

Analiza decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva kod Otto motora

Jurčević, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:888083>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

FILIP JURČEVIĆ

ANALIZA DECENTRALIZIRANOG SUSTAVA ZA
UBRIZGAVANJE GORIVA KOD OTTO MOTORA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2019.

Zagreb, 29. ožujka 2019.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5082

Pristupnik: **Filip Jurčević (0135245337)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva kod Otto motora**

Opis zadatka:

U Završnom radu je potrebno opisati princip rada Otto motora te objasniti njegov sustav za napajanje gorivom. Analizirati izvedbe indirektnog sustava za ubrizgavanje goriva te prikazati njihove prednosti i nedostatke.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



prof. dr. sc. Goran Zovak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA DECENTRALIZIRANOG SUSTAVA ZA
UBRIZGAVANJE GORIVA KOD OTTO MOTORA

ANALYSIS OF THE DECENTRALIZED FUEL
INJECTION AT THE OTTO ENGINE

Mentor: Prof. dr. sc. Goran Zovak

Student: Filip Jurčević

JMBAG: 0135245337

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

U ovom radu, detaljno su opisani i analizirani sustavi koji se najčešće koriste za ubrizgavanje goriva. Ti se sustavi ubrajaju u decentralizirano ubrizgavanje goriva kod Otto motora. Ti sustavi redom su: sustav za ubrizgavanje K - Jetronic, sustav za ubrizgavanje KE - Jetronic, sustav za ubrizgavanje Multi Point Injection (MPI), sustav za ubrizgavanje s mjerenjem volumnog protoka zraka (L - Jetronic), direktno ubrizgavanje (Gasoline Direct Injection - GDI). Osim toga u kratko je opisan razvoj benzinskih motornih vozila i sustava za ubrizgavanje, princip rada četverotaktnog Otto motora te analiziran cjelokupan sustav napajanja gorivom kod Otto motora.

Osnovna zadaća svakog sustava ubrizgavanja je dobiti gorivo iz spremnika, potom ga stlačiti na određeni tlak i fino raspršiti u prostor izgaranja u cilju postizanja potpunog izgaranja smjese. Da bi se ostvarilo potpuno izgaranje i pravilan rad motora, potrebno je međusobno uskladiti rad svih komponenti sustava ubrizgavanja kako ne bi došlo do kvara samog motora.

Ključne riječi: ubrizgavanje, Otto motor, sustav napajanja gorivom, vrste ubrizgavanja, decentralizirano ubrizgavanje.

SUMMARY

In this paper, the systems which are commonly used for fuel injection are described and analyzed in detail. These systems are considered to be decentralized fuel injection with Otto engines. Those systems are: injection system K – Jetronic, KE – Jetronic, Multi Point Injection (MPI), directly injection (Gasoline Direct Injection - GDI) and injection system L - Jetronic. Besides that, development of gasoline engines and injection systems are briefly described, the principle of operation of the four-stroke Otto engine and analyzed entire fuel system of Otto engines.

The main task of each injection system is to obtain fuel from the tank, then compact it on a certain pressure and finely disperse in the combustion space in order to achieve complete combustion of the mixture. To achieve complete combustion and proper operation of engine, it is necessary to synchronize the work of all components of the injection system to avoid malfunction of the motor itself.

KEY WORDS: Injection, Otto engine, Fuel supply system, Type of injection, Decentralized injection.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ BENZINSKIH MOTORNIH VOZILA I SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE	3
3. PRINCIP RADA ČETVEROTAKTNOG OTTO MOTORA	6
3.1. PODJELA MOTORA	9
3.2. NAČELO RADA OTTO MOTORA.....	10
3.2.1. 1. TAKT - USIS	11
3.2.2. 2. TAKT - KOMPRESIJA	12
3.2.3. 3.TAKT - EKSPANZIJA	13
3.2.4. 4. TAKT - ISPUH.....	14
4. SUSTAV NAPAJANJA GORIVOM OTTO MOTORA.....	15
4.1. ZADATAK SUSTAVA ZA NAPAJANJE GORIVOM OTTO MOTORA.....	15
4.2. DIJELOVI SUSTAVA NAPAJANJA GORIVOM OTTO MOTORA	16
4.2.1. SPREMNIK GORIVA	17
4.2.2. PUMPA GORIVA.....	18
4.2.3. CIJEVI ZA GORIVO	19
4.2.4. PROČISTAČ GORIVA.....	20
4.2.5. REGULATOR TLAKA GORIVA.....	20
4.2.6. REGENERACIJSKI VENTIL	21
4.2.7. PROČISTAČ (FILTER) S AKTIVNIM UGLJENOM	21
5. ANALIZA DECENTRALIZIRANOG SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE GORIVA KOD OTTO MOTORA.....	22
5.1. IZVEDBE SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE KOD OTTO MOTORA	22
5.2. DECENTRALIZIRANI SUSTAV UBRIZGAVANJA GORIVA KOD OTTO MOTORA	23
5.2.1 K - JETRONIC	23
5.2.2. KE – JETRONIC.....	26
5.2.3. MULTI POINT INJECTION (MPI)	28
5.2.4. SUSTAV ZA UBRIZGAVANJE S MJERENJEM VOLUMNOG PROTOKA ZRAKA (L - JETRONIC).....	31
5.2.5. DIREKTNO UBRIZGAVANJE (GASOLINE DIRECT INJECTION - GDI).....	33
6. ZAKLJUČAK	36
7. LITERATURA	37
POPIS SLIKA	39

1. UVOD

Tema ovoga završnog rada je „Analiza decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva kod Otto motora“. Da bi se motor pokrenuo, sustav za pripremu gorive smjese mora stvoriti homogenu smjesu goriva i zraka u točno određenom omjeru. Najbolji omjer goriva i zraka tj. potrebna količina zraka da bi izgaranje jednog kilograma benzina bilo kvalitetno i potpuno iznosi 14.7 kg. Takav omjer goriva i zraka naziva se stehiometrijski omjer. Zadaća sustava za ubrizgavanje goriva je da u dovoljnoj količini i pravovremeno ubrizga smjesu zraka i goriva u cilindar.

Cilj ovoga završnog rada je detaljno opisati i analizirati decentralizirani sustav ubrizgavanja goriva kod Otto motora. Rad je podijeljen u 6 poglavlja, a ta poglavlja su:

1. Uvod
2. Razvoj benzinskih motornih vozila i sustava za ubrizgavanje
3. Princip rada četverotaktnog Otto motora
4. Sustav napajanja gorivom Otto motora
5. Analiza decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva kod Otto motora
6. Zaključak

U drugom poglavlju djelomično je opisan razvoj benzinskih tj. Otto motora te isto tako opisani su sustavi za ubrizgavanje goriva koji su se prije koristili. U trećem poglavlju detaljno je opisan princip rada četverotaktnog Otto motora tj. opisani su svi taktovi koji se izvršavaju tijekom rada motora. Također je naveden idealan omjer goriva i zraka i formula pomoću koje se računa stehiometrijski omjer. U četvrtom poglavlju analiziran je te opisan sustav koji služi za napajanje motora gorivom. Navedeni su svi dijelovi koji su potrebni da bi se gorivo dopremilo iz spremnika do motora. Ukratko je opisan proces koji se provodi prilikom dovoda goriva iz spremnika do motora. U petom poglavlju detaljno su analizirani te opisani sustavi koji se najčešće koriste za ubrizgavanje goriva a ti sustavi su: MPI (Multi Point Injection) tj. ubrizgavanje u više točaka, direktno ubrizgavanje goriva (GDI), K – Jetronic sustav, KE – Jetronic sustav i L – Jetronic sustav.

Dvije osnovne vrste ubrizgavanja goriva kod Otto motora su centralizirano ubrizgavanje goriva i decentralizirano ubrizgavanje goriva. Razlika između centraliziranog i decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva je ta što kod centraliziranog sustava gorivo se ubrizgava pod tlakom u struju usisanog zraka, pomoću jedne centralne elektromagnetske brizgaljke dok kod decentraliziranog sustava gorivo se neprekidno ubrizgava u usisne cijevi, ispred usisnih ventila, gdje se smjesa miješa sa zrakom. Još je potrebno naglasiti da kod decentraliziranog sustava ubrizgavanja goriva, brizgaljke se otvaraju pod utjecajem pritiska goriva i ostaju otvorene cijelo vrijeme dok motor radi.

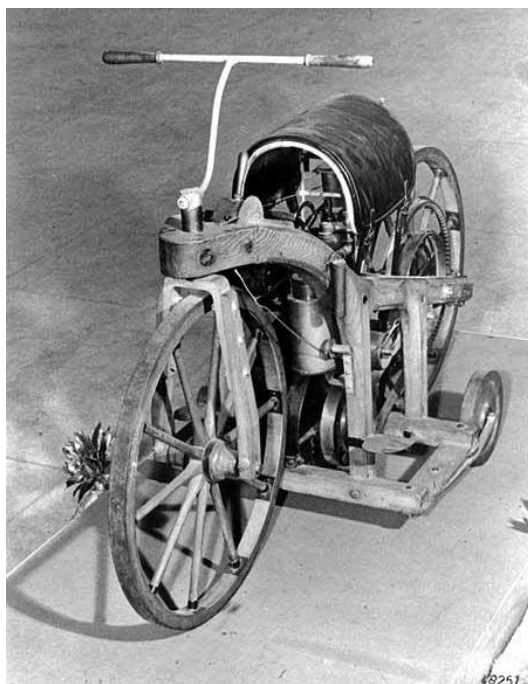
2. RAZVOJ BENZINSKIH MOTORNIH VOZILA I SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE

Razvoj cestovnih prijevoznih sredstava počinje od trenutka kada su ljudi shvatili da je predmete lakše pomicati ako se oni kotrljaju po podlozi nego da se guraju ili vuku. Cestovna prijevozna sredstva su sredstva koja služe za prijevoz ljudi i dobara iz mjesta A u mjesto B. Prekretnica i prvi počeci cestovnog prometa bio je izum kotača. Pojavom kotača pojavljuju se zaprežna kola, koja su duže vrijeme bila jedino sredstvo javnog prometa. Nakon toga dolazi do razvoja parnog stroja i prve industrijske revolucije. S razvojem parnoga stroja i pojavom rasvjetnoga plina kao goriva, sredinom 19. st. stvoreni su uvjeti za pojavu novoga, lakog i ekonomičnog pogonskoga stroja. Izumom motora sa unutrašnjim izgaranjem počinje razvoj današnjeg prometa te nagli razvoj automobila.

