

Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem

Pranjić, Miroslav

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:762298>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



MIROSLAV PRANJIĆ

REPARACIJA MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM

Diplomski rad

Pula, 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



MIROSLAV PRANJIĆ

REPARACIJA MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM

Diplomski rad

JMBAG: 0303071734

Studijski smjer: Računalno inženjerstvo

Predmet: Održavanje industrijskih postrojenja II

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: 2.11. Strojarsstvo

Znanstvena grana: 2.11. Strojarsstvo

Mentor: Doc. dr. sc. tech. Marko Kršulja

Pula, svibanj, 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svome mentoru doc. dr. sc. Marku Kršulji na stručnom savjetovanju tokom pisanja diplomskog rada te stručnoj podršci tokom cijelog moga studiranja, kako na preddiplomskom stručnom studiju tako i na diplomskom studiju.

Zahvaljujem također svojoj bivšoj mentorici doc. dr. sc. Nicoletti Saulig na savjetovanju i stručnoj pomoći tokom pisanja završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju i poticanja na daljnje studiranje.

Zahvaljujem svome bivšem kolegi sa preddiplomskog stručnog studija bacc. ing. mech. Draganu Kapelotu na ustupanju tokarsko – bravarske radionice "Đino", gdje sam napravio reparaciju motora s unutarnjim izgaranjem, te na stručnim savjetima.

Zahvaljujem svojim kolegama sa faksa, cijeloj mojoj užoj obitelji, te djevojci koja mi je bila velika potpora pri studiranju.

Doc. dr. sc. Marko Kršulja

Održavanje industrijskih postrojenja II



Tehnički fakultet u Puli

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

TEHNIČKI FAKULTET U PULI

ZADATAK TEME DIPLOMSKOG RADA

Pristupniku/ci

Miroslavu Pranjiću

MBS: 0303071734

Studentu/ci stručnog studija Tehničkog fakulteta u Puli izdaje se zadatak za diplomski rad – tema diplomskog rada pod nazivom:

Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem

Sadržaj zadatka: Na određenom primjeru motora s unutarnjim sagorijevanjem ocijeniti mogućnost popravka, test i snimak stanja motora. Tumačiti stanje pojedinih komponenti detekcijom i ispitivanjem pojedinih dijelova u sklopu motora. Ocijeniti stanje u skladu s normativima i standardima te kreirati uputu o reparaciji ili zamijeni pojedinih komponenata. Tumačiti tehnologiju reparacije pojedinih dijelova te strojeve s kojima se izvode. Poglavlja trebaju pratiti projektnu dokumentaciju aktivnosti te proračun postupaka obrade i kontrole dimenzija. Priložiti sklopni crtež s potrebnim presjecima i detaljima te radionički po potrebi. U zaključku donijeti ocjenu o popravku te tumačiti bitne spoznaje i dati preporuke za daljnji rad.

Strojarstvo izvanredni

Datum: 15.01.2022.

Potpis nastavnika



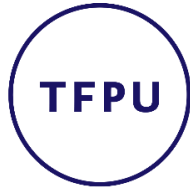
Tehnički fakultet u Puli

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Miroslav Pranjčić, kandidat za magistar inženjer / magistra inženjerka strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, 04. svibanj 2023. godine



Tehnički fakultet u Puli

IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Miroslav Pranjčić, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom „Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 04. svibanj 2023. godine

Student

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. MOTORI S UNUTARNJIM IZGRANJEM..... | 4 |
| 2.1. Motori s unutarnjim izgaranjem – definiranje i vrste..... | 4 |
| 2.2. Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem..... | 5 |
| 2.3. Kvaliteta goriva..... | 9 |
| 2.4. Mehanika i elementi motora s unutarnjim izgaranjem | 11 |
| 2.5. Načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem..... | 13 |
| 2.6. Žarne svjećice Dizelovih motora..... | 15 |
| 2.7. Ispuh iz Dizelovih motora | 17 |
| 2.8. Sustav hlađenja motora i prijelaz topline | 19 |
| 2.9. Sustav podmazivanja..... | 21 |
| 2.10. Sustav paljenja motora sa unutarnjim izgaranjem..... | 24 |
| 2.11. Budućnost motora sa unutarnjim izgaranjem | 26 |
| 3. REPARACIJA MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM | 30 |
| 3.1. Reparacija motora s unutarnjim sagorijevanjem – definiranje i postupak popravka oštećenih dijelova | 30 |
| 3.2. Metode reparacije motora automobila..... | 31 |
| 3.2.1. <i>Magnetna detekcija greške za provjeru radilice</i> | 32 |
| 3.2.2. <i>Dekarbonizacija</i> | 34 |
| 3.2.3. <i>Metoda popravka „kupovina udarnog bloka“</i> | 36 |
| 3.2.4. <i>Metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“</i> | 37 |
| 3.2.5. <i>Metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“</i> ... | 37 |
| 3.3. Tehnologije popravka motora s unutarnjim sagorijevanjem..... | 38 |
| 4. PRIMJER IZ PRAKSE - MOTOR SA UNUTARNJIM IZGARANJEM PERKINS D 4.203..... | 41 |
| 4.1. Mjerenje odstupanja na košuljicama cilindra i prešanje košuljica vani | 42 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Mjerenje preklopa košuljice cilindra i provrta bloka motora te prešanje unutra | 47 |
| 4.3. Ravnanje baze bloka motora, tokarenje i honanje cilindarskih košuljica | 49 |
| ZAKLJUČAK..... | 60 |
| POPIS LITERATURE..... | 63 |
| POPIS SLIKA..... | 68 |
| POPIS TABLICA..... | 70 |
| SAŽETAK..... | 71 |

1. UVOD

1.1 Hipoteza

Hipoteza ovog diplomskog rada je konkurentnost procesa „Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem“ u tvrtci Đino d.o.o. .

1.2 Predmet istraživanja

Predmet istraživanja su motori s unutarnjim izgaranjem i načini njihove reparacije u tvrtki Đino d.o.o. strojarsko bravarski obrt. Za reparaciju se koristi niz strojeva koji svojom izvedbom utječu na kvalitetu popravka i samim time i na troškove i cijenu istoga.

1.3 Problem istraživanja

Problem navedene tematike su kvarovi motora s unutarnjim izgaranjem pa je rješenje posezanje za reparacijom ili popravcima istih. Elementi oštrica korištenih za popravak se troše a i sama reparacija zna odstupati od traženih tolerancija. Važno je provjeriti da li je reparacija uspješno provedena.

1.4 Ciljevi istraživanja

Ciljevi istraživanja su:

- Tumačiti motore s unutarnjim izgaranjem.
- Budućnost motora s unutarnjim izgaranjem
- Tumačiti reparaciju motora.
- Upotrijebiti i ocijeniti metode i tehnologije reparacije.
- Prikazati primjer reparacije motora s unutarnjim izgaranjem iz prakse.

1.5 Metodologija istraživanja

Metode koje se koriste za izradu rada:

- Eksperimentalna metoda, na praktičnom primjeru u tvrtci Đino provest će se reparacija na stvarnome motoru.
- Metoda promatranja, temeljem mjernih rezultata sprovedst će se usporedba s propisima koji odlučuju propisane dosjede, tolerancije i slične dimenzijske vrijednosti te će se bilježiti zapisnikom.
- Metoda mjerenja, mjerenje odstupanja istrošenosti košuljica cilindara, mjerenje preklopa između košuljica i provrta bloka motora, mjerenje promjera košuljica prilikom obrade (tokarenje i honanje).
- Metoda analize, analiziranjem podataka iz dokumentacije odabran je materijal košuljica cilindara, vrsta noža za tokarenje, vrsta materijala za honanje te parametri same obrade.

1.6 Struktura rada

U prvome dijelu dan je uvod s hipotezom, predmetom i problemom istraživanja te su dani ciljevi i struktura rada.

U drugom poglavlju tumačeni su motori s unutarnjim izgaranjem. Za potrebe razumijevanja navedenog pojma vrši se definiranje i prikaz vrsta motora s unutarnjim izgaranjem, analiza razvoja motora s unutarnjim izgaranjem, analiza kvalitete goriva, prikaz mehanike i elementa motora s unutarnjim izgaranjem, objašnjava se načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem, žarne svjećice Dizelovih motora, ispuh iz Dizelovih motora, sustav hlađenja motora i prijelaz topline, sustav podmazivanja, sustav paljenja motora sa unutarnjim izgaranjem, te budućnost motora sa unutarnjim izgaranjem.

U trećem dijelu rada fokus će biti na reparaciji motora s unutarnjim izgaranjem. Pri tome se definira reparacija motora s unutarnjim sagorijevanjem i objašnjava postupak popravka oštećenih dijelova. Nadalje, objašnjavaju se metode reparacije motora automobila: magnetna detekcija greške za provjeru radilice, dekarbonizacija, metoda popravka „kupovina udarnog bloka“, metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“, te metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“. Također, prikazuju se tehnologije popravka motora s unutarnjim sagorijevanjem.

U četvrtom dijelu rada prikazati će se primjer reparacije iz prakse: motor sa unutarnjim izgaranjem Perkins D 4.203. Za potrebe navedenog objašnjava se mjerenje odstupanja na košuljicama cilindra i prešanje košuljica vani, mjerenje preklopa košuljice cilindra i provrta bloka motora te prešanje unutra, te ravnanje baze bloka motora, tokarenje i honanje cilindarskih košuljica.

U zaključku biti će dana zaključna razmatranja autora na tematiku i preporuke na navedeno istraživanje.

U popisu literature nalazi se prikaz autora i njihovih uradaka koji su korišteni pri izradi ovoga rada.

2. MOTORI S UNUTARNJIM IZGRANJEM

Ovo poglavlje se bavi motorima s unutarnjim izgaranjem. Najprije se definiraju motori s unutarnjim izgaranjem, a zatim se objašnjava njihov razvoj, kvaliteta goriva, mehanika i elementi motora s unutarnjim izgaranjem, te načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem. Nadalje objašnjavaju se žarne svjećice Dizelovih motora, ispuh iz Dizelovih motora, sustav hlađenja motora i prijelaz topline, sustav podmazivanja i sustav paljenja motora sa unutarnjim izgaranjem te budućnost motora sa unutarnjim izgaranjem.

2.1. Motori s unutarnjim izgaranjem – definiranje i vrste

Motori s unutarnjim izgaranjem su sveprisutni u životima ljudima, a definiraju se kao strojevi kod kojih prevladava proces izgaranja ili gorenja, kod kojeg dolazi do pretvaranja kemijske u mehaničku energiju goriva, na način da se oslobađa energija iz mješavine goriva i zraka, a u pogledu vrsta motora s unutarnjim izgaranjem postoje:¹

- benzinski motori s paljenjem pomoću svjećice,
- dizelski motor s paljenjem pomoću kompresije, te
- plinske turbine koje se najčešće koriste u zrakoplovima.

Danas motori sa unutarnjim izgaranjem imaju dobru izdrživost i vozne karakteristike, pa ih koriste milijuni vozila diljem svijeta. Ono što je karakteristično za motore s unutarnjim izgaranjem je to da većina njih pripada četverotaktnim motorima kod kojih se ciklus sastoji od četiri hoda klipa. Razliku dizelskih i benzinskih motora čini način opskrbljivanja i paljenja goriva, pa kod benzinskih motora dolazi do miješanja goriva sa zrakom, uvođenja istog u cilindar, te se iskra zapali i dolazi do izgaranja, dok kod dizelskih motora dolazi do raspršivanja goriva u vrući kompromitirani zrak, koji pod primjerenom brzinom uzrokuje paljenje. S obzirom na rasprostranjenost primjene motora s unutarnjim izgaranjem danas su brojna istraživanja usmjerena na smanjenje

¹ U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engine Basics*, 2013., dostupno na: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/internal-combustion-engine-basics> (16.01.2023.)

emisija istih u okoliš (zagađivača poput dušikovih dioksida – NO_x i čestica – PM) s ciljem usklađivanja sa standardima EPA emisija, u čemu veliku ulogu imaju proizvođači.

Problematika zagađivanja okoliša korištenjem goriva natjerala je proizvođače na pametnije aktivnosti koje uključuju korištenje čistih metoda proizvodnje energije (električna vozila koja utječu na uštedu goriva, pa na takav način i na očuvanje okoliša od onečišćenja). Međutim, bez obzira na napredak tehnologije, u praksi su motori s unutarnjim izgaranjem najučinkovitiji način proizvodnje energije za pokretna vozila (benzin i dizel su karakteristični po tome što imaju puno više energije od baterija električnih automobila kojima je potrebno dosta vremena da se napune, te su pogodniji za sigurniju vožnju na velike udaljenosti). S obzirom na to da su automobili glavni uzroci stvaranja ugljičnog monoksida, cilj proizvođača je stvoriti dizajn automobilskih motora vođen zahtjevima za smanjenjem emisija takvih zagađivača okoliša (zraka). Primjerice dizelski motori ispuštaju crni dim, plinske turbine emitiraju čađu, pa se vodi računa o ispitivanju emisija onečišćivača zraka iz motora.²

Istraživanjima je utvrđeno da dizel motori s unutarnjim izgaranjem čine većinu današnjih vozila na cestama, te da proizvode manje emisija od benzinskih motora.³ Također, obilježava ih veća učinkovitost i manja proizvodna troškovnost. Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem ima svoju povijest, kroz koju je njihova učinkovitost unaprijeđena. Više o navedenom će biti u slijedećem poglavlju.

2.2. Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem

Do razvoja motora s unutarnjim izgaranjem došlo je u 19. stoljeću, čime se utjecalo na revoluciju prijevoza (na vodi, kopnu, u zraku). Prije nego su se motori s unutarnjim izgaranjem počeli koristiti kod prijevoznih sredstava, najprije su napravljeni

² Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., *Fundamentals of air pollution engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1988., str. 226., dostupno na:

<https://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf> (16.01.2023.)

³ Nickischer, A., *Environmental Impacts of Internal Combustion Engines and Electric Battery Vehicles*, D.U.Quark, Volume 4, Issue 2 Spring 2020., str. 24. dostupno na:

<https://dsc.duq.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&context=duquark> (17.01.2023.)

eksperimenti na stacionarnim generatorima. Promatrajući povijesni razvoj motora s unutarnjim izgaranjem isti je imao ovakav slijed:⁴

- Prvi put se za pokretanje vozila koristio Jean Joseph Étienne Lenoir-ov motor s unutarnjim izgaranjem, preciznije 1860. godine, te je predstavljao parni stroj koji je radio na zapaljivi plin. Ovaj je motor u biti bio samo parni stroj pretvoren za rad na zapaljivi plin, a prvo vozilo na kojemu je isti korišten je bila Lenoir-ova "Hippomobile" kočija (kao tricikl) koja je bila jako spora.
- Do većih promjena dolazi kada N. Otto kreirao četverotaktni motor, godine 1875., koji je u automobilskoj industriji značio prekretnicu, jer je bio učinkovit u potrošnji goriva, dugotrajan i čvrst. Takav motor danas imaju sva vozila na plin.
- Slijedeća važna etapa u razvoju motora s unutarnjim izgaranjem je pojava Benz Patent Motorwagena, kojeg je dizajnirao Karl Benz 1885. godine, a imao je obilježja jednocilindričnog četverotaktnog motora, koji je proizvodio 2/3 konjskih snaga pri 400 o/min.
- Kasnije je došlo do razvoja Morwagena sa više konjskih snaga, na što je utjecao razvoj tehnologije, koja je doprinijela razvoju jačeg motora s unutarnjim izgaranjem u svrhe transporta. Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem kod osobnih automobila je od 19. stoljeća veoma napredovao zbog slijeđenja trenda povećanja litarske snage motora.

Usporedbom podataka prosječnih vrijednosti određenih energetske parametara motora, sa početka i kraja 20. stoljeća došlo se do spoznaje da je, osim do rasta litarske snage motora, došlo do promjena u rastu efektivnog stupnja iskorištenja te smanjenja mase. U tablici 1. prikazana je komparacija određenih karakteristika motora s unutarnjim izgaranjem (prosječne vrijednosti) kod osobnih benzinskih vozila, krajem 19. i početkom 20. stoljeća. Prema prikazanoj tablici 1. se vidi da su odabrane karakteristike čine prosječne vrijednosti parametara specifične snage, specifične mase, stupnja iskorištenja, brzine vrtnje i broja cilindara.

Primjećuje se da su sve vrijednosti prikazanih parametara od kraja 19. stoljeća do početka 20. stoljeća u rastu, a specifična masa je smanjena sa 5 na 1 kg/kW.

⁴ Holm, T., *The History of the Internal Combustion Engine*, Tech Historian, 2022., dostupno na: <https://techhistorian.com/history-of-internal-combustion-engine/> (21.01.2022.)

Poseban pomak vidljiv je u rastu brzine vrtnje sa 700 na 5500 okretaja u minuti, te u rastu snage sa 2 na 47 kW/l.

