizgaljke za cilindre. Sustav radi tako da električna pumpa povlači gorivo iz rezervoara i preko filtera ga potiskuje prema glavnoj razvodnoj cijevi pod pritiskom od oko 2,5 bara. Od glavne razvodne cijevi dalje se granaju cijevi prema ventilima za samo ubrizgavanje. Na kraju razvodne cijevi je regulator pritiska koji održava konstantan pritisak za ubrizgavanje. Kapacitet pumpe je veći od najveće potrošnje goriva tako da se višak goriva, preko regulatora pritiska, vraća u rezervoar sa nižim pritiskom u povratku. Ta cirkulacija je korisna jer rashlađuje gorivo i eliminira pojavljivanje mjehurića u sistemu. Uloga glavne razvodne cijevi u sustavu jako je bitna zbog ravnomjernog razvoda goriva pod istim pritiskom za sve brizgaljke. Kao što sam već rekao njen volumen je znatno veći od ukupne količine goriva koja se ubrizgava u jednom ciklusu pa zbog toga nema pada pritiska u sistemu te gorivo stiže do svake brizgaljke pod istim pritiskom. Na slici broj 17. brojem 1 označen je spremnik goriva, brojem 2 električna pumpa za gorivo, brojem 3 filter za gorivo, brojem 4 sabirna cijev za gorivo, brojem 5 regulator pritiska goriva, brojem 6 brizgaljka te brojem 7 brizgaljka hladnog starta.



Slika 17. Sustav napajanja gorivom

Izvor: [11]

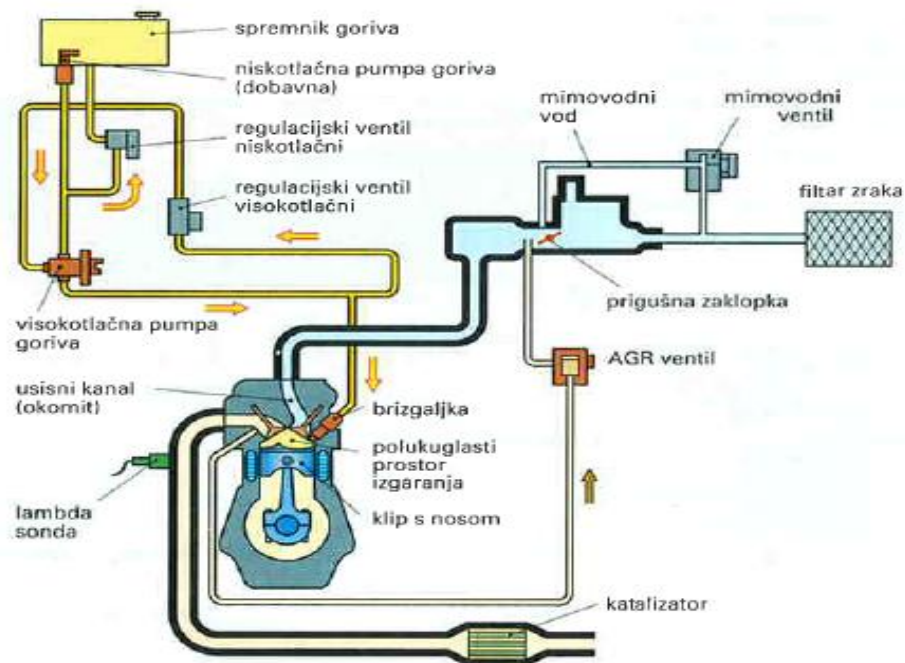
## 4.2. DIREKTNO UBRIZGAVANJE

Sustav direktnog odnosno izavnog ubrizgavanja odlikuje se brizgaljkom smještenom u glavi motora te ubrizgava gorivo izravno u cilindar, tijekom kompresijskog takta. Ovakav je sustav najučinkovitiji kada se govori o iskorištenju energije goriva, a time i ekološki najpogodniji.

Gorivo se ubrizgava izravno u prostor izgaranja (engl. Gasoline Direct Injection), u taktu usisa ili kompresije. Zato je izbjegnuto stvaranje filma goriva koje se kondenzira na stijenkama usisnih cijevi. Da bi izgaranje bilo što kvalitetnije onda stupanj kompresije mora biti izrazito visok što motoru sa direktnim ubrizgavanjem daje veliku volumensku snagu.

Konstruktivske osobitosti motora na direktno ubrizgavanje:

- usisni su kanali gotovo okomiti kako bi se dobilo odgovarajuće strujanje
- pomoću visokotlačne pumpe gorivo se u cilindre ubrizgava pod tlakom od 50 bara
- visokotlačne brizgaljke s promjenjivim oblikom mlaza goriva
- klip s nosom i udubljenjem za oblikovanje strujanja u cilindru [1]



Slika 18. Benzinski motor s direktnim ubrizgavanjem benzina

Izvor: [1], str. 71.

