

# Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje odstupanja obrade

---

**Samaržija, Borna**

**Undergraduate thesis / Završni 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:137:569313>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Tehnički fakultet u Puli



**Borna Samaržija**

**Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje  
odstupanja obrade**

Završni rad

Pula, Rujan, 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Tehnički fakultet u Puli



**Borna Samaržija**

**Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje  
odstupanja obrade**

Završni rad

**JMB: 0303090658, redovan student**

**Studijski smjer: proizvodno strojarstvo**

**Predmet: Mjerenje u proizvodnji**

**Znanstveno područje: Tehničke znanosti**

**Znanstveno polje: Strojarstvo**

**Znanstvena grana: Proizvodno strojarstvo**

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

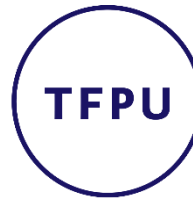
Pula, Rujan, 2023.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se svojim roditeljima i sestri na stalnoj potpori tijekom pohađanja. Zahvaljujem se svim svojim profesorima, ali posebno Doc. dr. sc. Marku Kršulji, koji je uvijek bio dostupan za bilo kakva pitanja i potrebe tijekom studiranja i tijekom pisanja ovog završnog rada. I za kraj zahvaljujem se svim svojim kolegama te želim sreću svim onima koji su u potrazi za poslom u struci ili se dalje školuju.*

Doc. dr. sc. Marko Kršulja  
(Ime i prezime nastavnika)

Mjerenja u proizvodnji  
(Predmet)



Tehnički fakultet u Puli

**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

**TEHNIČKI FAKULTET U PULI**

**ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA**

**Pristupniku/ci**

**Borni Samaržiji**

**MBS: 0303090658**

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

**Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje odstupanja obrade**

**Sadržaj zadatka: Na određenom primjeru motora s unutarnjim sagorijevanjem odrediti mogućnost popravka, tumačiti same dijelove koji su u postupku popravka te standarde koje isti trebaju zadovoljiti. Tumačiti postupke tehnologiju popravka obrade 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.**

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

**Strojarstvo redovni**

*(izvanredni, proizvodno strojarstvo)*

**Datum: 20.09.2023**

**Potpis nastavnika** \_\_\_\_\_

**Potpis nastavnika** \_\_\_\_\_



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Borna Samaržija kandidat za prvostupnika proizvodnog strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Završni 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 Završnog 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, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ godine



IZJAVA  
o korištenju autorskog djela

Ja, Borna Samaržija dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje odustupanja obrade“ 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, \_\_\_\_\_ (datum)

Student

\_\_\_\_\_

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
1.1 Problem .....	2
1.2 Hipoteza .....	2
1.3 Cilj .....	2
1.4 Struktura rada.....	3
2. Mjerenje u proizvodnji.....	5
2.1 Različite vrste mjerenja .....	5
2.2 Alati i metode.....	5
2.2.1 Ručno mjerenje.....	5
2.2.2 Automatizirano mjerenje .....	7
2.2.3 Softverske aplikacije .....	8
2.2.4 Standardi i regulative .....	10
2.2.5 Kritični pokazatelji učinkovitosti (KPIs).....	11
2.3 Dosjedi .....	12
2.4 Važnost mjerenja tijekom procesa reparacije .....	13
3. Osnove četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem.....	15
3.1 Četverotaktni motor .....	15
3.2 Glava motora .....	16
3.3 Blok motora .....	17
4. Principi reparacije bloka motora .....	20
4.1 Dijagnostički postupci .....	20
4.1.1 Vizualna inspekcija .....	21
4.1.2 Ultrazvučna inspekcija .....	23
4.2 Faze reparacije.....	26
4.2.1 Demontaža i čišćenje.....	26
4.2.2 Inspekcija i mjerenje .....	27
4.2.3 Razne metode reparacije bloka motora .....	27
4.2.4 Strojevi potrebni za reparaciju bloka motora.....	30
4.2.5 Skupljanje, montaža i finalna provjera .....	30
5. Primjer obrade iz prakse – PERKINS D 4.203 .....	32
5.1 Mjerenje odstupanja i vađenje košuljica .....	33
5.2 Nabava zamjenskih dijelova.....	37
5.3 Mjerenje preklopa košuljice cilindra i provrta bloka, ubacivanje košuljica prešanjem .....	37
5.4 Strojna obrada: Ravnanje bloka motora, tokarenje i honanje .....	40



6. Zaključak .....	49
Popis literature.....	51
Popis Slika.....	53
Sažetak.....	54
Abstract .....	54

# 1. Uvod

## 1.1 Predmet istraživanja

Tekst koji slijedi predstavlja znanstveno istraživanje fokusirano na mjerenje u proizvodnji i održavanje i optimizaciju četverotaktnih motora s unutarnjim izgaranjem. U kontekstu mjerenja u proizvodnji, analizirat će se različite vrste mjerenja, alati i metode, uključujući ručno i automatizirano mjerenje, softverske aplikacije, te relevantni standardi i regulative. Osim toga, rad će raspravljati o kritičnim pokazateljima učinkovitosti (KPIs) i dosjedima, te će se naglasiti važnost mjerenja tijekom procesa reparacije. Nakon toga, fokus istraživanja će se preusmjeriti na osnove četverotaktnih motora s unutarnjim izgaranjem. U ovom kontekstu, posebno će se istražiti kako redovito održavanje i specifični postupci obrade mogu unaprijediti performanse i produžiti životni vijek ovih motora. Istraživanje će se temeljiti na analizi četverotaktnih motora sa unutarnjim izgaranjem, koja su često podložna većem habanju zbog određenog broja radnih sati i prijeđenih kilometara. Prvi segment o mjerenju u proizvodnji pružit će temelje za dublje razumijevanje metoda i tehnika koje se koriste u industriji. Počevši od teorijske osnove, ovaj dio će razložiti mehanizme i funkcionalnosti ključnih komponenti za mjerenje. Nadalje, fokus će se preusmjeriti na prakse obrade motornih dijelova, s posebnim naglaskom na obradu bloka motora. U ovom segmentu, analizirat će se tehnike kao što su prešanje, tokarenje i honanje, proučavajući njihove specifičnosti, mogućnosti i brzinu izvođenja. Također, različiti materijali koji se koriste u ovim procesima bit će detaljno opisani. Uz to, ovaj rad će raspravljati o funkcionalnim aspektima pojedinih dijelova bloka motora. Metodologija će uključivati analizu kako svaka komponenta pridonosi ukupnoj funkcionalnosti i koje tehnike obrade najefikasnije optimiziraju njihov rad. Kao empirijski dio istraživanja, predstaviti će se studija slučaja iz tokarsko-bravarskog obrta "Đino", koji se bavi ovom vrstom reparacija i obrada na redovitoj osnovi. Cilj je proučiti njihove tehnike i pristupe te razumjeti kako oni pridonose optimalnim performansama i dugotrajnosti motora. U zaključku, ovaj znanstveni rad ima za cilj pružiti dubinski uvid u procese i tehnike koji su ključni za mjerenje u proizvodnji i održavanje i optimizaciju četverotaktnih motora s unutarnjim izgaranjem, temeljen na teorijskoj analizi i empirijskim dokazima. Na taj način, rad nastoji spojiti teoriju i praksu kako bi doprinio boljem razumijevanju i primjeni u industriji motornih vozila.

## 1.2 Problem

Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem je složen proces koji zahtijeva preciznost i vještinu. Međutim, često se susrećemo s problemima u postupku popravka motora koji mogu rezultirati smanjenom pouzdanošću, gubitkom performansi ili čak oštećenjem motora. Ovi problemi su normalne posljedice koje nastaju nakon dugoročnog rada stroja te ujedno i nakon puno prijeđenih kilometara. Kompleksnost problema tj. kvara biti će ovisna i o tome kako je stroj održan i servisiran. Stoga je važno identificirati ove probleme i razumjeti njihove uzroke kako bismo poboljšali proces reparacije motora. U ovome radu vrši se obrada bloka motora na standarde i odstupanja koji su zadani prilikom proizvodnje koje je odredio proizvođač. Standardi i mjere potrebne za obradu pronalaze se u priručniku „Perkins Diesel Engine 4.192 4.203 D4.203 Workshop Service Repair Manual“.

## 1.3 Hipoteza

U okviru ovog istraživanja, proučavat će se i prikazivat će se razne metode obrade bloka motora, koji je ključna komponenta u funkcionalnosti modernih četverotaktnih motora. Fokus istraživanja bit će na raznim tehnikama obrade i mjerenju i analizi tijekom obrade. Osim toga, pojedine komponente bloka motora bit će detaljno opisane, sa posebnim osvrtom na načine na koje se obrade izvode na odgovarajućim strojevima. U istraživanju će se također provesti usporedba između stvarnog stanja motora i idealnih parametara. Kroz ovu usporedbu, analizirat će se i predstaviti praktičan primjer postupka obrade bloka motora, sa naglaskom na koracima koji su nužni za optimizaciju i eventualnu reparaciju.

## 1.4 Cilj rada

- Detaljno opisati mjerenje u proizvodnji
- Objasniti osnovne principe četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem
- Navesti i opisati principe reparacije bloka četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem
- Prikazati praktičan primjer reparacije bloka četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem

## 1.5 Metodologija istraživanja

Metode koje se koriste za izradu rada:

- Eksperimentalne metode: Stvarna popravka motora provest će se kao studija slučaja unutar tvrtke Đino.
- Metode promatranja: Provest će se komparativna analiza temeljena na rezultatima mjerenja, sukladno smjernicama koje diktiraju potrebne površine za dosjed, tolerancije i druge dimenzijske vrijednosti. Promatranja će biti dokumentirana.
- Metode mjerenja: Procjenjivat će se razni pokazatelji poput odstupanja u trošenju cilindarskih košuljica, preklopa između košuljica i provrta bloka motora, te promjera košuljica tijekom mehaničkih postupaka kao što su tokarenje i honanje.
- Metode analize podataka: Pregledom postojeće dokumentacije, odabrani su materijali za cilindarske košuljice, tip alata za tokarenje, materijal za honanje i parametri same obrade.

## 1.6 Struktura rada

- Uvodni dio: Ovaj segment pruža osnovne informacije o problemu, hipotezi, cilju i strukturi rada.
- Mjerenje u proizvodnji: Detaljno se analizira mjerenje u kontekstu proizvodnje, različite vrste mjerenja, alati i metode koje uključuju kako ručno tako i automatizirano mjerenje, softverske aplikacije, standardi i regulative. Također se raspravlja o dosjedima i važnosti mjerenja u procesu reparacije.
- Osnove četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem: U ovom segmentu objašnjava se rad četverotaktnih motora, uključujući glavne komponente kao što su glava i blok motora.
- Principi reparacije bloka motora: Prikazuje se cijeli proces dijagnostike i reparacije, od vizualne i ultrazvučne inspekcije do demontaže, čišćenja, inspekcije, raznih metoda reparacije i završne montaže. Raspravlja se o potrebnim strojevima za reparaciju.
- Primjer obrade iz prakse - PERKINS D 4.203: Ovdje se izlaže stvarni slučaj reparacije motora Perkins D 4.203, sa svim mjerenjima, nabavom dijelova i strojnom obradom kao što su tokarenje i honanje.

- Zaključak: U zaključnom dijelu daju se autorske refleksije i preporuke u vezi sa svim obrađenim aspektima.
- U popisu literature, prikazuju se svi radovi i autori koji su bili referenca za ovu studiju.

## 2. Mjerenje u proizvodnji

Mjerenje u proizvodnji predstavlja ne samo tehnički, već i strateški element uspjeha organizacije. Njegova primjena je sustavna, počevši od planiranja i dizajniranja, pa sve do proizvodnje, ispitivanja i isporuke proizvoda. Kao što je H. James Harrington rekao, " Mjerenje je prvi korak koji vodi do kontrole i na kraju do poboljšanja." (Harrington, 1987.) Upravo ova izjava oslikava kritičnu ulogu mjerenja u proizvodnim procesima.

### 2.1 Različite vrste mjerenja

- Dimenzionalno mjerenje: Ova vrsta mjerenja osigurava da su dimenzije proizvoda u skladu s predloženim dizajnerskim planovima. Primjenjuju se razni alati, od osnovnih, kao što su kljunasto mjerilo i mikrometar, do naprednih koordinatnih mjeriteljskih strojeva (CMM).
- Kvalitativno mjerenje: Ovo uključuje analizu materijala, boje, završne obrade i drugih vizualnih ili taktilnih karakteristika. Tu spadaju i testovi čvrstoće, elastičnosti i drugih mehaničkih svojstava.
- Vremensko mjerenje: Mjerenje vremena potrebnog za pojedine operacije ili kompletne procese olakšava optimizaciju i poboljšanje efikasnosti. Kao što Lord Kelvin ističe: " Ako ga ne možete mjeriti, ne možete ga poboljšati." (Lord, 1883.)
- Kvantitativno mjerenje: Ovdje se obrađuju podaci kao što su broj proizvedenih jedinica, iskorištenost resursa, efikasnost strojeva i slično (N.V. Raghavendra, 2013.).