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 Lenoir - ovog 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 pogonjenog motorom s unutarnjim izgaranjem što je potvrdio daljnji razvoj. 1885. godine Daimler konstruira prvi motorkotač, a 1886. godine Benz konstruira motorno vozilo stri kotača na benzinski pogon.¹

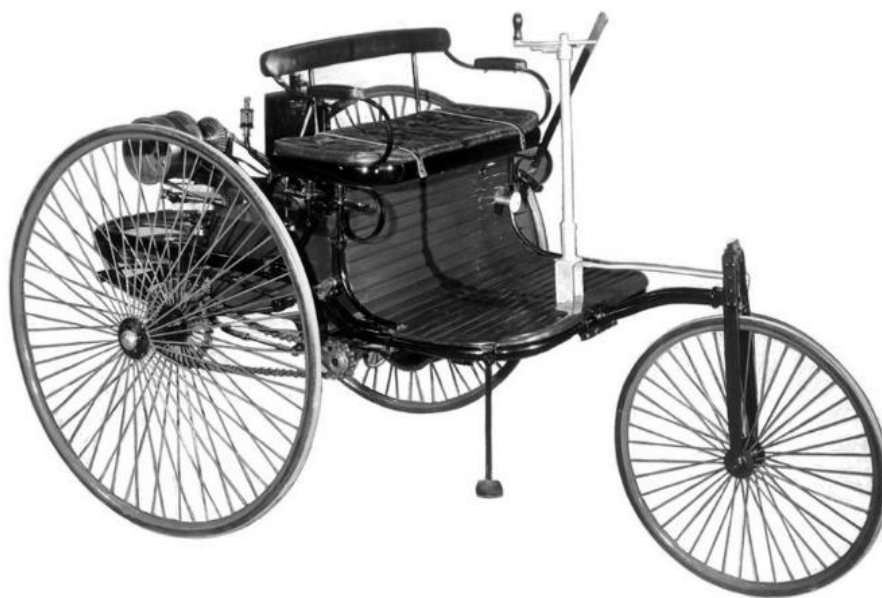
Motor sa unutarnji izgaranjem i motorizirana vozila su najutjecajnije tehnološko otkriće našeg vremena. Otkriveno je gorivo koje je omogućilo izgradnju ekonomičnog i lako upravljivog vozila, konstruirani su jači i brzohodni motori, oblik se sve više mijenjao i prilagođivao različitim potrebama. Na slici 1. prikazan je prvi Daimler - ov motorkotač, dok je na slici 2. prikazano motorno vozilo s tri kotača na benzinski pogon koje je konstruirao Benz.

¹ Kesner, M. Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2015. str. 3.



Slika 1. Daimlerov prvi motorkotač

Izvor: http://www.motorevija.com.hr/galery_popup.php?img_id=79141



Slika 2. Motorno vozilo sa tri kotača na benzinski pogon

Izvor: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=4751>

Nagli razvoj automobilske industrije kreće nakon 1930. godine. Godine 1954. Mercedes izrađuje prvi automobilski Otto - v 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 Diesel - ov motor, a za pogon osobnih automobila Otto - v (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 optimiziranje izgaranja, a po kriteriju smanjenja specifične potrošnje goriva i emisije sastojaka štetnih za zdravlje u ispušnom plinu.²

U posljednje vrijeme, zbog zagađivanja okoliša tj. čestica i štetnih tvari koje motori s unutarnjim izgaranjem ispuštaju tijekom eksploatacije, sve se više traže alternative i nove tehnologije koje bi zamijenile motore sa unutarnjim izgaranjem. Dizelski motori su veći zagađivači od benzinskih motora pa se sve češće u zadnje vrijeme se može čuti kako pojedine tvrtke prestaju sa proizvodnjom dizelskih motora. Neka od rješenja smanjenja zagađenja su i hibridni motori. To su motori koji su kombinacija benzinskih motora i elektromotora. Danas su posebno aktuelni motori na električni pogon. Sve više proizvođača se okreće proizvodnji vozila na električni pogon. Nema sumnje da će za par godina vozila na električni pogon prevladavati kako na cestovnoj mreži tj. u cestovnom prometu, tako i u svim ostalim granama prometa i tako zamijeniti motore sa unutarnjim izgaranjem.

² Kesner, M. Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2015. str. 4.

3. PRINCIP RADA ČETVEROTAKTNOG OTTO MOTORA

Otto - v motor je toplinski stroj s unutarnjim izgaranjem koji pretvara toplinsku energiju oslobođenu izgaranjem goriva u mehanički rad. Otto - v motor ima četiri osnovna dijela i dodatne sustave³:

1. Kućište motora u kojemu se nalaze:

- Uljno korito (karter)
- Blok motora
- Glava motora
- Poklopac glave motora.

2. Klipni mehanizam:

- Klipovi
- Klipnjače
- Radilica

3. Sustav za dovod i pripremu smjese:

- Spremnik
- Pumpa
- Filtar goriva
- Usisna cijev
- Sustav ubrizgavanja

4. Sustav za paljenje:

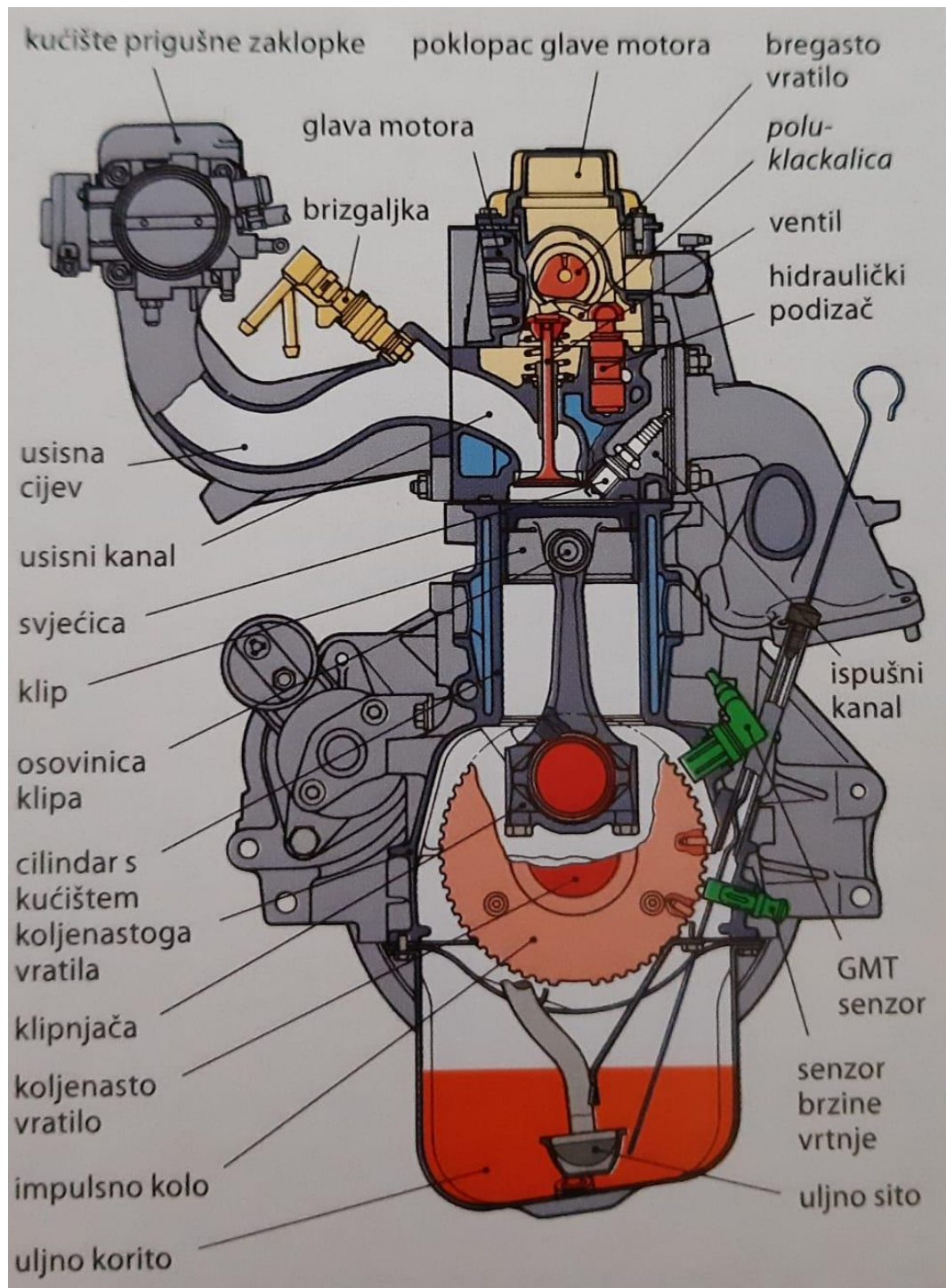
- Indukcijski svitak (bobina)
- Visokonaponski vodovi
- Svjećice

5. Pomoćni sustavi:

- Sustav za podmazivanje
- Sustav za hlađenje
- Ispušni sustav
- Sustav nabijanja

³ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 197.

Na slici 3. prikazana je konstrukcija četverotaktnog Otto - va motora.



Slika 3. Konstrukcija četverotaktnog Ottovog motora

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufgabe), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015.,str. 197.

Za pravilan rad benzinskih (Otto) motora važno je kvalitetno napajanje gorivom, odnosno priprema smjese goriva i zraka. Potrebno je ostvariti pravilan omjer goriva i zraka, te njihovo potpuno miješanje, kako bi se dobila homogena smjesa. Za kvalitetno i potpuno izgaranje jednog kilograma benzina potrebno je 14,7 kilograma zraka, i takav se omjer naziva stehiometrijskim. Omjer između stvarno usisane količine zraka i teoretske (prema stehiometrijskom omjeru) naziva se faktorom λ (lambda).⁴

Odnos zraka λ određuje razinu udjela zraka, a prije svega kvalitetu gorive smjese. O kvaliteti stvorene smjese ovisi pouzdanost rada (zapaljivost), veličina onečišćenja okolnog zraka ispušnim plinovima, potrošnja goriva i ostvarena snaga te pogonski moment motora pri raznim režimima rada. Naime za potpuno izgaranje gorivih sastojaka u motoru, stvarno je potrebno nešto više zraka od potreba prema teorijskom kemijskom procesu oksidacije. To bi značilo da je potreban mali pretičak zraka ili da je zračni odnos $\lambda > 1$. Odnos zraka određuje kvalitetu gorive smjese prema formuli⁵ (1):

$$\lambda = \text{STVARNA KOLIČINA ZRAKA} / \text{TEORIJSKA KOLIČINA ZRAKA} \quad (1)$$

$\lambda = 1$ teorijska normalna smjesa ;

$\lambda < 1$, $\lambda = (0,75 \text{ do } 0,95)$ bogata smjesa;

$\lambda > 1$, $\lambda = 1,1 \text{ do } 1,2$ siromašna smjesa;

$\lambda = 1 \text{ do } 1,1$ ekonomična smjesa.

⁴ https://www.autoport.hr/clanak/efi_electronic_fuel_injection

⁵ Švara, B.: Elektroničko ubrizgavanje i elektroničko paljenje kod Otto motora (Radni udžbenik), Otvoreno sveučilište, Zagreb, 1994.str. 9.