Sustav goriva koji je prikazan na slici 18. podijeljen je na niskotlačni dio (3,3 bara) i visokotlačni dio (50 bara). Visoki tlak stvara se jednocilindričnom klipnom pumpom koju preko međuvratila pogoni usisno pogonsko vratilo (hod klipa je 1 mm) te se elementi pumpe podmazuju se samim gorivom. Niskotlačna pumpa dobavlja gorivo visokotlačnoj pod tlakom od 3,3 bara, a regulacijski ventili sprječavaju pojavu previsokih tlakova u oba kruga.

Kvaliteta smjese goriva ovisi o režimu motora (opterećenje, broj okretaja, temperatura motora). Tako postoji štedni režim i režim snage. Štedni režim je onaj kod kojeg se gorivo ubrizgava u taktu kompresije, a konačni rezultat štednog režima je štednja gorivo odnosno manje potrošnja te čisto izgaranje.



Slika 19. Štedni režim (takt kompresije)

Izvor: [8]

Režim snage je onaj kod kojeg se gorivo ubrizgava u usisnom taktu odnosno u taktu usisa. Pojavljuje se izrazito unutarnje hlađenje koje prelazeći u parno stanje hladi gorivo i snižava temperaturu u cilindru. Pothlađivanjem se smanjuje volumen smjese i olakšava punjenje, jer u cilindre može ustrujati veća količina veća količina zraka i goriva. [1]





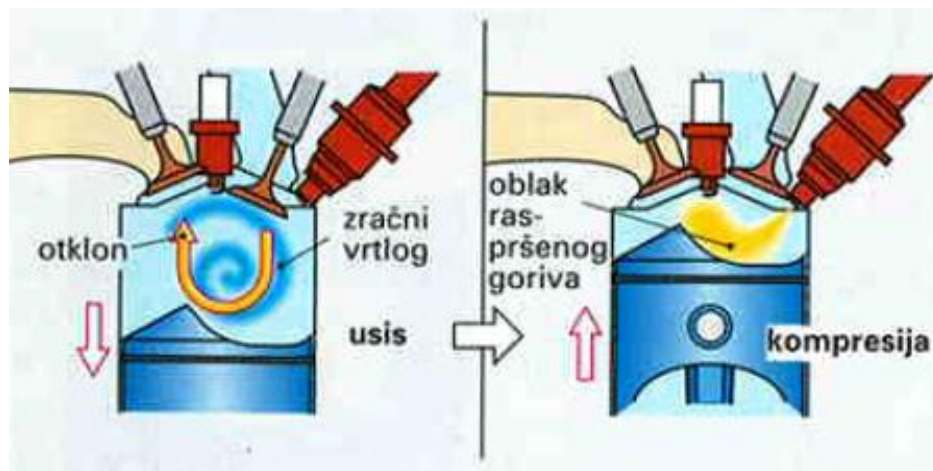
Slika 20. Režim snage (takt usisa)

Izvor: [8]

Benzinski motori s direktnim ubrizgavanjem dobivaju common-rail ubrizgavanje uz najviše tlakove od 2000 bara, a to im osigurava više snage uz nižu potrošnju goriva i čišći ispuh. [12] Common Rail danas je najuobičajenije rješenje kod kojeg je zajednički vod za gorivo pod visokim pritiskom koji povezuje sve brizgaljke. Bitno je naglasiti da sustavi ubrizgavanja kod dizelskih motora koriste značajno viši pritisak nego li oni benzinskih motora. Sustav Common Rail svoj naziv je dobio prema zajedničkom vodu goriva visokog pritiska koji opskrbljuje sve brizgaljke. [9]

Na djelomičnom opterećenju kod štednog režima cilindri usisavaju čisti zrak, a sam motor radi s vrlo siromašnom smjesom što dovodi do izuzetnog smanjenja potrošnje goriva odnosno gorivo se štedi. Pred kraj kompresije štednog režima ubrizga se mala količina goriva te nastalu smjesu zakrivljeni nos klipa gura izravno na svjećicu što olakšava njeno paljenje. Na takav se način s relativno malom količinom goriva postiže stabilno izgaranje. Kada motor radi s vrlo siromašnom smjesom (omjer goriva i zraka približno 1:40), homogena smjesa nije više zapaljiva. Kada nastaje dodatno vrtloženje strujanja zraka pri kraju takta kompresije ubrizgava se mala količina goriva te zahvaljujući spiralnoj pločici, gorivo se izuzetno fino raspršuje. Zbog tih različitih brzina vrtnje zraka stvaraju se slojevi različito bogate smjese. Tada je svjećica okružena dovoljno bogatom smjesom pa je paljenje sigurno i stabilno.

Jednom upaljena smjesa zapalit će i siromašne slojeve pa je konačni rezultat štednog režima štednja goriva i čisto izgaranje.