### 2.2 Alati i metode

#### 2.2.1 Ručno mjerenje

Ručno mjerenje u proizvodnji je tradicionalni način kontroliranja dimenzija, tolerancija i kvalitete proizvoda. Ručno mjerenje je značajno jer omogućuje visoki stupanj fleksibilnosti i adaptabilnosti, posebno u situacijama gdje su potrebna brza mjerenja ili kada su u pitanju male serije proizvoda. Ova metoda je posebno korisna u radionicama, laboratorijima za ispitivanje kvalitete, prototipiranju i mnogim drugim aplikacijama gdje automatizirane metode nisu ekonomski isplative ili tehnički izvedive. Ručno mjerenje ima niz alata i tehnika koje su se vremenom dokazale kao pouzdane.

Osnovni alati koji se koriste za ručno (Slika 1.) mjerenje su:

- Ravnalo ili mjerna letva: Za jednostavna mjerenja duljina, širina i visina. Primjenjuje se u brojnim situacijama i na različitim materijalima.
- Kljunasto mjerilo: Koristi se za preciznija mjerenja vanjskih i unutarnjih dimenzija, dubina i koraka navoja. Vrlo je popularno u metaloprerađivačkim i drvnim industrijama.
- Mikrometar: Za vrlo precizna mjerenja dimenzija, obično do 0,01 mm. Koristi se u visoko preciznim aplikacijama kao što su strojarstvo i obrada metala.
- Dubinomjer: Koristi se za mjerenje dubine otvora ili utora u materijalu.
- Kutna mjerila i libele: Za mjerenje i postavljanje kutova. Vrlo korisni u građevinarstvu i strojarstvu za postavljanje dijelova pod određenim kutom.
- Indikatori pomaka: Koriste se za mjerenje malih pomaka i deformacija materijala ili dijelova.
- Mjerne trake: Za mjerenje većih dimenzija, često se koriste u građevinarstvu.
- Ostali alati: To uključuje različite vrste kalibara, mjerne igle i slično, koji su specijalizirani za određene vrste mjerenja.

Slika 1. Alati korišteni za ručna mjerenja



Izvor: Obrada autora

Ručni alati koriste se u sljedećim primjerima:

- Izrada prototipa: U fazi izrade prototipa, gdje su serije male, a promjene česte, ručno mjerenje je često najbrže i najekonomičnije rješenje.
- Manje serije proizvodnje: U situacijama gdje se proizvodi manja količina artikala, automatizirano mjerenje može biti neracionalno skupo.
- Kontrola kvalitete: Iako su automatizirani sistemi učinkoviti za masovnu proizvodnju, ručni alati se često koriste za provjere na licu mjesta ili kada je potrebna visoka razina detalja.
- Održavanje i popravci: Ručni alati su neophodni za brzu dijagnostiku i provjeru u slučaju kvarova ili redovnog održavanja.
- Specijalizirane aplikacije: U nekim slučajevima, samo ručni alati mogu obaviti posao, naročito kada se radi o mjerenjima na teško dostupnim ili osjetljivim mjestima.

Ručno mjerenje je temeljni alat u mnogim proizvodnim okruženjima. Iako ne može zamijeniti automatizirane metode mjerenja u svim situacijama, njegova univerzalnost i pristupačnost čine ga nezamjenjivim u mnogim primjenama (N.V. Raghavendra, 2013.).

## 2.2.2 Automatizirano mjerenje

Automatizirano mjerenje u proizvodnji predstavlja ključnu komponentu modernih proizvodnih linija i sustava kontrole kvalitete. Ova tehnika je posebno relevantna u masovnoj proizvodnji i u industrijskim postavkama gdje su preciznost, brzina i efikasnost od iznimne važnosti. Osim toga, automatizirane metode omogućavaju bolju dosljednost i konzistentnost rezultata. Alati i uređaji koji se koriste u automatizaciji mjerenja su:

- Koordinatne mjernih mašina (CMM): Ovi uređaji koriste senzorske tehnologije i robotske ruke za precizno mjerenje geometrijskih karakteristika objekta. Vrlo su precizni i mogu se programirati za mjerenje kompleksnih oblika.
- Optički skenerima i kamere: Ovi uređaji koriste optičke tehnologije za brzo i precizno skeniranje proizvoda. Često se koriste u kontroli kvalitete u industriji kao što su automobilski dijelovi i elektronika.
- Spektrometri i kolorimetri: Koristi se za analizu sastava materijala i mjerenje boja. Ovi uređaji su ključni u industriji hrane, farmaciji i kemijskoj industriji.



- Laserski daljinometri: Ovi uređaji koriste laserske zrake za mjerenje udaljenosti i dimenzija s visokom preciznošću i brzinom.
- Mjerni senzori i pretvarači: Koriste se za mjerenje fizičkih veličina kao što su pritisak, temperatura i protok. Ovi su uređaji često ugrađeni u proizvodne linije.
- Automatizirane libele i inklinometri: Koriste se za mjerenje nagiba i horizontalnosti u građevinskim i inženjerskim aplikacijama.

Primjena automatiziranih mjernih alata:

- Masovna proizvodnja: Kada se proizvodi velika serija identičnih proizvoda, automatizirane metode su gotovo neophodne zbog efikasnosti i dosljednosti.
- Visoka preciznost: U industrijama poput zrakoplovstva i medicinske opreme gdje su tolerancije ekstremno niske, automatizirane metode pružaju potrebnu preciznost.
- Kompleksni oblici i geometrije: Kada proizvodi ili komponente imaju složene geometrije koje su teško mjeriti ručno.
- Brza kontrola kvalitete: U proizvodnim linijama gdje je brzina ključna, automatizirano mjerenje omogućuje brzu i efikasnu kontrolu kvalitete.
- Mjerenje više parametara: U slučajevima gdje je potrebno mjerenje više različitih parametara u kratkom vremenskom razdoblju.
- Dokumentacija i praćenje: Automatizirane metode često uključuju napredne opcije za dokumentiranje i praćenje podataka, što je ključno za suvremene zahtjeve u pogledu kontrole kvalitete i regulativa.

Automatizirano mjerenje je ključno u modernoj proizvodnji i predstavlja značajno poboljšanje u odnosu na tradicionalne, ručne metode, kako u smislu preciznosti tako i u smislu efikasnosti. Međutim, ovi sustavi često zahtijevaju veća početna ulaganja i specijalizirano održavanje (Smith, 2002.).

### **2.2.3 Softverske aplikacije**

Softversko mjerenje u proizvodnji je postupak u kojem se koriste različiti softverski alati i aplikacije za prikupljanje, analiziranje i interpretiranje podataka o proizvodnji. Ova vrsta mjerenja igra ključnu ulogu u raznim aspektima proizvodnog ciklusa, uključujući planiranje, kontrolu kvalitete, praćenje učinkovitosti i održavanje. Softversko mjerenje je naročito važno u okruženjima gdje je visoka preciznost, efikasnost i integracija podataka od ključne važnosti.

Alati i softverski paketi (aplikacije) koji se koriste za softversko mjerenje:

- SCADA Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition): Ovi sustavi se koriste za nadzor i upravljanje proizvodnim procesima u stvarnom vremenu. Omogućuju prikupljanje velikih količina podataka iz različitih izvora.
- MES (Manufacturing Execution Systems): Ovi sustavi pomažu u upravljanju i kontroliranju proizvodnih operacija na razini poduzeća.
- CAQ Softver (Computer-Aided Quality): Specijalizirani softverski paketi koji omogućuju automatizirano praćenje i analizu kvalitete proizvoda.
- SPC (Statistical Process Control) Softver: Koristi se za praćenje i kontrolu kvalitete putem statističkih metoda
- PLM (Product Lifecycle Management) Softver: Omogućuje upravljanje cijelim životnim ciklusom proizvoda, uključujući dizajn, proizvodnju i održavanje.
- ERP (Enterprise Resource Planning): Iako primarno fokusiran na poslovne procese, ERP sustavi često sadrže module za praćenje proizvodnje.
- Softver za simulaciju i modeliranje: Koristi se za simulaciju proizvodnih procesa i scenarija kako bi se identificirale moguće slabosti ili područja za poboljšanje.
- IoT Platforme: Uređaji povezani na Internet (IoT) generiraju podatke koji se mogu koristiti za mjerenje različitih aspekata proizvodnje, kao što su energetska efikasnost, učinkovitost strojeva i stanje opreme.

Softversko mjerenje koristi se za:

- Kontrola Kvalitete: Za automatsko praćenje i izvještavanje o kvaliteti proizvoda.
- Optimizacija Procesa: Za analizu proizvodnih podataka i identifikaciju područja za poboljšanje.
- Praćenje i Nadzor: Za kontinuirano praćenje proizvodnje u stvarnom vremenu.
- Planiranje i Logistika: Za optimizaciju resursa i bolje planiranje proizvodnje.
- Održavanje: Za praćenje stanja opreme i planiranje preventivnog održavanja.
- Regulativna Usklađenost: Za praćenje i izvještavanje u skladu s regulativama i standardima.
- Integracija Podataka: Za kombiniranje podataka iz različitih izvora i njihovu analizu kako bi se dobile sveobuhvatne informacije o proizvodnom procesu.

Softversko mjerenje omogućuje visoku razinu preciznosti, dosljednosti i integracije podataka, ali zahtijeva i značajna ulaganja u hardver i softver, kao i u stručno osposobljavanje zaposlenika. Također, pitanja sigurnosti podataka i zaštite informacija

su od velike važnosti u softverskom mjerenju (Pressman, 2005.).

## 2.2.4 Standardi i regulative

Standardi i regulative u mjerenju u proizvodnji igraju ključnu ulogu u osiguranju kvalitete, efikasnosti i sigurnosti proizvoda i procesa. Ovi standardi su često međunarodni, a ponekad i specifični za određenu industriju ili zemlju. Evo nekoliko ključnih aspekata standarda i regulativa koji se primjenjuju na mjerenje u proizvodnji:

### 1. ISO Standardi

- ISO 9001: Odnosi se na sustave upravljanja kvalitetom i obuhvaća različite aspekte proizvodnje, uključujući mjerenje i ispitivanje.
- ISO/IEC 17025: Postavlja zahtjeve za kompetenciju ispitnih i umjernih laboratorija, uključujući mjerenje.

### 2. ASTM Standardi

Primarno koristi u SAD-u, ASTM standardi pokrivaju različite metode i tehnike mjerenja, od materijala do proizvodnih procesa.

### 3. NIST Standardi

Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (NIST) u Sjedinjenim Američkim Državama razvija i promovira mjerni standardi, koji su često referentni i globalno.

### 4. Regulative na razini EU

- CE oznaka: Oznaka koja pokazuje da proizvod ispunjava minimalne europske standarde u pogledu sigurnosti, zdravlja i okoliša.
- RoHS Direktiva: Ograničava korištenje određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi.

### 5. Specifični industrijski standardi

- FDA regulative u farmaceutskoj industriji: Postavljaju striktno standarde za mjerenje i testiranje u proizvodnji lijekova i medicinske opreme.
- Automobilski standardi poput ISO/TS 16949: Fokusiraju se na kontrolu kvalitete i mjerenja u automobilskoj industriji.

Standardi i regulative primjenjuju se prilikom:

- Planiranje proizvodnje: Prije početka proizvodnje, potrebno je osigurati da svi planovi i procesi udovoljavaju postojećim standardima.
- Kontrola kvalitete: Mjerni uređaji i metode moraju biti kalibrirani i certificirani sukladno standardima.

- Isporuka proizvoda: Prije isporuke, proizvodi prolaze kroz finalnu kontrolu kako bi se osiguralo da udovoljavaju svim standardima i regulativama.
- Revizija i nadzor: Interni i eksterni revizori provjeravaju usklađenost s standardima i regulativama.
- Održavanje i kalibracija: Regularno se provodi kako bi se osigurala preciznost i pouzdanost mjernih instrumenata.

Sukladnost sa standardima i regulativama osigurava visoku razinu kvalitete i pouzdanosti u proizvodnji, a time i konkurentske prednosti na tržištu. Međutim, održavanje usklađenosti zahtijeva kontinuirane napore, također uključujući edukaciju zaposlenika, regularne revizije i investicije u certificirane mjerne uređaje i tehnologije (Michael L. George, 2005.).

### **2.2.5 Kritični pokazatelji učinkovitosti (KPIs)**

Kritični pokazatelji učinkovitosti (KPI - Key Performance Indicators) u mjerenju u proizvodnji su metrike koje organizacije koriste za kvantificiranje i vrednovanje uspješnosti proizvodnih procesa. Ovi pokazatelji su od suštinskog značaja za praćenje napretka, optimizaciju resursa i unapređenje efikasnosti. Evo nekoliko ključnih KPI-ova koji su često prisutni u proizvodnom okruženju:

- Ukupna Efikasnost Opreme (OEE)

OEE je sveobuhvatna metrika koja kombinira dostupnost opreme, učinkovitost i kvalitetu u jednom broju. To je standard za mjerenje produktivnosti i često se koristi kao osnovni pokazatelj učinkovitosti u proizvodnji.

- Stopa kvara

Ovo je pokazatelj koji mjeri učestalost problema ili kvarova u proizvodnom procesu. Niža stopa kvara ukazuje na veću pouzdanost i efikasnost proizvodnje.