3.1. PODJELA MOTORA

S obzirom na niz prednosti, kod cestovnih prijevoznih sredstava se koriste motori s unutrašnjim izgaranjem koji se mogu podijeliti⁶:

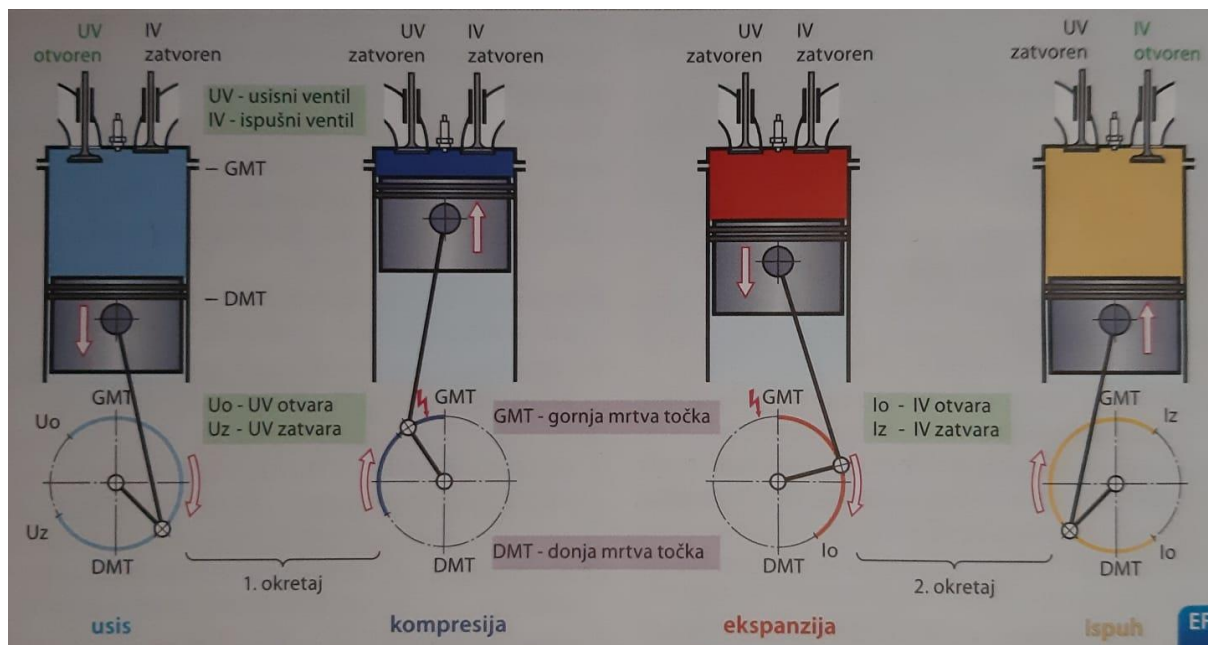
1. Prema načinu stvaranja i paljenja smjese goriva i zraka:
 - Otto motor
 - Diesel motor
2. Prema broju taktova:
 - Četverotaktni
 - Dvotaktni
3. Prema broju cilindara:
 - Jedno – cilindarski
 - Više – cilindarski
4. Prema položaju cilindara:
 - Vertikalni
 - Kosi
 - Horizontalni
 - Viseći
5. Prema rasporedu:
 - Redni motori
 - Bokser motori
 - V motori
 - VR motori

⁶ Zavada, J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2000., str 9.

3.2. NAČELO RADA OTTO MOTORA

Radni ciklus odvija se unutar četiri takta: usis, kompresija, ekspanzija (radni takt) i ispuh. U ta četiri takta koljenasto vratilo načini dva, a bregasto vratilo jedan puni okretaj. Za svaki okretaj koljenastog vratila klip načini dva hoda od jedne do druge mrtve točke.⁷

Na slici 4. prikazana su četiri takta radnog ciklusa.



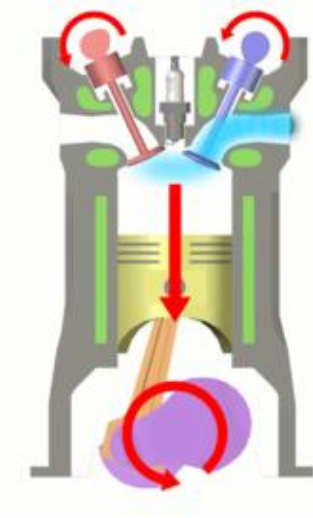
Slika 4. Četiri takta radnog ciklusa

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 198.

⁷ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 198.

3.2.1. 1. TAKT - USIS

U prvom taktu (slika 5.), klip se kreće od vanjske mrtve točke (VMT) prema unutarnjoj mrtvoj točki (UMT) pri čemu se povećava volumen cilindra iznad klipa tako da se zbog toga u prostoru cilindra stvara mali pod – tlak tako da stvarni tlak u cilindru iznosi 0,7 -0,95 bara. Budući da je tlak okolnog zraka veći zrak počinje velikom brzinom strujati pri čemu nastaje fino raspršivanje goriva u struji zraka. Tako stvorena smjesa raspršenog goriva i zraka, zbog navedene razlike tlakova, struji dalje velikom brzinom od oko 100 m/s kroz otvoreni usisni ventil u cilindar motora. Navedena smjesa goriva i zraka zagrijava se na vrućim površinama ventila i stjenki cilindra što ima za posljedicu isparavanje raspršenog goriva i dobro miješanje para goriva sa zrakom. Da bi se postiglo što bolje punjenje cilindra smjesom goriva i zraka potrebno je da je usisni ventil otvoren što dulje. Zbog toga se usisni ventil počinje otvarati prije nego što je klip došao u poziciju vanjske mrtve točke (VMT) tako da se usisni ventil, u trenutku kada klip dođe u poziciju vanjske mrtve točke, nalazi već u potpuno otvorenom položaju. Isto tako, usisni ventil, da bi ostao otvoren što dulje, zatvara se nešto kasnije tj. nakon što se je klip već prošao poziciju unutarnje mrtve točke. Prema tome, zatvaranje usisnog ventila događa se u fazi kada se klip već počinje opet kretati od unutarnje prema vanjskoj mrtvoj točki.⁸



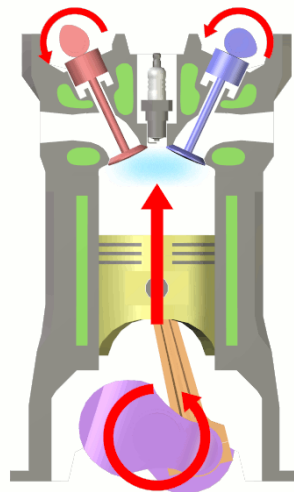
Slika 5. 1. Takt – usis

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cetverotaktni_motor

⁸ Zovak G., Šarić Ž. : Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str 33.

3.2.2. 2. TAKT - KOMPRESIJA

U cilju povećanja veličine termičkog stupnja djelovanja kružnog procesa potrebno je smjesu goriva i zraka, prije samog izgaranja, komprimirati. Naime, povećanjem veličine termičkog stupnja djelovanja kružnog procesa postiže se veća snaga motora i manja potrošnja goriva. Prema tome, u taktu kompresije (slika 6.), klip motora, krećući se od unutarnje mrtve točke (UMT) prema vanjskoj mrtvoj točki (VMT) počinje smanjivati prostor cilindra motora iznad klipa. Zbog toga, budući da su oba ventila na cilindru zatvorena, vrši se u stvari komprimiranje radnog medija tj. 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. Osim toga, kompresijom se povećava tlak i temperatura gorive smjese što također olakšava proces oksidacije goriva. Prema tome, na kraju takta kompresije, tlak gorive smjese kreće se od 11-18 bara, a temperatura od 400-600 °C. Temperatura na kraju takta kompresije mora biti uvijek manja od temperature samozapaljenja gorive smjese, koja temperatura ovisi o vrsti goriva i količini zraka, no u pravilu je uvijek viša od 550 °C. Upravo zbog veličine navedene temperature samozapaljenja ograničena je mogućnost izvedbe benzinskih motora s visokim vrijednostima kompresijskog omjera tako da se kod benzinskih motora kompresijski omjer kreće $\epsilon = 6 - 11$.⁹



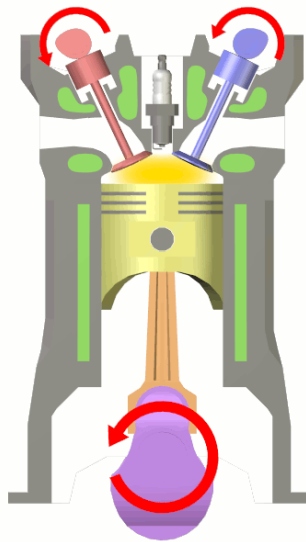
Slika 6. 2. Takt – kompresija

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cetverotaktni_motor

⁹ Ibid str 33 - 34.

3.2.3 3.TAKT - EKSPANZIJA

U trećem taktu (slika 7.), komprimirana smjesa goriva i zraka, neposredno prije nego što je klip ponovno došao u poziciju vanjske mrtve točke (VMT), pali se električnom visokonaponskom iskrom svjećice čime se postiže vrlo brzo izgaranje gorive smjese uz nagli porast tlaka i temperature plinova izgaranja. Naime, tlak plinova izgaranja, na kraju procesa izgaranja tj. na početku takta ekspanzije, iznosi kod benzinskih motora 40 –60 bara, a temperatura 2000-2500 °C. Zbog visoke vrijednosti tlaka plinova izgaranja, koji tlak djeluje na dno klipa s gornje strane, klip biva poguran u taktu ekspanzije od vanjske prema unutarnjoj mrtvoj točki pri čemu se dobiva koristan mehanički rad. Povećanjem volumena cilindra i ekspanzijom plinova izgaranja, dolazi do pada vrijednosti tlaka i temperature plinova izgaranja tako da na završetku takta ekspanzije tj. u trenutku otvaranja ispušnog ventila tlak plinova izgaranja iznosi 3-5 bara a temperatura 700 –1000 °C.¹⁰



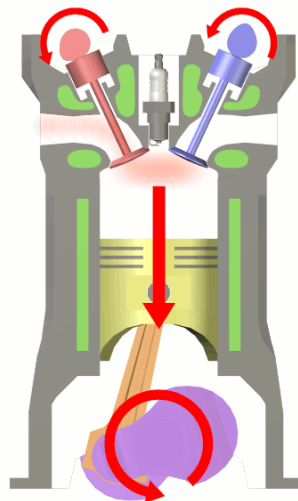
Slika 7. 3. Takt – ekspanzija

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cetverotaktni_motor

¹⁰ Ibid str. 34.

3.2.4. 4. TAKT - ISPUH

U četvrtom taktu (slika 8.), neposredno prije nego što je klip, u taktu ekspanzije, došao ponovno u poziciju unutarnje mrtve točke, otvara se ispušni ventil čime je omogućena potpuna ekspanzije plinova izgaranja koji sada velikom brzinom od oko 800-900 m/s struje kroz otvoreni ispušni ventil iz cilindra u ispušni sustav motora. Klip, koji se sada u taktu ispuha ponovno kreće od unutarnje prema vanjskoj mrtvoj točki motora, istiskuje zaostale plinove izgaranja iz cilindra pri čemu, zbog otpora strujanja kroz otvor ispušnog ventila, zatim kroz kanale ispušnog sustava motora i kroz prigušivač zvuka, tako da se plinovi izgaranja u toku takta ispuha nalaze pod tlakom od 1,05 -1,20 bara. Pri punoj snazi motora, temperatura ispušnog plina benzinskog motora kreće se oko 700 -1000 °C.¹¹



Slika 8. 4. Takt – ispuh

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cetverotaktni_motor

¹¹ Ibid str. 34.