Slika 21. Ubrizgavanje u štednom režimu

Izvor: [8]

Prednosti direktnog ubrizgavanja u odnosu na indirektno ubrizgavanje najviše se ogledaju kroz potrošnju goriva. Kod direktnog ubrizgavanja potrošnja je smanjena od 15-20% te je i snaga motora poboljšana. Još jedna prednost je da izravni odnosno direktni sustav ubrizgavanja zahtijeva vrlo brzo isparavanje od goriva kako bi se omogućilo brzo miješanje sa zrakom. [13]

## 5. SUSTAV DOVODA GORIVA I UBRIZGAVANJE

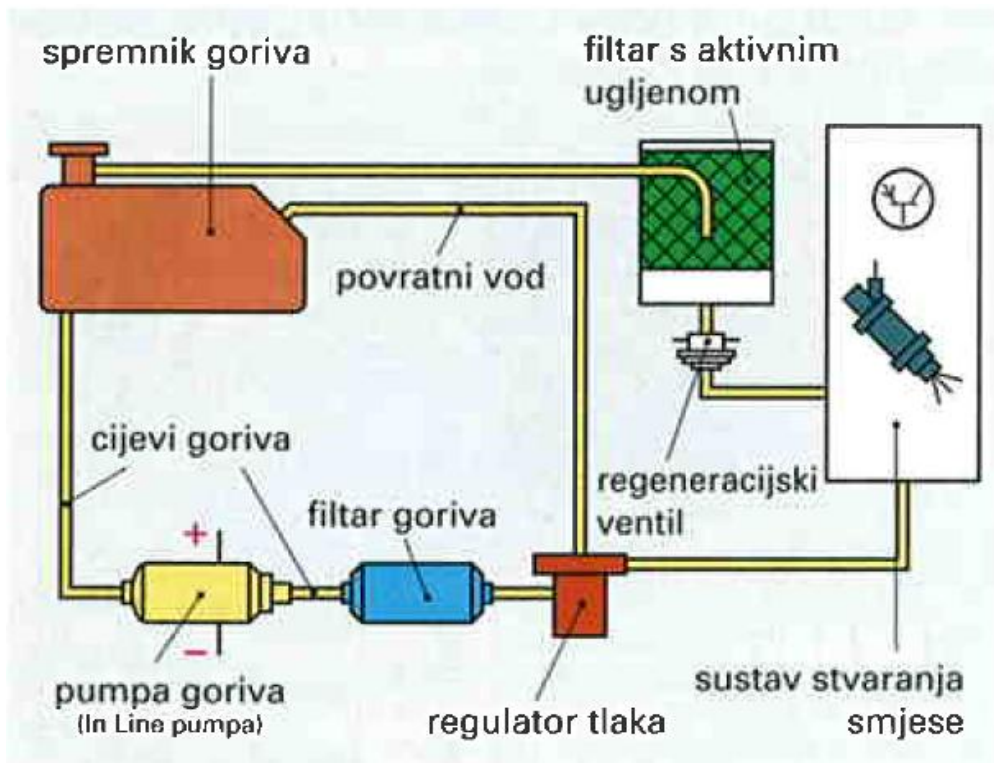
S obzirom da cijene goriva stalno rastu, u općem je interesu da potrošnja goriva bude što je moguće manja. Neki tipovi automobila nikada ne troše gorivo ekonomično zbog same konstrukcije motora ili velike težine pa zbog toga veći motori imaju obično i veću potrošnju goriva od manjih, a ukoliko je automobil teži to je potrebna i veća snaga za njegovo pokretanje. Iz toga proizlazi da što je više snage potrebno, to je veća i potrošnja goriva.

Način vožnje također ima utjecaja na potrošnju goriva. Ako neki vozači automobila imaju takozvani običan da oštro ili naglo startaju, samim time trošit će i više goriva jer naglo ubrzanje automobila zahtijeva i veći dovod goriva u motor. Iz toga proizlazi da potrošnja goriva raste pri velikim brzinama te koliko god ograničenja brzine na cestama bila nepopularna, činjenica je da većina automobilskih motora radi mnogo efikasnije pri brzini od 80 nego 100 kilometara na sat.

Zadaća sustava dovoda goriva je opskrbiti sustav za pripremu smjese dovoljnom količinom goriva pri svim režimima rada motora. Uvjeti koji se postavljaju u ovom sustavu su da gorivo mora biti u spremniku, gorivo se mora dovesti bez mjehurića, iz goriva se mora odvojiti nečistoća, mora se stvoriti konstantan tlak goriva, višak goriva treba se vratiti u spremnik, potrebno je spriječiti prodor para goriva u okoliš te spriječiti neosjetljivost na vibracije, udarce i toplinu.

Osnovni dijelovi sustava goriva su sljedeći te su oni prikazani na slici 22. :

- spremnik goriva
- cijevi za gorivo
- filter (pročistač) goriva
- pumpa (crpka) goriva
- regulator tlaka
- regeneracijski ventil
- filter s aktivnim ugljenom [1]



Slika 22. Sustav dovoda goriva

Izvor: [1], str. 56.