- Ciklus Vremena

Ciklus vremena mjeri koliko je vremena potrebno da se proizvod proizvede od početne faze do završetka. Ova metrika je korisna za optimizaciju procesa i smanjenje troškova.

- Stopa Iskorištenja Kapaciteta

Ova metrika mjeri koliko efikasno proizvodni resursi (npr., strojevi, radna snaga) koristi svoj puni kapacitet.

- Stopa Odbačenih Proizvoda

Mjeri postotak proizvoda koji ne zadovoljavaju standarde kvalitete i stoga se odbacuju ili prepravljaju.

- Trošak po Jedinici

Ovaj KPI mjeri ukupne troškove proizvodnje podijeljene sa ukupnim brojem proizvedenih jedinica. Pomaže u razumijevanju kako se varijabilni i fiksni troškovi odražavaju na ukupnu cijenu proizvoda.

- Vrijeme Odziva na Kvarove

Vrijeme potrebno za popravak ili zamjenu neispravnih dijelova ili mašina. Brži odziv minimizira zastoje i povećava efikasnost.

- Stopa Zadovoljstva Zaposlenika

Iako nije izravno vezan za proizvodnju, visoka stopa zadovoljstva zaposlenika često korelira s većom produktivnošću i nižom stopom pogrešaka.

- Energetska Efikasnost

Odnosi se na količinu energije koja se koristi za proizvodnju jedinice proizvoda. S obzirom na rastuće troškove energije i pitanja održivosti, ovo postaje sve važniji KPI.

Kritični pokazatelji učinkovitosti pomažu menadžmentu da donose informirane odluke i usmjere resurse gdje su najpotrebniji. U kombinaciji s naprednim softverskim alatima za mjerenje i analizu, KPI-ovi omogućuju organizacijama da optimiziraju svoje proizvodne procese, smanje troškove i povećaju kvalitetu. Osim toga, oni služe kao most između strateških ciljeva i dnevnih operacija, koji su rezultiraju kontinuiranim procesima poboljšanja (Michael L. George, 2005.).

## 2.3 Dosjedi

Dosjedi su kritične točke kontakta između mehaničkih komponenata gdje se prenose opterećenja i gdje je potrebno osigurati pouzdanu i stabilnu vezu. U kontekstu motora s unutarnjim izgaranjem, dosjedi igraju presudnu ulogu u povezivanju ključnih komponenata, kao što su klip i cilindar, osovina i ležajevi, ili spojevi glave i bloka motora. Ovisno o vrsti i funkciji dosjeda, preciznost i kvaliteta obrade površina su od presudne važnosti. To se posebno odnosi na tolerancije, hrapavost, geometrijsku ispravnost i kvalitetu materijala. Značaj preciznog mjerenja i kontroliranja dosjeda naglašava se u različitim aspektima proizvodnje i reparacije. Naprimjer, u procesima tokarenja i honanja, cilj je postići površinsku završnu obradu koja će osigurati

optimalne performanse i dugovječnost. Odstupanja u dosjedima mogu dovesti do povećanja trošenja, manje učinkovitog prijenosa topline, pa čak i mehaničkih oštećenja. Preciznost dosjeda, stoga, direktno utječe na performanse, efikasnost i dugovječnost motora. Suština dosjeda nije samo u fizičkim dimenzijama, već i u karakteristikama materijala. Na primjer, otpornost na koroziju, toplinska stabilnost i mehanička čvrstoća su neke od osobina koje se moraju uzeti u obzir prilikom odabira materijala za dosjede. U tom kontekstu, metode poput ultrazvučne inspekcije mogu biti korisne za procjenu kvalitete materijala i identifikaciju mogućih nedostataka. Moderni instrumenti i tehnike mjerenja, kao što su 3D skenerima, koordinatne mjernih mašina (CMM) i različiti softverski alati za analizu podataka, sada omogućavaju iznimno precizno mjerenje dosjeda. Kroz te metode, može se provoditi kontinuirana kontrola kvalitete i tako osigurati visoka razina pouzdanosti i performansi (Norton, 2006.).

## **2.4 Važnost mjerenja tijekom procesa reparacije**

Mjerenje tijekom procesa reparacije nije samo korak koji se provodi iz nužde ili rutine, nego je ključni element koji može značajno utjecati na uspješnost, efikasnost i trajnost reparacije. Važnost mjerenja može se podijeliti u razne faze koje osiguravaju da proces reparacije bude bolje i kvalitetnije odrađen, kako bi ispunili očekivanja klijenata. Mjerenje je neizostavni element u procesu reparacije, omogućujući ne samo kvalitetu i efikasnost, već i usklađenost s regulativama i standardima. Ignoriranje ili podcjenjivanje ovog aspekta može rezultirati manjkom kvalitete, većim troškovima i potencijalnim sigurnosnim rizicima. Stoga je integralno primijeniti rigorozne mjerni metode i tehnike tijekom cijelog procesa reparacije kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i dugoročna pouzdanost. Mjerenja osiguravaju da su svi reparirani dijelovi i sistemi u skladu sa specifikacijama i standardima kvalitete. Bez preciznih mjerenja, postoji rizik od popravaka koji ne zadovoljavaju standarde i norme te oni mogu dovesti do daljnjih problema i potencijalno većih troškova. Prije samog procesa reparacije, mjerenje se koristi za dijagnostiku i identifikaciju problema. Ovo može uključivati mjerenje istrošenosti, odstupanja, tlaka, temperature, električnih signala ili bilo kojeg drugog parametra koji može pomoći u lokalizaciji problema. Kroz mjerenje se može bolje utvrditi koje dijelove je moguće popraviti, a koje je potrebno zamijeniti, omogućavajući tako efikasnije korištenje materijala i radne snage. Redovita mjerenja tijekom faza reparacije pružaju uvid u efikasnost i uspješnost popravaka,

omogućavajući prilagodbe i korekcije u realnom vremenu. Ovo je posebno važno za složene ili dugotrajne projekte reparacije. Također precizna mjerenja i zabilješke o tome mogu poslužiti kao dio dokumentacije i povijesti održavanja, što može biti korisno za buduće reference i potrebe garancije. Mjerenja su često obavezna u skladu s različitim industrijskim i sigurnosnim standardima. Neadekvatna ili netočna mjerenja mogu rezultirati neusklađenošću s regulativama i zakonima, što može dovesti do ozbiljnih posljedica, uključujući i one pravne (N.V. Raghavendra, 2013.).

### 3. Osnove četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem

Unutar okvira ovog rada, glavni fokus je usmjeren na obradu bloka četverotaktnog motora. Kako bismo olakšali razumijevanje, bitno je pojasniti osnovne koncepte četverotaktnog motora, glave motora i bloka motora, zajedno s posebnom ulogom koju imaju cilindri bloka.

#### 3.1 Četverotaktni motor

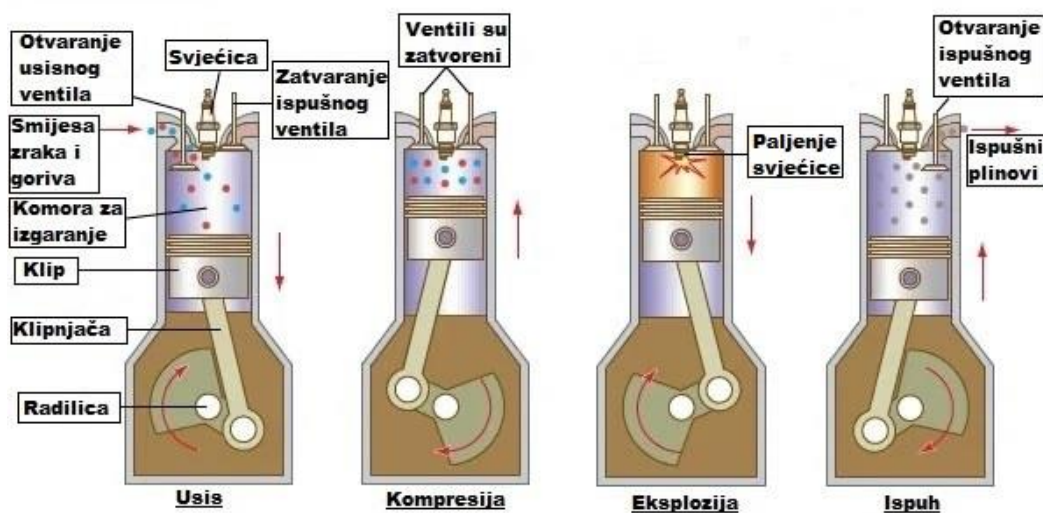
Četverotaktni motor s unutarnjim izgaranjem je vrsta motora koja se često koristi u vozilima, brodovima i različitim vrstama strojeva. Ovaj tip motora radi na principu konverzije kemijske energije iz goriva u mehaničku energiju, koja pokreće kretanje vozila ili rada strojeva. Osnovna ideja četverotaktnog motora leži u ciklusu četiri koraka ili takta zvanim „Otto ciklus“ koje motor prolazi kroz svaki put kad se okreće. Ciklus od četiri koraka ili takta sastoji se od:

1. **Usisni takt (Usisavanje):** U prvom koraku, usisne ventile otvara klip koji se kreće prema dolje unutar cilindra. To stvara podtlak unutar cilindra, što omogućuje da smjesa goriva i zraka (nazvana smjesa) uđe kroz otvorene usisne ventile i napuni cilindar.
2. **Kompresijski takt (Kompresija):** Nakon zatvaranja usisnih ventila, klip se kreće prema gore i stišće smjesu unutar cilindra. Ovaj stisak povećava tlak i temperaturu smjese, pripremajući je za izgaranje. Kada klip dosegne svoj vrhunac, smjesa je komprimirana na manjem prostoru.
3. **Radni takt (Sagorijevanje):** U trenutku kada je smjesa komprimirana, svjećica za paljenje stvara iskre koja zapaljuje smjesu. Gorivo se brzo izgaranjem pretvara u plinove koji stvaraju velik pritisak unutar cilindra. Ovaj pritisak potiskuje klip prema dolje snažno i brzo, stvarajući mehaničku energiju. Taj se pokret klipa prenosi putem klipnjače na kružnicu radilice, što generira okretni moment.
4. **Ispušni takt (Ispuštanje):** Nakon što je gorivo izgoreno i pritisak se smanji, ispušni ventili se otvaraju, a usisni ventili se zatvaraju. Klip se kreće prema gore kako bi istisnuo ispušne plinove iz cilindra kroz otvorene ispušne ventile. To završava ciklus, pripremajući motor za sljedeći ciklus.



Ovaj ciklus četiriju takta prikazanih na slici 2. (usisavanje, kompresija, sagorijevanje i ispuštanje) ponavlja se neprestano dok motor radi. Ova konstantna konverzija goriva u mehaničku energiju omogućuje vozilima i strojevima da se pokreću i obavljaju različite zadatke. Važno je napomenuti da su četverotaktni motori učinkovitiji i manje onečišćujući u usporedbi s dvotaktnim motorima, jer svaki takt obavlja specifičnu funkciju, omogućavajući bolju kontrolu nad procesom izgaranja i ispuštanja ispušnih plinova (Heywood, 1988).

Slika 2. Dijagram rada četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem



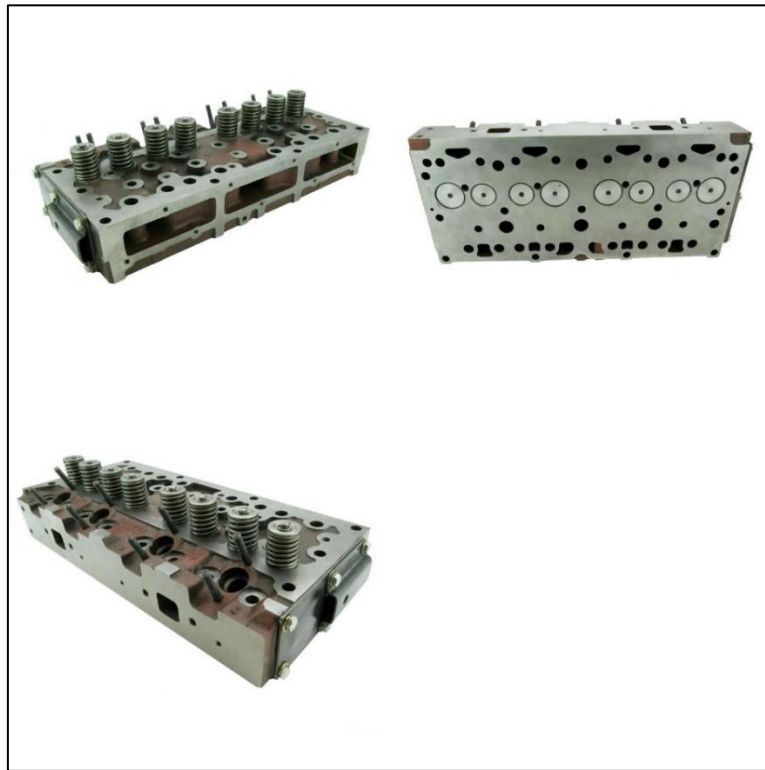
Izvor: Izrada autora prema: The Editors of Encyclopaedia Britannica, Four-stroke cycle, 2023, dostupno na: <https://www.britannica.com/technology/four-stroke-cycle>

### 3.2 Glava motora

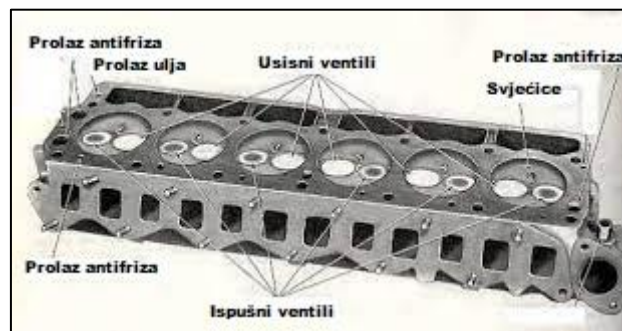
Glava četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem igra ključnu ulogu u funkcioniranju motora te ima nekoliko bitnih komponenata koje omogućavaju efikasno izvođenje procesa izgaranja i pokretanja motora. Ova komponenta motora nalazi se na vrhu cilindra i obično je izrađena od metala poput lijevanog željeza ili aluminija. Glava motora prikazana na slici 3. sastoji se od: Ventila i ventilskih mehanizma, Brtve ventila, Svjećica za paljenje, Glave cilindra, Rasplinjača ili Sustava za direktno ubrizgavanje goriva (ovisno o vrsti motora) i Hladnjaka, te su dijelovi glave motora prikazani na slici 4. (Heywood, 1988).