Tablica 1: Komparacija određenih karakteristika motora s unutarnjim izgaranjem (prosječne vrijednosti) kod osobnih benzinskih vozila, kraj 19. i početak 20. stoljeća

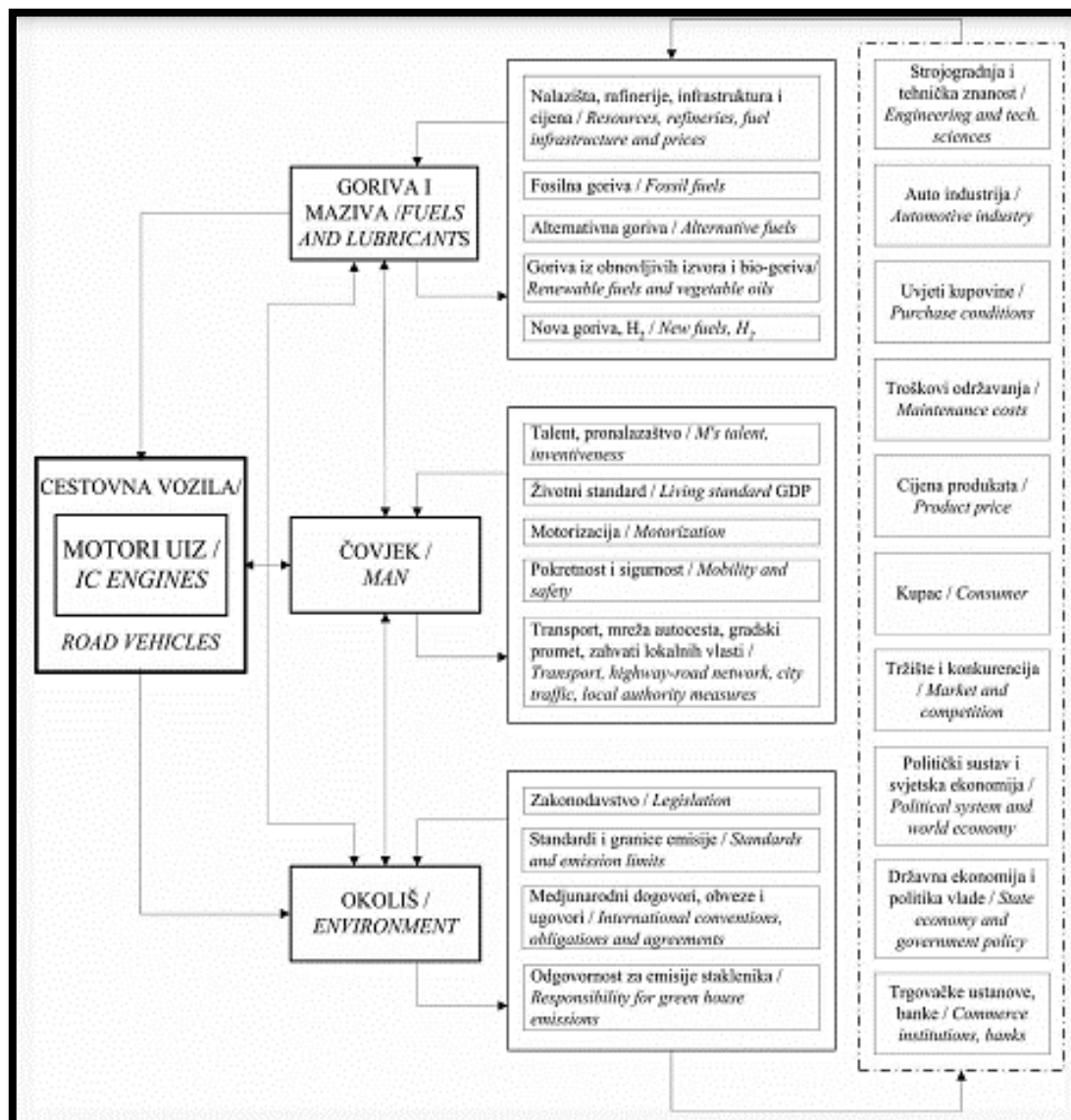
| Karakteristika / Characteristic | Kraj 19. stoljeća | Početak 20. stoljeća |
|---|-------------------|----------------------|
| specifična snaga/power density [kW/l] | 2 | 47 |
| specifična masa/specific weight [kg/kW] | 5 | 1 |
| stupanj iskorištenja/brake overall efficiency [%] | 20 | 35 |
| brzina vrtnje / RPM | 700 | 5500 |
| broj cilindara/number of cylinders | 1 – 3 | 1 – 8 |

Izvor: Izrada autora prema: Dobovišek, Ž., Samec, N., Kokalj, F., *Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i kvaliteta goriva*, Goriva i maziva: časopis za tribologiju, tehniku podmazivanja i primjenu tekućih i plinovitih goriva i inženjerstvo izgaranja, Vol. 42 No. 1, 2003., str. 8., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (21.01.2023.)

Motori s unutarnjim izgaranjem su sveprisutni u suvremenom svijetu, a njihov rad je složen. „Motori s unutarnjim izgaranjem i motorizirana vozila su najutjecajnije tehnološko otkriće našeg vremena. Ta grana industrije je, zajedno sa cestovnim transportom, vrlo brzo postala važan čimbenik u gospodarstvu države, napretku pučanstva, te prema tome bitno utječe na blagostanje nacije.“⁵ Na razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i prijevoznih sredstava utjecali su brojni čimbenici, koji su prikazani na slici 1.

⁵ Dobovišek, Ž., Samec, N., Kokalj, F., *Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i kvaliteta goriva*, Goriva i maziva : časopis za tribologiju, tehniku podmazivanja i primjenu tekućih i plinovitih goriva i inženjerstvo izgaranja, Vol. 42 No. 1, 2003., str. 8., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (21.01.2023.)

Slika 1: Čimbenici koji su utjecali na razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i prijevoznih sredstava



Izvor: Dobovišek, Ž., Samec, N., Kokalj, F., *Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i kvaliteta goriva*, Goriva i maziva : časopis za tribologiju, tehniku podmazivanja i primjenu tekućih i plinovitih goriva i inženjstvo izgaranja, Vol. 42 No. 1, 2003., str. 6., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (21.01.2023.)

Slijedom prikazane slike 1. čimbenike razvoja motora s unutarnjim izgaranjem čine goriva i maziva, čovjek i okoliš. U pogledu goriva i maziva tu se razmatraju nalazišta, infrastruktura, rafinerije, cijena, fosilna goriva, alternativna goriva, goriva iz obnovljivih izvora i bio goriva, te nova goriva. Kada je u pitanju čovjek razmatraju se elementi poput talenta, životnog standarda, motorizacije, pokretnosti i sigurnosti, transporta, mreža autocesta, gradskog prometa i zahvata lokalnih vlasti. Razmatrajući

okoliš veoma važni elementi koji su utjecali na razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i prijevoznih sredstava, ali i goriva, su zakonodavstvo, standardi i granice emisija, međunarodni dogovori, obveze i ugovori, te odgovornost za emisije staklenika. Navedeni elementi okoliša, goriva i maziva te čovjeka su u međusobnoj sinergiji, jer čovjek u transportu koristi goriva i maziva, koja utječu na okoliš. Osim navedenih elemenata u takvoj sinergiji postoje još brojni faktori potrebni za funkcioniranje cijelog sustava čimbenika kojima se utječe na razvoj motora s unutarnjim izgaranjem, a to su strojogradnja i tehnička znanost, autoindustrija, kupci, definirani uvjeti kupnje, troškovi održavanja, cijena produkata, tržište i konkurencija, politički sustav i svjetska ekonomija te banke i trgovačke ustanove. Danas automobilska industrija prolazi kroz transformacije, koje uključuju korištenje alternativnih izvora energije pri pokretanju vozila (električne energije i vodika). Posebno popularni postaju električni automobili, iako su još uvijek dominantna vozila koja koriste motor s unutarnjim izgaranjem (vozila na plin i dizel), a to se očekuje i u budućnosti.⁶ Električna vozila su i skuplja, te su prikladnija za kraće vožnje pa su vozila koja koriste benzin, plin i dizel goriva prikladnija za potrebe transporta na veće udaljenosti.⁷ Da bi vožnja bila sigurna, potrebna je i ispravnost motora, a da bi isti bio ispravan veoma je važno voditi računa o kvaliteti goriva koje se koristi za napajanje vozila. Više o kvaliteti goriva slijedi u nastavku.

2.3. Kvaliteta goriva

Motori s unutarnjim izgaranjem koriste benzin, dizel i obnovljiva ili alternativna goriva poput biodizela, prirodnog plina, etanola, propana te dr., te sve češće u kombinaciji s hibridnim pogonskim sklopovima zbog povećanja uštede goriva.⁸ Kada je riječ o kvaliteti goriva tada se treba razumjeti i nastanak onečišćenja tvari ili kontrole emisija u sustavima izgaranja ugljikovodičnih goriva (krutih i tekućih). Tekuća goriva sadrže veliki broj vrsta ugljikovodika, a općenit sastav istih čine maseni udjeli ugljika, vodika, sumpora, kisika, dušika i pepela, a od ostalih vrijednosti koje se razmatraju u analizama često se koriste mjere ogrjevnosti, te mjera oslobađanja topline

⁶ Holm, T., op.cit.

⁷ Winton, N., *A Long Journey Looms. Do You Take The ICE Or Electric Car?*, Forbes, 2022., dostupno na: <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2022/11/04/a-long-journey-looms-do-you-take-the-ice-or-electric-car/?sh=1e34f9263bfb> (28.01.2023.)

⁸ U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engine Basics*, op.cit.

tijekom potpunog izgaranja. Kruta goriva (najčešće ugljen) nastaju biološkom razgradnjom te geološkom transformacijom biljnih ostataka, a hlapljive tvari kod istih se oslobađaju zagrijavanjem.⁹ Goriva koja su visokokvalitetna imaju višu razinu fiksnog ugljika (razlika između početne mase ugljena i zbroja mase vlage, pepela i hlapljivih tvari), koji ostaje nakon otpuštanja hlapljivih tvari.

Tijekom nekoliko zadnjih desetljeća „sastav goriva je postao izrazito važan parametar kvalitete goriva zbog utjecaja:

- na kemijski mehanizam i kinetiku procesa paljenja,
- na aktivacijsku energiju goriva u početnim fazama izgaranja,
- na razinu koncentracija i sastav polutanata u produktima izgaranja,
- na puteve i iskoristivost procesa naknadne obrade produkata izgaranja,
- na postojanost uređaja (opreme) za naknadnu obradu ispušnih plinova,
- na stvaranje naslaga na otvorima brizgaljki za ubrizgavanje goriva, na zidovima komore u cilindru motora i paljenjem iskrom,
- na isparivost goriva i emisiju para ugljikovodika.“¹⁰

Danas se na globalnoj razini kao pogonsko gorivo motora s unutarnjim izgaranjem najviše koristi ukapljeni naftni plin (enlg. *Liquefied Petroleum Gas* - LPG), koji je postao najzastupljenija alternativa benzinu i dizelu. Na području Europe ukapljeni naftni plin pokreće više od 7 miliona vozila, odnosno oko 2 % ukupnog broja vozila u Europi. Ukapljeni naftni plin je karakterističan po svojstvima koja prate izgaranje u benzinskim motorima, pa je sličan benzinskom gorivu.¹¹ U pogledu njegove kvalitete se razmatraju ekološki čimbenici, odnosno vrši se usporedba emisija ispušnih plinova. U tom pogledu vozila koja pokreće ukapljeni naftni plin u odnosu na dizel vozila obilježava niska emisija dušikovih oksid (96 %), te u odnosu na vozila na benzin (68 %). Nadalje, ukapljeni naftni plin obilježava niska razina emisija ostalih onečišćenih tvari (u odnosu na dizel goriva ima 95 % manje form-aldehida, te 70% manje acetaldehida), te niža razina emisija ugljikovog dioksida u odnosu na vozila na benzin i dizel goriva. Ukapljeni

⁹ Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., *Fundamentals of air pollution engineering*, op.cit., str. 59.

¹⁰ Dobovišek, Ž., Samec, N., Kokalj, F., op.cit., str. 13.-14.

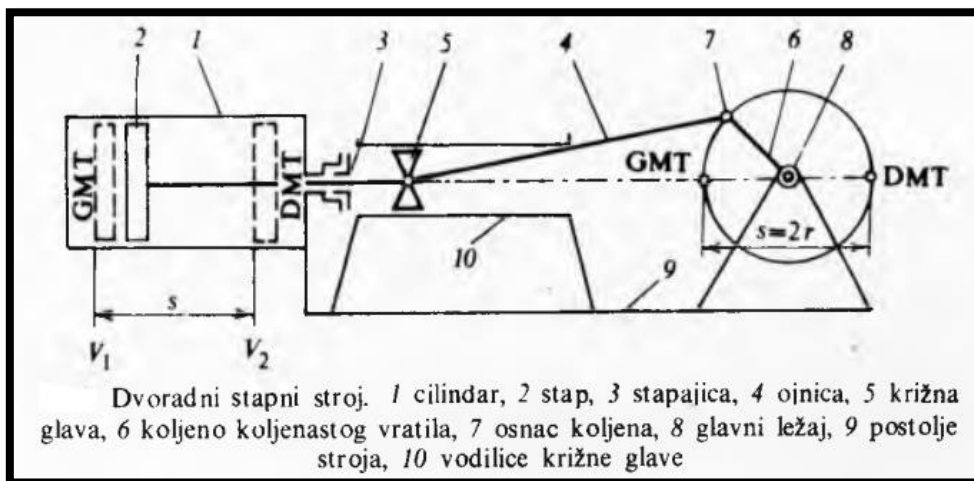
¹¹ Schauerl, Z., Nikšić, M., Kolednjak, D., *Impact of Fuel Type on the Internal Combustion Engine Condition*, Promet – Traffic&Transportation, Vol. 24, 2012, No. 4, 285-293, str. 286., dostupno na: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/442> (28.01.2023.)

naftni plin je manje štetan za okoliš, te za vijek motora, stvara manju buku, te je cjenovno povoljniji, pa se korisnici često odlučuju na plinsku instalaciju. Ono što je mana je mogućnost kvarova na motorima s plinskom instalacijom, kao i kod benzinskih i dizel motora. Kvaliteta goriva utječe na rad motora, o čemu će biti više u nastavku, u poglavlju koje se bavi mehanikom motora s unutarnjim izgaranjem.

2.4. Mehanika i elementi motora s unutarnjim izgaranjem

Motori s unutarnjim izgaranjem rade po principu da u „cilindru motora izgara gorivo pomiješano sa zrakom. Produkti izgaranja (radni medij) imaju visoki tlak i djeluju neposredno na pomični čep u cilindru, nazvan stap, pokreću ga i tako unutrašnju toplinsku energiju plinova izgaranja pretvaraju u mehaničku energiju.“¹² Dakle, djeluju po principu stapnog parnog stroja, čija je konstrukcija prikazana na slici 2.

Slika 2: Konstrukcija osnova motora s unutarnjim izgaranjem



Izvor: Hrvatska tehnička enciklopedija, *Motori s unutarnjim izgaranjem*, 2023., str. 1., dostupno na: https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/motori_s_unutrasnjim_izgaranjem.pdf (16.01.2023.)

Da bi se razumjelo funkcioniranje rada motora s unutarnjim izgaranjem potrebno je navesti njegove osnovne dijelove, vidljive na slici 2. Tu spadaju cilindar (glavna zadaća

¹² Hrvatska tehnička enciklopedija, *Motori s unutarnjim izgaranjem*, 2023., str. 1., dostupno na: https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/motori_s_unutrasnjim_izgaranjem.pdf (16.01.2023.)

mu je obuzdati brzi porast temperature i tlaka u komori za sagorijevanje kada se zapali smjesa goriva i zraka), stap (klip), spajalica, ovojnica, križna glava, koljeno koljenastog vratila, osnac koljena, glavni ležaj, postolje stroja, te vodilice križne glave.

Od svih navedenih dijelova najvažniji za stvaranje snage kod motora s unutarnjim izgaranjem su klipovi i koljenasto vratilo. Gorivo i zrak se sabijaju u komori za izgaranje i tu se pale, a sila paljenja gura klipove koji se nalaze na koljenastom vratilu, a pomicanje klipova dovodi do okretanja radilice, koja uzrokuje nastanak rotacijske sile, čime dolazi do okretanja kotača; nakon toga izgara gorivo/zrak, pa klip takvu smjesu izbacuje izvan komore za sagorijevanje – (prikazana na slici 3.), kroz ispušne ventile.

Slika 3.: Komora za sagorijevanje



Izvor: MLR: Engines eBook, MLR: Engines Study Guide, Melior, 2013., str. 16., dostupno na: <https://www.lee.k12.al.us/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=9136&dataid=5066&FileName=MLR-Engines-eBook.pdf> (29.01.2023.)

Ono što je važno napomenuti je to da Dizel motori rade kao i benzinski motori, međutim prevladava razlika u tome što Dizel motor umjesto svjećica za paljenje smjese zraka i goriva pali smjesu putem kompresije.¹³ U nastavku će biti objašnjeno načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem.

¹³ Holm, T., op.cit.

2.5. Načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem

Da bi motor s unutarnjim izgaranjem radio na ispravan način on mora kontinuirano vršiti ciklus operacija, koje predstavljaju načelo ili princip njegova rada. Prevladavaju dva principa rada motora s unutarnjim izgaranjem, kod benzinskih i kod dizel motora. Kod benzinskih motora prevladava princip rada motora paljenjem svjećeice kojeg je izumio Nicolaus A. Otto 1876. godine, pa se takav motor naziva još i Otto motor, dok dizelski motori imaju princip rada motora temeljen na kompresijskom paljenju, a otkrio ga je Rudolf Diesel 1892. godine.¹⁴ Principa rada kod benzinskih i dizel motora su isti (principu stapnog parnog stroja; vidi prethodno poglavlje), samo je različit proces izgaranja goriva: kod benzinskih motora izgaranje nastaje putem iskre koju potiče svjećica, koja se nalazi na glavi cilindra. nastaje pomoću iskre koju stvara svjećica smještena u glavi cilindra, dok kod dizelskih motora gorivo izgara tokom kompresije goriva, koja se odvija pri konstantnom tlaku.

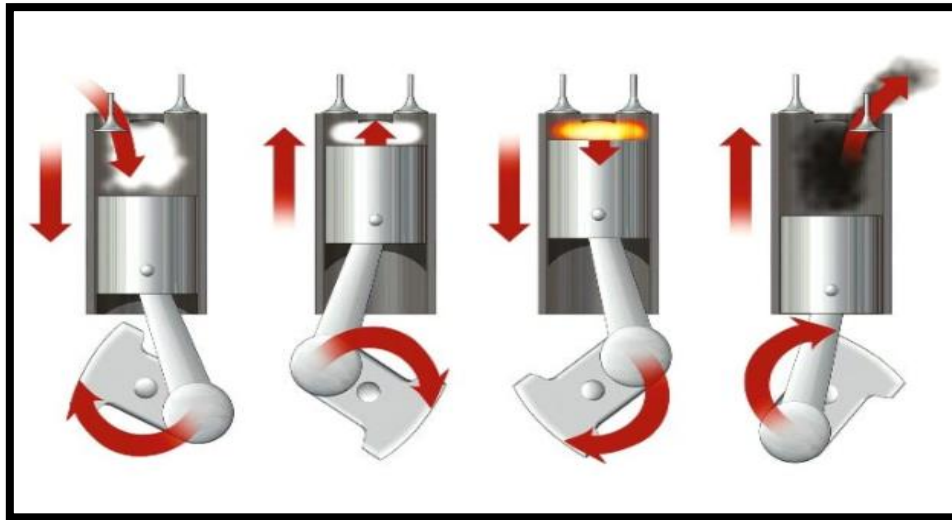
Ono što je veoma važno kada su u pitanju načela rada motora s unutarnjim izgaranjem je to da li se radi o četverotaktnom ili dvotaktnom motoru, koji imaju različite cikluse rada motora.¹⁵ Kod četverotaktnog motora (kojeg ima većina osobnih vozila) završavanje ciklusa rada motora se odvija u četiri takta klipa unutar cilindra a to su takt usisa goriva, takt kompresije goriva, takt ekspanzije ili snage (tada se proizvodi snaga) i takt ispuha.

Opisani ciklus rada četverotaktnog motora prikazan je na slici 4. Kod takvih motora dolazi do dva okretaja koljenaste osovine motora, čime se utječe na sagorijevanje goriva.

¹⁴ Bright Hub PM, *Working Principle of Internal Combustion Engines; Machine and Mechanism Design*, 2022., dostupno na: <https://www.brighthubengineering.com/machine-design/1459-working-principle-of-internal-combustion-engines/> (28.01.2023.)