Spremnik goriva izvana i iznutra prevučen je zaštitnim antikoroziivnim slojem. Kod velikim spremnika i ekstremnih uvjeta vožnje, kao što su trkaća vozila u zavoјima, vožnja po strmim padinama, gorivo se može rasporediti tako da ga pumpa više ne može usisavati. Pad snage motora može se izbjeći ugradnjom pregradnih zidova u spremnik goriva ili ugradnjom malog spremnika goriva koji je uvijek ispunjen gorivom te on može služiti i u slučaju nestanka goriva. Bitan element kod dovoda goriva je cjevovod koji mora izdržati udarce, vibracije i požar. Cijevi se postavljaju tako da budu zaštićene od mehaničkih oštećenja, a moraju se izbjeći sve točke zagrijavanja kako bi se spriječila tvorba parnih čepova u gorivu. Filtar za gorivo zadržava sve nečistoće koje bi smetale sustavu dovoda, a naročito sustavu za pripremu smjese. Tu dolazimo do pumpe goriva kojoj je zadatak dovesti gorivo s niže točke, iz spremnika, do sustava za stvaranje smjese goriva. [1]

Sistem za dovod goriva ima vrlo složen zadatak. Potreba za zrakom i benzinom kod motora mijenja se zavisno od temperature, opterećenja motora i brzine. Jako je teško da sustav osigura optimalnu smjesu u svim radnim uvjetima. Prije svega, sustav mora proizvesti smjesu zraka i benzina koja dolazi u motor i pali se pomoću sistema za paljenje. Paljenje se mora dogoditi u određenom trenutku da bi smjesa sagorjela u cilindru motora, pokrenula klipove i tako omogućila rad motora. Ako smjesa zraka i benzine nije dobra ili ako vremensko podešavanje momenta paljenja nije precizno, motor neće raditi ili će, u najboljem slučaju, raditi slabo.

Svrha sistema za dovod goriva je unošenje smjese zraka i benzina u odgovarajućoj mjeri u motor. Ta smjesa se pretvara u finu maglu prije nego što dođe do usisnog voda motora i na kraju u dijelove za zagrijavanje. Na motorima sa sistemom ubrizgavanja goriva, dovod goriva se obavlja pomoću ubrizgača goriva. Bez obzira na vrstu ubrizgavanja, brizgaljka goriva raspršuje gorivo u usisni vod gdje se smjesa sa zrakom formira u odgovarajuću smjesu zraka i goriva.

Gorivo, sustav dovoda goriva i njegova sagorijevanja u motoru vozila s vremenom u svim svojim elementima stvara naslage i talog nečistoća. Sedimenti se stvaraju većinom na svim dijelovima vozila kroz koje prolazi gorivo, a svakako najviše se očituju kod najpreciznijih elemenata poput sustava ubrizgavanja te sustava odvodnje plinova. Naslage na ovim elementima ne znače ništa drugo nego povećanu potrošnju goriva, a uz to nemiran rad motora te manju snagu. Za sprječavanje navedenog danas postoje aditivi za goriva. Napredni aditivi čiste kompletan sustav dovoda goriva i njegova ubrizgavanja, ali i sustav izgaranja te odvodnje plinova. Na taj način motor se održava u najboljem stanju, a potrošnja goriva je smanjena.

## 6. NAČIN PRIPREMANJA GORIVE SMJESE UBRIZGAVANJEM

Benzinski motori izgaraju benzine, metanol ili auto-plin te mogu imati vanjsko ili unutarnje stvaranje smjese koja se pali vanjskim izvorom energije. Homogena smjesa goriva i zraka u taktu kompresije zagrijava se na 400-500 °C. Kako je ta temperatura niža od točke samozapaljenja, smjesu je potrebno zapaliti električnom iskrom.

Kod vanjskog stvaranja smjese smjesa se počinje stvarati već u usisnoj grani odnosno izvan cilindra (motori s rasplinjačima ili indirektnim ubrizgavanjem). Za razliku od vanjskog, unutarnje stvaranje smjese funkcionira tako da se smjesa stvara izravno u cilindru (motori s izravnim ili direktnim ubrizgavanjem). Pritom se može postići takozvano slojevito punjenje kod kojeg se u cilindru stvaraju slojevi smjese različitih koncentracija (kvalitete). [1]