4. SUSTAV NAPAJANJA GORIVOM OTTO MOTORA

Da bi se dobila smjesa, koja se sastoji od goriva koji se nalazi u spremniku i atmosferskog zraka koja je potrebna za sagorijevanje te sami rad motora potreban je sustav za napajanje gorivom. 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 osjetljivost na vibracije, udarce i toplinu.¹²

4.1. ZADATAK SUSTAVA ZA NAPAJANJE GORIVOM OTTO MOTORA

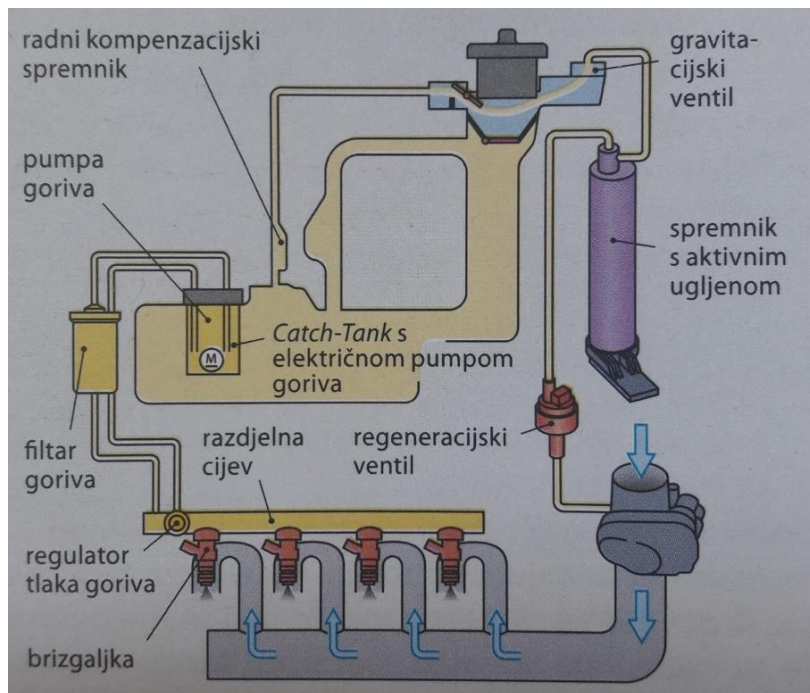
Sustav dobave goriva mora u svim radnim uvjetima motora opskrbiti sustav za pripremu smjese dovoljnom količinom goriva. Sustav za opskrbu gorivom ima slijedeće zadaće¹³:

- Držati gorivo u spremniku
- Gorivo dobavljati bez mjehurića
- Iz goriva odvojiti nečistoće
- Stvoriti i održavati konstantan tlak goriva
- Višak goriva vratiti u spremnik
- Spriječiti gubitak para goriva u okoliš

Na slici 9. prikazana je konstrukcija sustava za opskrbu gorivom Otto motora

¹² Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 13.

¹³ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufgabe), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 270.



Slika 9. Konstrukcija sustava za opskrbu gorivom

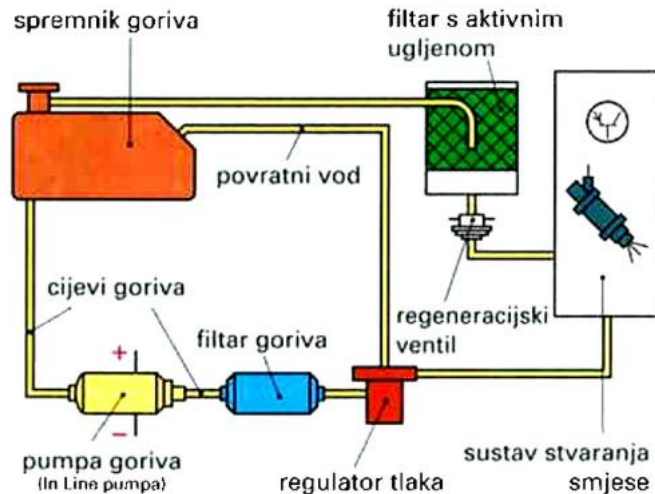
Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufgabe), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 270.

4.2. DIJELOVI SUSTAVA NAPAJANJA GORIVOM OTTO MOTORA

Dijelovi koji su potrebni kako bi se gorivo iz spremnika dovelo do motora su:

- Spremnik goriva
- Pumpa goriva
- Cijevi za gorivo
- Filter goriva
- Regulator tlaka goriva
- Regeneracijski ventil
- Pročistač (filtrar) s aktivnim ugljenom

Na slici 10. prikazani su svi navedeni dijelovi koji su potrebni da bi se gorivo iz spremnika za gorivo dovelo do motora. Pumpa goriva preko cijevi povlači gorivo iz spremnika. Potom gorivo prolazi kroz pročistač kako bi se odstranile sve nečistoće. Nakon toga gorivo dolazi do regulatora tlaka da bi na kraju došlo do sustava za stvaranje smjese goriva i zraka.



Slika 10. Sustav dovoda goriva

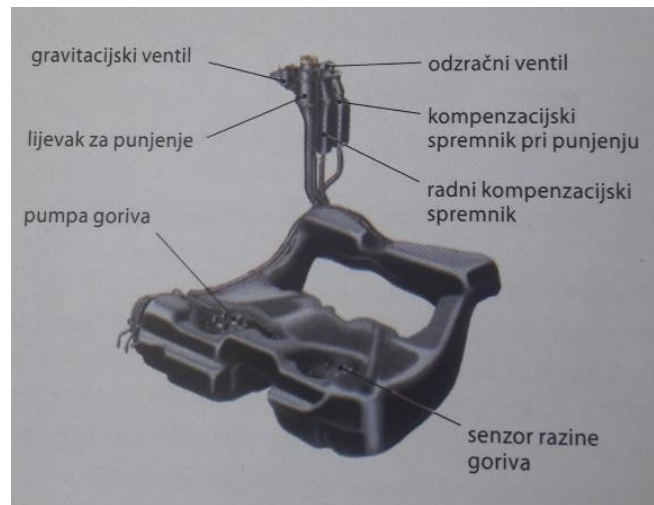
Izvor: Zovak G., Šarić Ž.: *Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal)*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str. 48.

4.2.1. SPREMNIK GORIVA

Spremnik goriva kao što i sam naziv kaže služi za smještaj goriva. Spremnici goriva najčešće su izrađeni od čeličnih limova. Kako bi se spriječio nastanak korozije, spremnici za gorivo moraju biti prevučeni antikorozivnim slojem i sa vanjske i sa unutarnje strane. Prilikom vožnje u zavojima, ako je velik spremnik i djelomično pun, može doći do premještanja goriva sa jedne na drugu stranu. Da ne bi došlo do tih pojava potrebno je ugraditi pregrade s otvorima koje spremnik dijele na više dijelova.

U suvremenim automobilima spremnik za gorivo je uvijek na suprotnom kraju od motora. Ako je motor u stražnjem dijelu vozila, spremnik za gorivo je sprijeda, a ako je motor (kao što je u većini automobila) sprijeda, spremnik za gorivo je straga. Takav raspored je nužan kako radi zaštite od požara tako i radi što boljeg rasporeda težine. Pun spremnik za gorivo može imati do 80 kg. Što je niže smješten, njegovo težište manje utječe na vozne osobine automobila. Volumen spremnika ovisi o veličini vozila i radnoj zapremini motora, a kreće se od 20 do 100 litara, odnosno odmjeren je tako da automobil jednim punjenjem može preći bar 300 do 400 km. Opremljen je instrumentom koji upozorava kad nestane goriva. Cijev za punjenje mora biti dovoljno široka da gorivo neometano teče, a da istodobno može iz spremnika otjecati zrak. S

druge strane, mora i zrak pritjecati, da uslijed utrošenog goriva ne nastane pod – tlak u spremniku. Zato se ili na spremniku napravi poseban od-zračnik ili rupica u čepu.¹⁴ Na slici 11. prikazan je jedan primjer spremnika za gorivo.



Slika 11. Spremnik goriva suvremenog osobnog vozila izrađenog od polietilena

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 270.

4.2.2. PUMPA GORIVA

Zadaća pumpe je uvijek osigurati dovoljnu količinu goriva sustavu ubrizgavanja. Bez obzira radi li se o pumpama koje su uronjene u rezervoar ili onima van njega, radnja dobave goriva se uvijek odvija pod visokim pritiskom.¹⁵

U modernim sustavima ubrizgavanja isključivo se primjenjuju električne pumpe goriva. Dijelovi pumpe pogonjene elektromotorom su:

- Poklopac s električnim priključcima, nepovratnim ventilom i izlazom pumpe
- Elektromotor s kvotom i permanentnim magnetima
- Pumpni dio

Prema mjestu ugradnje razlikujemo pumpe u vodu (In-Line) i pumpe u spremniku (In-Tank).¹⁶

¹⁴ <https://www.prometna-zona.com/spremnik-za-gorivo/>

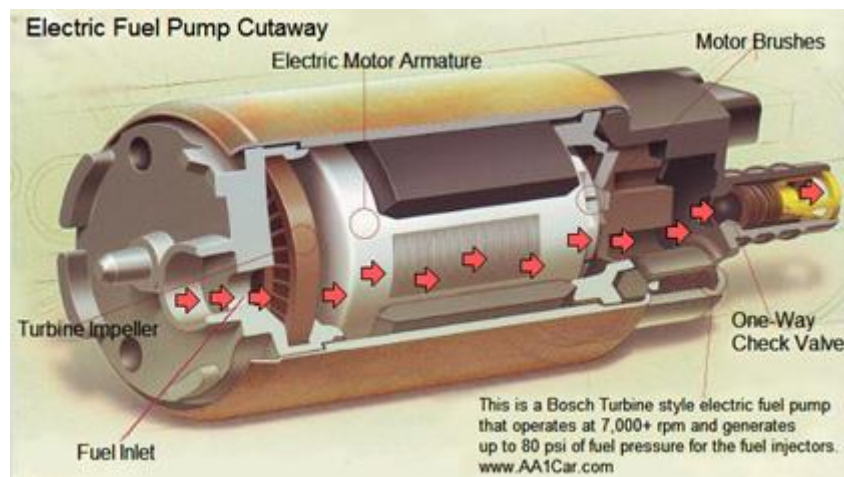
¹⁵ <https://pajca.hr/autodijelovi/pumpa-goriva/>

¹⁶ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 271.

Pumpe u vodu (In - Line) montiraju se na proizvoljno mjesto u sustavu cjevovoda i zato je izmjenjena ovakve neispravne pumpe znatno lakša nego kod In - Tank pumpe. Pumpa i pogotovo njeni električni kontakti, pri ugradnji ispod podnice vozila, jače su izloženi koroziji.

Pumpe u spremniku (In - Tank) smještene su u spremniku goriva i obično su dio dobavnog modula unutar spremnika goriva. In - Tank pumpe zaštićene su od korozije. Osim toga, buka koju proizvodi pumpa prigušuje se unutar spremnika.¹⁷

Na slici 12. prikazan je presjek pumpe za gorivo.



Slika 12. Presjek pumpe za gorivo.

Izvor: https://pajca.hr/wp-content/uploads/2013/11/presjek_pumpe_goriva.jpg

4.2.3. CIJEVI ZA GORIVO

Bitan element kod dovoda goriva je cjevovod koji mora izdržati udarce, vibracije i požar. Cijevi se postavljaju ako da budu zaštićene od mehaničkih oštećenja, a moraju se izbjeći sve točke zagrijavanja kako bi se spriječilo stvaranje parnih čepova u gorivu.¹⁸

¹⁷ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufgabe), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 271.

¹⁸ Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 11.

4.2.4. PROČISTAČ GORIVA

Funkcija pročišćivača goriva jest zaustavljanje čestica prisutnih u benzinu, dizelu i čak LPG (liquified petroleum gas) ukapljeni naftni plin, instalacijama kako bi zaštitili fine elemente motora sa unutarnjim izgaranjem od ubrzanog trošenja. Ista goriva sadrže onečišćenja i iz proizvodnog procesa i distribucije. Prašina, čađa iz spremnika goriva, voda te mikroorganizmi, mogu ubrzati uništenje injektora, pumpi ili ventila za regulaciju pritiska u modernim motorima. Stoga, svaki sustav za gorivo motora ima optimalno biran filter prema potrebama motora, kvaliteti goriva te očekivanim uvjetima eksploatacije (trajnosti).¹⁹ Na slici 13. prikazan je filter goriva.