¹⁵ Ibidem

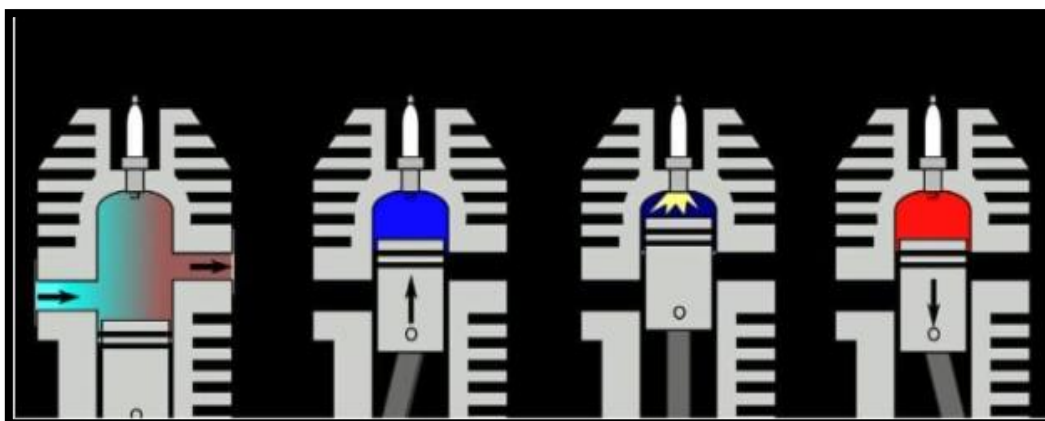
Slika 4.: Ciklus rada kod četverotaktnog motora



Izvor: Radzievskiy, A., *Uređaj motora sa unutrašnjim sagorijevanjem*, Avtotachki, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/bs/ustrojstvo-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/> (28.01.2022.)

U odnosu na četverotaktni, dvotaktni motor je specifičan po tome što se kod njega takt usisavanja i kompresije i takt ekspanzije i ispuha, odvijaju u isto vrijeme. Princip rada dvotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem prikazan je na slici 5.

Slika 5.: Princip rada dvotaktnog motora



Izvor: Radzievskiy, A., *Uređaj motora sa unutrašnjim sagorijevanjem*, Avtotachki, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/bs/ustrojstvo-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/> (28.01.2022.)

Kao i kod četverotaktnog motora snaga se kod dvotaktnog motora se proizvodi u taktu ekspanzije. Do jednog okretaja motora dolazi u trenutku kada se završe dva hoda klipa, pa tada dolazi i do sagorijevanja goriva. Dvotaktni motori imaju veću snagu nego četverotaktni motori, pa se uglavnom koriste kod velikih vozila.

Veoma je važno naglasiti da „nijedan suvremeni motor sa unutarnjim izgaranjem ne može raditi samostalno. To je zato što se gorivo mora dopremiti iz spremnika za gorivo u motor, mora se upaliti u pravo vrijeme, a kako se motor ne bi „ugušio“ od ispušnih plinova, isti se moraju na vrijeme ukloniti. Rotirajući dijelovi trebaju stalno podmazivanje. Zbog visokih temperatura koje nastaju tokom sagorijevanja, motor se mora ohladiti. Te prateće procese ne osigurava sam motor, stoga motor sa unutrašnjim sagorijevanjem radi zajedno sa pomoćnim sustavima.“¹⁶ Pomoćni sustavi su karakteristični za benzinske motore s unutarnjim izgaranjem.

U pomoćne sustave spadaju pomoćni sustav paljenja (čine ga akumulator – kao dodatni izvor energije za paljenje u slučaju prazne baterije, generator, brava za paljenje, uređaji za skladištenje napona potrebnog za stvaranje iskre, a potrebni su za paljenje, te uređaji za distribuciju električne energije za svjećice), sustav auspuha (ispušni kolektor, prednja cijev, katalizator, rezonator i glavni prigušivač za smanjenje buke), sustav podmazivanja (korito, filter i pumpa za ulje, hladnjak za ulje), sustav hlađenja (koristi se da ne bi došlo do pregrijavanja motora, više o istom će biti u potpoglavlju 2.8.). U nastavku slijedi objašnjenje žarnih svjećica dizelovih motora.

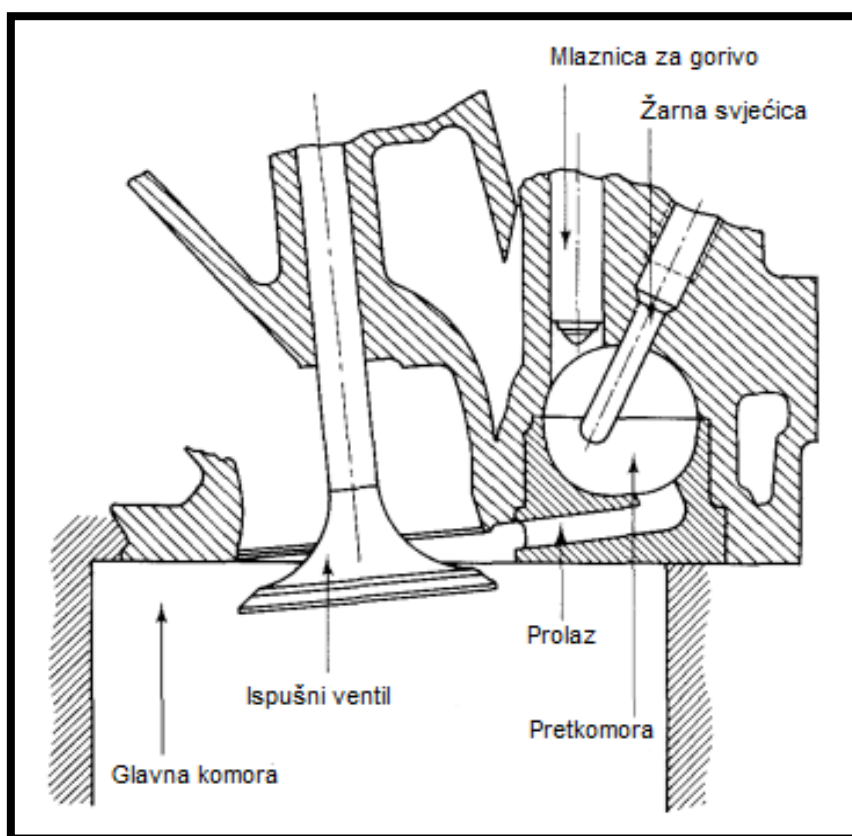
2.6. Žarne svjećice Dizelovih motora

Dizel motor je klipni motor, ali u odnosu na benzinski motor nema rasplinjaču, već se kod njega samo zrak uvlači u cilindar kroz usisni ventil, a gorivo se izravno ubrizgava u cilindar, od kraja takta kompresije. Dizel motor nema svjećice koje se ugrađuju u benzinske motor, ali ima žarne svjećice. „Svaki cilindar dizelske jedinice opremljen je pojedinačnom brizgaljkom i vlastitom žarnicom. Pokreće ga električni sustav vozila. Kad vozač aktivira kontakt prije pokretanja startera, čeka da indikacija

¹⁶ Radzievskiy, A., *Uređaj motora sa unutrašnjim sagorijevanjem*, Avtotachki, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/bs/ustrojstvo-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/> (28.01.2022.)

zavojnice na nadzornoj ploči nestane. Dok odgovarajući indikator na urednom uređaju svijetli, svjećica stvara zrak u cilindru. Ovaj postupak traje od dvije do pet sekundi (u modernim modelima). Ugradnja ovih dijelova obavezna je u dizelski motor. Razlog leži u principu rada jedinice.¹⁷ Na slici 6. prikazan je položaj svjećica kod dizel motora s unutarnjim izgaranjem. Prema slici 6. se vidi da se žarne svjećice nalaze u dijelu pretkomore, a zagrijavaju glavnu komoru u cilindru. Do njihovog hlađenja dolazi kada hladan zrak ulazi u cilindar. Takav proces je reguliran putem elektroničke upravljačke jedinice, kojoj je cilj smanjenje rizika od pregrijavanja u trenutku mirovanja vozila.

Slika 6.: Položaj svjećica kod dizel motora s unutarnjim izgaranjem (pretkomora)



Izvor: Izrada autora prema: Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., *Fundamentals of air pollution engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1988., str. 270., dostupno na: <https://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf> (16.01.2023.)

¹⁷ AvtoTachki, *Sve o svjećicama za dizelske motore*, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/hr/chto-takoe-svechi-nakalivaniya-avtomobilya/> (28.01.2023.)

Elektronička upravljačka jedinica ima algoritme za kontrolu otvorene i zatvorene petlje koja je potrebna za upravljanje procesima motora, poput paljenja, indukcije, stvaranja smjese te dr. Elektronička upravljačka jedinica je izložena ekstremnim temperaturama koje se kreću u rasponu od -40 do $+60 \dots +125$ °C, u normalnim radnim uvjetima, a nagle promjene temperature utječu na izloženost tekućina poput ulja i goriva štetnim utjecajima, pa tako i rada motora. Stoga ECU ima senzore koji učinkovito prenose toplinu na kućište, te na takav način dolazi do otpornosti toplinskih napada na motor.¹⁸ Takav tip elektronike je veoma pogodan jer omogućava kontrolu i paljenje svjećica na jako brz način. Kvar svjećica je pokazatelj nestabilnosti rada motora, a njihova promjena je jednostavna.

Izgled žarnih svjećica može otkriti i zbog čega je došlo do kvara, odnosno koji je uzrok njihova oštećenja. Najčešće je u pitanju pregrijavanje ovojnice, greške prilikom njihove instalacije te kvarovi u sustavu goriva.

2.7. Ispuh iz Dizelovih motora

Ispuh iz Dizelovih motora se povezuje sa ispušnim sustavom istog. Ispušni sustav se definira kao sustav koji usmjerava ispušne plinove iz motora u okolinu, a da pri tome osigurava smanjenje buke (koja se kontrolira prigušivačima, koji koriste tehnike za smanjenje buke, odnosno otporno i apsorpcijsko prigušenje i prigušenje ljuske) i obradu plinova s ciljem smanjenja štetnih emisija (ispušni plin se sastoji od komponenti koje su štetne za zdravlje ljudi te za okoliš, stoga se takve emisije plina reguliraju prije ispuštanja iz motora s ciljem smanjenja onečišćenja zraka).¹⁹ Slika 7. prikazuje ispušni sustav dizelovog motora osobnog automobila.

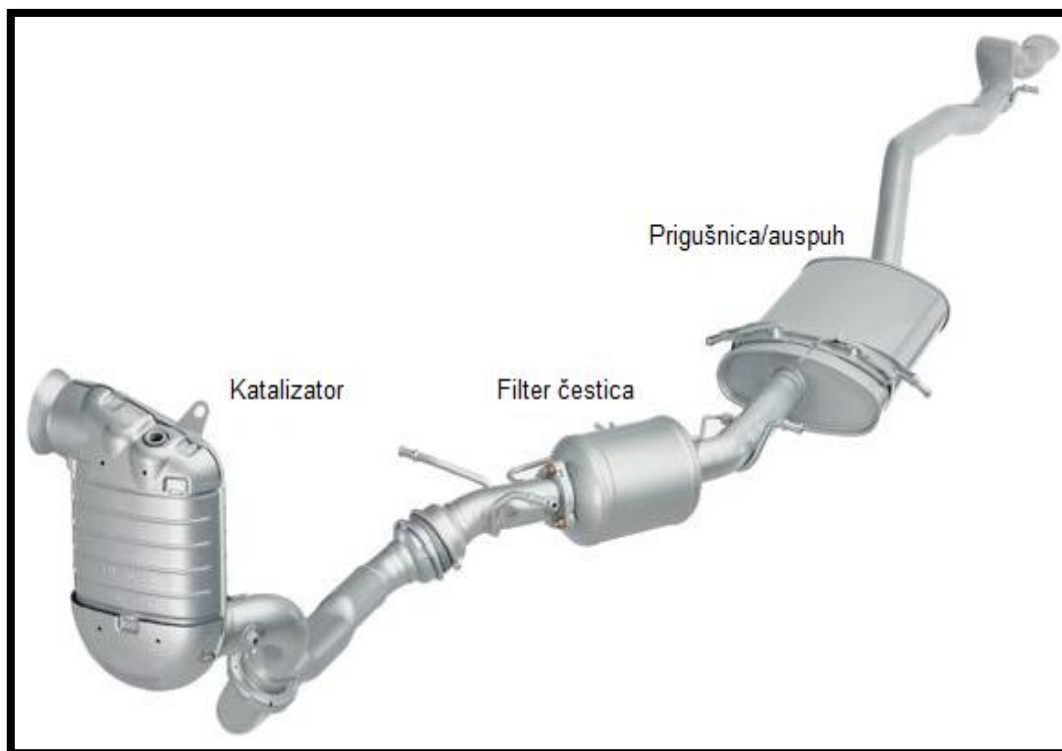
Slijedom prikazane slike 7. se vidi da se ispušni sustav sastoji od katalizatora, filtera čestica i auspuha ili prigušnica. Vidi se da je na auspuh spojen vod/cijev koja vodi do ispušnog otvora. Katalizatori služe kao pročišćivači te su spojeni na filtere za obradu čestica, kojima je uloga smanjenje emisija onečišćenih tvari, dok prigušivači

¹⁸ Kaiser, M., *Chapter: Electronic control unit (ECU)*, pp 254–259, u Reif, K., *Gasoline Engine Management*, Springer, 2014., str. 254., dostupno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-03964-6_16 (28.01.2023.)

¹⁹ Jääskeläinen, H., *Diesel Exhaust Systems*, DieselNet Technology Guide, 2008., dostupno na: https://dieselnet.com/tech/diesel_exh_sys.php (29.01.2023.)

smanjuju buku. Od ostalih elemenata tu se nalaze cjevovodi od jednog dijela do drugog. Na kraju auspuha se nalazi ispušna cijev za ispuštanje ispušnih plinova.

Slika 7.: Ispušni sustav dizelovog motora osobnog automobila



Izvor: Izrada autora prema: Jääskeläinen, H., *Diesel Exhaust Systems*, DieselNet Technology Guide, 2008., dostupno na: https://dieselnet.com/tech/diesel_exh_sys.php (29.01.2023.)

Ispušni plinovi dizelskih motora imaju višak kisika u produktima izgaranja, što sugerira na nastanak ugljikovog monoksida, para ugljikovodika i ugljičnih čestica u ispušnim plinovima, pa oksidacija čestica koje prolaze kroz ispušni sustav nisu praktično rješenje za emisije čestica. Stoga je oksidacijski katalizator koristan za oksidaciju ugljikovog monoksida i ugljikovodika, koji utječu na miris ispušnog plina, pa se putem filtera vrši zbrinjavanje takvog problema u vozilima.²⁰ Dizelsko gorivo je u odnosu na benzin puno gušće, teže i manje isparljivo, te sadrži manje energije u galonu goriva.

²⁰ Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., op.cit., str. 277.

Nedostatak u osobnim automobilima su visoke emisije čestica (čadže) i dušikovih oksida (NOx) zbog visokih temperatura izgaranja, što posebno pri visokim temperatura može uzrokovati poteškoće u pokretanju dizelskih motora, slabo ubrzanje, ružan miris te stvaranje buke. Zbog toga je spriječena šira uporaba dizela u motorima.²¹ U filterima se nakon prikupljanja dovoljnog broja čestica za održavanje izgaranja, putem topline sav sakupljeni materijal može spaliti.

Nekada se u tom postupku može korisnim pokazati ubrizgavanje amonijaka, ili korištenje alternativnih redukcijskih agensa koji djeluju na nižim temperaturama, a tu se primjerice može navesti izocijanska kiselina koja je veoma učinkovita u kontroli emisije dušikovih oksida u dizelskom motoru.

2.8. Sustav hlađenja motora i prijelaz topline

Sustav hlađenja motora s unutarnjim izgaranjem ima ulogu regulacije radne temperature motora, da ne bi došlo do pregrijavanja istog. „Sustav hlađenja osigurava posredno ili neposredno hlađenje cilindara i njihovih poklopaca. Slijed tog procesa teče ovako:

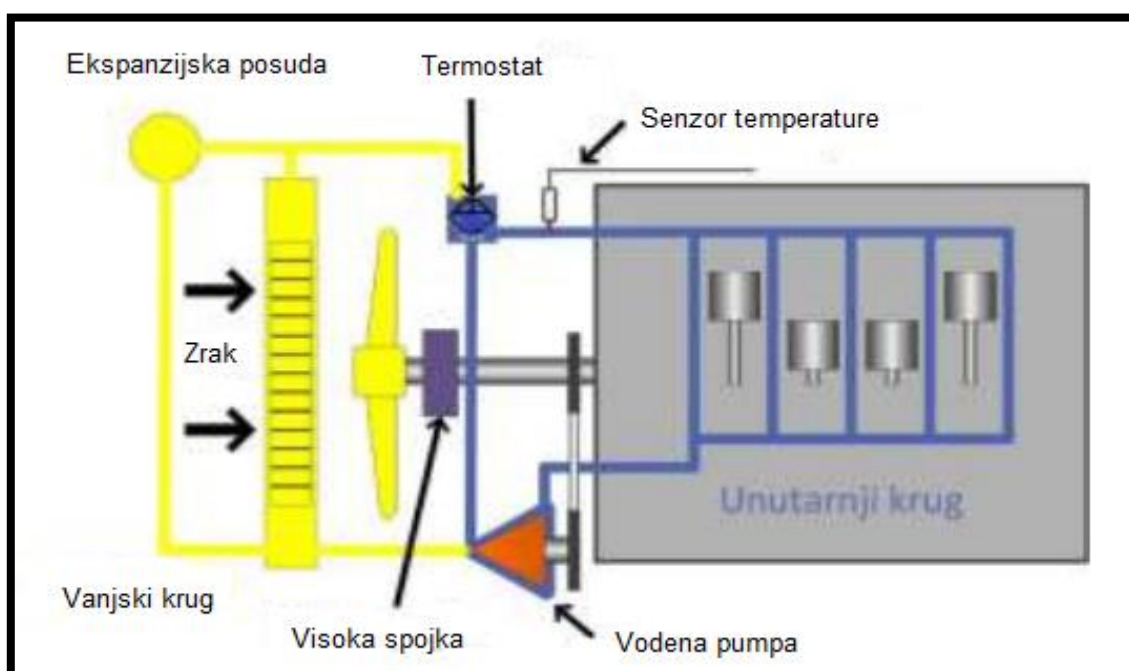
- Pri posrednom hlađenju motora na vozilima toplinu preuzima voda koja se hladi zrakom, dok se pri neposrednom hlađenju toplina izravno predaje zraku.
- Za cirkulaciju rashladne vode potrebne su pumpe, a za cirkulaciju zraka ventilatori.
- Pumpe i ventilatori tjerani su na vozilima koljenastim vratilima.
- Za reguliranje protoka rashladne vode ugrađuju se termostati koji omogućuju smanjivanjem protoka vode brzo zagrijavanje motora pri njegovu upućivanju.
- Kad se motor u pogonu zagrije, termostat dopušta veći protok vode.“²²

²¹ MLR: Engines eBook, MLR: Engines Study Guide, Melior, 2013., str. 7., dostupno na: <https://www.lee.k12.al.us/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=9136&dataid=5066&FileName=MLR-Engines-eBook.pdf> (29.01.2023.)

²² Hrvatska tehnička enciklopedija, *Motori s unutarnjim izgaranjem*, op.cit., str. 48.

Sustav hlađenja motora s unutarnjim izgaranjem čine dijelovi koji su prikazani na slici 8. Slijedom slike 8. dijelove sustava hlađenja motora s unutarnjim izgaranjem čine: ekspanzijska posuda, termostatski ventil, senzor temperature, visoka spojka (hladnjak), te vodena pumpa, a takvi dijelovi su spojeni međusobno sa unutarnjim i vanjskim krugom. Takvim krugovima upravlja termostat.