Pripremanje smjese gorivo-zrak kod benzinskih motora vrši se dakle izvan cilindra motora, a završetak stvaranje smjese i njena priprema za paljenje električnom iskrom se vrši u cilindrima motora. Cilj je da se svaki cilindar motora napuni takvom smjesom goriva i zraka koja se može zapaliti i ekonomično sagorijevati bez štetnih posljedica za motor. Kada bi govorili o idealnom slučaju onda bi ovakva smjesa morala biti potpuno homogena i gorivo se mora nalaziti u plinskom stanju. Također, za pravilan rad motora jako je važan odnos zraka i goriva u smjesi jer gorivo se može zapaliti i gorjeti samo u slučaju kada se odnos nalazi u određenim granicama. Bogatstvo smjese ima najveći utjecaj na pogonske karakteristike motora. U svezi s time nameće se sljedeći zaključak, a taj je da se najveća snaga i moment postižu kod bogate smjese kod koje je nažalost visoka specifična potrošnja goriva i velika emisija otrovnih tvari u ispušnim plinovima. Potrošnja goriva opada sa povećanjem faktora  $\lambda$  čija najveća vrijednost ovisi o dostignutom stupnju tehničkog razvoja. Dok je još početkom devedesetih godina najveća vrijednost faktora zraka iznosila oko 1,3, današnji Gasoline Direct Injection sustavi ubrizgavanja odnosno izravno ubrizgavanje radi u ekonomičnom području s jako siromašnom smjesom.

Zadatak sustava za pripremu gorive smjese je sljedeći. Sustav za pripremu gorive smjese mora stvoriti homogenu smjesu goriva i zraka u točno određenom omjeru koji odgovara trenutačnim potrebama motora. Kada govorimo o stvaranju smjese onda je za benzinske motore specifično koristiti tekuća goriva pa se za stvaranje homogene smjese gorivu mora promijeniti agregatno stanje odnosno tekuće se gorivo mora pretvoriti u paru. Takva vrsta pretvorbe može se izvesti na dva načina:

- u rasplinjačima pomoću podtlaka u Venturijevoj cijevi i raspršivanjem goriva pomoću sapnica
- ubrizgavanjem goriva pod tlakom

Homogena smjesa goriva i zraka može se stvoriti samo onda ako cjelokupno gorivo ispari do trenutka paljenja. Zahvaljujući oduzimanju topline, isparavanje fino raspršenog goriva počinje već u usisnoj grani, a nastavlja se u cilindrima. Pri pokretanju hladnog motora i tijekom faze zagrijavanja dio isparenog goriva ponovno kondenzira te kao tekući film pada na hladne stijenke usisnih grana i cilindara. Da bi motor mogao raditi i u takvim uvjetima smjesa se mora obogatiti.

Potrošnja, snaga i sastav izgaranih plinova benzinskih motora znatno ovise o omjeru zraka i goriva u određenom području rada motora. Tako razlikujemo teorijski (minimalni) i praktični omjer smjese (slika 22.). Za potpuno izgaranje 1 kg benzina teorijski je potrebno oko 14,8 kg zraka (1 : 14,8). Takvu minimalnu količinu zraka dobivenu proračunom nazivamo stehiometrijskom količinom odnosno stehiometrijskom smjesom. Ona ovisi o kemijskom sastavu goriva pa je tako različitim gorivima potrebno dovesti različite količine zraka za potpuno izgaranje. Da bi se u cilindru postiglo potpuno izgaranje goriva potrebno je dovesti više zraka od minimalno potrebne, teorijske količine zraka. Isto tako, količina zraka koja se miješa sa gorivom ovisi o temperaturi motora, broju okretaja i opterećenju motora. To govori da stvarno dovedena količina zraka, praktični omjer, odstupa od stehiometrijske količine. Pri većem udjelu goriva, recimo 1:13, govorimo o bogatoj smjesi, dok smjesu s većim udjelom zraka, recimo 1:16, nazivamo siromašnom. [1]



Slika 23. Omjer zraka i omjer miješanja

Izvor: [1], str. 61.

Omjer stvarno dovedene količine zraka i teorijske količine zraka prijeko potrebne za potpuno izgaranje goriva naziva se omjer zraka. Onda kada je stvarno dovedena količina zraka jednaka minimalnoj količini potrebnoj za potpuno izgaranje (1 : 14,8) tada je omjer zraka jednak jedan odnosno  $\lambda = 1$ . Svako pogonsko stanje motora traži točno određen omjer zraka.

Tablica 3. Omjer zraka  $\lambda$

$\lambda$	Značenje
< 0,5	Granica zapaljivosti bogate smjese. Smjesa više nije zapaljiva
< 1	Manjak zraka, bogata smjesa, veća snaga i ubrzavanje
0,9 - 1,1	Najpovoljnija smjesa
0,9	Maksimalni okretni moment, miran hod motora, potrošnja goriva nepovoljna
> 1	Pretičak zraka, siromašna smjesa, štednja - ekonomičnost
1,3 - 1,5	Granica zapaljivosti siromašne smjese, smjesa nije više zapaljiva
1,6 - 1,7	Granica zapaljivosti siromašne smjese kod oto-motora sa slojevitim punjenjem