Slika 13. Filter goriva.

Izvor: <https://www.hidropneumat.hr/slike/velike/WK8044X.jpg>

4.2.5. REGULATOR TLAKA GORIVA

Regulator tlaka goriva u sustavu s povratnim vodom održava razliku tlaka goriva u odnosu na pod-tlak u usisnoj cijevi na konstantnoj vrijednosti u svim radnim uvjetima. Njegovim radom upravlja membrana. Čine ga dvije membrane odvojene komore, komora opruge i komora goriva.²⁰ Na slici 14. prikazan je regulator tlaka goriva.

¹⁹ <http://motor-diht.hr/asortiman/filteri/filter-goriva/>

²⁰ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufgabe), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 272.



Slika 14. Regulator tlaka goriva

Izvor: https://cdn.autoersatzteile.de/thumb/assets/ersatz/ersatz_categories/513x196/331.png

4.2.6. REGENERACIJSKI VENTIL

Radom ovog elektromagnetskog ventila upravlja upravljački uređaj u ovisnosti o radnim uvjetima. Uz istodobno otvoren zaporni ventil, zbog pod-tlaka u usisnoj cijevi isisavaju se pare goriva pohranjene u AFC (spremnik s aktivnim ugljenom), koji se ispire svježim zrakom.²¹

4.2.7. PROČISTAČ (FILTER) S AKTIVNIM UGLJENOM

Pohranjuje ispareno gorivo (ugljikovodike) vezivanjem na aktivni ugljen dok ne otvori regeneracijski ventil i pod-tlak u usisnoj grani ne usisa ispareno gorivo.

²¹ Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015., str. 274.

5. ANALIZA DECENTRALIZIRANOG SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE GORIVA KOD OTTO MOTORA

Kod Otto motora starije generacije smjesa goriva i zraka pripremala se usisavanjem goriva u struju zraka u rasplinjaču. Veliki nedostatak klasičnog rasplinjača bila je nemogućnost održavanja optimalne smjese u cijelom radnom području motora što je posebno došlo do izražaja povećanjem zahtjeva za smanjenjem količine štetnih tvari u ispušnim plinovima. Nedovoljna raširenost ubrizgavanja sve do samog kraja dvadesetog stoljeća uvjetovana je skupim komponentama sustava za ubrizgavanje (pumpe, razvodnici i brizgaljke). Osnovna prednost sustava za ubrizgavanje goriva pred klasičnim rasplinjačima je mogućnost regulacije količine ubrizganog goriva u svim režimima rada motora te fino raspršivanje goriva u struji zraka, a samim time i bolje miješanje i bolje izgaranje. Rezultat toga je povećanje snage motora i okretnog momenta za 15 do 20 %.²²

5.1. IZVEDBE SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE KOD OTTO MOTORA

Zadatak sustava za pripremu gorive smjese je stvaranje homogene smjese goriva i zraka. Ta homogena smjesa mora biti u točno određenom omjeru goriva i zraka koji odgovara trenutačnim potrebama motora. Postoji više različitih podjela ali prema načinu pripreme gorive smjese sustavi za ubrizgavanje mogu se općenito podijeliti na²³:

- Vanjsko stvaranje smjese: smjesa se počinje stvarati već u usisnoj grani, tj. izvan cilindra
- Unutarnje stvaranje smjese: smjesa se stvara izravno u cilindru (motori s izravnim ubrizgavanjem)

²² Kalinić, Z.: Motori s unutrašnjim izgaranjem, Školska knjiga, Zagreb, 2004. str. 138.

²³ Zovak G., Šarić Ž.: Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str. 50.

5.2. DECENTRALIZIRANI SUSTAV UBRIZGAVANJA GORIVA KOD OTTO MOTORA

Kod kontinuiranog ubrizgavanja, brizgaljke se otvaraju pod utjecajem pritiska goriva i ostaju neprekidno otvorene dok motor radi. Gorivo se neprekidno ubrizgava u usisne cijevi, ispred usisnih ventila, gdje se smjesa miješa sa zrakom, isparava i u jednom taktu usisavanja ulazi u cilindre. Količina goriva se dozira prigušivačem.²⁴

Postoji više načina decentraliziranog sustava ubrizgavanja goriva kod Otto motora:

- Sustav za ubrizgavanje K - Jetronic
- Sustav za ubrizgavanje KE - Jetronic
- Sustav za ubrizgavanje Multi Point Injection (MPI)
- Sustav za ubrizgavanje s mjerenjem volumnog protoka zraka (L - Jetronic)
- Direktno ubrizgavanje (Gasoline Direct Injection - GDI)

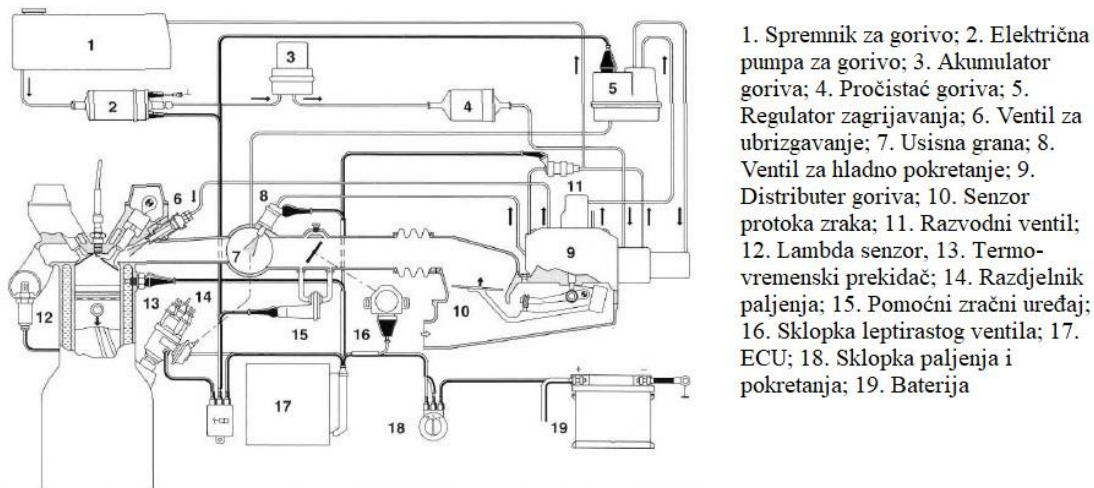
5.2.1 K - JETRONIC

K - Jetronic je BOSCH-ov mehanički sustav ubrizgavanja benzina koji kontinuirano ubrizgava gorivo i koji ne zahtijeva ni jedan oblik upravljanja. Podijeljen je u tri glavna funkcionalna područja: mjerenje protoka zraka, napajanje gorivom i ubrizgavanje goriva. Mjerenje protoka zraka, odnosno količine usisanog zraka u motor je kontrolirano zaklopkom za gas i mjereno uređajem za protok zraka. Količina usisanog zraka služi kao glavna radna varijabla za određivanje osnovne količine goriva za ubrizgavanje. Napajanje gorivom se vrši uz pomoć električne benzinske pumpe koja napaja gorivom razvodnik preko akumulatora goriva i pročistača. Razvodnik goriva raspoređuje to gorivo na brizgaljke u usisnim kanalima cilindra. Unošenje goriva je prouzrokovano količinom usisanog zraka, koji služi kao kriterij za doziranje goriva za pojedine cilindre, a on se određuje na osnovu položaja mjerne ploče u usisnom vodu. Ova mjerna ploča zapravo predstavlja uređaj za protok zraka koji istovremeno kontrolira razvodnik goriva. Uređaj za mjerenje protoka zraka i razvodnik goriva su sklopovi koji su dio

²⁴ Zovak G., Šarić Ž.: Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str. 53.

upravljačkog uređaja smjese. Ubrizgavanje se odvija kontinuirano, bez obzira na položaj usisnih ventila. U trenucima kada su ovi ventili zatvoreni gorivo se “gomila” u usisnom grlu.²⁵

Na slici 15. prikazan je K - Jetronic sustav ubrizgavanja goriva kod Otto motora sa svim pripadajućim elementima.



Slika 15. K - Jetronic sustav

Izvor: <https://3.bp.blogspot.com/-oP3MMsork34/VyHVGKodwWI/AAAAAAAAAas/O7GbcYR1JfU6P0l1xdvlOfHiH0mNC65swCLcB/s1600/K-Jetronic.jpg>

Kod K - Jetronic sustava gorivo se izvlači iz spremnika električnom pumpom za gorivo. Ono se tada usmjerava, pod tlakom, kroz akumulator goriva i fini pročistač razvodnika goriva koji je smješten u upravljačkom uređaju smjese. Tlak se održava konstantnim pomoću regulatora tlaka u upravljačkom uređaju smjese odakle gorivo teče prema brizgaljkama. Brizgaljke konstantno (bez prekida) ubrizgavaju gorivo u ulazne otvor cilindra motora. Električna pumpa za gorivo je oklopljena valjkasta pumpa sa električnim motorom koji je permanentno potopljen u gorivo. Ne postoji opasnost od eksplozije, jer unutar tijela pumpe nikada ne postoji zapaljiva smjesa. Ona uvijek osigurava više goriva nego što su maksimalne potrebe motora, tako da se tlak u sustavu goriva uvijek može održavati, bez obzira na radne okolnosti. Akumulator goriva održava tlak goriva u sustavu neko određeno vrijeme poslije prestanka rada motora. Dok motor radi on služi za suzbijanje oscilacija tlaka nastalih radom električne pumpe za gorivo. Poslije

²⁵ <https://tabudic.wordpress.com/category/automobil/page/2/>

prestanka rada motora akumulator goriva održava tlak goriva u sustavu da bi se olakšalo ponovno pokretanje motora, pogotovo kada je motor zagrijan. Pročistač goriva je vrlo bitan element razvoda goriva, jer zbog malih tolerancija različitih komponenti u sustavu neophodno je vrlo kvalitetno pročišćavanje pogonskog energenta kako bi se garantirao ispravan rad K - Jetronica.²⁶

Po redosljedju postavljanja, pročistač se nalazi odmah poslije akumulatora goriva. Razvodnik goriva odmjerava (raspoređuje) pravilnu količinu goriva za pojedine cilindre u suglasnosti sa položajem mjerne ploče protoka zraka. Položaj ploče se polugama prenosi na klip koji kontrolira količinu goriva koja će biti ubrizgana. U ovisnosti od svog položaja u cilindru sa otvorima za doziranje, klip otvara ili zatvara (svojim vertikalnim pomicanjem) otvore prema većem ili manjem stupnju doziranja. Gorivo protječe kroz otvoreni prostor tih otvora prema ventilima diferencijalnog tlaka i poslije do brizgaljki. Ako je pomak mjerne ploče vrlo mali, tada je klip samo malo podignut pa je kao rezultat otvoren samo mali dio otvora za protok goriva. Sa većim pomakom klipa on otvara veći dio otvora pa može proteći više goriva. Prema tome, postoji linearni odnos između pomaka mjerne ploče i otvorenosti otvora za protok goriva u cijevi za doziranje.²⁷

Regulator tlaka sustava održava konstantni tlak u sustavu za ubrizgavanje goriva (oko 5 bara). Zbog činjenice da pumpa za gorivo uvijek osigurava više goriva (a samim time stvara i veći tlak) nego što je potrebno motoru, u regulatoru tlaka dolazi do pomicanja klipa i otvaranja prolaza kroz koji se višak goriva vraća u spremnik za gorivo. Kada motor prestane sa radom i tlak u sustavu počne padati, opruga potiskuje (vraća) klip sve do položaja u kojem on potpuno zatvara protok goriva u spremnik. Na taj način se uvijek održava isti tlak u sustavu. Brizgaljka se otvara pri određenom tlaku i ubrizgava gorivo u usisno grlo, neposredno ispred usisnog ventila cilindra. Gorivo se raspršuje vertikalnim oscilacijama igle igličastog ventila koji je smješten u samom vrhu brizgaljke. Kod ovog sustava, brizgaljke nemaju mogućnost samostalnog doziranja goriva. One se slobodno otvaraju kada tlak otvaranja dostigne 3,3 bara.²⁸

²⁶ Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 22.