Slika 8.: Sustav hlađenja motora s unutarnjim izgaranjem

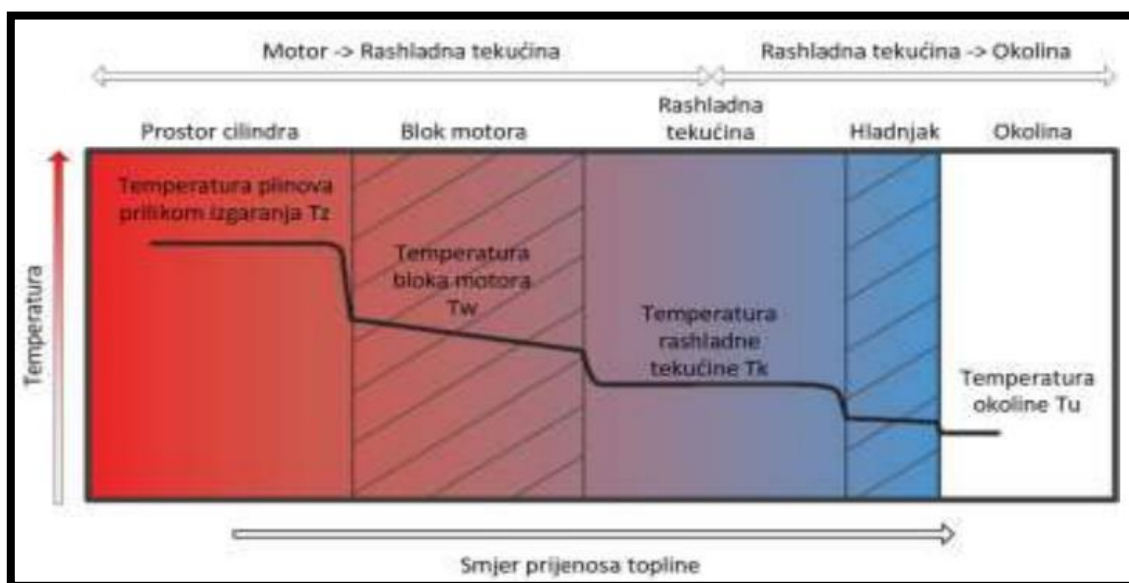


Izvor: Izrada autora prema: Markulija, M., Kalamari, D., Kovačić, M., *Ušteda u sustavu hlađenja motora hibridnoga vozila*, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu Vol. 11, No. 2, 2020., str. 4., dostupno na: www.hrcaak.srce.hr (28.01.20223.)

Ono po čemu je sustav hlađenja karakterističan je to da se u njemu odvija prijenos topline iz radnog dijela cilindra do okoline. Ciklus takvog prijelaza prikazan je na slici 9.

Prema prikazanoj slici 9. do prijenosa topline iz radnog dijela motora dolazi pomoću rashladne tekućine. Najprije u radnom dijelu motora, u prostoru cilindra, dolazi do rasta temperature plinova prilikom izgaranja.

Slika 9.: Prijenos topline iz radnog dijela cilindra do okoline



Izvor: Markulija, M., Kalamari, D., Kovačić, M., *Ušteda u sustavu hlađenja motora hibridnoga vozila*, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu Vol. 11, No. 2, 2020., str. 4., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (28.01.20223.)

Nakon rasta temperature plinova prilikom izgaranja, temperatura se snižava kroz blok motora, te rashladna tekućina prolazi kroz hladnjak. Hladnjak ima ulogu prijenosa topline s rashladne tekućine u okolinu.

2.9. Sustav podmazivanja

Da bi motor mogao pravilno raditi njegovi dijelovi i površine trebaju biti podmazani. Takvi dijelovi su pokretni te čine sustav podmazivanja motora. U podmazivanju se koristi ulje, kojemu je uloga smanjenje trenja, trošenja između pokretnih dijelova i odvođenje topline. Pokretnim dijelovima se mora isporučiti dovoljna količina ulja, pod tlakom, primjerice osovinama klipnjača i glavnog ležaja, da ne bi došlo do zaglavljivanja motora već u početku njegova rada. Dijelovi koje se još trebaju podmazivati su radilice ili bregasta vratila, podizači ventila, stijenke cilindra, zatezači lanaca te drugi dijelovi. Postoji više vrsta sustava za podmazivanje, a razlikuju se po načinu podmazivanja.

Postoje slijedeći sustavi podmazivanja:

- „tlačno kružno podmazivanje – s mokrim i suhim karterom,
- podmazivanje uljem iz goriva – koristi se isključivo za dvotaktne motore. Najjednostavniji je način podmazivanja, kod kojeg se ulje miješa s gorivom u omjeru 1 : 20 do 1 : 100 (5 do 1 %),
- podmazivanje svježim uljem – iz posebnog spremnika svježe ulje vodi se svakom pojedinom mjestu koje je potrebno podmazivati u točno određenoj količini za momentalnu upotrebu. Ovaj sustav koristi se kod nekih motorkotača s dvotaktnim motorima.“²³

Slijedom slike 10., na kojoj je prikazan tlačni kružni sustav podmazivanja motora, vidi se da sustav tlačnog podmazivanja motora čine senzor tlaka ulja, hidraulična čašica, vakuum pumpa (sprječava visoku viskoznost ulja), filter ulja (služi za pročišćavanje nečistoća iz ulja), nadstrujni ventil, pretlačni ventil i pumpa ulja. Tlačno kružno podmazivanje motora podrazumijeva korištenje ulja kao maziva između rotirajućih brtvi, pod tlakom (lijeva brtva), do vrijednosti koja je jednaka ili veća od tlaka procesne tekućine (desna brtva), a cilj je na pravilan način usmjeriti brtve da ne bi došlo do njihovog habanja.²⁴ Kada tlak procesne tekućine brzo raste tada tlaku maziva treba vremena da dosegne rotacijske brtve, pa dolazi do tlačnog kašnjenja, što može rezultirati nepoželjnim stanjima, poput iskrivljenja rotacijske brtve. Da ne bi došlo do toga potrebno je primijeniti dodatnu silu na klip, putem hidrauličnog pojačanja koje utječe na davanje maziva brtvi pod rastućim tlakom procesne tekućine.

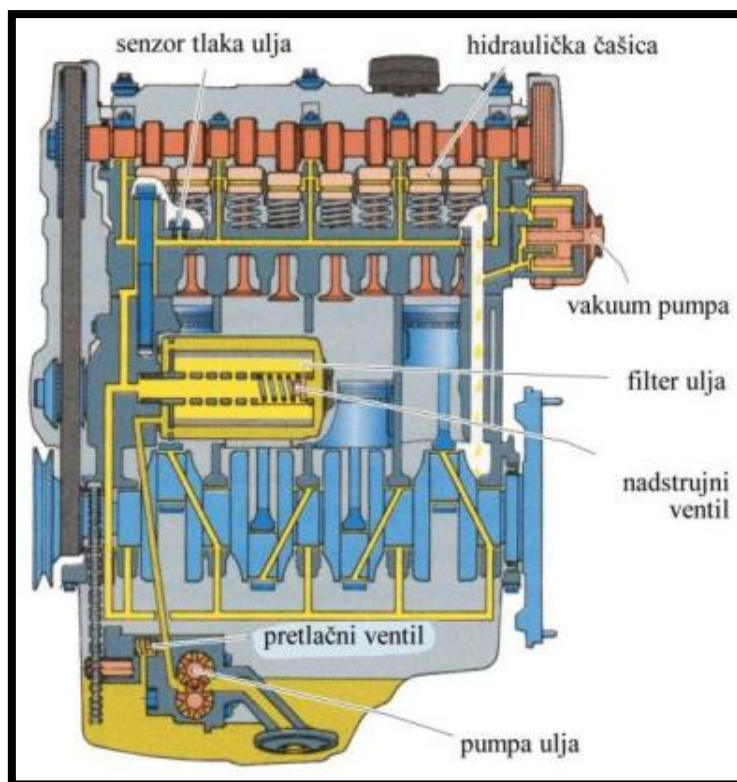
Tlačno kruženje podmazivanje sa suhim karterom je sustav podmazivanja kod kojeg se motor i pumpa podmazuju bez uranjanja u tekućinu (suho mu je korito), po čemu se i razlikuje od podmazivanja sa mokrim karterom. Prednost podmazivanja sa suhim karterom je da se kućište motora ne puni mazivom, čime dolazi do povećanja učinkovitosti motora. Drugim riječima, pohrana hidrauličke tekućine koja se koristi za podmazivanje nastaje u vanjskom spremniku, pri čemu električna pumpa uklanja

²³ Sustav podmazivanja, Industrijsko obrtnička škola Pula, Pula, 2020., dostupno na: <http://ss-ios-pu.skole.hr/upload/ss-ios-pu/images/static3/601/File/2a%2020.3.2020%20Sustav%20podmazivanja%201s.pdf> (29.01.2023.)

²⁴ Seals, K., *Chapter 11: Reservoirs for pressurized seal lubricant*, Kalsi Engineering, Inc., 2020., str. 8., dostupno na: https://www.kalsi.com/handbook/D11_Lubricant_reservoirs_for_Kalsi_Seals.pdf (29.01.2023.)

tekućinu iz kućišta motora te osigurava veći tlak tekućini i vraćanje ulja u motore i pumpu.²⁵ Takvi sustavi podmazivanja se primjenjuju u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji (osobna i teretna vozila četverotaktnih motora).

Slika 10.: Sustav podmazivanja – tlačno kružno podmazivanje motora



Izvor: Sustav podmazivanja, Industrijsko obrtnička škola Pula, Pula, 2020., dostupno na: <http://ss-ios-pu.skole.hr/upload/ss-ios-pu/images/static3/601/File/2a%2020.3.2020%20Sustav%20podmazivanja%201s.pdf> (29.01.2023.)

Ono što je veoma važno za sustave podmazivanja motora s unutarnjim izgaranjem je to da se ulje s vremenom troši. Stoga je potrebno voditi računa o njegovom dolijevanju te ga nakon određene kilometraže promijeniti.

²⁵ Kalinowsky, P., Romanelli, M., Schweitzer, B., Dry Sump Lubrication of a Hydraulic Motor – Final Report Moskalik, National Vehicle and Fuel Emissions Lab, 2007., str. 4., dostupno na: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/57946/me450f07project16_report.pdf;sequence=1 (29.01.2023.)

2.10. Sustav paljenja motora sa unutarnjim izgaranjem

Sustav paljenja u motorima s unutarnjim izgaranjem je veoma važan za učinkovitost rada motora, te za učinkovitu regulaciju emisija štetnih plinova, pa svaki konvencionalni sustav paljenja znači paljenje svjećicom kod kojeg se energija pohranjuje u magnetnoj zavojnici, a do njenog ispuštanja dolazi kroz razmak između elektroda svjećice (nalazi se u području komore za izgaranje).²⁶ Ono što je bitno je to da u trenutku paljenja sastav mješavine zraka i goriva oko razmaka svjećice treba biti primjeren, da bi mogla nastati jezgra plamena u komori za izgaranje. Rad svjećice je u komori za izgaranje otežan ukoliko je smjesa zraka i goriva siromašna, pa tada može doći do nepotpunog izgaranja ili nemogućnosti paljenja. Danas su zbog toga razvijene aktivnosti paljenja svjećicom koja je opremljena Plazma paljenjem sa radiofrekvencijskim sustavom (RFSI), koji predstavlja inovativan uređaj za paljenje modernih motora s unutarnjim izgaranjem. Prednosti su mu vidljive kroz učinkovitost rada motora te kroz pozitivan učinak smanjenja emisija ugljičnog monoksida. Nedostatak takvog sustava je povećanje emisija dušikovih oksida zbog visoke temperature u komori za sagorijevanje.

Općenito, proizvodnja topline dovodi do unutarnjeg izgaranja smjese goriva i zraka. Kod dizel motora do paljenja dolazi pri visokoj kompresiji tlaka za paljenje smjese zraka i goriva, uz pomoć žarnica, dok kod benzinskih motora hlapljiva goriva zahtijevaju iskru za paljenje, putem protoka struje visokog napona kroz zračni prostor raspoređene svjećice, a takav proces se naziva elektromagnetna indukcija kod koje se preko zavojnice žice (zavojnice paljenja) provodi elektricitet.²⁷ Zavojnica paljenja motora s unutarnjim izgaranjem prikazana je na slici 11. Pri rastu napona u zavojnici dolazi do preskakanja razmaka svjećice, čime nastaje paljenje smjese zraka i goriva, a zatim dolazi do izgaranja i pokretanja. Induciranje napona iz primarne u sekundarnu zavojnicu uključuje korištenje magneta, koji predstavljaju jedan od pouzdanih izvora paljenja, bez potrebe za baterijom.

²⁶ Mariani, A., Foucher, F., *Radio frequency spark plug: An ignition system for modern internal combustion engines*, HAL, Applied Energy, 2014., 122 (3), dostupno na: <https://hal.science/hal-01233977/document> (29.01.2023.)

²⁷ Steele, A., *How The Internal Combustion Ignition System Works, Initiating Combustion*, Motor Trend, 2016., dostupno na: <https://www.motortrend.com/features/1602-how-the-internal-combustion-ignition-system-works/> (29.01.2023.)

Iskra svjećice se distribuira preko razdjelnika sustava koji je usmjeren na bregasto vratilo četverotaktnog motora, te na pokretanje istog. Na razdjelniku se nalazi rotor koji svojom vrtnjom isporučuje iskru do priključka žice svjećice cilindra. Takav sustav je sustav paljenja sa razdjelnikom.

Slika 11.: Zavojnica paljenja

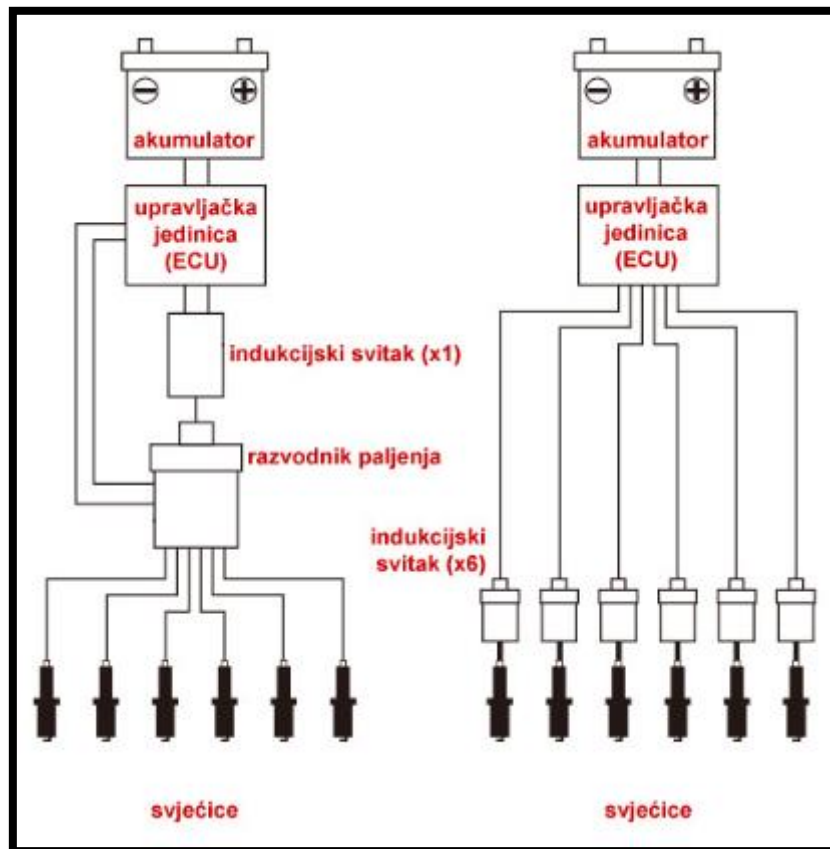


Izvor: Steele, A., *How The Internal Combustion Ignition System Works, Initiating Combustion*, Motor Trend, 2016., dostupno na: <https://www.motortrend.com/features/1602-how-the-internal-combustion-ignition-system-works/> (29.01.2023.)

Postoji i sustav paljenja bez razdjelnika (engl. Distributorless Ignition System – DIS). Na slici 12. prikazana je razlika između elektronički kontroliranog sustava paljenja s razvodnikom i DIS sustava. Kod suvremenih elektroničkih sustava paljenja s razvodnikom, razvođenje napona se vrši u „primarnom krugu (niskog napona), pa se niskonaponski puls tako dovodi do pojedinačnih indukcijskih (visokonaponskih) svitaka koji su raspoređeni po jedan za svaku svjećicu ili po jedan za svaka dva cilindra. Indukcijski svitak DIS sustava može imati ovako postavljene indukcijske svitke: "jedan indukcijski svitak - jedna svjećica" - najčešće su postavljeni svaki uz svoju svjećicu (vrlo blizu ili izravno povezani sa svjećicom)."²⁸ Upravo je navedeni primjer postavljenih indukcijskih svitaka (jedan svitak – jedna svjećica) prikazan na slici 12.

²⁸ Autonet – hrvatski automobilski internet magazin, *Elektronički sustav paljenja*, 2013., dostupno na: <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/elektronicko-paljenje> (19.01.2023.)

Slika 12.: Elektronički kontrolirani sustav paljenja s razvodnikom (lijevo) i DIS sustav (desno)



Izvor: Autonet – hrvatski automobilski internet magazin, *Elektronički sustav paljenja*, 2013., dostupno na: <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/elektronicko-paljenje> (19.01.2023.)

Kod DIS-a se vidi paket zavojnica kojima su načela rada ista, jedna zavojnica – jedna svjećica, te uključuje modul paljenja sa svakim sklopom svitka, a unutar takvog modula paljenja dolazi do otvaranja i zatvaranja primarnog kruga.

2.11. Budućnost motora sa unutarnjim izgaranjem

Motori s unutarnjim izgaranjem danas prednjače u njihovoj uporabnoj praksi u odnosu na sve popularnije električne automobile. Ono što je sigurno je činjenica da će u skorijoj budućnosti i dalje dominirati, bez obzira na napredak tehnologije, ali što donosi daleka budućnost to je nepredvidljivo. Motori s unutarnjim izgaranjem imaju jako dobre vozne karakteristike i pouzdanost za milijune cestovnih vozila, a na

godišnjoj razini se proda oko 16 milijuna novih vozila koja imaju pogon na motor s unutarnjim izgaranjem, a koja su odgovorna za oko 85 % potrošnje nafte na području SAD-a.²⁹ S ciljem smanjenja potrošnje nafte, pa sa time i smanjenja emisija ispušnih plinova, cilj je povećati učinkovitost motora s unutarnjim izgaranjem.