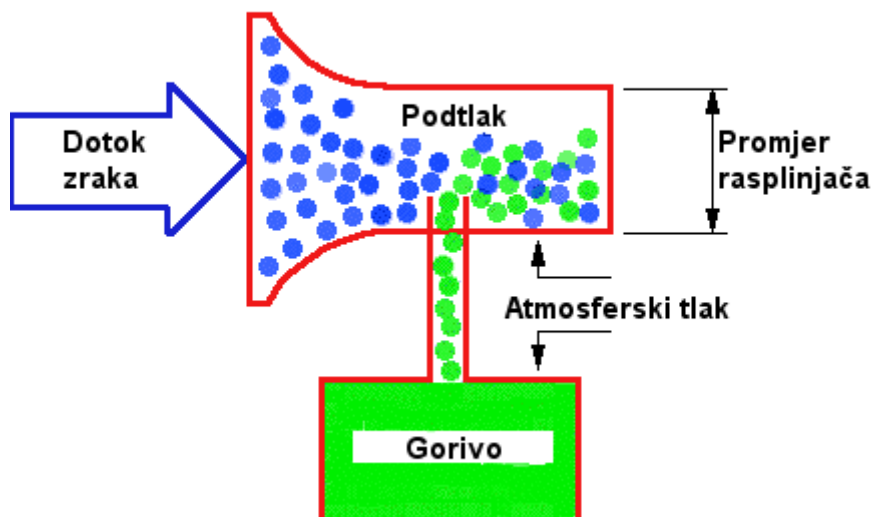
Izvor: [1], str. 62.



## 6.1. NAČIN PRIPREMANJA GORIVE SMJESE POMOĆU RASPLINJAČA

Rasplinjač, karburator, je uređaj u kojemu se radi smjesa zraka i goriva za motore s unutarnjim izgaranjem odnosno to je sustav s vanjskim stvaranjem smjese. Najvažniji zadatak rasplinjača kada govorimo o načinu pripremanja gorive smjese je da prema opterećenju motora pripremi odgovarajuću lako zapaljivu i ekonomičnu smjesu.

Miješanje gorivo i zraka počinje u rasplinjaču, a nastavlja se u usisnim granama i prostorima za izgaranje u cilindrima motora. Zaključak je sljedeći. Rasplinjač je ključni dio sustava za pripremu gorive smjese. On radi tako da zrak struji kroz rasplinjač pomoću gibanja klipova u taktu usisa. U suženju presjeka i tako stvorenom zračnom lijevku brzina zračne struje znatno se povisuje, a time što se brže kreće zrak, niži je statički tlak, a viši dinamički tlak. Na najužem dijelu presjeka zračna struja postiže najveću brzinu i najviši podtlak pa je upravo na tom mjestu postavljen izlaz goriva. Zračna struja povlači za sobom gorivo i raspršuje ga te se u komori miješanja gorivo miješa sa zrakom. [1]



Slika 24. Princip rada rasplinjača

Izvor: [14]

Raspršeno gorivo pod djelovanjem topline iz zraka i topline goriva isparava i u smjesi sa zrakom stvara svježju smjesu. [15]

Konstrukcija i oblik rasplinjača izgleda tako da nekad i manje bogatu smjesu radi samo kod manjeg ili neznatnog opterećenja odnosno kod onog režima koji se najčešće koristi tijekom upravljanja motorom, automobilom. Rasplinjač mora osigurati lagano puštanje motora u rad, po potrebi naglo ubrzanje, na dugim vožnja mora uštedjeti potrošnju goriva, razvijati punu snagu i ne dopustiti da motor iznenada prestane raditi. Kada se govori o omjeru zraka i goriva onda je kod većine benzina za izgaranje potrebna smjesa jednog težinskog dijela benzina i petnaest težinskih dijelova zraka odnosno to je omjer 1:15. Takav omjer nekad ne daje najviše snage niti je dosta štedljiv pa je ponekad, kad se u rad pušta hladan motor, potrebna izvanredno bogata smjesa od jednog dijela benzina i jednog dijela zraka, dok je kod obične vožnje jednakomjernom brzinom najštedljivije kad je smjesa siromašnija, npr. 1:16. Zaključak je sljedeći. Može se reći da je vrijedi nepisano pravilo koje kaže da se bogata smjesa koristi za pokretanje, polubogata smjesa pri malom broju okreta i u praznom hodu, siromašna smjesa za štedljivu običnu vožnju uz manju potrošnju goriva i opet bogata smjesa kada se ubrzava i vozi najvećim brzinama. [16]

Rasplinjač, uređaj u benzinskom motoru koji miješa gorivo i zrak u određenom odnosu, mora omogućiti:

- jednostavno pokretanje motora
- rad motora u praznom hodu
- ubrzanje motora
- dobivanje pune efikasnosti
- dobar i sladan prijelaz iz jednog režima rada u drugi
- odgovarajuću pripremu gorive smjese

## 6.2. NAČIN PRIPREMANJA GORIVE SMJESE POMOĆU UBRIZGAVANJA

Osnovni zahtjevi koji se postavljaju na sustav za pripremu gorive smjese su dobava potrebne količine goriva u cilindar motora i njegovo miješanje sa zrakom u gorivu smjesu potrebnih parametara, doziranje dovedene količine goriva da bi se zadovoljila tražena snaga motora, dovod veće količine goriva, dovod potrebne količine goriva kod niskih temperatura zraka i motora te prekid dovoda goriva kada je potrebno zaustaviti motor.