Izvor: Izrada autora prema: Parts4Engines, dostupno na: <https://www.parts4engines.com/perkins-4-203-direct-injection-cylinder-head-assembly/>

Slika 3.. Primjer glave motora Perkins D4 203



Slika 4. Dijagram glave četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem



Izvor: Izrada autora prema: Kapeloto Dragan, Strojna obrada glave četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem, 2019, <https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A4130>

### 3.3 Blok motora

Blok četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem (slika 5.), također poznat kao blok cilindra ili blok motora, predstavlja temeljnu komponentu motora koja se sastoji od:

cilindra, klipova, cilindrične stijenke i drugih bitnih dijelova prikazanim na slici 6. Sastav bloka i njegove komponente:

1. Cilindri: Blok motora sadrži cilindre, koji su cijevi kroz koje klipovi kreću gore-dolje. U svakom cilindru odvija se ciklus četiriju takta (usisavanje, kompresija, sagorijevanje, ispuštanje).
2. Klipovi: Klipovi su čvrsti čepovi koji se kreću gore-dolje unutar svakog cilindra. Klipovi se povezuju sa klipnjačom koja je spojena s kružnicom radilice, prenoseći pokretnu snagu sagorijevanja goriva u rotacijski pokret radilice.
3. Cilindrične košuljice: Unutarnje površine cilindra obično su obložene slojem koji osigurava glatko klizanje klipova. Ova površina također mora biti otporna na visoke temperature i trošenje.
4. Blokovska glava: Blok motora je povezan s blokovskom glavom (glavom motora) koja sadrži ventile, svjećicu za paljenje, brtve ventila i druge komponente povezane s procesima izgaranja i izmjenom plinova.
5. Hladnjak: Neki motori imaju prostor za hladnjak unutar bloka motora kako bi se održavala optimalna temperatura. Ova značajka pomaže u sprečavanju pregrijavanja motora tijekom rada.

Funkcije bloka četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem:

1. Kuća za ciklus takta: Blok motora služi kao kućište unutar kojeg se odvija ciklus četiriju takta. Svaki cilindar ima svoj vlastiti klip koji se kreće gore-dolje tijekom ciklusa takta.
2. Podrška za klipove: Klipovi se povezuju s klipnjačom i kružnicom radilice unutar bloka motora. Ova konfiguracija pretvara vertikalne pokrete klipova u rotacijski pokret kružnice radilice, koji dalje pokreće kotače ili druge mehanizme.
3. Smještaj ventila i svjećice: Blok motora pruža osnovu za postavljanje ventila, svjećice za paljenje i drugih komponenata glave motora. To je važno za upravljanje protokom goriva, zraka i ispušnih plinova te generiranje iskre za paljenje goriva.
4. Sistem hlađenja: Blok motora također može sadržavati kanale za protok rashladne tekućine kako bi se održavala optimalna radna temperatura motora.
5. Stabilnost i čvrstoća: Blok motora mora biti dovoljno čvrst kako bi izdržao visoki pritisak i temperature koje se javljaju tijekom izgaranja goriva. Čvrstoća bloka osigurava trajnost i pouzdanost motora.
6. Upravljanje Vibracijama: Blok motora igra ulogu u apsorpciji i upravljanju

vibracijama koje nastaju tijekom ciklusa takta. Ovo pomaže u smanjenju buke i osigurava udobnije iskustvo vožnje.

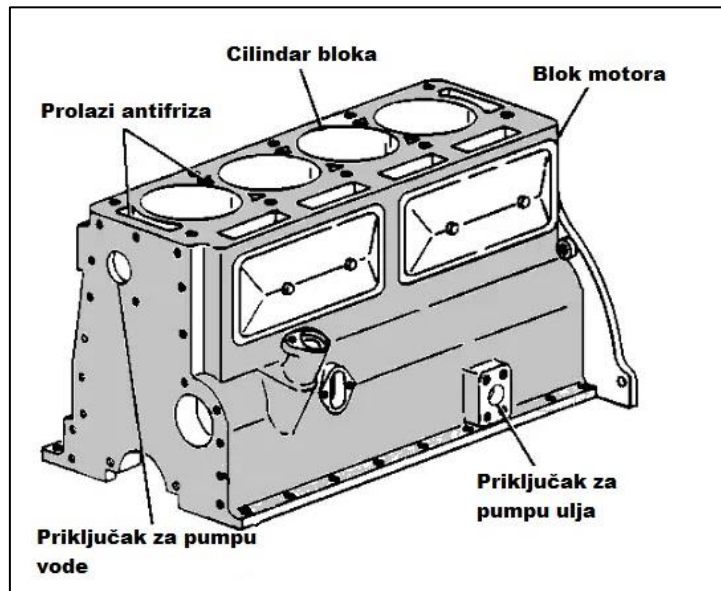
Blok četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem ujedno predstavlja i srce motora, gdje se odvijaju ključni procesi pretvorbe goriva u energiju (Heywood, 1988).

Slika 5. Primjer golog bloka motora Perkins D 4.203



Izvor: Izrada autora prema: RF Engine, dostupno na: <https://dieselscranks.com/perkins-203-engine-block-good-used-37112210-2.html>

Slika 6. Dijagram bloka motora



Izvor: Izrada autora prema: MD Iyas, Cylinder block: diagram, parts, types, functions, & material, 2023 dostupno na: [https://www.theengineerspost.com/cylinder-block/?utm\\_content=cmp-true](https://www.theengineerspost.com/cylinder-block/?utm_content=cmp-true)

## 4. Principi reparacije bloka motora

Reparacija bloka motora je složeni zahvat koji zahtijeva specijalističko znanje i opsežnu pripremu. "Dijagnostika je prvi i najvažniji korak u procesu reparacije" (Heywood, 1988). U ovom poglavlju, razmotrit ćemo korake uključene u procesu reparacije, od dijagnostike do finalne provjere.

### 4.1 Dijagnostički postupci

Prvi korak reparacije bloka motora je detaljna dijagnostika. Detaljnu dijagnostiku možemo podijeliti na sljedeće korake:

1. Vizualna inspekcija
2. Kompresijski test (postupak provjere kada se motor nalazi u vozilu, stroju,...)
3. Ultrazvučna provjera

#### 4.1.1 Vizualna inspekcija

Vizualna inspekcija je ključni prvi korak u procesu reparacije bloka motora. Nakon što je blok motora osiguran za pregled, sigurno se može započeti sa dijagnostikom.

Vanjska provjera sastoji se od:

- Stanje boje: Promjena boje metala može ukazivati na pregrijavanje ili koroziju.
- Površinska Oštećenja: Traže se vidljive pukotine, udubljenja ili ogrebotine. Ovi simptomi često ukazuju na mehaničke probleme ili vanjske utjecaje.
- Naslaga i Nečistoće: Akumulacija masnoće, ulja ili čađe mogu biti simptom lošeg održavanja i potencijalnih unutarnjih problema.
- Pregled spojeva i brtvi: Stanje brtvi i spojeva može pružiti uvid u kvalitetu prethodnog održavanja i mogućih područja curenja.

Zatim slijedi unutarnja provjera, koja obuhvaća stanje cilindra, bitno je obratiti pažnju na znakove ogrebotina, udubljenja ili neka znatno veća oštećenja, primjer tih oštećenja vidljiv je na slici 7.

Slika 7. Vizualna inspekcija stanja cilindra



Izvor: Aurora Generators, Diesel Engine – Glazing and Carbon Buildup, 2020, dostupno na: <https://www.auroragenerators.com/post/diesel-engine-glazing-carbon-buildup>

Također postoje i dodatni postupci vizualne provjere korištenjem magneta ili upotrebom posebne reaktivne boje. Magnetna inspekcija služi za otkrivanje mikro pukotina koje nisu vidljive golim okom, a upotrebom posebnih boja mogu otkrivaju se problemi koji nisu odmah očigledni (primjer magnetne detekcije vidljiv je na slici 8.). Tehnika magnetne inspekcije uključuje magnetizaciju komponente i nanošenje metalnih čestica koji se privlače na mjesta gdje postoje pukotine, čime se omogućuje njihova vizualna detekcija (Anon., 2019.) (Heisler, 2005.).

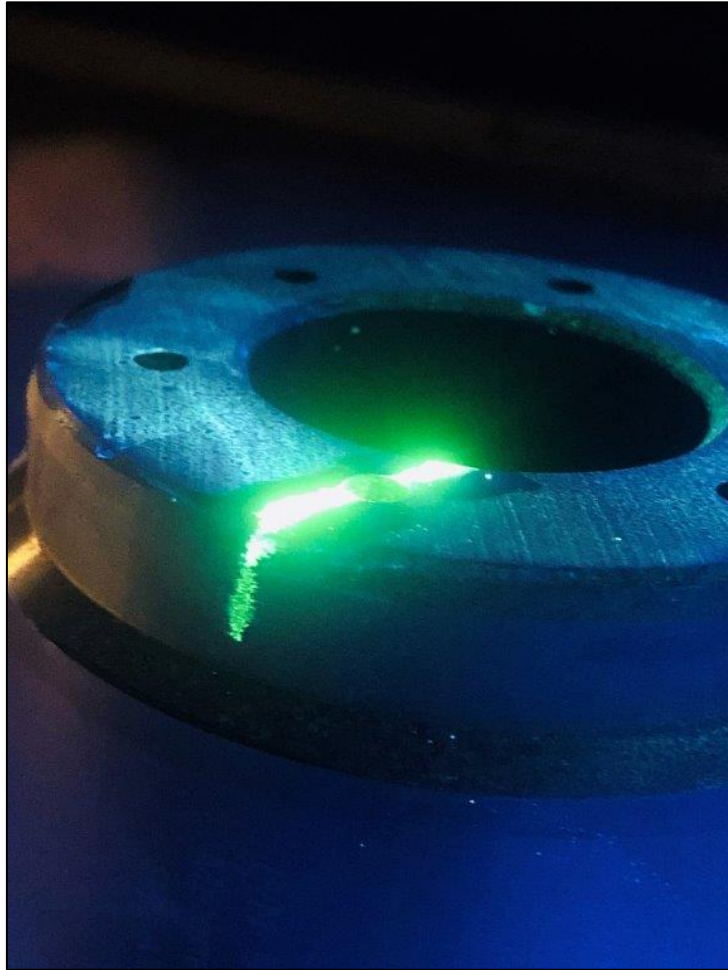
Slika 8. Praktičan primjer magnetne detekcije



Izvor: Budget Engine Rebuilders, dostupno na: <http://www.budgetenginerebuilders.com/our-engine-rebuilding-process/>

Postupak provjere posebnom bojom uključuje nanošenje posebne boje ili kemijskog penetranta na površinu materijala, koji zatim prodire u sve pukotine i nedostatke. Nakon određenog vremena, višak boje se uklanja i površina se pregledava pod odgovarajućim svjetlom kako bi se vidjele obojane pukotine. Primjer takvog postupka testiranja vidljiv je na slici 9.

Slika 9. Potupak provjere posebnom bojom.



Izvor: RNDT, Liquid Penetrant Testing (PT) 2023, dostupno na:  
<https://www.rndt.net/services/liquid-penetrant-testing-pt/>

#### 4.1.2 Ultrazvučna inspekcija

Ultrazvučna inspekcija je jedna od najefikasnijih nisko destruktivnih metoda za detekciju unutarnjih oštećenja u metalnim i nemetalnim strukturama, uključujući blok motora. Ova metoda koristi ultrazvučne valove za ispitivanje integriteta materijala i identifikaciju pukotina, inkluzija ili drugih nepravilnosti koje nisu vidljive golim okom. Primjer ultrazvučne inspekcije prikazan je na slici 10.