S pojavom nove tehnologije unaprijeđeno je istraživanje i razvoj motora, smanjeni su troškovi te vrijeme prodora na tržišta naprednih motora temeljena na znanstvenoj simulaciji i računalstvu visokih performansi za dizajn motora. Trenutno se zbog rješenja smanjenja intenziteta ugljika u prometu, na globalnoj razini, strategije elektrifikacije smatraju razumnima, pa se uvode baterijska električna vozila (BEV), te vozila na vodikove gorive ćelije (H2FCV), koja su karakteristična po neopremljenosti motorima s unutarnjim izgaranjem. Međutim, sve i da se provede agresivna elektrifikacija prometnog sustava, tržište će se još desetljećima oslanjati na korištenje tekućih goriva i na korištenje motora s unutarnjim izgaranjem, uključujući i uvođenje hibridno-električnih vozila (HEV) i plug-in hibrida, kao tehnologija električnih vozila (PHEV).³⁰ U Tablici 2. prikazane su opcije za poboljšanje potrošnje goriva motora sa unutarnjim izgaranjem do 2030. godine, na temelju razvoja tehnologije.

Slijedom prikazane tablice 2. tehnologijama i tehnološkim paketima se u budućnosti, do 2030. godine, nastoji smanjiti potrošnja maziva, smanjiti trenje motora, ohlađenu recirkulaciju ispušnih plinova i smanjiti turbo punjene (17 – 18%), smanjiti korištenje motora s izravnim ubrizgavanjem s etanolom (20 %), dvogorivna vozila na komprimirani prirodni plin – benzin (43 %), električno potpomognut kompresor s promjenjivom brzinom (za 26 %), namjensku recirkulaciju ispušnih plinova (za 10 %), smanjiti benzin, kompresijsko paljenje s izravnim ubrizgavanjem za 5 %, smanjiti homogeno kompresijsko paljenje punjenja (HCCI) za 3 %, te druge navedene opcije koje su prikazane u navedenoj tablici 2.

²⁹ U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engines, Quadrennial Technology Review 2015., Chapter 8: Advancing Clean Transportation and Vehicle Systems and Technologies, Technology Assessments*, 2015., str. 1., dostupno na: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/11/f27/QTR2015-8C-Internal-Combustion-Engines.pdf> (30.01.2023.)

³⁰ Fuels Institute, *Future Capabilities of Combustion Engines and Liquid Fuels*, 2022., str. 2., dostupno na: <https://www.fuelsinstitute.org/wp-content/uploads/2022/12/FutureCapabilitiesofCombustionEnginesandLiquidFuels.pdf> (30.01.2023.)

Tablica 2.: Opcije za poboljšanje potrošnje goriva motora s unutarnjim izgaranjem do 2030. godine

| Tehnologija/tehnološki paket | Smanjenje potrošnje goriva (u %) |
|--|----------------------------------|
| Poboljšana maziva, manje trenje motora, promjenjivo vrijeme ventila i podizanje, izravno ubrizgavanje, ohlađena recirkulacija ispušnih plinova i smanjenje/turbo punjenje. | 17 – 18 (kombinirano) |
| Veći omjer kompresije s trenutnim običnim benzinom | 3 |
| Veći omjer kompresije s većim oktanskim brojem običnog benzina | 5 |
| Visoki omjer kompresije s pročišćavanjem ispušnih plinova i izravnim ubrizgavanjem (Mazda-Skyactiv) | 10 |
| Električno potpomognut kompresor s promjenjivom brzinom | 26 |
| Slabo sagorijevanje olakšano gorivom s niskim sadržajem sumpora | 5 |
| Dvogorivno vozilo na komprimirani prirodni plin-benzin | 43 |
| Motori s izravnim ubrizgavanjem s etanolom | 20 |
| Promjenjivi omjer kompresije | 5 |
| Namjenska recirkulacija ispušnih plinova | 10 |
| Homogeno kompresijsko paljenje potpomognuto iskrom (SI-HCCI) | 5 |
| Benzin, kompresijsko paljenje s izravnim ubrizgavanjem | 5 |
| Oporaba otpadne topline | 3 |
| Homogeno kompresijsko paljenje punjenja (HCCI) (poznato i kao izgaranje pri niskim temperaturama) | 5 |
| Visokooktanski benzin – 87 AKI (91 RON) povećan na 91 AKI (95 RON) | 3-5 |

Izvor: Izrada autora prema: Fuels Institute, *Future Capabilities of Combustion Engines and Liquid Fuels*, 2022., str. 6., dostupno na: <https://www.fuelsinstitute.org/wp-content/uploads/2022/12/FutureCapabilitiesofCombustionEnginesandLiquidFuels.pdf> (30.01.2023.)

U budućnosti je potrebno uz pomoć tehnoloških rješenja utjecati na slijedeće prepreke vezane za motore s unutarnjim izgaranjem:³¹

- Prepreke neprimjerenog razumijevanja osnova procesa izgaranja, odnosno nastanka emisija u cilindru i neprimjerene sposobnosti njihove točne simulacije. Također, je potrebno bolje razumjeti sposobnost i predviđanja iskorištavanja i prilagođavanja učinaka sastava goriva.
- Utjecati na nedostatak kontrole emisija s ciljem ispunjavanja standarda Agencije za zaštitu okoliša od emisija dušikovih oksida.
- Utjecati na povećanje praktičnog iskustva s novim niskotemperaturnim katalizatorskim procesima za kontrolu emisije motora.
- Nastojati integrirati računalne modele za kontrolu i emisije koje opterećuju vozilo, te na takav način predvidjeti i načine za poboljšanje uštede goriva. Integracijom znanja i tehnologija u sustavu vozila postigla bi se ušteda goriva zbog rješavanja pitanja kontrole, trajnosti i cijena u režimima izgaranja teških motora, kod velikih putničkih vozila koja svakodnevno prelaze velike udaljenosti.
- U budućnosti se očekuje da će napredni motori biti skuplji od konvencionalnih benzinskih motora, pa će biti i veći trošak učinkovitijih ICE tehnologija, koji će biti nadoknađen prednostima.

Brojni proizvođači su danas okrenuti elektrifikaciji vozila, tim više jer su se postrožili zakoni na globalnoj razini, vezani uz očuvanje okoliša, odnosno vezani uz ekološka pitanja. U budućnosti se može očekivati još veći presing na proizvođače da ulažu u poboljšanje ICE motora s ciljem smanjenja potrošnje goriva i zbog smanjenja štetnih emisija.

³¹ U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engines, Quadrennial Technology Review 2015.*, op.cit., str. 2.- 3.

3. REPARACIJA MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM

U ovom poglavlju će biti riječi o reparaciji motora s unutarnjim izgaranjem. Najprije se navedeni pojam definira te se objašnjava postupak popravka oštećenih dijelova, metode reparacije automobila: magnetna detekcija greške za provjeru radilice, dekarbonizacija, metoda popravka „kupovina sačmarice“, metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“, metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“, te se analiziraju tehnologije popravka motora s unutarnjim sagorijevanjem.

3.1. Reparacija motora s unutarnjim sagorijevanjem – definiranje i postupak popravka oštećenih dijelova

Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem je pojam koji se odnosi na popravak istih uslijed njihovih oštećenja, odnosno kvarova. Stoga se s tim pojmom povezuje pojam mehaničke dijagnostike motora s unutarnjim izgaranjem, koja uključuje njihovo ispitivanje, prepoznavanje problema rada motora, obavljanje preliminarnog pregleda motora i procjenu buke, kao i prekomjernu potrošnju ulja, problematiku tlaka zraka, izvođenja testova snage cilindra, kompresije motora, skidanja i stavljanja drugih dijelova i sl. Mehanička dijagnostika motora je potrebna zbog trošenja komponenti uslijed nepravilnog održavanja motora, raspuknuća brtvi te oštećenja unutarnjih dijelova motora poput klipnih prstenova, ležajeva i komponenti usisnog i ispušnog ventila, te dr.³² Takva oštećenja dovode do potrebe za reparacijom ili popravkom. Tokom popravka se vrše usluge servisiranja kojima je cilj rješavanje mehaničkih problema. Često se kvarovi dešavaju nakon popravaka jer usluge nisu pružene na odgovarajući način, pa je potrebno voditi računa o sastavljanju i pričvršćivanju komponenti na primjeren način (stavljati komponente na ispravan način, na pravo mjesto, ne stiskati i ne pretjerano pričvršćivati, jer tada može doći do puknuća, curenja tekućina, pa sve do velikih kvarova motora).

³² MLR: Engines eBook, Introduction to Engine Repair – Study Guide, Melior, 2007., str. 9., dostupno na: https://www.academia.edu/30176345/Introduction_to_Engine_Repair_Study_Guide (30.01.2023.)

Logičan pristup dijagnostici može pomoći u razumijevanju rada motora, te na takav način utjecati na smanjenje vremena i pravilnog popravka motora. Za reparaciju motora najprije je potrebno utvrditi koji su uzroci kvarova, a za navedeno je potrebno kontaktirati stručne osobe (servise, tehničare, mehaničare) koje će utvrditi nenormalnost rada. Tijekom preliminarnog pregleda motora vrši se vizualni pregled, traže se izvori curenja, osluškuju se zvukovi koje motor proizvodi, analiziraju se mirisi koji nastaju uslijed kvarova te dr. „Ako se motor treba predati na popravak, tada se sve jedinice prvo moraju ukloniti kako bi se naknadno ugradile istim redoslijedom kao i kod samostalnog remonta. Ove jedinice uključuju sljedeće:

- generator i nosači,
- sustavi smanjenja toksičnosti plinova,
- distributer paljenja, svijeća i visokonaponskih žica,
- termostat sa kućištem,
- pumpa za vodu,
- karburator,
- usisne i izlazne grane,
- filter za ulje,
- pumpa za gorivo,
- detalji nosača motora,
- ležaj sa mehanizmom kvačila.³³

Za popravak motora se mogu koristiti razne metode, te razne tehnologije. O navedenom će biti više u slijedećim poglavljima.

3.2. Metode reparacije motora automobila

Metode reparacije motora automobila su brojne. Za analizu su odabrane slijedeće metode reparacije automobila: magnetna detekcija greške za provjeru radilice, dekarbonizacija, metoda popravka „kupovina sačmarice“, metoda popravka „košuljica

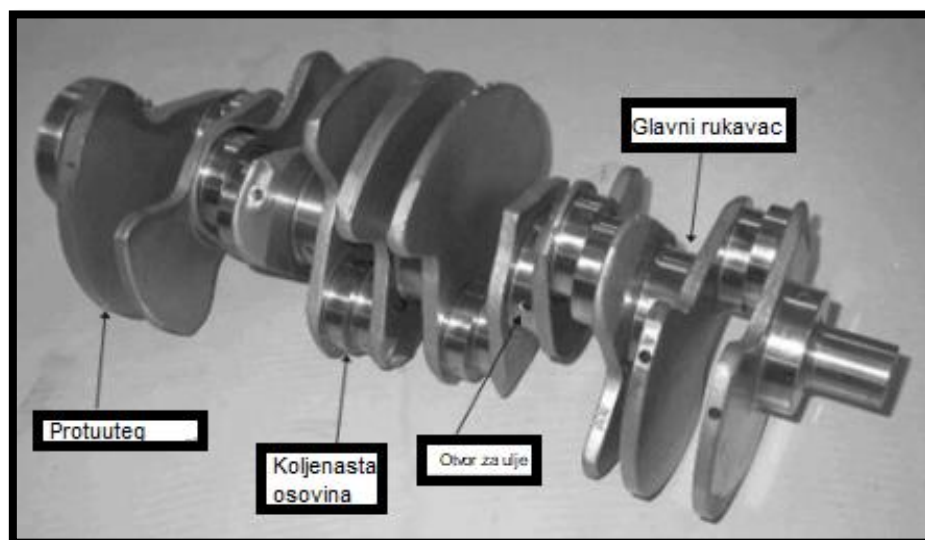
³³ Globusks, *Uradi sam remont motora. Učinite sami remont VAZ motora*, 2019., dostupno na: <https://globusks.ru/bs/kapitalnyi-remont-dvs-svoimi-rukami-kapitalnyi-remont/> (30.01.2023.)

bloka cilindra i izvorni klipovi“, te metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“.

3.2.1. Magnetna detekcija greške za provjeru radilice

Detekcija kvara ili greške radilice (koljenastog vratila, prikazanog na Slici 13.) je veoma važna metoda za osiguranje pouzdanosti rada i procesa izdvajanja značajki kvara.³⁴ Na slici 13. prikazana je radilica te njeni dijelovi, a čine ih protuuteg, koljenasta osovina, otvor za ulje, te glavni rukavac.

Slika 13.: Radilica (koljenasto vratilo)



Izvor: Izrada autora prema: Yamagata, H., The crankshaft, u *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines*, 2005., dostupno na:

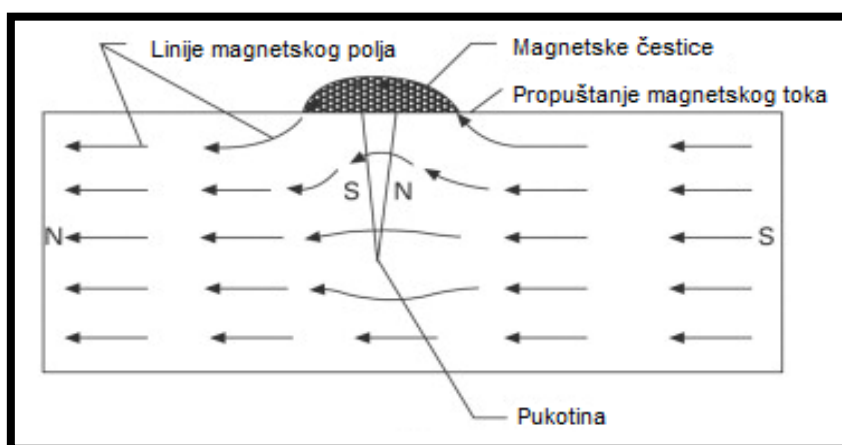
<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/crankshaft> (30.01.2023.)

Općenito oštećenja koljenastog vratila uključuju trošenje glavnog rukavca i rukavca klipnjače, slijedi oštećenje u obliku savijanja i torzija (pogreška kuta raspodjele

³⁴ Carrera-Avendaño, E., et. al., *Detection of crankshaft faults by means of a modified Welch-Bartlett periodogram*, Engineering Failure Analysis, Volume 132, 2022., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630721007998> (30.01.2023.)

koljenastog vratila koja dovodi do savijanja istog), pukotina (one nastaju između vrata vratila i koljenastog vratila, te između ugla i otvora za ulje) te dr. Takva oštećenja zahtijevaju remont koljenastog vratila, odnosno pregled istrošenosti i pukotina, te nastalih deformacija. Takav remont se može izvršiti metodom provjere pukotina magnetskim detektorima sile. Provjera magnetskim detektorima predstavlja metodu za otkrivanje pukotina na površini feromagnetskih materijala, a postupak se vrši magnetizacijom komponenti, na način da se površina oblaže malim magnetskim česticama preko željeznih strugotina. Na površinskim pukotinama se stvara polje u kojem magnetske čestice pokazuju mjesto napuknuća.³⁵ Navedeno objašnjenje magnetne detekcije grešaka (pukotina) radilice prikazane su na slici 14.

Slika 14.: Magnetna detekcija greške (pukotina) radilice



Izvor: Izrada autora prema: Mouritz, A. P (ed.) *Introduction to Aerospace Materials, Part 23 - Nondestructive inspection and structural health monitoring of aerospace materials*, Pages 534-557, Woodhead Publishing Limited, 2012., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/magnetic-particle-inspection> (30.01.2023.)

Ukoliko se magnetnom detekcijom ustanovi postojanje pukotina na radilici, tada je istu potrebno zamijeniti. Takve deformacije mogu utjecati štetno na rad motora, pa je veoma važno na vrijeme uočiti takva stanja da ne bi došlo do većih kvarova jer je

³⁵ Mouritz, A. P (ed.) *Introduction to Aerospace Materials, Part 23 - Nondestructive inspection and structural health monitoring of aerospace materials*, Pages 534-557, Woodhead Publishing Limited, 2012., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/magnetic-particle-inspection> (30.01.2023.)

koljenasto vratilo važna komponenta koja utječe na rad remenica na kojima se nalaze bregasta vratila, pumpa za vodu, alternator, te drugi dijelovi, te utječe na rad prigušnika vibracija, zamašnjaka (diska koji služi za pokretanje vratila, te koji smanjuje vibracije i na takav način utječe na rad motora).

3.2.2. Dekarbonizacija

Dekarbonizacija motora predstavlja metodu čišćenja naslaga ugljika iz tradicionalnih izvora goriva ICE motora, pa se danas isti pojam često spominje kada je riječ o održivoj tehnologiji i klimatskim promjenama, te propisima o očuvanju okoliša, u povezanosti sa razvojem automobila i smanjenjem potrošnje goriva. Naslage ugljika nastaju na glavi cilindra i na klipovima, pa je veoma važno njihovo uklanjanje zbog zadovoljavajuće funkcionalnosti motora, stoga se poseže za dekarbonizacijom koja utječe na poboljšanje goriva te na smanjenje buke i vibracija motora, pojavljuje se kroz dvije vrste metoda a to su ručna (fiziko struganje ugljika) i kemijska dekarbonizacija (vrši se dodavanjem otapala u naftna goriva, koja otapaju ugljik na usisnim ventilima, na svjećicama, mlaznicama za gorivo te na drugim mjestima).³⁶ Dekarbonizacija je potrebna kada se osjeti „tromost“ automobila uslijed taloženja ugljena, pri čemu se gubi na učinkovitosti goriva. Današnji motori zadovoljavaju standarde smanjenja onečišćenja, odnosno ograničene su emisije ugljičnog dioksida i drugih plinova, pa su u takvim okolnostima naslage ugljika minimalne, ali svejedno još uvijek prevladava potreba za dekarbonizacijom. U praksi se s ciljem održavanja motora od naslaga ugljika koristi aditiv za benzin (sprječava nakupljanje nusproizvoda izgaranja), pa se na takav način vrši dekarbonizacija bez potrebe za provođenjem cijelog kemijskog ili ručnog procesa.

Danas postoje uređaji za dekarbonizaciju motora, koji takav proces vrše bez oštećenja motora (ogrebotina), na veoma brz način, u trajanju do 90 minuta. Jedan od takvih uređaja, koji se koristi u 65 zemalja, a među njima je i Hrvatska, je nonCarbon uređaj, kao „najnovija neinvazivna francuska tehnologija dekarbonizacije nakon koje se poboljšavaju performanse motora, znatno smanjuju emisije čađi i štetnih plinova u

³⁶ Did You Know Cars, *A Beginner's Guide to IC Engine Decarbonization*, 2023., dostupno na: <https://didyouknowcars.com/a-beginners-guide-to-ic-engine-decarbonization/> (30.01.2023.)

atmosferu te se smanjuje potrošnja goriva. Osnovna misija proizvođača je na ekološki siguran i prihvatljiv način smanjiti potrošnju energije, optimizirati rad motora i minimizirati ugljični otisak koji je trenutno svjetski problem.“³⁷ NonCarbon uređaj za dekarbonizaciju je prikazan na slici 15.

Slika 15.: nonCarbon uređaj za dekarbonizaciju



Izvor: Marušić, Ž., *nonCarbon, uređaj za dekarbonizaciju motora, predstavljen u Osijeku*, Autoportal, 2021., dostupno na: <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/noncarbon-uredaj-za-dekarbonizaciju-motora-predstavljen-u-osijeku/> (31.01.2023.)