U benzinski motor gorivo se osim rasplinjačem može uvesti i ubrizgavanjem. Ubrizgavanje gorive smjese u cilindar radi se onda kada se priprema goriva smjesa za sami motor. Takvo ubrizgavanje goriva kod benzinskim motora provodi se u taktu usisa jer je tada u cilindru zastupljen malen tlak pa je samim time i tlak ubrizgavanja većinom nizak. Najzastupljeniji način pripremanja gorive smjese ubrizgavanjem je direktno ubrizgavanje u cilindar. Tekuće gorivo ubrizgava se pred usisni ventil u cilindru nakon što je zatvoren ispušni ventil. U usisnu cijev za dovod zraka cilindrima ugrađen je mjerač protoka zraka koji upravlja otvaranjem i zatvaranjem ventila za ubrizgavanje goriva. Ubrizgavanje goriva u usisnu cijev najpovoljnije je samo za lako ispariva goriva kao što je benzin.

Kod ovog sustava napajanja gorivom vrlo je važno da se postigne puna točnost između ubrizgavanja i maksimalne brzine strujanja zraka u usisnoj cijevi. Ako to nije zadovoljeno, postoji mogućnost da miješanje goriva sa zrakom nije potpuno te se mogu pojaviti gubici goriva kroz usisnu cijev.

Bez obzira na način pripremanja, uređaji pomoću kojih se vrši pripremanje smjese moraju ispunjavati niz složenih zadataka kao što su lagano puštanje motora u rad, miran rad motor na malom broju okretaja, ekonomičan rad, brzo prilagođavanje motora promjenama opterećenja te zakonom propisani sustav ispušnog plina u pogledu emisije štetnih emisija.

## 7. ZAKLJUČAK

Ekonomičnost pogona danas dolazi do sve većeg značaja za korisnike s obzirom da su cijene benzine u stalnom porastu. Zbog toga je svima u interesu da potrošnja bude što manja. Svrha i cilj ovog rada bila je prikazati kako to različiti tipovi i načini ubrizgavanja utječu na potrošnju goriva koja je za korisnika automobila veliki čimbenik pri upotrebi. Razvijanjem tehnike i tehnologije te njezinim napredovanjem, stvarale su se inovativnosti koje su se odnosile na razvoj sustava ubrizgavanja koji bi trebao unaprijediti karakteristike motornog vozila, a prije svega smanjiti potrošnju goriva i troškove u vezi s time.

Glavni zadatak i cilj sustava ubrizgavanja je pravilan protok i raspršivanje goriva u određeni dio za izgaranje. Osim toga sustav je zadužen za ispravan i stalan rad motora. Sustav za ubrizgavanje goriva preuzeo je ulogu rasplinjača, a to se očituje u nekim prednostima kao što je veći okretni moment i povećana snaga rada motora s kojom se postiže manja specifična potrošnja goriva. Primjenom sustava za ubrizgavanje postignuto je bolje ubrzanje i kočenje, a to pomaže vozaču bolje izvođenje brzih manevara vozilom te korisnika čini zadovoljnim.

Kod indirektnog ubrizgavanja gorivo se može ubrizgavati u jednoj točki ili više točaka. Za ubrizgavanja u jednoj točki, Single Point Injection, prednost je jednostavnost i jeftinija konstrukcija, a nedostatak nejednolika raspodjela goriva koja je kod ubrizgavanja u više točaka, Multi Point Injection, velika prednost jer svaki cilindar dobiva jednako kvalitetnu smjesu. Jedan od načina indirektnog ubrizgavanja je svakako i L- Jetronic na temelju kojeg se može zaključiti da takav način pruža velike mogućnosti regulacije i prilagođavanja količine goriva u određenim režimima rada motora na osnovu električnog mjerenja protoka usisane količine zraka.

Sustav direktnog ubrizgavanja je najučinkovitiji kada se govori o iskorištenju energije goriva te je ekološki najpogodniji. Gorivo se kod direktnog odnosno izravnog ubrizgavanja ubrizgava izravno u prostor izgaranja, a to osigurava više snage uz nišu potrošnju goriva i čišći ispuh. Oni moderni sustavi koji se koriste za ubrizgavanje opremljeni su dodatnom i najnovijom

tehnikom koja sadrže sve podatke i informacije o stanju rada motora, a takve je sustave ubrizgavanja teško pravilno održavati i njima se služiti bez odgovarajućeg znanja i opreme.