Slika 10. Praktički primjer ultrazvučne detekcije.



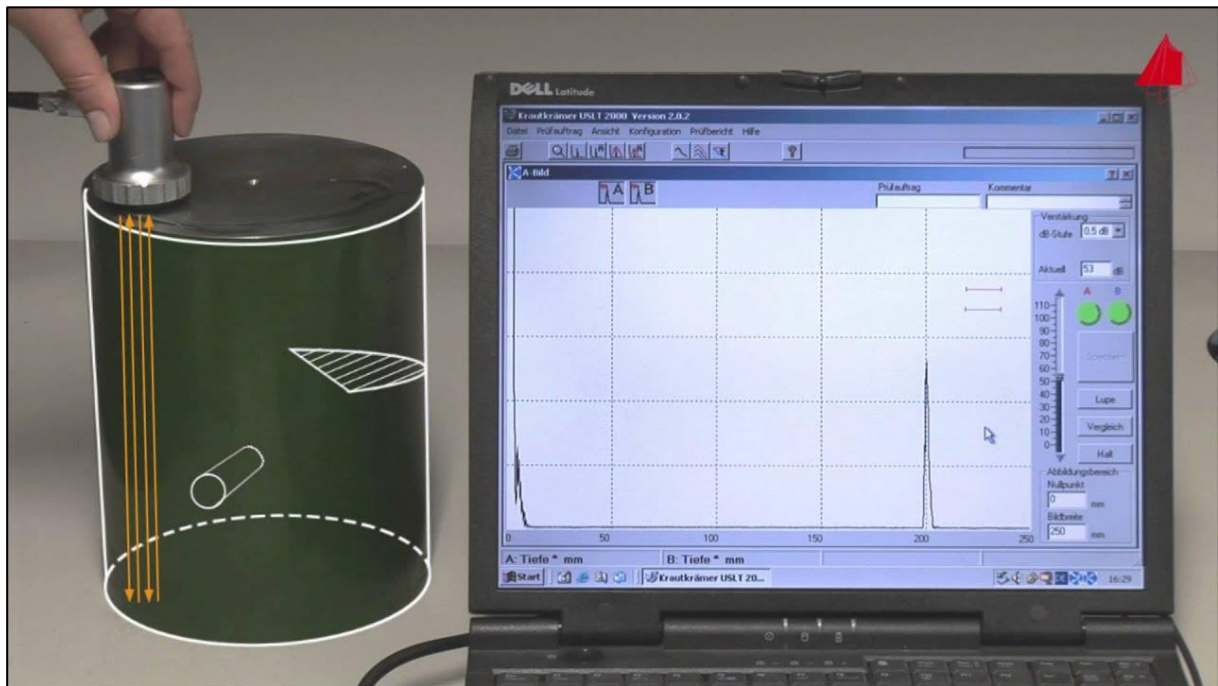
Izvor: HOT ROD ENGINE TECH, How to Build Racing Engines: Cylinder Block Guide, dostupno na: <https://hotrodenginetechn.com/how-to-build-racing-engines-cylinder-block-guide/>

Ultrazvučna inspekcija je napredna, ali nezamjenjiva metoda za detaljno ispitivanje bloka motora. Omogućuje detekciju oštećenja koja nisu vidljiva golim okom i pruža mogućnost za precizne popravke koji mogu produžiti vijek trajanja motora. Proces ultrazvučne detekcije sastoji se od:

#### Priprema Površine:

1. Prije ultrazvučne inspekcije, potrebno je očistiti površinu od masnoće, ulja i drugih nečistoća kako bi se osigurao čist signal.
2. Kalibracija uređaja: Ultrazvučni uređaj mora biti kalibriran kako bi se osigurala točnost mjerenja.
3. Nanošenje sredstva za spajanje: Koristi se posebna tekućina ili gel koji omogućuje bolju transmisiju ultrazvučnih valova iz sonde do površine materijala.
4. Skeniranje: Sonda se postavlja na površinu i pomiče po određenom obrascu. Ultrazvučni valovi prolaze kroz materijal i odbijaju se od površina unutar strukture, prikazano na slici 11.
5. Interpretacija podataka: Na temelju vremena koje ultrazvučni valovi trebaju da dođu natrag do sonde, računala analiziraju i grafički prikazuju podatke.

Slika 11. Prikaz načina rada ultrazvučne detekcije.



Izvor: MaterialsScience2000, Ultrasonic Testing, 2014, dostupno na:  
<https://www.youtube.com/watch?v=UM6XKvXWVFA>

Specifično kod primjene ultrazvučne inspekcije za dijagnostiku oštećenja bloka ona je izuzetno korisna kod otkrivanja unutarnjih pukotina ili inkluzija koje nisu vidljive na površini, mjerenje debljine stijenki cilindra i drugih komponenti i za provjeru integriteta zavarenih spojeva i brtvi. Prednosti ove metode su visoka osjetljivost, mogućnost detekcije unutarnjih oštećenja i njezina primjenjivost na različite materijale. Nedostaci ultrazvučne detekcije bili bi njena isplativost, zahtijevanje stručno osposobljene osobe i složenost same opreme (Anon., 2019.) (Heisler, 2005.).

## 4.2 Faze reparacije

Nakon odrađenih dijagnostičkih postupaka i pronalaženja glavnih uzročnika problema, može se započeti postupkom reparacije. Postupak reparacije sastoji se od niza faza, a faze reparacije sastoje se od:

- Demontaže i čišćenja
- Inspekcije i mjerenja
- Razne metode reparacije (ovisno o vrsti problema/štete)
- Strojna obrade
- Skupljanje i montaža
- Finalna provjera

### 4.2.1 Demontaža i čišćenje

Demontaža i čišćenje su ključni koraci u procesu reparacije bloka motora. Ovi procesi zahtijevaju veliku pažnju i preciznost te iznimnu urednost kako blok motora bio spreman za daljnju obradu. Ovisno o stanju bloka prilikom njegovog dolaska može biti potrebna i demontaža kompletnog motora kako bi došli do golog bloka. Ponajprije je potrebno isprazniti sve tekućine koje se nalaze u motoru (voda, rashladne tekućine, ulje, ...). Zatim je potrebno odspojiti električne i mehaničke komponente poput svjećica, injektora, zračnog filtera i dr. Sljedeći korak je odvajanje same glave motora od bloka motora gdje je potrebno adekvatno označavanje svih dijelova kako ne bi došlo do grešaka prilikom ponovnog sastavljanja. Isto vrijedi i za rastavljanje komponenta bloka motora u koje spadaju klipovi, klipnjače i radilica. Slijedi čišćenje motora koje se sastoji od sljedećih koraka:

1. Mehaničko čišćenje: Počinju se uklanjajući vidljive naslage korozije, ulja i prljavštine koristeći četke i strugače.
2. Kemijsko čišćenje: Koriste se posebne otopine i tekućine da bi se uklonile tvrdokorne naslage koje se ne mogu ukloniti mehaničkim putem.
3. Ispiranje i sušenje: Nakon kemijskog čišćenja, blok motora ispire se čistom vodom i ostavlja se na sušenje.
4. Ultrazvučno Čišćenje: Za izrazito tvrdokorne naslage ili složene geometrije, ultrazvučno čišćenje može biti vrlo efikasno.
5. Finalna Inspekcija: Nakon čišćenja, obavezno se izvršava vizualna inspekcija

kako bi se osiguralo adekvatno stanje svake komponente i njena spremnost za reparaciju.

Bitno je napomenuti da prilikom demontaže i čišćenja potrebno je nositi odgovarajuću zaštitnu opremu npr. rukavice i zaštitne naočale te je iznimno potrebno organizirano radno okruženje jer se tako smanjuje rizik gubitka i oštećenja dijelova (Monroe, 1996.).

#### **4.2.2 Inspekcija i mjerenje**

Prvobitno je važno izvršiti inspekciju bloka motora, sama inspekcija detaljno je opisana u poglavlju 4.1. Sljedeći korak je mjerenje odstupanja, specifično mjerenje debljine zidova cilindra. Mjerenje debljine zidova cilindara je esencijalno kako bi se osiguralo da su unutar proizvođačkih tolerancija. Za ovu svrhu koriste se precizni mikrometri koji mogu mjeriti debljinu sa velikom točnošću. Ukoliko su zidovi cilindra van tolerancije potrebno je mijenjati košuljicu cilindra. Za kraj mjerenja odstupanja potrebno je provjeriti ispravnost osovine. Osovinska ispravnost je ključna za pravilan rad motora. Za mjerenje ispravnosti koriste se specijalizirani uređaji koji mogu detektirati čak i minimalna odstupanja. Uređaj koji se koristi za mjerenje ispravnosti i odstupanja osovine često se naziva "Stroj za ispitivanje iskrivljenja" ili "Osovinski ispitivač iskrivljenja" i prikazan je na slici (eng. "Crankshaft Straightness Tester"). Ovaj uređaj koristi precizne mjerni uređaji i metode, uključujući dijelove poput podložaka i oslonaca koji omogućuju rotaciju osovine dok se vrše mjerenja. Također, neki modeli koriste lasersku tehnologiju ili dial indikatore za mjerenje najmanjih odstupanja i iskrivljenja duž osovine (Dr. Jeffrey K. Ball, 2004.).

#### **4.2.3 Razne metode reparacije bloka motora**

- **Brušenje cilindra:** Brušenje cilindra je precizan i specijaliziran postupak kojim se obnavljaju unutarnje površine cilindra. Ova metoda se koristi kada su cilindri oštećeni, neravni ili izgrebani, ili ako se dimenzije cilindara promijenile zbog habanja. Kroz brušenje, uklanjaju se mikroskopski slojevi metala s cilindarskih stijenci kako bi se povratio originalan oblik i površinska kvaliteta. Proces se izvodi pomoću cilindričnih brusilica koje su dizajnirane za ovu svrhu, a koje koriste abrazivne materijale za uklanjanje metala. Brušenje je kritičan postupak koji zahtijeva veliku preciznost i iskustvo, a od njegove ispravne provedbe zavisi

dugovječnost motora i optimalne performanse (Voegelin, 1997.).

- **Obnavljanje osovina:** Obnavljanje osovina smatra se jednim od najkompleksnijih dijelova procesa reparacije. Osovine, bilo radilice ili koljenaste osovine, tijekom vremena podliježu velikim mehaničkim i toplinskim naprezanjima. To može rezultirati habanjem, iskrivljenjem ili drugim oštećenjima. Proces obnavljanja obično započinje demontažom i detaljnom inspekcijom. Ako je osovina iskrivljena, koristi se specijalizirana oprema za ispravljanje. Nakon toga, osovina se precizno brusi kako bi se vratile originalne dimenzije i završna obrada. Svaka faza zahtijeva visok stupanj preciznosti i stručnosti kako bi se osigurale optimalne performanse i dugovječnost cijelog motora (Heisler, 2005.) (William H. Crouse, 1985.).
- **Obnavljanje ili zamjena ležajeva:** Ključna je faza koja često zahtijeva posebnu pažnju je obnavljanje ili zamjena ležajeva radilice. Ovi ležajevi osiguravaju pravilno kretanje i funkciju radilice, a njihovo habanje ili oštećenje mogu dovesti do ozbiljnih problema u motoru. Obično, prvi korak u ovom procesu je demontaža i ispitivanje ležajeva kako bi se utvrdilo jesu li prikladni za obnavljanje ili zahtijevaju potpunu zamjenu. Ako je moguće, ležajevi se obnavljaju brušenjem ili poliranjem do željenih specifikacija. U suprotnom, zamjenjuju se novim ležajevima koji su pažljivo odabrani da odgovaraju originalnim specifikacijama. U oba slučaja, važno je provesti precizno mjerenje i ispitivanje kako bi se osigurala pravilna odstupanja i balansiranje (Monroe, 1996.) (William H. Crouse, 1985.).
- Nakon što se detektiraju oštećenja, postoji nekoliko metoda za njihovu obnovu. Jedna od najčešće korištenih je zavarivanje, gdje se oštećeni dijelovi adekvatno pripremaju prije nego što se specijaliziranim postupkom zavare (prikazano na slici 12.).

Slika 12. Primjer reparacija bloka motora metodom zavarivanja.



Izvor: BELZONA, engine repair, Y. Burova, 2017., dostupno na:  
<https://blog.belzona.com/tag/engine-repair/>

Ovo zahtijeva visoku razinu stručnosti i preciznu opremu kako bi se osigurao kvalitetan i dugotrajan zavar. Alternativna metoda je upotreba kemijski otpornih ljepila i brtvila koja se mogu koristiti za manje pukotine i oštećenja. U ekstremnim slučajevima, oštećeni dio može se izbušiti i zamijeniti odgovarajućim umetkom, te je primjer takve reparacije prikazan na slici 13. Bez obzira na metodu, cilj je uvijek osigurati integritet i dugovječnost popravljenog bloka motora (Rehkopf, 2005.).

Slika 13. Primjer reparacije bloka motora zamjenskim umetkom.