Uređaj nonCarbon je veoma fleksibilan za uporabu, a najčešće se koristi za čišćenje motora velikih vozila poput kamiona, gradskih autobusa, vozila policijskih djelatnika, poljoprivrednih strojeva, te plovila. Značajan je jer na veoma prihvatljiv, ekološki način, utječe na smanjenje štetnih emisija plinova u okoliš.

³⁷ Marušić, Ž., *nonCarbon, uređaj za dekarbonizaciju motora, predstavljen u Osijeku*, Autoportal, 2021., dostupno na: <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/noncarbon-uredaj-za-dekarbonizaciju-motora-predstavljen-u-osijeku/> (31.01.2023.)

3.2.3. Metoda popravka „kupovina udarnog bloka“

Metoda popravka motora je metoda koja podrazumijeva kupovinu „takozvanog shot bloka, odnosno bloka cilindra u kompletu s klipovima i radilicom. Na blok se stavlja glava bloka, kućište radilice, i drugi dodaci, te je motor spreman za uporabu.“³⁸ Shot blok prikazan je na slici 16.

Slika 16.: Shot blok



Izvor: Globusks, *Kako remontirati motor? Kako napraviti ispravan remont motora tako da bude bolji od nove Faze remonta motora*, 2019., dostupno na: <https://globusks.ru/bs/kapitalnyi-remont-dvs-svoimi-rukami-kapitalnyi-remont/> (30.01.2023.)

Takvi primjerci motora imaju svoje nedostatke, a tu se prvenstveno misli na visoku cijenu, odnosno skupoću njihovih dijelova. To posebno dolazi do izražaja kada dođe do oštećenja, poput pucanja bloka, što zahtjeva zamjenu.

³⁸ Globusks, *Kako remontirati motor? Kako napraviti ispravan remont motora tako da bude bolji od nove Faze remonta motora*, op.cit.

3.2.4. Metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“

Metoda popravka košuljice bloka cilindra i izvorni klipovi je metoda kod koje se dobrim odabirom materijala košuljice može utjecati na nepropusnost i na toplinu, pa ako se izvorna košuljica ulijeva u rastaljeni metal tada je moguća dobra montaža. „Izvorna skupina klipova nominalne veličine savršeno će raditi u takvom motoru. Moguće je postaviti samo oštećeni cilindar i time smanjiti troškove rada. Mnogo ovisi o vještini izvođača posla, te postojanja preciznih strojeva, tada je ova metoda jeftin način za obnovu motora.“³⁹ Ono na što je potrebno obratiti posebnu pažnju su moguće deformacije i kršenja geometrije prilikom toplinskog obrađivanja bloka cilindra, pa je najbolje sve cilindre namontirati odjednom i uz provrtanju korištenjem geometrije s baze bloka, a ne sa osi cilindra. Ukoliko dođe do potrebe za popravkom cilindra tada je poželjno koristiti metodu ugradnje s razmakom ili metodu hladne ugradnje košuljica s prešom.

3.2.5. Metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“

Za metodu popravka pod nazivom „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“ je karakteristično da se postavljaju prilagođeni klipovi, željene veličine, pa je tada riječ o „kovanju - klipovima dobivenim strojnom obradom od slijepog materijala dobivenog izotermičkim utiskivanjem. Takvi su klipovi osjetno jači od konvencionalnih lijevanih, no, kao i svaki pojedinačni rad, možda se neće pokazati najuspješnijim. Čak i klipovi renomiranog proizvođača zahtijevaju veći toplinski zazor zbog većeg koeficijenta širenja legura za kovanje i neuračunate toplinske deformacije.“⁴⁰ Ukoliko se želi održati duži vijek trajanja motora tada je potrebno obratiti pažnju na obradu cilindra i novih klipova, prstenova i njihovog trošenja.

³⁹ Nashipoezda, *ICE remont "uradi sam". Remont motora vlastitim rukama*, 2023., dostupno na: <https://nashipoezda.ru/hr/logging/kapitalnyi-remont-dvs-svoimi-rukami-kapitalnyi-remont-dvigatelya.html> (31.01.2023.)

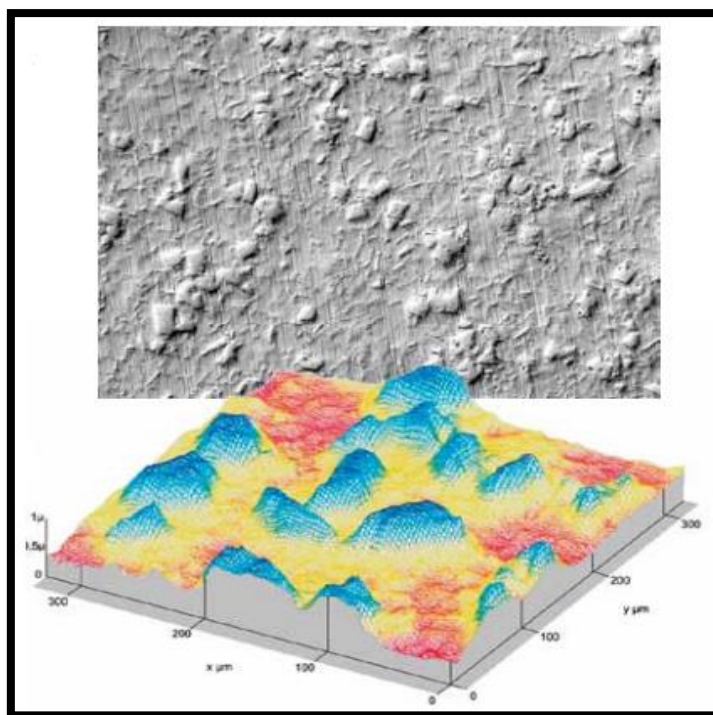
⁴⁰ Ibidem

3.3. Tehnologije popravka motora s unutarnjim sagorijevanjem

Tehnologije popravka motora s unutarnjim izgaranjem su brojne, a neke od njih su:

- Alusil tehnologije za proizvodnju blokova cilindara – predstavlja procese za proizvodnju aluminijskih blokova motora sa silikonom ojačanim cilindrom klizne površine. U tom procesu je cilj proizvesti čvrste i na habanje otporne površine cilindra korištenjem postupaka lijevanja i završne obrade kliznih površina cilindara.⁴¹ Na slici 17. prikazan je 3-D zapis hrapavosti gotovog Alusil-a klizne površine cilindra.

Slika 17.: 3 – D zapis hrapavosti gotovog Alusil-a klizne površine cilindra



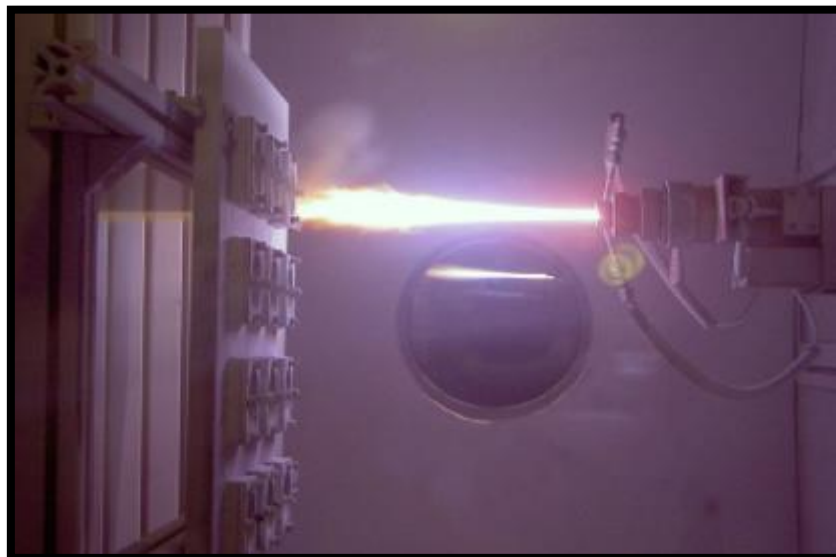
Izvor: Motor Service, KSPG Automotive Group, *Reconditioning of Aluminium Engine Blocks*, 2023., dostupno na: https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Reconditioning-of-Aluminium-Engine-Blocks_51912.pdf (31.01.2023.)

⁴¹ Motor Service, KSPG Automotive Group, *Reconditioning of Aluminium Engine Blocks*, 2023., dostupno na: https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Reconditioning-of-Aluminium-Engine-Blocks_51912.pdf (31.01.2023.)

Ono što je važno kod Ausil tehnologije je to da zbog izbjegavanja izravnog kontakta između aluminija, klipova i klipnih prstenova, susjedna aluminijska matrica treba biti izložena samo nekoliko 1/1000 mm tijekom procesa završne obrade cilindra. U tom postupku dolazi do nastanka šupljina između kristala silicija, koje služe zadržavanju ulja. Kristali silicija se koriste za visoku otpornost na trošenje površine cilindra.

- plazma prskanje/raspršivanje – predstavlja metodu nanošenja premaza toplinskim raspršivanjem koja je vrlo prikladna za taloženje metalno-keramičkih funkcionalno gradiranih prevlaka.⁴² Na slici 18. prikazano je nanošenje keramičke prevlake plazma sprejom na metalnu podlogu.

Slika 18.: Nanošenje keramičke prevlake plazma sprejom na metalnu podlogu



Izvor: Ruys, A. J., Sutton, B. A., *Metal-ceramic functionally graded materials (FGMs)*, u *Metal-Reinforced Ceramics*, Elsevier Series, 2021., dostupno na:

<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/plasma-spraying> (31.03.2023.)

⁴² Ruys, A. J., Sutton, B. A., *Metal-ceramic functionally graded materials (FGMs)*, u *Metal-Reinforced Ceramics*, Elsevier Series, 2021., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/plasma-spraying> (31.03.2023.)

- Raspršivanje metodom plazme se vrši velikom brzinom, pomoću plamenika za raspršivanje plazme unutar struje plina, koji ima mogućnost dodavanja premaznog praha. U pogledu motora s unutarnjim izgaranjem važan je Transient plazma sustav (engl. Transient Plasma Systems Inc. - TPS), jer je postigao novu prekretnicu testiranja motora s unutarnjim izgaranjem putem razvijenog sustava paljenja s nanosekundnom pulsnom plazmom za poboljšanje učinkovitosti goriva i smanjenje emisija stakleničkih plinova.⁴³ Koristi se kod cestovnih vozila na prirodan plin. Termična ravnotežna praksa je danas važna za kontrolu izgaranja kod ICE motora, a prije više od stotinu godina koristila se kod sustava paljenja svjećica. Primjena takve tehnologije je praktična jer pruža nove mogućnosti paljenja i stabilizacije plamena korištenjem plazme. Mehanizmi takvog djelovanja na plin uključuju zagrijavanje plina s ciljem oslobađanja energije, te nehomogeno zagrijavanje plina koje utječe na stvaranja turbulencija u zrakoplovima.⁴⁴ Danas postoje razne demonstracije paljenja putem plazme, a posebno se primjenjuje kod zrakoplovnih mlaznih motora.
- tehnologije provrta od lijevanog željeza – tu je riječ o postavljanju ploča provrta od lijevanog željeza, s ciljem poboljšanja performansi cilindra (od lijevanog željeza) ili spašavanja istog nakon njegovog radnog vijeka, na način da je cilindar veći od njegovog najvećeg klipa.⁴⁵ Takve ploče utječu na smanjenje trenja te na povećanje otpornosti od trošenja.

⁴³ Green Car Congress, *Transient Plasma Systems successfully completes multi-cylinder engine testing with nanosecond pulsed plasma ignition technology*, 2019., dostupno na: <https://www.greencarcongress.com/2019/08/20190821-tps.html> (31.01.2023.)

⁴⁴ Starikovskiy, A., Aleksandrov, N. L., *Plasma-Assisted Ignition and Combustion*, Progress in Energy and Combustion Science 39(1), u knjizi: Mulder, M. (ed.) *Aeronautics and Astronautics*, Intech Open, 2011., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/221916285_Plasma-Assisted_Ignition_and_Combustion (31.01.2023.)

⁴⁵ Millennium Technologies, *Cast Iron Services*, 2023., dostupno na: <https://www.millennium-tech.net/serviceInfo.php?id=29> (31.01.2023.)

4. PRIMJER IZ PRAKSE - MOTOR SA UNUTARNJIM IZGARANJEM PERKINS D 4.203

Motor s unutarnjim izgaranjem Perkins 4.203, je Dizel motor, predstavljen 1962. godine, te se koristi u širokom rasponu vozila. To je četverotaktni dizelski motor, s neizravnim i izravnim ubrizgavanjem, kojeg obilježava provrt od 91,48 mm s hodom od 127 mm, snaga od 58 KS pri 2000 o/min.⁴⁶ Nakon što nam je klijent uručio povjerenje, otvorili smo motor i skinuli blok motora. Na slici 19. je skinuti blok motora.

Slika 19.: Skinuti blok motora



Izvor: Obrada autora

Bilo je potrebno utvrditi uzrok kvara motora, odnosno razlog zašto je motor stao sa radom. Metode koje smo koristili za dijagnostiku bloka motora bile su vizualni pregled i tehničko mjerenje štapnom mjernom urom. Uvidom u stanje bloka motora opazili smo da su košuljice cilindara izgledom dosta crne, što se da naslutiti jer je došlo do trošenja košuljica cilindarskih provrta bloka motora.

⁴⁶ Perkins 4.203 Series, 2023., dostupno na: <https://www.parts4engines.com/perkins-4-203/> (30.01.2023.)

Pokazatelji kvara motora koje je naveo klijent bili su:

- velika potrošnja ulja,
- visoka razina dimljenja iz motora (što je vidljivo po velikoj čađi na košuljicama).
- motor je teško palio,
- motor nije imao snage, pa je jednostavno prestao sa radom.

Zbog navedenih pokazatelja kvara klijent se odlučio javiti stručnjaku, mehaničaru, da otkloni kvar. Na takav način je započela priprema za reparaciju vozila.

4.1. Mjerenje odstupanja na košuljicama cilindra i prešanje košuljica vani

Napravili smo tri mjerenja na košuljicama cilindra. Mjerenja su označena plavim markerom i vidljiva su na slici 20.

Slika 20: Izmjerena odstupanja istrošenosti na košuljicama cilindra označena plavim markerom



Izvor: Obrada autora

Prva faza je bila izmjeriti odstupanja na košuljicama cilindra, odnosno samu istrošenost svake košuljice cilindra bloka motora.

Prema tolerancijama maksimalna istrošenost košuljice cilindra smije biti 0,08 mm.

Uzeli smo mjernu uru i napravili prvo mjerenje na košuljici cilindra, kod prvog mjerenja odstupanje je bilo 0,17 mm istrošenosti košuljice cilindra.

Prvo mjerenje je vidljivo na slici 21.

Slika 21: Izmjereno prvo odstupanje istrošenosti na košuljici cilindra 0,17 mm



Izvor: Obrada autora

Zatim smo napravili drugo mjerenje istrošenosti na košuljici cilindra koje je pokazalo još veće odstupanje, a mjerenje je pokazalo odstupanje od 0,28 mm.

Drugo mjerenje vidljivo na slici 22.

Slika 22.: Izmjereno drugo odstupanje istrošenosti na košuljici cilindra 0,28 mm



Izvor: Obrada autora

Napravljeno je i treće mjerenje koje je pokazalo odstupanje od 0,45 mm istrošenost na košuljici cilindra. Treće mjerenje vidljivo na slici 23.

Slika 23.: Izmjereno treće odstupanje istrošenosti cilindra 0,45 mm

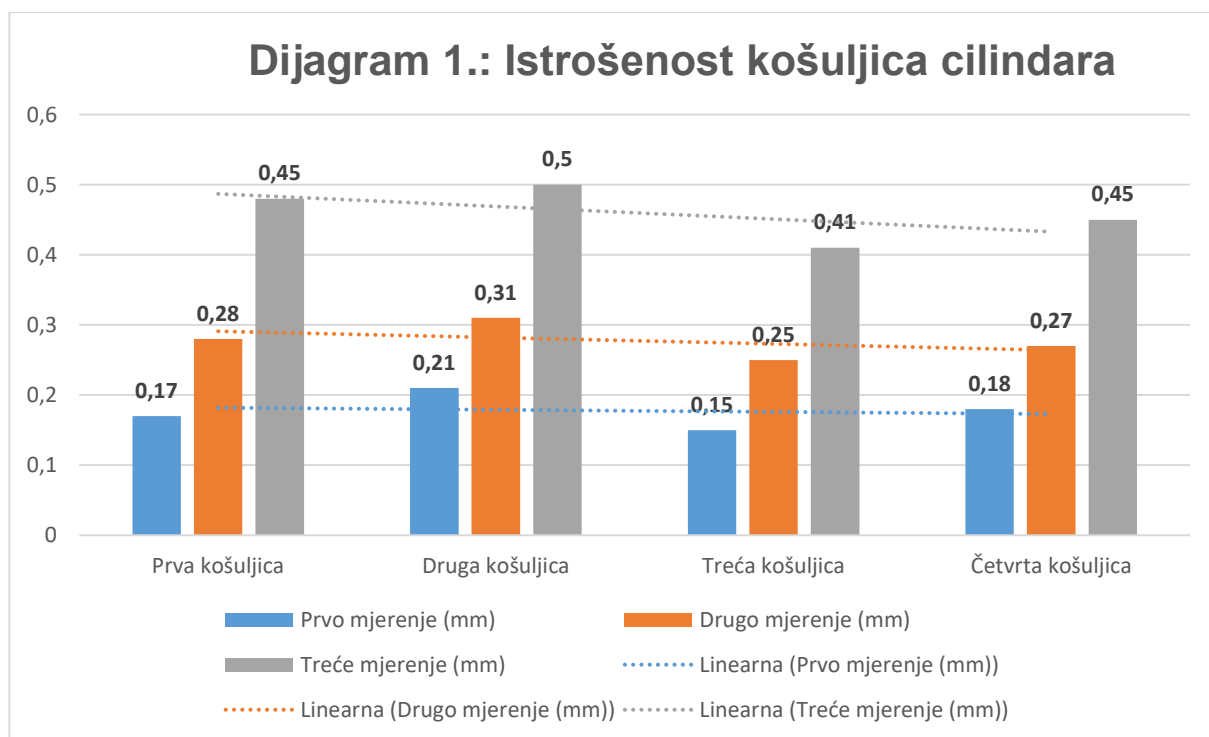


Izvor: Obrada autora

Tablica 3.: Istrošenost košuljica cilindara

| Mjerenja košuljica | Prva košuljica | Druga košuljica | Treća košuljica | Četvrta košuljica |
|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Prvo mjerenje (mm) | 0,17 | 0,21 | 0,15 | 0,18 |
| Drugo mjerenje (mm) | 0,28 | 0,31 | 0,25 | 0,27 |
| Treće mjerenje (mm) | 0,45 | 0,5 | 0,41 | 0,45 |