²⁷ Ibid str: 22.

²⁸ Ibid str: 22.

Upravljački uređaj za smjesu se sastoji od mjerača protoka zraka i razvodnika goriva (tzv. K - glava). Ovaj sustav ima zadatak da dozira, odnosno određuje, potrebnu količinu goriva koja odgovara količini zraka koja je usisana u motor. Mjerač protoka zraka radi na principu promjene položaja mjerne ploče, te na taj način mjeri količinu zraka koju usisava motor. Zrak usisan kroz zračni lijevak pomiče ploču za određenu vrijednost od njenog početnog položaja. Pomicanje mjerne ploče se sustavom poluga prenosi na klip. Taj klip određuje količinu ubrizganog goriva. Ventili diferencijalnog tlaka u razvodniku goriva služe da pad tlaka na otvorima za doziranje (između klipa i diferencijala ventila) održe konstantnim, bez obzira na količinu ubrizganog goriva. Svaki cilindar ima svoj ventil diferencijalnog tlaka.²⁹

5.2.2. KE – JETRONIC

KE - Jetronic je kombinirani sustav mehaničko - elektronske kontrole ubrizgavanja benzina sa lambda kontrolom, zatvorenom petljom. Njegova osnovna funkcija je da dozira gorivo motoru u zavisnosti od količine zraka koja je usisana u motor (osnovna regulacijska varijabla). Za razliku od K - Jetronic sustava, KE - Jetronic sustav u proračunu koristi brojne podatke o radu motora koji su dobiveni pomoću davača. Izlazni signali sa tih davača se obrađuje u upravljačkom uređaju koji kontrolira elektro - hidraulički regulator pritiska, koji prilagođava ubrizganu količinu goriva različitim radnim stanjima. Osnovna razlika između K - Jetronic i KE - Jetronic sustava je u postojanju davača i upravljačke jedinice koja obrađuje podatke dobivene od davača. Razvodnik goriva posjeduje i elektro - hidraulički regulator pritiska.³⁰

Davači koji su dodani sustavu, u ovom slučaju, služe za očitavanje temperature motora, za određivanje položaja klapne gasa (signal opterećenja) i otklona ploče davača protoka zraka (koji otprilike odgovara promjeni snage motora u vremenu). Pomoću ovih davača, upravljački uređaj upravlja hidrauličkim regulatorom pritiska da odgovarajuće „osiromaši“ ili „obogati“ smjesu goriva i zraka. KE - Jetronic brzo reagira na promjene u radnom stanju motora i poboljšava karakteristiku obrtnog momenta kao i fleksibilnost motora. Isključivanje opskrbe goriva motora pri ograničenju brzine vozila, odgovara brzini (broju obrtaja) i temperaturi motora, a također

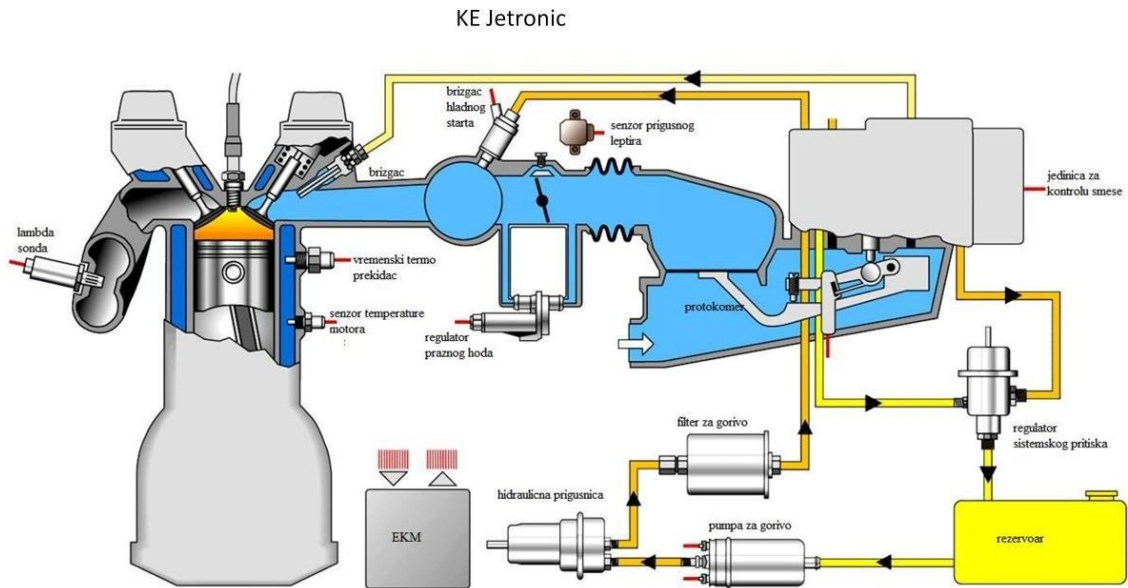
²⁹ Ibid str. 22 - 23.

³⁰ <https://www.motorna-vozila.com/jetronic-ubrizgavanje-goriva/>

vrši i isključivanje dovoda goriva prilikom kočenja motor. Prilikom ponovnog uključanja goriva nema više neprijatnih trzaja. Efikasno dizajnirani sustav usisavanja zraka KE - Jetronic, omogućava povećanje snage motora zbog poboljšanog punjenja cilindra. Slično sa svim drugim Jetronic sustavima, KE - Jetronic postiže već spomenuto povećanje snage motora za isto pomicanje klipa, ali ne na račun povećanja potrošnje goriva što je vrlo bitno. Regulator osnovnog pritiska je u ovom slučaju, zamijenio temperaturni regulator. Njegova funkcija je, da održava vrijednost upravljačkog pritiska konstantnim, jer svaka promjena ove vrijednosti direktno utječe na odnos goriva i zraka u cilindrima. Elektronski upravljački uređaj obrađuje podatke dobivene sa raznih davača koji se odnose na radno stanje motora, a od tih podataka stvara upravljački signal za elektro - hidraulički regulator pritiska. Davači za registriranje radnih podataka služe, kao što im i samo ime kaže, da registriraju određene pojave koje će poslužiti kao dodatni kriterij za određivanje optimalne količine goriva koja je potrebna motoru i da ih proslijede elektronskom upravljačkom uređaju. Elektro - hidraulični regulator pritiska je u sustavu KE - Jetronic zamijenio regulator pritiska sa oprugom koji je bio sastavni dio K - Jetronic sustava. U zavisnosti od radnih stanja motora i od rezultante struje primljene sa upravljačkog uređaja, elektro - hidraulični regulator pritiska mijenja pritisak u donjim komorama ventila za određenu razliku pritiska. Na taj način se mijenja količina goriva koja se dovodi brizgaljkama. Smješten je na tijelu razvodnika goriva i radi na principu pločice koja zatvara otvor cijevi, a promjena odnosno pad pritiska je kontroliran dovodom struje sa upravljačkog uređaja.³¹

Na slici 16. prikazan je KE - Jetronic sustav za ubrizgavanje goriva.

³¹ <https://www.motorna-vozila.com/jetronic-ubrizgavanje-goriva/>



Slika 16. KE – Jetronic

Izvor: <https://automehatronika.files.wordpress.com/2013/12/ke-jetronic.pdf>

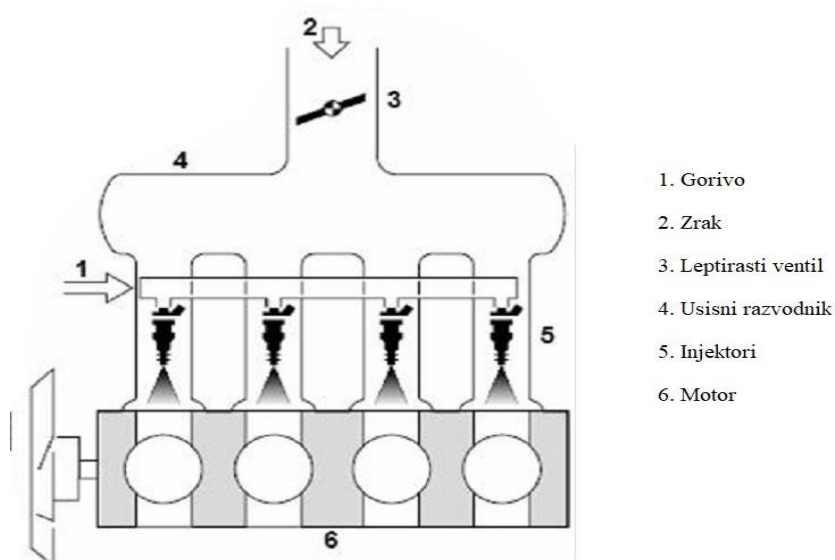
5.2.3. MULTI POINT INJECTION (MPI)

Kod sustava Multi Point Injection (MPI), regulator tlaka goriva ima ulaznu vezu s razvodnikom goriva i izlaz koji omogućuje povratak goriva u spremnik. Snaga tlaka 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. Multi Point Injection sustav ubrizgavanja razlikuje nekoliko načina, odnosno vrsti ubrizgavanja³²:

- Istodobno ili simultano ubrizgavanje
- Grupno ubrizgavanje
- Slijedno ili sekvencijalno ubrizgavanje

Na slici 17. prikazan je sustav ubrizgavanja Multi Point Injection (MPI).

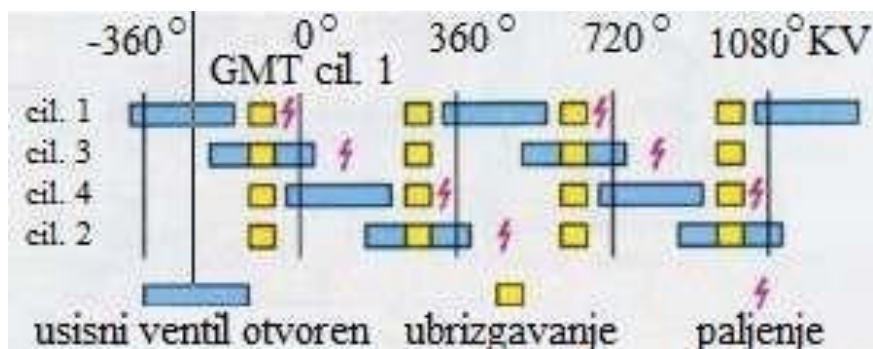
³² Zovak G., Šarić Ž.: Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str. 26.