Izvor: QuantiServ, dostupno na: <https://www.quantiserv.com/solutions/metal-stitching/>

- Zamjena košuljice cilindra: Zamjena košuljice cilindra može se provesti na dva osnovna načina, s izvornim klipovima ili s većim klipom. U prvom slučaju, nova košuljica se ugrađuje kako bi bila kompatibilna s izvornim klipovima i klipnim prstenovima. Ovaj postupak obično je manje kompliciran i brži jer nema potrebe za dodatnim modifikacijama bloka ili klipova. S druge strane, zamjena košuljice s većim klipom zahtijeva detaljnu pripremu i prilagodbu. U tom slučaju, novi, veći klipovi se ugrađuju zajedno s novom košuljicom, što često rezultira povećanjem radne zapremine i performansi motora. Ovo zahtijeva precizno brušenje i obradu cilindarskog otvora kako bi se osigurao savršene zračnosti između košuljice i klipa. Bez obzira na izbor metode, za ovakve radove potrebna je specijalizirana oprema i stručno znanje kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i dugovječnost motora (Taylor, 1985.).

#### **4.2.4 Strojevi potrebni za reparaciju bloka motora**

Reparacija bloka motora zahtijeva niz specijaliziranih strojeva (prikazanih na slici) kako bi se osigurao najviši nivo kvalitete i preciznosti. Uobičajeni strojevi koji se koriste u ovom kontekstu uključuju:

- CNC strojevi: Za precizno brušenje i obradu cilindara i drugih komponenata.
- Strojevi za honanje: Za finalnu obradu cilindarskih zidova kako bi se osigurao pravilna zračnost s klipnim prstenovima.
- Strojevi za utiskivanje i istiskivanje: Za ugradnju i izvlačenje ležajeva i košuljica.
- Stroj za ravnanje bloka: Za osiguranje da su sve površine ravne i poravnate.
- Zavarivački strojevi: Za popravak pukotina i oštećenja na bloku. (Mavrigian, 2017.)

#### **4.2.5 Skupljanje, montaža i finalna provjera**

Nakon što su sve komponente bloka motora detaljno pregledane, obnovljene ili zamijenjene, slijedi faza skupljanja i montaže. Ovaj postupak obuhvaća pažljivo postavljanje svih dijelova, od ležajeva i košuljica do klipova i klipnih prstenova. Stručna montaža ključna je za dugovječnost i performanse motora. Posebna pažnja posvećuje se preciznom poravnavanju i pritezanju vijaka na prethodno određene momente kako bi se osigurao optimalan rad i minimizirala mogućnost budućih kvarova. Određeni momenti iščitavaju se iz priručnika od motora koji je repariran. Finalna provjera

uključuje seriju testiranja funkcionalnosti i performansi. Ovo može uključivati kompresijski test, mjerenje radne zapremine i provjeru rada sistema za podmazivanje. Samo nakon uspješnog prolaska ovih rigoroznih testova, blok motora smatra se potpuno restauriranim i spremanim za ponovno korištenje. U ovom koraku koristi se razna mjerna i dijagnostička oprema kako bi se osigurala preciznost i kvaliteta rada. U tu opremu spadaju:

- Mjerni Satovi i Mikrometri: Za precizna mjerenja unutarnjih i vanjskih dimenzija, uključujući promjer cilindara i klipova.
- Torziometri: Za mjerenje i kontrolu momenta pritezanja vijaka i matica.
- Kompresijski Tester: Za provjeru kompresijskog tlaka u svakom cilindru.
- Endoskopska Kamera: Za vizualni pregled unutarnjih dijelova cilindra i kanala za podmazivanje.
- Mjerači Protoka Ulja: Za provjeru učinkovitosti sistema za podmazivanje.
- Strojevi za Balansiranje: Za provjeru i podešavanje balansa kritičnih pokretnih dijelova kao što su radilica i bregasta osovina.
- Testeri za Ispitivanje Tlaka: Za provjeru hermetičnosti i nepropusnosti cilindra i glave motora.
- Spektrometri i ispitivači Plinova: Za analizu izlaznih emisija i performansi goriva.
- Multimetar i Električni Testeri: Za dijagnostiku električnih i elektronskih komponenata, kao što su senzori i solenoidi.

Ovaj postupak predstavlja konačnu etapu u procesu reparacije bloka motora i osigurava da je svaki aspekt obnove izveden prema najvišim standardima (Heisler, 2005.) (Rehkopf, 2005.).



## 5. Primjer obrade iz prakse – PERKINS D 4.203

Motor Perkins 4.203 je dizelski motor s unutarnjim izgaranjem, predstavljen 1962. godine, koji se koristi u širokom rasponu vozila. To je četverotaktni dizelski motor s izravnim i neizravnim ubrizgavanjem, obilježen provrtom od 91,48 mm i hodom od 127 mm, te snagom od 58 KS pri 2000 o/min. Nakon što se klijent odlučio za suradnji i povjerenje, motor se rastavlja na osnovne dijelove te je blok motora spreman za dijagnostiku. Na slici 14. prikazan je goli blok motora.

Slika 14. Goli blok motora Perkins D 4.203.



Izvor: Obrada autora

Cilj dijagnostike nam je bio utvrditi razlog njegovog kvara koje je klijent opisao potpunim prestankom rada motora. Koristili smo vizualni pregled i tehničko mjerenje kao metode dijagnostike. Za mjerenje koristili smo štapnu mjernu uru. Nakon pregleda bloka motora, uočili smo tamniju boju košuljica cilindara, što ukazuje na moguće trošenje cilindarskih provrta unutar bloka. Klijent također navodi da prije potpunog prestanka rada motora, motor je imao sljedeće probleme:

- Trošenje ulja
- Proizvodnja velike količine dima iz motora – potvrđeno količinom čađe na košuljicama

- Teško paljenje motora
- Te gubitak snage i prestanak rada

Zbog svih navedenih razloga klijent traži stručnu pomoć gdje se započinje reparacija bloka motora.

### 5.1 Mjerenje odstupanja i vađenje košuljica

Kako bi ustanovili istrošenost košuljica na koje se sumnja da su neispravne odradili smo njihova mjerenja. Vidljivo na slici 15. markerom su označene tri točke mjerenja.

Slika 15. Izmjerena odstupanja košuljice



Izvor: Obrada autora

U početnoj fazi izveli smo mjerenja kako bismo utvrdili stupanj istrošenosti košuljica cilindra unutar bloka motora. Prema zadanim tolerancijama, maksimalno dopušteno odstupanje istrošenosti za košuljicu cilindra iznosi 0,08 mm. Koristeći mjernu uru, izvršili smo inicijalno mjerenje na jednoj košuljici cilindra, pri čemu je uočeno

odstupanje od 0,17 mm, vidljivo na slici 16.

Slika 16. Prvo mjerenje odstupanja.



Izvor: M. Pranjic, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Prilikom drugog mjerenja vidljivo je još veće odstupanje od 0,28 mm (slika 17.).

Slika 17. Drugo mjerenje odstupanja.



Izvor: M. Pranjic, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Na zadnjem mjerenju, izmjerili smo odstupanje od 0,45 mm istrošenosti koje je vidljivo na slici 18.

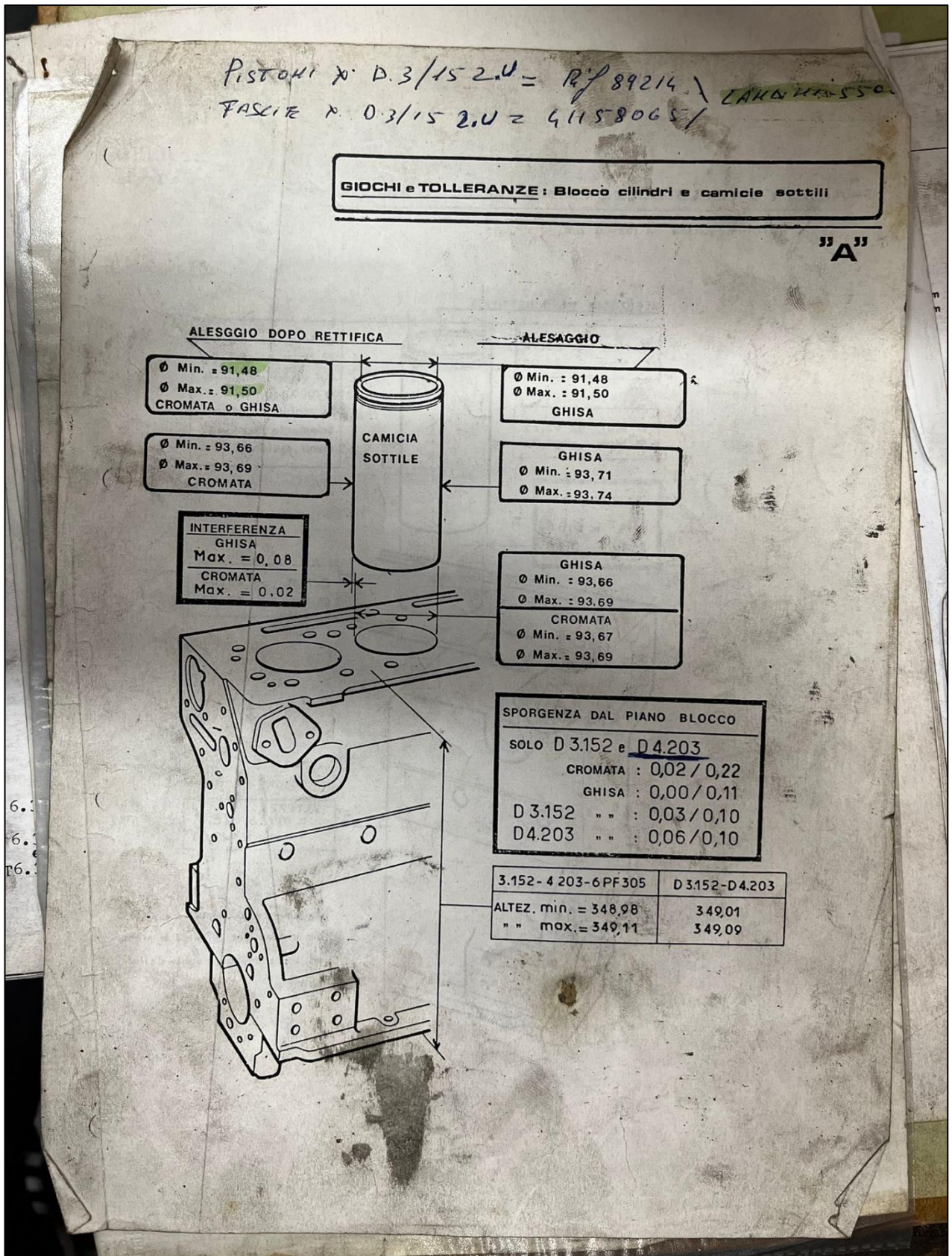
Slika 18. Treće mjerenje odstupanja.



Izvor: M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Pošto smo upotrebom mjernog uređaja analizirali odstupanja na košuljicama cilindara i sukladno priloženoj dokumentaciji utvrdili da je dozvoljena tolerancija istrošenosti 0,08 mm, košuljice smo uklonili iz bloka motora putem prešanja. Detalji o tolerancijama, kao i o vanjskim i unutarnjim promjerima košuljica cilindara i provrtima bloka motora, prikazani su na slici 19.

Slika 19. Dokumentacija odstupanja Perkins D 4.203 motora



Izvor: Obrada autora

## 5.2 Nabava zamjenskih dijelova.

Nakon što smo ustanovili da je potrebno zamijeniti košuljice cilindra kontaktirali smo tvrtku Motomriner d.o.o. koja se bavi prodajom sustava filtracije, rezervnih dijelova, industrijskih i brodskih motora, ulja i potrošnog materijala u automobilskom, građevinskom, industrijskom segmentu i brodskom dijelu. Nakon komunikacije ustanovili smo koji zamjenski dijelovi su nam potrebni te su oni naručeni i dostavljeni. Na slici 20., prikazane su stara i nova košuljica cilindra.

Slika 20. Prikaz razlike između stare i nove košuljice cilindra.