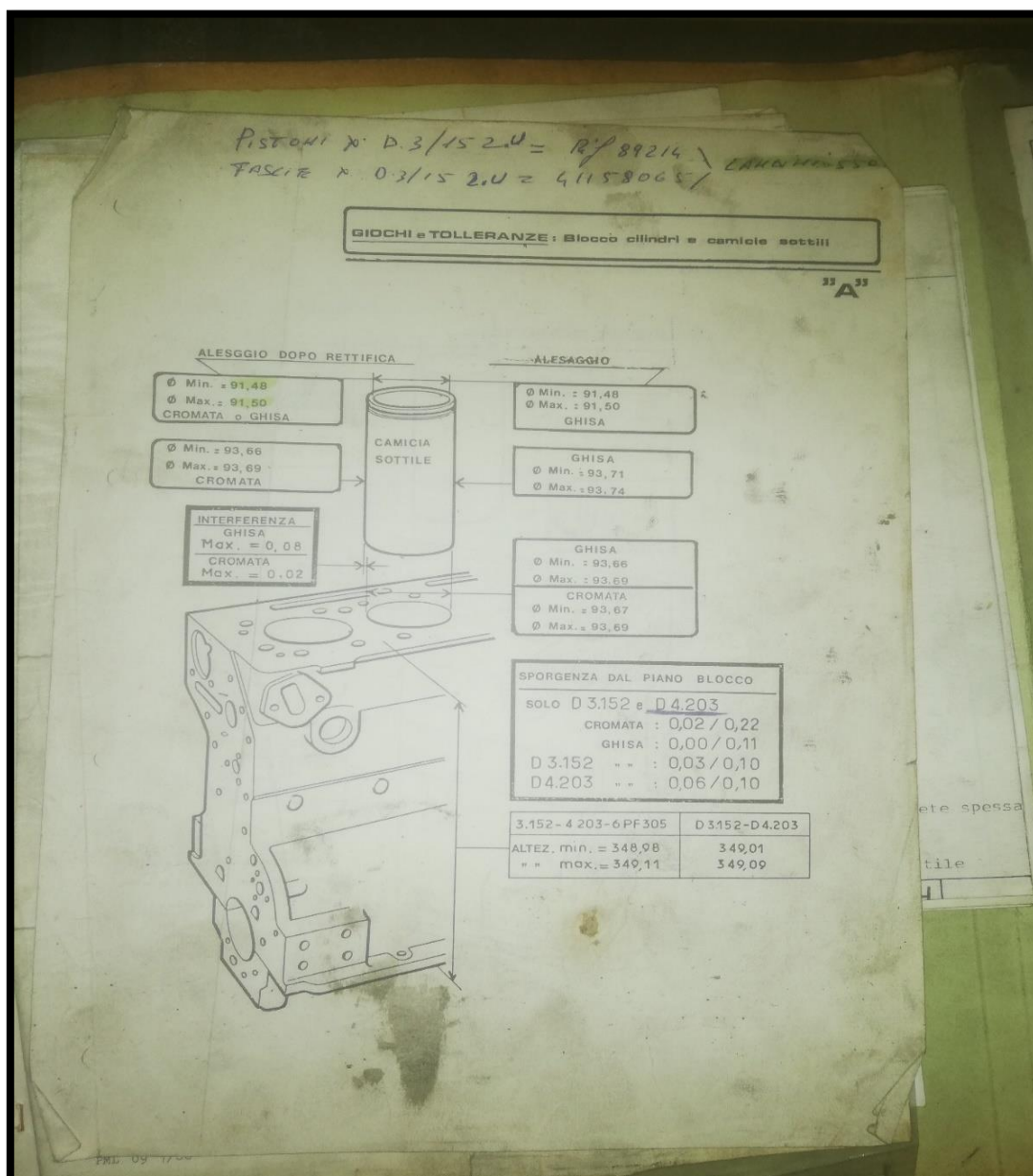
Izvor: Obrada autora



Izvor: Obrada autora

Nakon što smo mjernom urom izmjerili odstupanja na košuljicama cilindara i utvrdili prema dokumentaciji da tolerancija maksimalne istrošenosti košuljice smije iznositi 0,08 mm, prešanjem smo izbacili košuljice iz bloka motora. Dokumentacija o tolerancijama, vanjskih i unutarnjih promjera košuljica cilindara, te provrtima bloka motora vidljiva na slici 24.

Slika 24.: Dokumentacija o tolerancijama



Izvor: Obrada autora

4.2. Mjerenje preklopa košuljice cilindra i provrta bloka motora te prešanje unutra

Uzimanje mjere između košuljice cilindra i provrta bloka motora prije samog prešanja košuljice u cilindar bloka motora.

Mjeri se zračnost između provrta bloka i košuljice cilindra, odnosno mjeri se košuljica obuhvatnim mikrometrom i prenosi se mjera na štapnu mjernu uru.

Prvo smo mjernim mikrometrom izmjerili vanjski promjer po dužini i širini košuljice, te smo zatim mjeru prenijeli na štapnu mjernu uru i izmjerili preklop provrta cilindra bloka motora. Navedeno je vidljivo na slici 25. i 26.

Slika 25.: Mjerenje mjernim mikrometrom vanjskog promjera košuljice



Izvor: Obrada autora

Slika 26.: Prenošenje mjere vanjskog promjera košuljice sa mjernog mikrometra na štapnu mjernu uru



Izvor: Obrada autora

Izmjereni preklopi provrta cilindra bloka motora bili su kod prvog i drugog cilindra 0,03 mm i kod trećeg i četvrtog cilindra 0,04 mm. Vidljivo mjerenje preklopa košuljice i provrta bloka motora prikazano je na slici 27. i 28.

Slika 27.: Mjerenje preklopa košuljice i provrta bloka motora



Izvor: Obrada autora

Slika 28.: Izmjereni preklop košuljice i bloka motora 0,03 mm



Izvor: Obrada autora

Kada smo ustanovili da preklopa ima između košuljica cilindra i provrta bloka motora ide se na prešanjem košuljica cilindra u provrte bloka motora.

Nakon što smo završili sa prešanjem košuljica, tada se prešlo na ravnanje baze bloka motora.

Nakon toga uslijedio je korak tokarenja i honanja košuljica.

4.3. Ravnanje baze bloka motora, tokarenje i honanje cilindarskih košuljica

Nakon što je izvršeno prešanje cilindarskih košuljica u blok motora, pristupili smo ravanju baze bloka motora. Stroj za ravnanje baze bloka motora vidljiv na slici 29.

Slika 29.: Stroj za obradu baze bloka motora



Izvor: Obrada autora

Nakon što smo centralizirali bazu bloka motora pomoću mjerene ure nastupilo je ravnanje baze bloka motora. Nakon što smo bazu bloka motora izravnali, slijedeća faza je tokarenje cilindarskih košuljica. Izravната baza bloka motora i spremni cilindri za tokarenje vidljivi su na slici 30.

Slika 30.: Izravната baza bloka motora i cilindri spremni za tokarenje



Izvor: Obrada autora

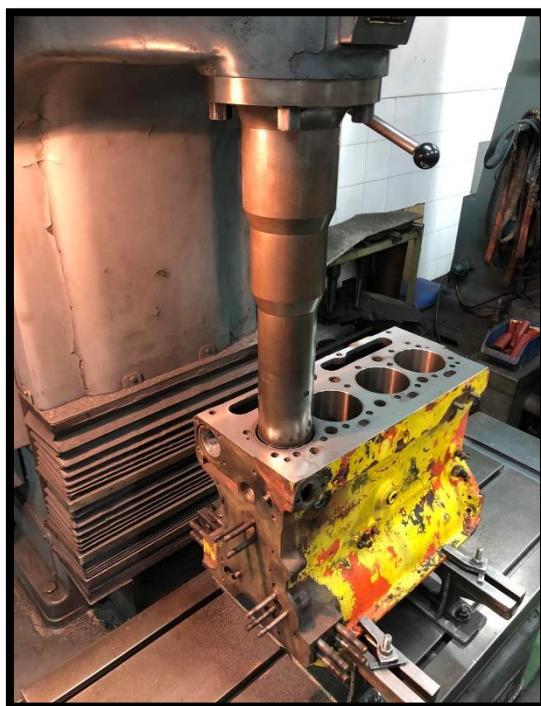
Tokarenje cilindarskih košuljica tokarilicom na mjeru 91,44 mm. Vidljiva glava tokarilice i nož slika 31., te sami ulaz glave tokarilice u košuljicu cilindra slika 32.

Slika 31.: Glava tokarilice i nož



Izvor: Obrada autora

Slika 32.: Ulaz glave tokarilice u košuljicu cilindra



Izvor: Obrada autora

U nastavku na slikama 33. i 34. prikazani su noževi i njihovi parametri u tablici 4.

Slika 33. i 34.: Noževi za obradu i parametri noža



Izvor: Obrada autora

Tablica 4.: Parametri noža za obradu

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| ap - dubina obrade | 0,4 mm |
| fn - broj okretaja obratka | 0,07 mm/r |
| vc - obodna brzina obratka | 130m/min |

Izvor: Obrada autora

Neke od parametara možemo izračunati prema slijedećim formulama.

Formula za posmak: $f = \frac{v_c}{n}$

f – posmak [mm/o]

v_c – brzina rezanja [m/min]

n – broj okretaja [min^{-1}]

Formula za brzinu rezanja koja se mjeri u metrima u minuti: $v_c = D \times \pi \times n$

v_c – brzina rezanja [m/min]

D – promjer obratka [mm]

n – broj okretaja obratka [min^{-1}]

Slijedeća faza nakon tokarenja košuljica na mjeru 91,44 mm trebalo je napraviti obradu honanjem. Nusproizvod tokarenja sa mjere 91,40 mm na mjeru 91,44 mm su strugotine prikazane na slici 35.

Slika 35.: Strugotine od tokarenja

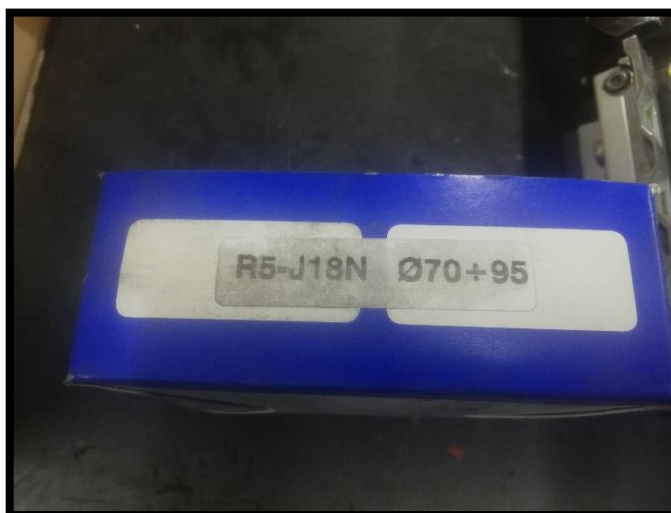


Izvor: Obrada autora

Blok motora se postavlja na stroj i pričvršćuje kako bi se izvršilo honanje cilindarskih košuljica alatom od kamena za honanje.

Ta fina obrada vrši se tim strojem i alatom iz razloga što kamen naliže cijelom plohom na cilindričnu površinu košuljice, pa je time obrada jako precizna i preporučljiva kod finih i završnih obrada. Što se tiče odabira kamena za honanje, odabran je R5 - J18N Ø 70÷95 (**R5** - Ø70mm - Ø95mm, **J** - silicij karbid, **18** - veličina zrna i **N** - finoća obrade), vidljivo na slici 36.

Slika 36.: Vrsta kamena za honanje



Izvor: Obrada autora

Honanjem je bilo potrebno još skinuti unutar košuljice 0,04 mm, stroj za honanje i kamen za honanje vidljivo na slici 37. i 38.

Slika 37.: Kamen za obradu honanjem



Izvor: Obrada autora

Slika 38.: Stroj za honanje



Izvor: Obrada autora

Također, pri honanju korišteno je polusintetičko ulje (slika 39.) koje služi za podmazivanje svih vrste alata, kao i za sve vrste brušenja.

Polusintetičko ulje obilježavaju slijedeće karakteristike:

- ne sadrži klor i sumpor,
- niskog je viskozitetu - omogućuje dobro hlađenje,
- ima visok postotak sintetičkih poboljšivača podmazivanja i
- omogućuje maksimalno dobro ispiranje čestica.

Slika 39.: Polusintetičko ulje za honanje



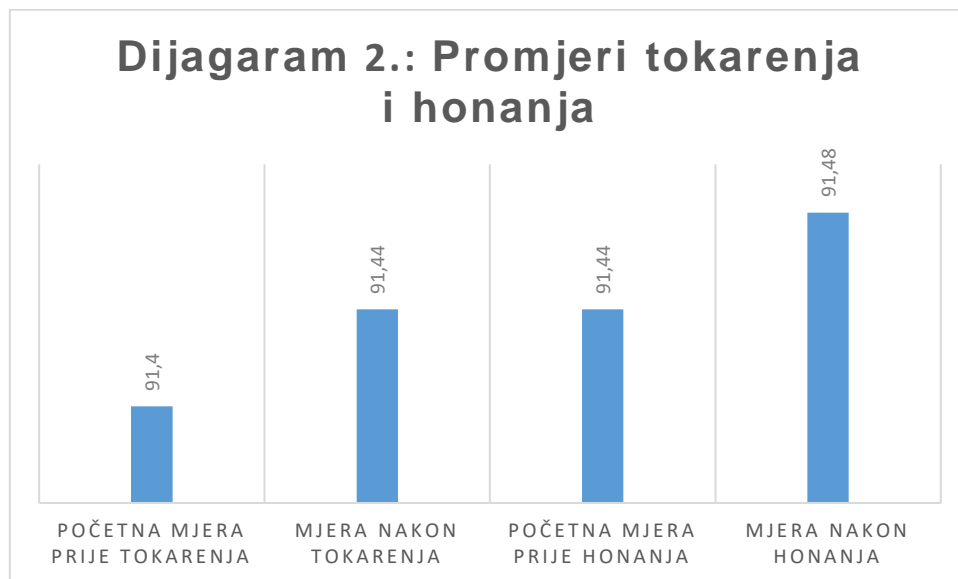
Izvor: Obrada autora

Nakon honanja košuljica za 0,04 mm i dobivene mjere 91,48 mm sklopili smo blok motora i završili smo sa reparacijom motora Perkins D 4. 203. U nastavku u tablici 4. i dijagramu 2., prikazane su mjere koje su dobivene tokarenjem i honanjem.

Tablica 5.: Promjeri nakon tokarenja i honanja

| Početna mjera prije tokarenja | Mjera nakon tokarenja | Početna mjera prije honanja | Mjera nakon honanja |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|
| 91,4 | 91,44 | 91,44 | 91,48 |

Izvor: Obrada autora



Izvor: Obrada autora

Vrijeme obrade tokarenjem trajalo je 15 minuta po košuljici, a vrijeme honanjem 12 minuta po košuljici. Ukupna cijena reparacije motora je 300,00 eura.

ZAKLJUČAK

Motori s unutarnjim izgaranjem su sveprisutni u životima ljudima, te predstavljaju strojeve kod kojih prevladava proces izgaranja i pretvaranja kemijske u mehaničku energiju goriva, na način da se oslobađa energija iz mješavine goriva i zraka. Postoje sljedeće vrste motora s unutarnjim izgaranjem: benzinski motori s paljenjem pomoću svječice, dizelski motor s paljenjem pomoću kompresije, te plinske turbine koje se najčešće koriste u zrakoplovima. Danas motori sa unutarnjim izgaranjem imaju dobru izdrživost i vozne karakteristike, pa ih koriste milijuni vozila diljem svijeta. Ono što je karakteristično za motore s unutarnjim izgaranjem je to da većina njih pripada četverotaktnim motorima kod kojih se ciklus sastoji od četiri hoda klipa. Razliku dizelskih i benzinskih motora čini način opskrbljivanja i paljenja goriva, pa kod benzinskih motora dolazi do miješanja goriva sa zrakom, uvođenja istog u cilindar, te se iskra zapali i dolazi do izgaranja, dok kod dizelskih motora dolazi do raspršivanja goriva u vrući kompromitirani zrak, koji pod primjerenom brzinom uzrokuje paljenje. S obzirom na rasprostranjenost primjene motora s unutarnjim izgaranjem danas su brojna istraživanja usmjerena na smanjenje emisija istih u okoliš (zagađivača poput dušikovih dioksida – NO_x i čestica – PM) s ciljem usklađivanja sa standardima EPA emisija, u čemu veliku ulogu imaju proizvođači. Problematika zagađivanja okoliša korištenjem goriva natjerala je proizvođače na pametnije aktivnosti koje uključuju korištenje čistih metoda proizvodnje energije, električna vozila koja utječu na uštedu goriva, pa na takav način i na očuvanje okoliša od onečišćenja. Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem je pojam koji se odnosi na popravak istih uslijed njihovih oštećenja, odnosno kvarova. Stoga se s tim pojmom povezuje pojam mehaničke dijagnostike motora s unutarnjim izgaranjem, koja uključuje njihovo ispitivanje, prepoznavanje problema rada motora, obavljanje preliminarnog pregleda motora i procjenu buke, kao i prekomjernu potrošnju ulja, problematiku tlaka zraka, izvođenja testova snage cilindra, kompresije motora, skidanja i stavljanja drugih dijelova i sl. Mehanička dijagnostika motora je potrebna zbog trošenja komponenti uslijed nepravilnog održavanja motora, raspuknuća brtvi te oštećenja unutarnjih dijelova motora poput klipnih prstenova, ležajeva i komponenti usisnog i ispušnog ventila, te dr. Takva oštećenja dovode do potrebe za reparacijom ili popravkom. Za popravak motora se mogu koristiti razne metode, te razne tehnologije. Metode reparacije motora

automobila su brojne. Za analizu su odabrane sljedeće metode reparacije automobila: magnetna detekcija greške za provjeru radilice, dekarbonizacija, metoda popravka „kupovina sačmarice“, metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“, te metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“. Tehnologije popravka motora s unutarnjim izgaranjem su brojne, a neke od njih su Alusil tehnologije za proizvodnju blokova cilindara, plazma prskanje/raspršivanje, tehnologije provrta od lijevanog željeza, te druge. Bez obzira na napredak tehnologije, u praksi su motori s unutarnjim izgaranjem najučinkovitiji način proizvodnje energije za pokretna vozila (benzin i dizel su karakteristični po tome što imaju puno više energije od baterija električnih automobila kojima je potrebno dosta vremena da se napune, te su pogodniji za sigurniju vožnju na velike udaljenosti). S obzirom na to da su automobili glavni uzroci stvaranja ugljičnog monoksida, cilj proizvođača je stvoriti dizajn automobilskih motora vođen zahtjevima za smanjenjem emisija takvih zagađivača okoliša. Primjerice dizelski motori ispuštaju crni dim, plinske turbine emitiraju čađu, pa se vodi računa o ispitivanju emisija onečišćivača zraka iz motora. O navedenom svjedoči i provedeno istraživanje na Perkins 4.203 Dizel motoru. Za reparaciju navedenog motora korištene su metode za dijagnostiku bloka motora: vizualni pregled i tehničko mjerenje štapnom mjernom urom. Uvidom u stanje bloka motora došlo se do spoznaje da su košuljice cilindara izgledom dosta crne, te se dalo naslutiti da je došlo do trošenja košuljica cilindarskih provrta bloka motora. Pokazatelji kvara motora bili su velika potrošnja ulja, visoka razina dimljenja iz motora (što je vidljivo po velikoj čađi na košuljicama), motor je teško palio, motor nije imao snage, pa je jednostavno prestao sa radom. Reparacija je obuhvaćala tri mjerenja odstupanja na košuljicama cilindra i prešanje košuljica vani. Izmjereno prvo odstupanje istrošenosti na košuljici cilindra iznosilo je 0,17 mm, drugo mjerenje istrošenosti na košuljici cilindra pokazalo je odstupanje od 0,28 mm i treće mjerenje koje je pokazalo odstupanje od 0,45 mm istrošenost na košuljici cilindra. Nakon toga mjernom urom izmjereno je odstupanje na košuljicama cilindara i dokumentacijom je utvrđeno da tolerancija maksimalne istrošenosti košuljice smije iznositi 0,08 mm, prešanjem su izbačene košuljice iz bloka motora. Za potrebe mjerenja preklopa košuljice cilindra i provrta bloka motora te prešanja unutra uzete su mjere između košuljice cilindra i provrta bloka motora prije samog prešanja košuljice u cilindar bloka motora. Izmjerena je zračnost između provrta bloka i košuljice cilindra. Mjernim mikrometrom izmjeren je vanjski promjer po dužini i širini košuljice, te se mjera prenijela na štapnu mjernu uru i izmjeren je preklap provrta cilindra bloka motora.