Slika 17. Multi Point Injection (MPI)

Izvor: https://www.autoportal.hr/slike_clanci/media/k2/galleries/7808/mpi_2.jpg

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 što je prikazano na slici 18. 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 koljenastog vratila pola količine).³³

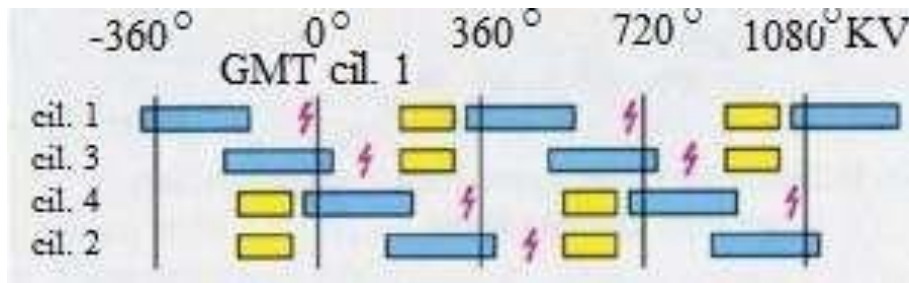


Slika 18. Vremenska raspodjela pojedinih procesa kod istodobnog ubrizgavanja

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 24. Auflage), Pučko otvoreno učilište (Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2004.

³³ Venc I. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, 2013. str. 18.

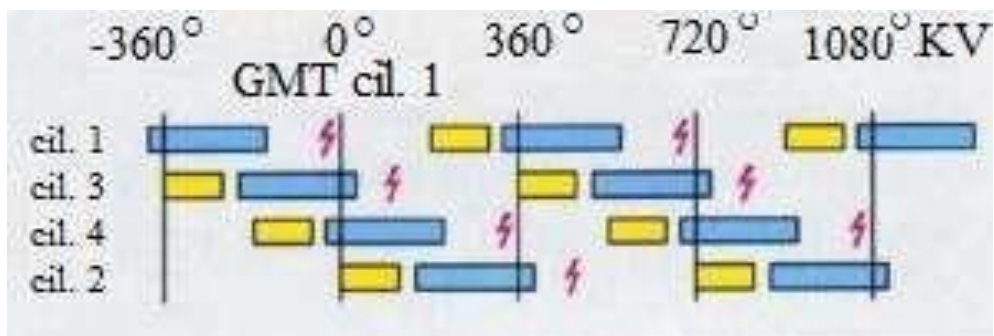
Povoljnije je grupno ubrizgavanje, kod kojeg se brizgaljka 1. i 3., te 2. i 4. cilindra izmjenično otvaraju, tako da gorivo ubrizgavaju uvijek prije takta usisa. Ubrizgava se cijela količina goriva što je prikazano na slici 19. Vrijeme za stvaranje smjese različito je za različite cilindre.³⁴



Slika 19. Grupno ubrizgavanje

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 24.Aufalge), Pučko otvoreno učilište(Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2004.

Slijedno ubrizgavanje je ono kod kojeg se svaka brizgaljka aktivira neposredno prije početka takta usisa odnosno cilindra kada se ubrizgava ukupna količina goriva što je prikazano na slici 20. Prednosti ovakvog načina ubrizgavanja su optimalna smjesa za sve cilindre i bolje unutarnje hlađenje cilindra dok je vrijeme za stvaranje smjese jednako za sve cilindre.



Slika 20. Slijedno ubrizgavanje

Izvor: Bohner, M. et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 24.Aufalge), Pučko otvoreno učilište(Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2004.

³⁴ Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 27.

5.2.4. SUSTAV ZA UBRIZGAVANJE S MJERENJEM VOLUMNOG PROTOKA ZRAKA (L - JETRONIC)

L - Jetronic sustav je nastao usavršavanjem starijeg D - Jetronic sustava s periodičnim ubrizgavanjem i elektronskom regulacijom. Ubrizgavanje je pojedinačno za svaki cilindar. Posebna specifičnost ovog sustava je direktno, električno mjerenje protoka usisane količine zraka. To pruža velike mogućnosti regulacije i prilagođavanje ubrizgane količine goriva u različitim uvjetima rada motora.³⁵

L - Jetronic sustav ubrizgavanja goriva radi prekidajućim ubrizgavanjem u usisnu cijev ispred usisnih ventila. Glavne zadaće sustava su osigurati svakom cilindru toliko goriva koliko je potrebno za trenutačno stanje opterećenja motora pri korištenju vozila. Elektroničko upravljanje ubrizgavanja goriva omogućuje osnovnu i točnu regulaciju dodatnih količina goriva koju zahtijeva znatni broj različitih stanja opterećenja motora.

Procesor prima signale od mjerača protoka zraka, električnog prekidača glavne zaklopke, senzora temperature motora i temperature usisnog zraka, senzora tlaka zraka, lambda sonde, brojača okretaja i drugih davača električnih impulsa. Elektronički sklopovi procesora obrađuju prispjele električne signale, izračunavaju potrebnu količinu ubrizganog goriva i na izlazu daju izvršne električne impulse dovoljne snage da se pokrenu elektromagnetski ventili za ubrizgavanje goriva. Trajanje otvaranja ventila i razlika sistemskog tlaka goriva i tlaka zraka u usisnoj cijevi određuju potrebnu količinu goriva koja se ubrizgava ispred usisnih ventila. Neovisno o broju cilindara, na impulse početka ubrizgavanja utječe kontaktni ili beskontaktni uređaj za paljenje gorive smjese tako da svaki ventil za ubrizgavanje ubrizgava jedanput po okretaju radilice, odnosno dva puta po radnom ciklusu motora.³⁶

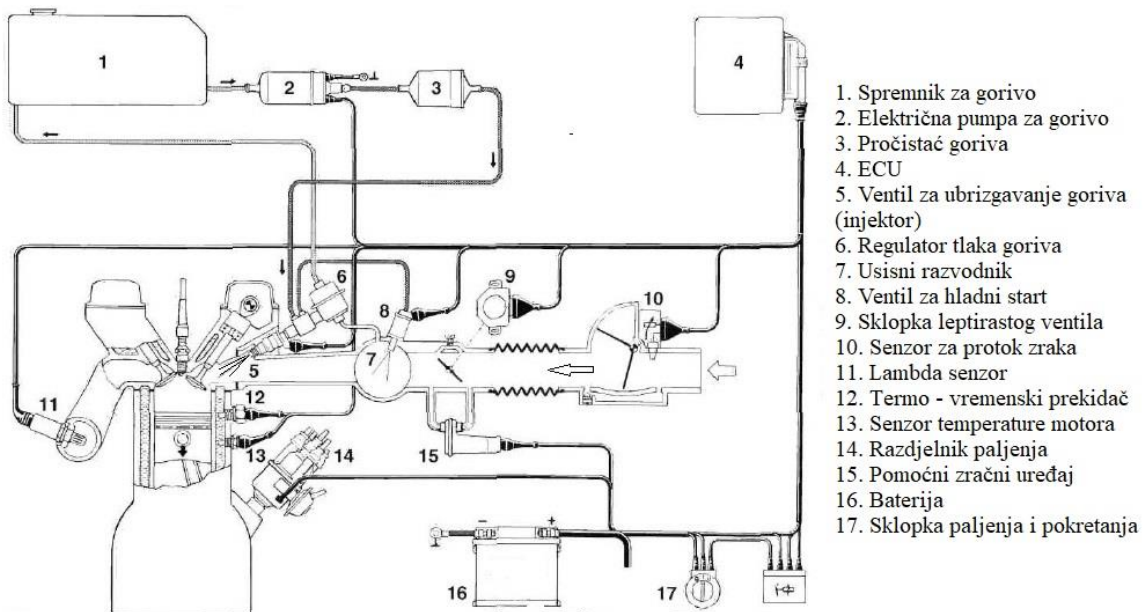
³⁵ <https://www.scribd.com/document/196238659/Jetronic-Sistemi-Ubrizgavanja-Uopsteno>

³⁶ Švara, B.: Elektroničko ubrizgavanje i elektroničko paljenje kod Ottova motora (radni udžbenik), Otvoreno sveučilište, Zagreb, 1994., str. 23.

Opterećenja stanja kod L - Jetronica su:

- Pokretanje hladnog motora
- Rad motora u toplom stanju sve do zagrijavanja motora na radnu temperaturu
- Prazni hod hladnog ili toplog motora
- Djelomično opterećenje pri normalnoj vožnji
- Puno opterećenje
- Ubrzavanje
- Kočenje motorom niz brijeg i u gradskoj vožnji
- Ograničavanje najvećeg broja okretaja motora
- Otklanjanje detonirajućeg izgaranja kod pregrijanog motora
- Vožnja automobila na većim nadmorskim visinama

Slika 21. prikazuje shemu s pripadajućim elementima L – Jetronic sustava.

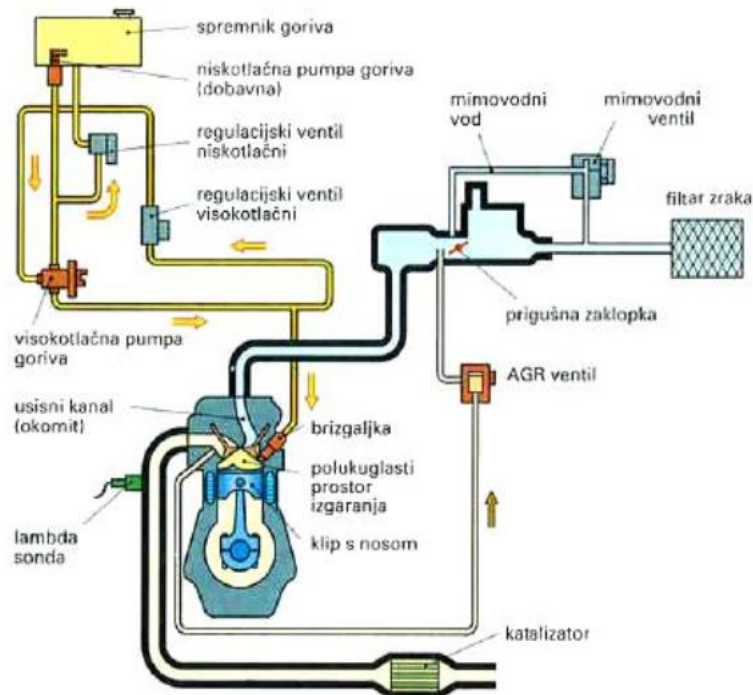


Slika 21. Shema sa pripadajućim elementima L - Jetronic sustava

Izvor: <https://2.bp.blogspot.com/-0RTZnU-F1bA/VvOk-RTY-TI/AAAAAAAAAUY/KUQ1UHh4i1A7O0u3ejXLK8YZE4oh00tmA/s1600/L-Jetronic.jpg>

5.2.5. DIREKTNO UBRIZGAVANJE (GASOLINE DIRECT INJECTION - GDI)

Sustav direktnog, odnosno izravnog 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 stjenkama usisnih cijevi. Da bi izgaranje bilo što kvalitetnije stupanj kompresije mora biti izrazito visok što motoru sa direktnim ubrizgavanjem daje veliku volumensku snagu.³⁷ Na slici 22. prikazan je benzinski motor sa direktnim ubrizgavanjem benzina.



Slika 22. Benzinski motor sa direktnim ubrizgavanjem benzina

Izvor: Merkaš, S. *Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str 30.