Izvor: Obrada autora

## 5.3 Mjerenje preklopa košuljice cilindra i provrta bloka, ubacivanje košuljica prešanjem

Prije same operacije umetanja košuljice u cilindar bloka motora, izvedena su mjerenja razmaka između košuljice cilindra i provrta bloka. Koristeći obuhvatni mikrometar, prvo smo utvrdili vanjske dimenzije košuljice duž njenih osi. Nakon toga, tu smo mjernu vrijednost aplicirali na štapnu mjernu uru kako bismo izmjerili zračnost unutar provrta cilindra bloka motora. Odrađena mjerenja vidljiva su na slikama 21., 22. i 23

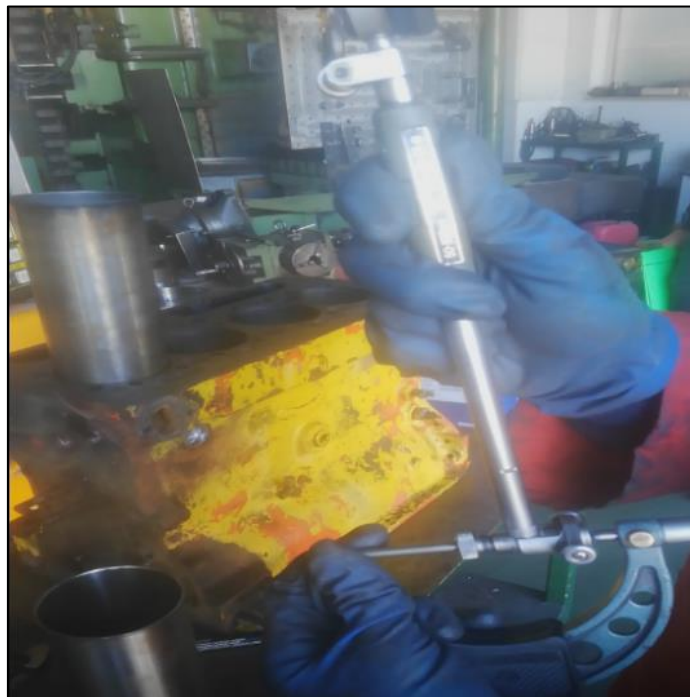
Slika 21. Mjerenje vanjskog promjera košuljice mjernim mikrometrom.



Izvor: M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:

<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

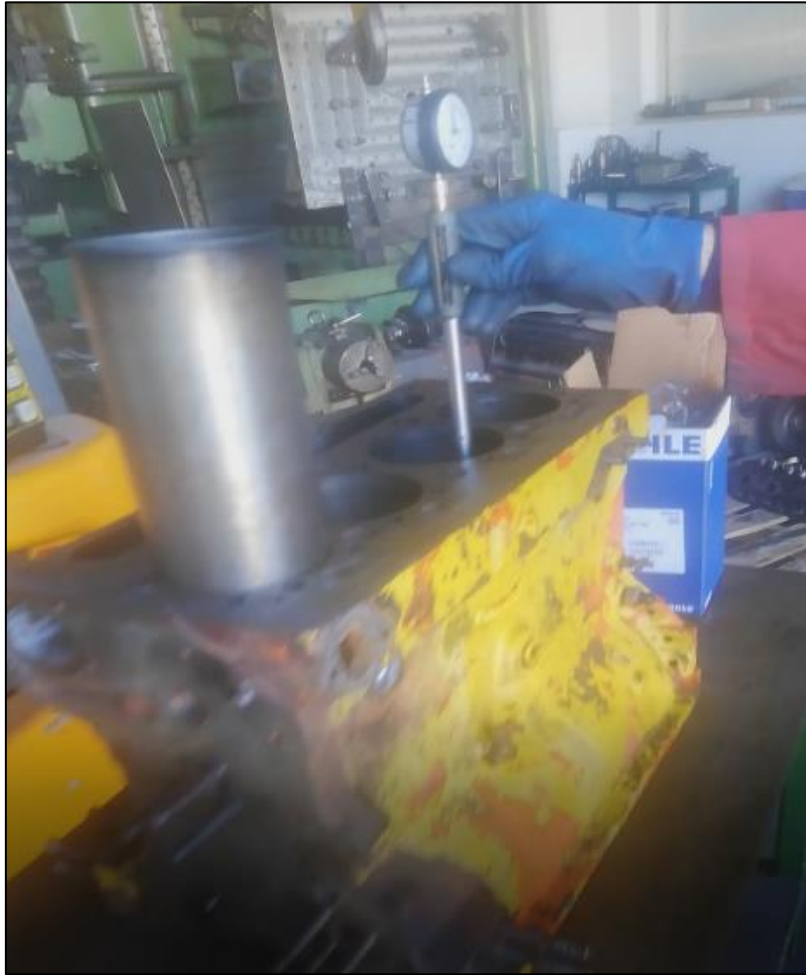
Slika 22. Prijenos vanjskog promjera košuljice sa mjernog mikrometra na štapnu mjernu uru



Izvor: M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:

<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Slika 23. Mjerenje preklopa košuljice i provrta bloka.



Izvor: M. Pranjic, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Izmjereni preklap iznosio je 0,03 mm te nakon utvrđivanja da postoji preklap između košuljica cilindra i provrta bloka motora, započeli smo s procesom umetanja košuljica u provrte bloka putem prešanja. Zatim smo se fokusirali na ispravljanje osnovne ploče bloka motora. Poslije toga, slijedila je faza tokarenja i honanja unutrašnjih površina košuljica.



#### 5.4 Strojna obrada: Ravnanje bloka motora, tokarenje i honanje

Nakon što su cilindarske košuljice prešane u blok motora, potrebno je bilo izravnati bazu bloka motora. Stroj koji je korišten za ravnanje baze bloka motora prikazan je na slici 24.

Slika 24. Stroj korišten za ravnanje bloka Zanrosso ESA 12.



Izvor: Obrada autora

Proces ravnjanja baze bloka motora započeo je nakon što smo uz pomoć mjerne ure centralizirali bazu bloka motora. Poslije uspješnog ravnjanja baze bloka, na redu je bila faza tokarenja cilindarskih košuljica. Na slici 25., prikazana je poravnana baza bloka te početna faza tokarenja košuljica cilindra.

*Slika 25. Poravnata baza bloka motora sa novo prešanim košuljicama.*



Izvor: M. Pranjic, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Obradivanje cilindarskih košuljica izvedeno je tokarilicom postavljenoj na dimenzije 91,44 mm. Slika 26., prikazuje glavu tokarilice i alat za rezanje, dok slika 27., pokazuje trenutak kada glava tokarilice ulazi u košuljicu cilindra.

Slika 26. Nož i glava tokarilice



Izvor: M. Pranjic, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Slika 27. Spuštanje glave tokarilice u košuljicu cilindra.



Izvor: M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Slika 28. prikazuju noževe koji su korišteni i njihove parametre koji su:

- $a_p$  (dubina obrade) - 0,4mm
- $f_n$  (broj okretanja obratka) – 0,07 mm/r
- $v_c$  (obodna brzina obratka) – 130 m/min

Slika 28. Noževi korišteni za obradu i njihovi parametri.



Izvor: Izrada autora, M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na: <https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Također potrebni su parametri za posmak i brzinu rezanja koje smo izračunali putem sljedećih formula:

$$f = \frac{v_c}{n} \quad (\text{formula za posmak})$$

f – posmak izražen je u milimetrima po okretaju [mm/o]

$v_c$  – brzina rezanja izražena u metrima po minuti [m/min]

n – broj okretaja u minuti [ $min^{-1}$ ]

$$v_c = D \times \pi \times n \text{ ( formula za brzinu rezanja)}$$

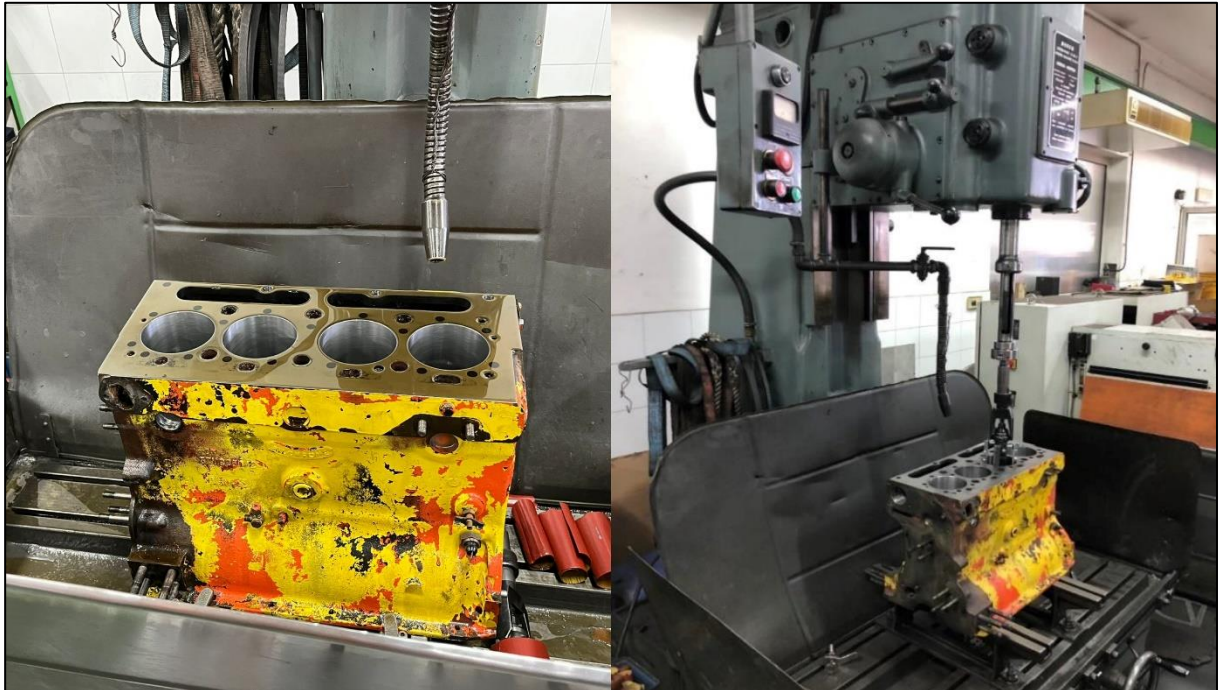
$v_c$  – brzina rezanja izražena u metrima po minuti [m/min]

D – promjer obratka u milimetrima [mm]

n – broj okretaja obratka u minuti [ $min^{-1}$ ]

Nakon što su košuljice cilindra tokarene na mjeru 91,44 mm slijedi faza honanja gdje je potrebno ukloniti još 0,04mm materijala košuljice. Blok motora se osigurava na tokarskom stroju (prikazano na slici 29.) kako bi se obavilo fino brušenje pomoću specijaliziranog kamenog alata za honanje koji je vidljivo na slici 30. Ova precizna završna obrada provodi se na ovaj način zato što kamen za honanje pokriva cjelokupnu cilindričnu površinu košuljice, omogućujući time vrhunsku preciznost. Odabrani kamen za ovaj postupak je R5 -J18N s dimenzijama  $\varnothing 70\div 95$  (gdje R5 označava promjer od  $\varnothing 70\text{mm}$  do  $\varnothing 95\text{mm}$ , J predstavlja silicij karbid, 18 označava veličinu zrna, a N stupanj finoće), što je zabilježeno na slici 31.

Slika 29. Osiguran blok motora na tokarskom stroju.



Izvor: Obrada autora

Slika 30. Kamen korišten za honanje.



Izvor: Obrada autora

Slika 31. Kamen korišten za honanje.

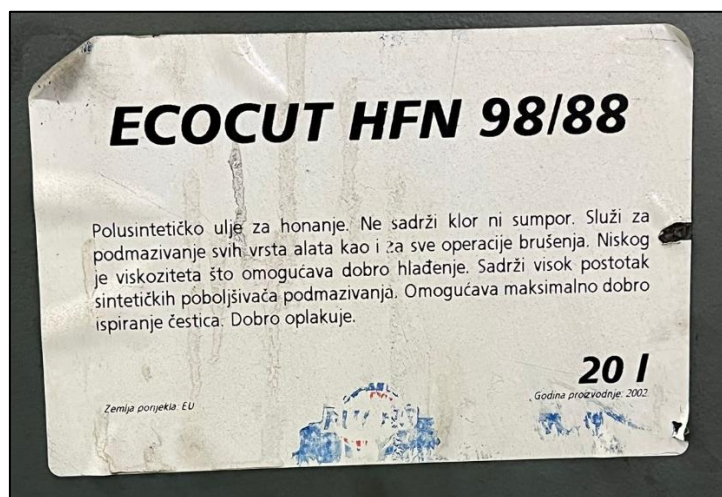


Izvor: M. Pranjić, Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem, 2023, dostupno na:  
<https://dabar.srce.hr/islandora/object/unipu%3A7782>

Prilikom honanja potrebno je koristiti neku vrstu ne paljive rashladne tekućine. U ovom slučaju korišteno je polusintetičko ulje koje se inače u praksi koristi za podmazivanje raznih vrsta alata te i za razne vrste bušenja. Na slici 32. prikazano je korišteno polusintetičko ulje koje ima sljedeće karakteristike:

- ne sadrži klor i sumpor u sastavu
- nizak viskozitet koji omogućuje adekvatno hlađenje
- visok postotak sintetičkih poboljšivača podmazivanja
- maksimalno odstranjivanje čestica nastalih prilikom obrade

Slika 32. Rashladno sredstvo koje koristi stroj prilikom obrade.



Izvor: Obrada autora

Finalno obradom honanja dodatnih 0,04 mm košuljice, dobivena je mjera od 91,48 mm vidljivo na slici 33, te je finalni izgled obrade vidljiv na slici 34. Blok motora se sklapa i to privodi krajem proces reparacije bloka motora Perkins D 4.203. Trajanje postupka tokarenja po cilindarskoj košuljici iznosilo je petnaest minuta, dok je za honanje bilo potrebno dvanaest minuta za svaku košuljicu. Ukupni trošak reparacije motora bio je 300,00 eura.