Izmjereni preklopi provrta cilindra bloka motora bili su kod prvog i drugog cilindra 0,03 mm i kod trećeg i četvrtog cilindra 0,04 mm. Nakon toga uslijedilo je prešanje košuljice, a potom se prešlo na ravnanje baze bloka motora. Nakon toga uslijedio je korak tokarenja i honanja košuljica. Tokarenje cilindarskih košuljica tokarilicom iznosilo je 91,44 mm. Blok motora se postavlja na stroj i pričvršćuje kako bi se izvršilo honanje cilindarskih košuljica alatom od kamena za honanje. Takva obrada se vršila strojem i alatom za honanje i tokarenje iz razloga što kamen naliže cijelom plohom na cilindričnu površinu košuljice, pa je time obrada jako precizna i preporučljiva kod finih i završnih obrada. Honanjem je bilo potrebno još skinuti unutar košuljice 0,04 mm. Pri honanju je korišteno polusintetičko ulje koje služi za podmazivanje svih vrste alata i za sve vrste brušenja. Nakon honanja košuljica za 0,04 mm i dobivene mjere 91,48 mm sklopljen je blok motora i završena je reparacija motora Perkins D 4. 203. Motori s unutarnjim izgaranjem danas prednjače u njihovoj uporabnoj praksi. U skorijoj budućnosti će i dalje dominirati, bez obzira na napredak tehnologije. U budućnosti se očekuje da će napredni motori biti skuplji od konvencionalnih benzinskih motora, pa će biti i veći trošak učinkovitijih ICE tehnologija, koji će biti nadoknađen prednostima. Brojni proizvođači su danas okrenuti elektrifikaciji vozila, tim više jer su se postrožili zakoni na globalnoj razini, vezani uz očuvanje okoliša, odnosno vezani uz ekološka pitanja. U budućnosti je potrebno više istražiti mogućnosti poboljšanja ICE motora s ciljem smanjenja potrošnje goriva i zbog smanjenja štetnih emisija, kao i zbog očuvanja istih od njihovih kvarova i potrebe za čestom reparacijom, jer postupak iste zahtjeva troškove. U navedenom će pomoći nove tehnologije, stoga je potrebno ulagati u razvoj istih, s ciljem očuvanja okoliša, ali optimalnosti rada motora s unutarnjim izgaranjem.

POPIS LITERATURE

Knjige:

1. Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., *Fundamentals of air pollution engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1988., dostupno na: <https://authors.library.caltech.edu/25069/1/AirPollution88.pdf> (16.01.2023.)
2. Mouritz, A. P (ed.) *Introduction to Aerospace Materials, Part 23 - Nondestructive inspection and structural health monitoring of aerospace materials*, Pages 534-557, Woodhead Publishing Limited, 2012., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/magnetic-particle-inspection> (30.01.2023.)
3. Mulder, M. (ed.) *Aeronautics and Astronautics*, Intech Open, 2011., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/221916285_Plasma-Assisted_Ignition_and_Combustion (31.01.2023.)
4. Reif, K., *Gasoline Engine Management*, Springer, 2014., dostupno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-03964-6_16 (28.01.2023.)
5. Ruys, A. J., Sutton, B. A., *Metal-ceramic functionally graded materials (FGMs)*, u *Metal-Reinforced Ceramics*, Elsevier Series, 2021., dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/plasma-spraying> (31.03.2023.)
6. Seals, K., *Reservoirs for pressurized seal lubricant*, Kalsi Engineering, Inc., 2020., dostupno na: https://www.kalsi.com/handbook/D11_Lubricant_reservoirs_for_Kalsi_Seals.pdf (29.01.2023.)

Članci:

1. Autonet – hrvatski automobilski internet magazin, *Elektronički sustav paljenja*, 2013., dostupno na: <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/elektronicko-paljenja> (19.01.2023.)
2. AvtoTachki, *Sve o svjećicama za dizelske motore*, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/hr/cto-takoe-svechi-nakalivaniya-avtomobilya/> (28.01.2023.)
3. Bright Hub PM, *Working Principle of Internal Combustion Engines; Machine and Mechanism Design*, 2022., dostupno na: <https://www.brighthubengineering.com/machine-design/1459-working-principle-of-internal-combustion-engines/> (28.01.2023.)
4. Dobovišek, Ž., Samec, N., Kokalj, F., *Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i kvaliteta goriva*, *Goriva i maziva : časopis za tribologiju, tehniku podmazivanja i primjenu tekućih i plinovitih goriva i inženjerstvo izgaranja*, Vol. 42 No. 1, 2003., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (21.01.2023.)
5. Did You Know Cars, *A Beginner's Guide to IC Engine Decarbonization*, 2023., dostupno na: <https://didyouknowcars.com/a-beginners-guide-to-ic-engine-decarbonization/> (30.01.2023.)
6. Fuels Institute, *Future Capabilities of Combustion Engines and Liquid Fuels*, 2022., dostupno na: <https://www.fuelsinstitute.org/wp-content/uploads/2022/12/FutureCapabilitiesofCombustionEnginesandLiquidFuels.pdf> (30.01.2023.)
7. Green Car Congress, *Transient Plasma Systems successfully completes multi-cylinder engine testing with nanosecond pulsed plasma ignition technology*, 2019., dostupno na: <https://www.greencarcongress.com/2019/08/20190821-tps.html> (31.01.2023.)
8. Globusks, *Kako remontirati motor? Kako napraviti ispravan remont motora tako da bude bolji od nove Faze remonta motora*, 2019., dostupno na: <https://globusks.ru/bs/kapitalnyi-remont-dvs-svoimi-rukami-kapitalnyi-remont/> (30.01.2023.)

9. Holm, T., *The History of the Internal Combustion Engine*, Tech Historian, 2022., dostupno na: <https://techhistorian.com/history-of-internal-combustion-engine/> (21.01.2022.)
10. Jääskeläinen, H., *Diesel Exhaust Systems*, DieselNet Technology Guide, 2008., dostupno na: https://dieselnet.com/tech/diesel_exh_sys.php (29.01.2023.)
11. Markulija, M., Kalamari, D., Kovačić, M., *Ušteda u sustavu hlađenja motora hibridnoga vozila*, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu Vol. 11, No. 2, 2020., dostupno na: www.hrcak.srce.hr (28.01.2023.)
12. Mariani, A., Foucher, F., *Radio frequency spark plug: An ignition system for modern internal combustion engines*, HAL, Applied Energy, 2014., 122 (3), dostupno na: <https://hal.science/hal-01233977/document> (29.01.2023.)
13. Marušić, Ž., *nonCarbon, uređaj za dekarbonizaciju motora, predstavljen u Osijeku*, Autoportal, 2021., dostupno na: <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/noncarbon-uredaj-za-dekarbonizaciju-motora-predstavljen-u-osijeku/> (31.01.2023.)
14. Millennium Technologies, *Cast Iron Services*, 2023., dostupno na: <https://www.millennium-tech.net/serviceInfo.php?id=29> (31.01.2023.)
15. Nickischer, A., *Environmental Impacts of Internal Combustion Engines and Electric Battery Vehicles*, D.U.Quark, Volume 4, Issue 2 Spring 2020., dostupno na: <https://dsc.duq.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&context=duquark> (17.01.2023.)
16. Nashipoezda, *ICE remont "uradi sam". Remont motora vlastitim rukama*, 2023., dostupno na: <https://nashipoezda.ru/hr/logging/kapitalnyi-remont-dvs-svoimi-rukami-kapitalnyi-remont-dvigatelya.html> (31.01.2023.)
17. Radzievskiy, A., *Uređaj motora sa unutrašnjim sagorijevanjem*, Avtotachki, 2022., dostupno na: <https://avtotachki.com/bs/ustrojstvo-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya/> (28.01.2022.)
18. Schauerl, Z., Nikšić, M., Kolednjak, D., *Impact of Fuel Type on the Internal Combustion Engine Condition*, Promet – Traffic&Transportation, Vol. 24, 2012, No. 4, 285-293., dostupno na: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/442> (28.01.2023.)
19. Steele, A., *How The Internal Combustion Ignition System Works*, Initiating Combustion, Motor Trend, 2016., dostupno na:

<https://www.motortrend.com/features/1602-how-the-internal-combustion-ignition-system-works/> (29.01.2023.)

20. Winton, N., *A Long Journey Looms. Do You Take The ICE Or Electric Car?*, Forbes, 2022., dostupno na:

<https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2022/11/04/a-long-journey-looms-do-you-take-the-ice-or-electric-car/?sh=1e34f9263bfb> (28.01.2023.)

Izvješća:

1. Kalinowsky, P., Romanelli, M., Schweitzer, B., *Dry Sump Lubrication of a Hydraulic Motor – Final Report Moskalik*, National Vehicle and Fuel Emissions Lab, 2007., dostupno na:

https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/57946/me450f07project16_report.pdf;sequence=1 (29.01.2023.)

2. U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engines, Quadrennial Technology Review 2015.*, Chapter 8: Advancing Clean Transportation and Vehicle Systems and Technologies, Technology Assessments, 2015., dostupno na:

<https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/11/f27/QTR2015-8C-Internal-Combustion-Engines.pdf> (30.01.2023.)

Priručnik:

1. Motor Service, KSPG Automotive Group, *Reconditioning of Aluminium Engine Blocks*, 2023., dostupno na: https://cdn2.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Reconditioning-of-Aluminium-Engine-Blocks_51912.pdf (31.01.2023.)

Vodiči:

1. Introduction to Engine Repair – Study Guide, Melior, 2007., dostupno na: https://www.academia.edu/30176345/Introduction_to_Engine_Repair_Study_Guide (30.01.2023.)
2. MLR: Engines eBook, *MLR: Engines Study Guide*, Melior, 2013., dostupno na: <https://www.lee.k12.al.us/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=9136&dataid=5066&FileName=MLR-Engines-eBook.pdf> (29.01.2023.)

Internetski izvori:

1. Hrvatska tehnička enciklopedija, *Motori s unutarnjim izgaranjem*, 2023., dostupno na: https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/motori_s_unutarnjim_izgaranjem.pdf (16.01.2023.)
2. Perkins 4.203 Series, 2023., dostupno na: <https://www.parts4engines.com/perkins-4-203/> (30.01.2023.)
3. Sustav podmazivanja, Industrijsko obrtnička škola Pula, Pula, 2020., dostupno na: <http://ss-ios-pu.skole.hr/upload/ss-ios-pu/images/static3/601/File/2a%2020.3.2020%20Sustav%20podmazivanja%201s.pdf> (29.01.2023.)
4. U. S. Department of Energy, *Internal Combustion Engine Basics*, 2013., dostupno na: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/internal-combustion-engine-basics> (16.01.2023.)

Osobni odlazak u radnju:

1. Tokarsko – bravarski obrt "Đino"

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1: Čimbenici koji su utjecali na razvoj motora s unutarnjim izgaranjem i prijevoznih sredstava..... | 8 |
| Slika 2: Konstrukcija osnova motora s unutarnjim izgaranjem..... | 11 |
| Slika 3.: Komora za sagorijevanje..... | 12 |
| Slika 4.: Ciklus rada kod četverotaktnog motora..... | 14 |
| Slika 5.: Princip rada dvotaktnog motora..... | 14 |
| Slika 6.: Položaj svjećica kod dizel motora s unutarnjim izgaranjem (pretkomora)..... | 16 |
| Slika 7.: Ispušni sustav dizelovog motora osobnog automobila..... | 18 |
| Slika 8.: Sustav hlađenja motora s unutarnjim izgaranjem..... | 20 |
| Slika 9.: Prijenos topline iz radnog dijela cilindra do okoline..... | 21 |
| Slika 10.: Sustav podmazivanja – tlačno kružno podmazivanje motora..... | 23 |
| Slika 11.: Zavojnica paljenja..... | 25 |
| Slika 12.: Elektronički kontrolirani sustav paljenja s razvodnikom (lijevo) i DIS sustav (desno)..... | 26 |
| Slika 13.: Radilica (koljenasto vratilo)..... | 32 |
| Slika 14.: Magnetna detekcija greške (pukotina) radilice..... | 33 |
| Slika 15.: nonCarbon uređaj za dekarbonizaciju..... | 35 |
| Slika 16.: Shot blok..... | 36 |
| Slika 17.: 3 – D zapis hrapavosti gotovog Alusil-a klizne površine cilindra..... | 38 |
| Slika 18.: Nanošenje keramičke prevlake plazma sprejom na metalnu podlogu..... | 39 |
| Slika 19.: Skinuti blok motora..... | 41 |
| Slika 20: Izmjerena odstupanja istrošenosti na košuljicama cilindra označena plavim markerom..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Slika 21: Izmjereno prvo odstupanje istrošenosti na košuljici cilindra 0.17 mm..... | 43 |
| Slika 22.: Izmjereno drugo odstupanje istrošenosti na košuljici cilindra 0.28 mm..... | 44 |
| Slika 23.: Izmjereno treće odstupanje istrošenosti cilindra 0.45 mm..... | 44 |
| Slika 24.: Dokumentacija o tolerancijama..... | 46 |
| Slika 25.: Mjerenje mjernim mikrometrom vanjskog promjera košuljice..... | 47 |
| Slika 26.: Prenošenje mjere vanjskog promjera košuljice sa mjernog mikrometra na štapnu mjernu uru..... | 48 |
| Slika 27.: Mjerenje preklopa košuljice i provrta bloka motora..... | 48 |
| Slika 28.: Izmjereni preklop košuljice i bloka motora 0.03 mm..... | 49 |
| Slika 29.: Stroj za obradu baze bloka motora..... | 50 |
| Slika 30.: Izravnata baza bloka motora i cilindri spremni za tokarenje..... | 50 |
| Slika 31.: Glava tokarilice i nož..... | 51 |
| Slika 32.: Ulaz glave tokarilice u košuljicu cilindra..... | 51 |
| Slika 33.: Noževi za obradu..... | 52 |
| Slika 34.: Parametri noža za obradu..... | 52 |
| Slika 35.: Strugotine tokarenja..... | 54 |
| Slika 36.: Vrsta kamena za honanje..... | 55 |
| Slika 37.: Kamen za obradu honanjem..... | 56 |
| Slika 38.: Stroj za honanje..... | 57 |
| Slika 39.: Polusintetičko ulje za honanje..... | 58 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1: Komparacija određenih karakteristika motora s unutarnjim izgaranjem (prosječne vrijednosti) kod osobnih benzinskih vozila, kraj 19. i početak 20. stoljeća..... | 6 |
| Tablica 2.: Opcije za poboljšanje potrošnje goriva motora s unutarnjim izgaranjem do 2030. godine..... | 28 |
| Tablica 3.: Istrošenost košuljica cilindara..... | 45 |
| Tablica 4.: Parametri noža za obradu..... | 52 |
| Tablica 5.: Promjeri nakon tokarenja i honanja..... | 59 |

POPIS DIJAGRAMA

| | |
|---|----|
| Dijagram 1.: Istrošenost košuljice cilindara..... | 45 |
| Dijagram 2.: Promjeri tokarenja i honanja..... | 59 |

SAŽETAK

U radu je bilo riječi o reparaciji motora s unutarnjim izgaranjem. Za potrebe razumijevanja navedenog definirali su se motori s unutarnjim izgaranjem, njihov razvoj, kvaliteta goriva, mehanika i elementi motora s unutarnjim izgaranjem, načelo rada motora s unutarnjim izgaranjem, žarne svjećice Dizelovih motora, ispuh iz Dizelovih motora, sustav hlađenja motora i prijelaz topline, sustav podmazivanja, sustav paljenja motora sa unutarnjim izgaranjem, te budućnost motora sa unutarnjim izgaranjem. Nadalje analizirana je reparacija motora s unutarnjim izgaranjem i postupak popravka oštećenih dijelova, metode reparacije motora automobila: magnetna detekcija greške za provjeru radilice, dekarbonizacija, metoda popravka „kupovina udarnog bloka“, metoda popravka „košuljica bloka cilindra i izvorni klipovi“, te metoda popravka „košuljice s izvornim provrtom i veći klipovi“, te su se objašnjavale tehnologije popravka motora s unutarnjim sagorijevanjem. U radu je prikazan primjer reparacije iz prakse: motor sa unutarnjim izgaranjem Perkins D 4.203, preko mjerenja odstupanja na košuljicama cilindra i prešanje košuljica vani, mjerenja preklopa košuljice cilindra i provrta bloka motora te prešanje unutra, te ravnjanja baze bloka motora, tokarenja i honanja cilindarskih košuljica.

Ključne riječi: motori s unutarnjim izgaranjem, vrste motora s unutarnjim izgaranjem, reparacija motora sa unutarnjim izgaranjem, metode i tehnologije reparacije motora s unutarnjim izgaranjem, reparacija motora Perkins D 4.203

ABSTRACT

The paper discussed the repair of internal combustion engines. For the purposes of understanding the above, internal combustion engines, their development, fuel quality, mechanics and elements of internal combustion engines, the principle of operation of internal combustion engines, diesel engine glow plugs, diesel engine exhaust, engine cooling system and heat transfer were defined. the lubrication system, the ignition system of the internal combustion engine, and the future of the internal combustion engine. Internal combustion engine repair and damaged parts repair process, car engine repair methods: magnetic fault detection for crankshaft checking, decarbonization, "bumper block purchase" repair method, "cylinder block liner and original pistons" repair method, and repair method were further analyzed. "original bore liners and larger pistons", and explained internal combustion engine repair technologies. The paper presents an example of repair from practice: a Perkins D 4.203 internal combustion engine, by measuring deviations on the cylinder liners and pressing the liners outside, measuring the overlap of the cylinder liner and the bore of the engine block and pressing inside, and leveling the base of the engine block, turning and honing of the cylinder liner.

Keywords: internal combustion engines, types of internal combustion engines, internal combustion engine repair, methods and technologies of internal combustion engine repair, Perkins D 4.203 engine repair