³⁷ Merkaš, S.: *Analiza sustava za napajanje goriva kod Otto motora*, Sveučilište u Zagrebu (2016) str. 29.

Konstruktivske osobitosti motora sa direktnim ubrizgavanjem:

- 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 ³⁸

Sustav dobave goriva dijeli se na:

- Niskotlačni (3,3 bara)
- Visokotlačni dio (200bara)

Visoki tlak stvara se jednocilindričnom klipnom pumpom koju preko među vratila pogoni usisno bregasto vratilo (hod klipa je 1 mm). Elementi pumpe podmazuju se samim gorivom. Niskotlačna pumpa dobavlja gorivo visokotlačnoj pod tlakom od 3,3 bara. Regulacijski ventili sprječavaju pojavu previsokih tlakova u oba kruga. Omjer zraka i goriva ovisi o radnoj točki motora (opterećenje, brzina vrtnje, temperatura motora):

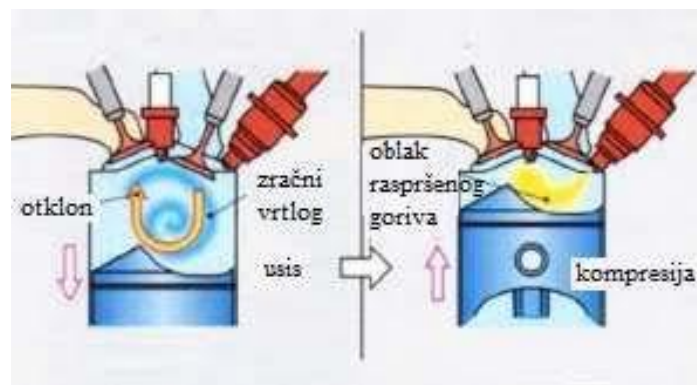
- Djelomično opterećenje - gorivo se ubrizgava u taktu kompresije (slika 23.)
- Puno opterećenje - gorivo se ubrizgava u usisnom taktu (slika 24.)

Kod djelomičnog opterećenja, cilindri usisavaju čisti zrak, a sam motor radi s vrlo siromašnom smjesom, $\lambda = 2,7$ do 3.4. S tim se ostvaruje veći stupanj korisnog djelovanja, tj. manja potrošnja. Pred kraj kompresije ubrizga se mala količina goriva koju zakrivljeni nos klipa gura izravno na svjećicu. To omogućava lokalno mali faktor λ u blizini svjećice i olakšava zapaljenje smjese, dok je okolni faktor λ veći. Na takav se način s relativno malom količinom goriva postiže stabilno izgaranje. Da bi se osiguralo povoljno ustrujavanje zraka u cilindre, usisni je kanal smješten između bregastih vratila i gotovo se okomito priključuje na cilindar.³⁹

³⁸ Zovak G., Šarić Ž.: Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017. str. 61.

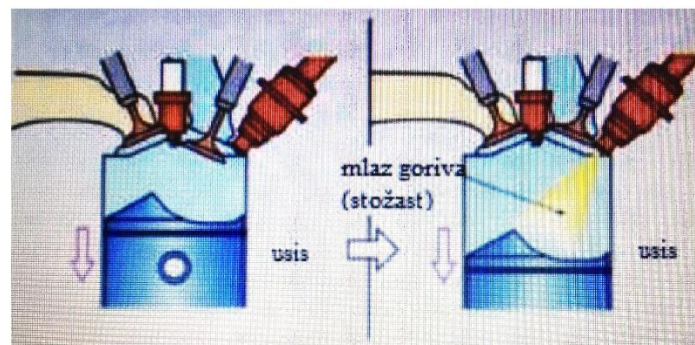
³⁹ Ibid str. 61 - 62.

S porastom opterećenja (otvaranjem prigušne zaklopke) višak zraka reducira se do $\lambda = 1$ odnosno $\lambda < 1$ pri ubrzavanju. Gorivo se tada ubrizgava u taktu usisa, u širokom mlazu. Pojavljuje se izrazito unutarnje hlađenje. Prelazeći u plinovito stanje, gorivo uzima energiju iz smjese te ju hladi. Pothlađivanjem se povećava gustoća smjese i olakšava punjenje, jer u cilindre može ustrujati veća masa zraka i goriva. Istodobno se smanjuje i opasnost od pojave detonacije, te je moguće imati stupanj kompresije 12:1. U taktu kompresije klip tlači homogenu smjesu prema svjećici. Elektroničkom regulacijom kod GDI motora postignut je prijelaz iz djelomičnog opterećenja sa slojevitim punjenjem u puno opterećenje uz $\lambda = 1$ do $\lambda < 1$ bez izostajanja paljenja.⁴⁰



Slika 23. Ubrizgavanje kod djelomičnog opterećenja

Izvor: Vencl I. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, 2013. str. 26.



Slika 24. Ubrizgavanje kod punog opterećenja

Izvor: Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 32.

⁴⁰ Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016. str. 31 – 32.

6. ZAKLJUČAK

Da bi motor mogao obavljati svoju funkciju u cijelosti i bez problema potrebno je pravovremeno i količinski dovoljno ubrizgavanje gorive smjese u cilindre motora. Osnovna zadaća svakog sustava ubrizgavanja je dobiti gorivo iz spremnika, potom ga stlačiti na određeni tlak i fino raspršiti u prostor izgaranja u cilju postizanja potpunog izgaranja smjese. Unazad 40 do 50 godina proizvodili su se motori s malim okretnim momentom, malim radnim obujmom pa tako i malom snagom motora. S obzirom na takve karakteristike motora ubrizgavanje je bilo izvedeno s jednom brizgaljkom koja je raspršivala gorivo u usisnu granu, a potom i u cilindar direktno. U to vrijeme koristio se rasplinjač koji je ujedno i najstariji način pripreme gorive smjese.

Tijekom razvoja autoindustrije razvijali su se i raznorazni sustavi za ubrizgavanje goriva. Tako su rasplinjač zamijenili razni sustavi koji su se ugrađivali u motoru ovisno o njihovim karakteristikama te njegovoj primjeni u eksploataciji. Rasplinjač je radio na principu Venturijeve cijevi tj. podtlak kojeg stvara struja zraka prolazi kroz suženje u rasplinjaču te na tom mjestu zrak naglo ubrzava stvarajući pri tome dodatni podtlak. Taj podtlak usisava gorivo iz sapnice koja se nalazi na najužem dijelu te se gorivo raspršuje i isparava u usisnom kanalu.

Za razliku od rasplinjača današnji sustavi za ubrizgavanje su jednostavniji, jer se smjesa goriva i zraka stvara neposredno pred usisnim ventilom. U novijim vozilima ugrađeni su sustavi elektronskog ubrizgavanja goriva pri čemu se postiže veća snaga motora jer nema gubitaka, ali da pri tome nema povećanja potrošnje goriva. Kod elektronskog ubrizgavanja goriva brizgaljke su elektromagnetske što znači da njihovim otvaranjem upravljaju električni impulsi. Također, u novijim izvedbama Otto motora pazi se na ekologiju i zaštitu okoliša jer su količine ispušnih plinova iz motora ograničene zakonom i Direktivama Europske unije. Izgaranjem goriva u cilindrima motora stvaraju se ispušni plinovi koji se prije izbacivanja iz ispušnog sustava pročišćavaju, ali ni to nije dovoljno za očuvanje našeg okoliša.

7. LITERATURA

1. Bohner, M.et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 30.Aufalge), Pučko otvoreno učilište(Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2015.
2. Bohner, M.et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 24.Aufalge), Pučko otvoreno učilište(Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2004.
3. Bohner, M.et al: Tehnika motornih vozila (Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 27.Aufalge), Pučko otvoreno učilište(Prijevod na hrvatski jezik), Zagreb, 2006.
4. Zovak G., Šarić Ž.: Cestovna prijevozna sredstva - Motori s unutrašnjim ubrizgavanjem (Nastavni materijal), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
5. Kalinić, Z.: Motori s unutrašnjim izgaranjem, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
6. Zavada, J.: Prijevozna sredstva, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2000.
7. Švara, B.: Elektroničko ubrizgavanje i elektroničko paljenje kod Otto motora (Radni udžbenik), Otvoreno sveučilište, Zagreb, 1994.
8. Merkaš, S. Analiza sustava za napajanje gorivom kod Otto motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2016.
9. Venc I. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, 2013.
10. Kesner, M. Potrošnja goriva u ovisnosti o izvedbi sustava za ubrizgavanje smjese kod suvremenih benzinskih motora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti, 2015.
11. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=45927> (10.06.2019.)
12. <http://ss-zeljeznickatehnicka-moravice.skole.hr/upload/ss-zeljeznickatehnicka-moravice/newsattach/164/Cestovna%20vozila.pdf> (10.06.2019.)
13. https://hr.wikipedia.org/wiki/Benzinski_motor (10.06.2019.)
14. <http://tehnika.lzmk.hr/motor/> (10.06.2019.)
15. https://www.autoportal.hr/clanak/efi_electronic_fuel_injection (11.06.2019.)

16. <https://www.prometna-zona.com/spremnik-za-gorivo/> (12.06.2019.)
17. <https://pajca.hr/autodijelovi/pumpa-goriva/> (12.06.2019.)
18. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz:699/preview> (12.06.2019.)
19. <http://motor-diht.hr/asortiman/filteri/filter-goriva/> (12.06.2019.)
20. <https://tabudic.wordpress.com/category/automobil/page/2/> (03.07.2019.)
21. <https://www.motorna-vozila.com/jetronic-ubrizationje-goriva/> (03.07.2019.)
22. <https://www.scribd.com/document/196238659/Jetronic-Sistemi-Ubrizationja-Uopsteno>
(05.07.2019.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Daimlerov prvi motorkotač	4
Slika 2. Motorno vozilo sa tri kotača na benzinski pogon	4
Slika 3. Konstrukcija četverotaktnog Ottovog motora	7
Slika 4. Četiri takta radnog ciklusa	10
Slika 5. 1. Takt – usis	11
Slika 6. 2. Takt – kompresija.....	12
Slika 7. 3. Takt – ekspanzija	13
Slika 8. 4. Takt – ispuh.....	14
Slika 9. Konstrukcija sustava za opskrbu gorivom	16
Slika 10. Sustav dovoda goriva	17
Slika 11. Spremnik goriva suvremenog osobnog vozila izrađenog od polietilena	18
Slika 12. Presjek pumpe za gorivo.	19
Slika 13. Filter goriva.....	20
Slika 14. Regulator tlaka goriva	21
Slika 15. K - Jetronic sustav	24
Slika 16. KE – Jetronic.....	28
Slika 17. Multi Point Injection (MPI)	29
Slika 18. Vremenska raspodjela pojedinih procesa kod istodobnog ubrizgavanja	29
Slika 19. Grupno ubrizgavanje	30
Slika 20. Slijedno ubrizgavanje.....	30
Slika 21. Shema sa pripadajućim elementima L - Jetronic sustava	32
Slika 22. Benzinski motor sa direktnim ubrizgavanjem benzina	33
Slika 23. Ubrizgavanje kod djelomičnog opterećenja.....	35
Slika 24. Ubrizgavanje kod punog opterećenja.....	35



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 _____

Analiza decentraliziranog sustava za ubrizgavanje goriva kod Otto motora

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

U Zagrebu, _____ 4.9.2019 _____

Student/ica:

Filip Jurčević

(potpis)