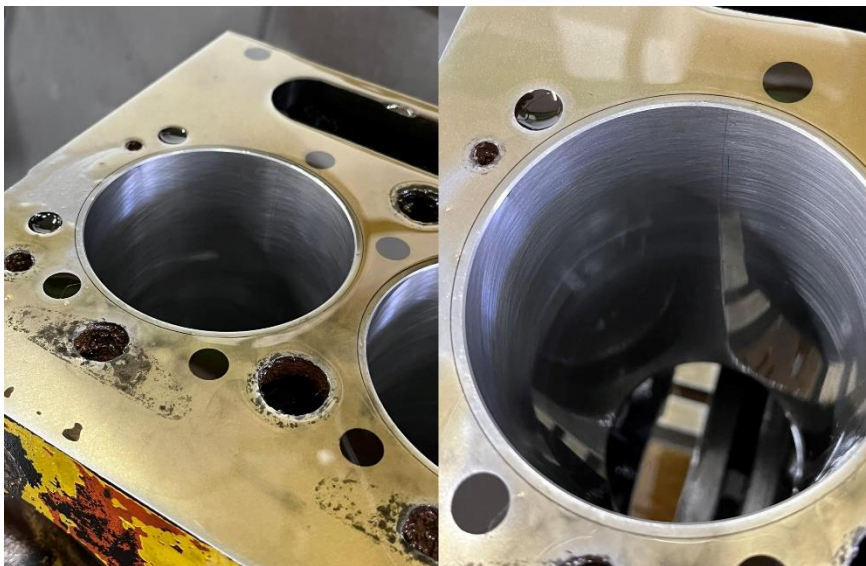


Slika 33. Mjerenje finalne obrade štapnom mjernom urom.



Izvor: Obrada autora

Slika 34. Rezultat finalne obrade.



Izvor: Obrada autora

## 6. Zaključak

Kroz analizu procesa reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje odstupanja obrade, ovaj rad nudi sveobuhvatno razumijevanje složenosti uključenih u ovu vrstu mehaničke obrade. Vidljivo je da preciznost i kvaliteta mjerenja u proizvodnji igraju kritičnu ulogu u uspješnoj reparaciji. Različite vrste mjerenja i primjena raznovrsnih alata i metoda, uključujući ručna i automatizirana mjerenja, softverske aplikacije, i standardne regulative, služe kao temelj za preciznu i učinkovitu obradu. Osim toga, identificirali smo kritične pokazatelje učinkovitosti (KPIs) koji služe kao smjernice za evaluaciju i optimizaciju procesa. Značaj dosjeda kao ključnih komponenti u strukturi motora je posebno istaknut, kao i važnost mjerenja tijekom svake faze reparacije. Temeljne komponente četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem, uključujući glavu i blok motora, su također razmatrane s ciljem potpunog razumijevanja mehanizama koji zahtijevaju popravak ili zamjenu. Detalji poput vizualne i ultrazvučne inspekcije, demontaže i čišćenja, kao i različitih metoda reparacije, naglašavaju kompleksnost uključenih procesa. Primjer obrade PERKINS D 4.203 poslužio je kao praktična ilustracija za primjenu teorije i metoda opisanih u radu. Ukazuje na niz koraka od mjerenja odstupanja, nabave zamjenskih dijelova, do strojne obrade kao što su ravnanje, tokarenje i honanje. Ovaj primjer jasno demonstrira kako pravilno izvedena mjerenja i kvalitetna obrada mogu produžiti vijek trajanja motora i značajno smanjiti operativne troškove. U konačnici, ovaj rad potvrđuje da je reparacija motora najisplativiji i najodrživiji način održavanja strojeva koji su došli blizu kraja svog operativnog vijeka. Preciznost mjerenja i kvaliteta obrade su ključne u postizanju ovog cilja. Pored ekonomske isplativosti, reparacija također ima dodatnu prednost očuvanja resursa, što je posebno važno u kontekstu globalnih održivih inicijativa. Ispitivanje Perkins 4.203 dizel motora potvrdilo je potrebu za reparacijom. Dijagnostičke tehnike uključivale su vizualni pregled i precizna mjerenja. Zapaženo je da su cilindarske košuljice pokazivale značajne znakove trošenja, poput crnila i velike potrošnje ulja. Motor je imao i problema s performansama, kao što su teškoće pri paljenju i slabu snagu, dok su mjerenja pokazala maksimalno odstupanje u trošenju košuljica do 0,45 mm, znatno iznad dozvoljene tolerancije od 0,08 mm. Postupak obnove uključivao je uklanjanje starih cilindarskih košuljica i postavljanje novih. Tokarenje je izvedeno sa preciznošću do 91,44 mm, a zatim je provedeno honanje kako bi se dodatno prilagodile košuljice. Korišteno je polusintetičko ulje za podmazivanje alata tokom brušenja.

B. Samaržija, završni rad: Analiza reparacije motora s unutarnjim izgaranjem i mjerenje odstupanja obrade, 2023.

Na kraju je motor ponovno sastavljen s finalnim dimenzijama cilindra od 91,48 mm, te je ukupan iznos reparacije bio 300,00 eura.

## Popis literature

1. Anon., 2019.. *CFRS*. [Mrežno]  
Available at: <https://cfrs.ru/hr/dvigatel/obnaruzhenie-mikrotreshchin-obnaruzhenie-mikrotreshchin-kak-proverit-blok.html>  
[Pokušaj pristupa 1.9.2023. Rujan 2023.].
2. Dr. Jeffrey K. Ball, R. S., 2004.. *Automotive Engineering Fundamentals*, Warrendale, Pa.: SAE International.
3. Harrington, H. J., 1987.. *The Improvement Process: How America's Leading Companies Improve Quality*. New York: McGraw-Hill.
4. Heisler, H., 2005.. *Advanced Engine Technology*, London: The College of North West London.
5. Heywood, J., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York: McGraw-Hill.
6. Hiller, C. J., 2003.. *Handbook of nondestructive evaluation*, New York: McGraw-Hill.
7. Kapeloto, D., 2019.. *STROJNA OBRADA GLAVE ČETVEROTAKTNOG MOTORA SA UNUTARNJIM IZGARANJEM*, Pula: Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula.
8. Lord, K., 1883,. *Electrical Units of Measurement*. Oxford: an.
9. Mavrigian, M., 2017.. *Automotive Machining: A Guide to Boring, Decking, Honing & More*, Forest Lake, MN: CarTech, INC..
10. Michael L. George, J. M. D. T. R. M. P., 2005.. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to Nearly 100 Tools for Improving Quality and Speed*, New York: McGraw-Hill.
11. Monroe, T., 1996.. *Engine Builder's Handbook*, New York: HP Books.
12. N.V. Raghavendra, L. K., 2013.. *Engineering Metrology and Measurements*, Oxford: Oxford university press.
13. Norton, R. L., 2006.. *Machine Design: An Integrated Approach*, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
14. Pranjić, M., 2023.. *Reparacija motora s unutarnjim izgaranjem*, Pula: Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula.
15. Pressman, R. S., 2005.. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, New York: McGraw-Hill.
16. Rehkopf, J., 2005.. *Engine Repair and Rebuilding*, Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall.

17. Smith, C. A., 2002.. *Automated Continuous Process Control*, New York: John Wiley & Sons, Inc..
18. Taylor, C. F., 1985.. *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*, Massachusetts: THE M.I.T. PRESS.
19. Voegelin, R., 1997.. *Engine Blueprinting Practical Methods For Racing And Rebuilding*, Grand AveNorth Branch, MN: CARTECH, INC .
20. Wiliam H. Crouse, D. L. A., 1985.. *Automotive Mechanics*, New York: McGraw-Hill.

## **Osobni odlazak u radnju**

1. Tokarsko – bravarski obrt „Đino“

## Popis Slika

Slika 1. Alati korišteni za ručna mjerenja .....	6
Slika 2. Dijagram rada četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem .....	16
Slika 3.. Primjer glave motora Perkins D4 203 .....	17
Slika 4. Dijagram glave četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem .....	17
Slika 5. Primjer golog bloka motora Perkins D 4.203.....	19
Slika 6. Dijagram bloka motora.....	20
Slika 7. Vizualna inspekcija stanja cilindra.....	21
Slika 8. Praktičan primjer magnetne detekcije .....	22
Slika 9. Potupak provjere posebnom bojom. ....	23
Slika 10. Praktički primjer ultrazvučne detekcije. ....	24
Slika 11. Prikaz načina rada ultrazvučne detekcije.....	25
Slika 12. Primjer reparacija bloka motora metodom zavarivanja. ....	29
Slika 13. Primjer reparacije bloka motora zamjenskim umetkom.....	29
Slika 14. Goli blok motora Perkins D 4.203. ....	32
Slika 15. Izmjerena odstupanja košuljice .....	33
Slika 16. Prvo mjerenje odstupanja. ....	34
Slika 17. Drugo mjerenje odstupanja.....	34
Slika 18. Treće mjerenje odstupanja. ....	35
Slika 19. Dokumentacija odstupanja Perkins D 4.203 motora .....	36
Slika 20. Prikaz razlike između stare i nove košuljice cilindra.....	37
Slika 21. Mjerenje vanjskog promjera košuljice mjernim mikrometrom.....	38
Slika 22. Prijenos vanjskog promjera košuljice sa mjernog mikrometra na štapnu mjernu uru .....	38
Slika 23. Mjerenje preklopa košuljice i provrta bloka. ....	39
Slika 24. Stroj korišten za ravnanje bloka Zanrosso ESA 12.....	40
Slika 25. Poravnata baza bloka motora sa novo prešanim košuljicama. ....	41
Slika 26. Nož i glava tokrailice .....	42
Slika 27. Spuštanje glave tokarilice u košuljicu cilindra. ....	43
Slika 28. Noževi korišteni za obradu i njihovi parametri.....	44
Slika 29. Osiguran blok motora na tokarskom stroju. ....	45
Slika 30. Kamen korišten za honanje. ....	46
Slika 31. Kamen korišten za honanje. ....	46
Slika 32. Rashladno sredstvo koje koristi stroj prilikom obrade.....	47
Slika 33. Mjerenje finalne obrade štapnom mjernom urom.....	48
Slika 34. Rezultat finalne obrade.....	48

## **Sažetak**

Ovaj znanstveni rad fokusira se na dva ključna aspekta: mjerenje u proizvodnji i održavanje i optimizaciju četverotaktnih motora s unutarnjim izgaranjem. U kontekstu mjerenja u proizvodnji, istraživanje analizira različite vrste mjerenja, alate i metode, uključujući ručna i automatizirana mjerenja, softverske aplikacije, i relevantne standarde i regulative. Također se istražuju kritični pokazatelji učinkovitosti (KPIs) i važnost mjerenja tijekom procesa reparacije. U drugom segmentu, rad pruža detaljan uvid u osnove četverotaktnih motora, tehnike obrade i njihov utjecaj na performanse i životni vijek motora. Empirijski dio uključuje studiju slučaja iz tokarsko-bravarskog obrta "Đino". Rezultati istraživanja pokazali su da preciznost mjerenja u proizvodnji igra ključnu ulogu u uspješnoj reparaciji motora. Također, identificirani su KPIs i dosjedi kao važni faktori u procesu. U kontekstu četverotaktnih motora, rad detaljno opisuje korake i tehniku obrade, potkrepljujući to praktičnim primjerom obrade PERKINS D 4.203 motora, što je pokazalo kako kvalitetna obrada i precizna mjerenja mogu značajno produžiti vijek trajanja motora i smanjiti operativne troškove. Zaključno, rad potvrđuje da je reparacija najisplativiji i najodrživiji način održavanja strojeva koji su došli blizu kraja svog operativnog vijeka i naglašava važnost preciznosti i kvalitete u ovom procesu. Ovaj sažetak služi kao uvod u kompleksnu teoriju i praksu mjerenja u proizvodnji i optimizacije četverotaktnih motora, sa ciljem da pruži čitatelju dublje razumijevanje i smjernice za daljnje istraživanje i primjenu u industriji.

## **Abstract**

This scientific paper focuses on two key aspects: measurement in production and the maintenance and optimization of four-stroke internal combustion engines. In the context of measurement in production, the research analyzes various types of measurements, tools, and methods, including manual and automated measurements, software applications, and relevant standards and regulations. It also explores Key Performance Indicators (KPIs) and the importance of measurement during the repair process. In the second segment, the paper provides detailed insights into the fundamentals of four-stroke engines, processing techniques, and their impact on performance and engine lifespan. The empirical section includes a case study from the machining and locksmithing workshop "Đino." The research results indicate that the

precision of measurement in production plays a crucial role in successful engine repair. Furthermore, KPIs and bearing surfaces have been identified as important factors in the process. In the context of four-stroke engines, the paper elaborately describes the steps and techniques of processing, substantiated by a practical example of processing a PERKINS D 4.203 engine. This demonstrated how quality processing and precise measurements can significantly extend engine life and reduce operational costs. In conclusion, the paper confirms that repair is the most cost-effective and sustainable way of maintaining machines that have neared the end of their operational lifespan and emphasizes the importance of precision and quality in this process. This summary serves as an introduction to the complex theory and practice of measurement in production and the optimization of four-stroke engines, aiming to provide the reader with deeper understanding and guidelines for further research and application in the industry.