## 8. LITERATURA

- [1] Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište Zagreb: Tehnika motornih vozila, Zagreb, 2006. (lipanj, srpanj, kolovoz, 2015.)
- [2] <http://www.autonet.hr/skola-automobillske-tehnike-povijest> (lipanj, 2015.)
- [3] [http://autoportal.hr/clanak/dogodilo\\_se\\_na\\_danasnji\\_dan\\_-\\_4\\_4\\_](http://autoportal.hr/clanak/dogodilo_se_na_danasnji_dan_-_4_4_) (lipanj, 2015.)
- [4] <http://www.autonet.hr/nacelo-rada-motora> (lipanj, 2015.)
- [5] <http://tehnika.page.tl/Osnovi-ma%26%23353%3Binstva.htm> (lipanj, 2015.)
- [6] <http://www.presretac.com/zanimljivo/tehnologija-i-mehanika/princip-rada-motora-201.html> (lipanj, 2015.)
- [7] [https://www.fsb.unizg.hr/miv/nastava/strojarstvo/Konstrukcije\\_motora/Predavanja/Dvotaktni\\_motor\\_za\\_pogon\\_automobila.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/miv/nastava/strojarstvo/Konstrukcije_motora/Predavanja/Dvotaktni_motor_za_pogon_automobila.pdf) (lipanj, 2015.)
- [8] Novak, Z: Benzinski motor, Veleučilište u Rijeci – prometni odjel, Rijeka, 2012. (srpanj, 2015.)
- [9] <http://www.autonet.hr/ubrizgavanje-goriva> (srpanj, 2015.)
- [10] <http://www.motorna-vozila.com/jetronic-ubrizgavanje-goriva/> (srpanj, 2015.)
- [11] <http://www.ffp.fi/index.php?mid=2&pid=89> (srpanj, 2015.)
- [12] <http://www2.autoportal.hr/200802221466/Nove-tehnologije/Benzinci-s-direktnim-ubrizgavanjem-II-generacije-common-rail-nabija-snagu-snazava-potrosnju/menu-id-72.html> (srpanj, 2015.)
- [13] Enright, N: Basic principles of operation and applications of fuel injection system in petrol – powered cars, Department of Mechanical and Automobile Engineering (srpanj, 2015.)
- [14] <http://www.motori.hr/teorija-rasplinjaca/> (kolovoz, 2015.)
- [15] Filipović I: Motori i motorna vozila, Mašinski fakultet Univerziteta Tuzla, Tuzla, 2006., str. 69. (kolovoz 2015.)
- [16] <http://www.prometna-zona.com/rasplinjac/> (kolovoz, 2015.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Daimlerov motorkotač	3
Slika 2. Benzova trokolica	4
Slika 3. Četiri takta benzinskog motora	6
Slika 4. Usis	8
Slika 5. Kompresija	8
Slika 6. Ekspanzija	8
Slika 7. Ispuh	8
Slika 8. Prvi takt dvotaktnog motora	10
Slika 9. Drugi takt dvotaktnog motora	11
Slika 10. Blok shema sustava ubrizgavanja	15
Slika 11. Single Point Injection	19
Slika 12. Multi Point Injection	20
Slika 13. Istodobno ubrizgavanje	21
Slika 14. Grupno ubrizgavanje	21
Slika 15. Slijedno ubrizgavanje	22
Slika 16. Shema L-Jetronica	23
Slika 17. Sustav napajanja gorivom	24
Slika 18. Benzinski motor s direktnim ubrizgavanjem benzina	25
Slika 19. Štedni režim	26
Slika 20. Režim snage	26
Slika 21. Ubrizgavanje u štednom režimu	27
Slika 22. Sustav dovoda goriva	29
Slika 23. Omjer zraka i omjer miješanja	33
Slika 24. Princip rada rasplinjača	34

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Procesi u dvotaktnom motoru	9
Tablica 2. Tlakovi	11
Tablica 3. Omjer zraka $\lambda$	33





Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## METAPODACI

**Naslov rada:** Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora

**Autor:** Marko Kesner

**Mentor:** prof. dr. sc. Goran Zovak

### Naslov na drugom jeziku (engleski):

Fuel Consumption Depending of Perfomance System for Injection Mixture in Modern Gasoline Engines

### Povjerenstvo za obranu:

- mr. sc. Ivo Jurić, predsjednik
- prof. dr. sc. Goran Zovak, mentor
- dr. sc. Željko Šarić, član
- prof. dr. sc. Marijan Rajsman, zamjena

**Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Zavod za cestovni promet

**Vrsta studija:** sveučilišni

**Naziv studijskog programa:** Promet

**Stupanj:** preddiplomski

**Akademski naziv:** univ. bacc. ing. traff.

**Datum obrane završnog rada:**



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom

**Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje  
smjese kod suvremenih benzinskih motora**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 3.9.2015. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(potpis)