

# Mjerenje trošenja košuljice cilindra

---

Ćubelić, Duje

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:789496>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**DUJE ČUBELIĆ**

**MJERENJE TROŠENJA KOŠULJICE  
CILINDRA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**MJERENJE TROŠENJA KOŠULJICE  
CILINDRA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**  
**doc. dr. sc. Tina Perić**

**STUDENT:**  
**Duje Čubelić**  
**(MB: 0171275195)**

**SPLIT, 2021.**

## SAŽETAK

Od izuma motora s unutarnjim izgaranjem, kontakt između klipnog prstena i košuljice cilindra glavna je briga graditelja motora. Kvaliteta i trajnost ovog kontakta povezani su sa životnim vijekom motora, njegovim održavanjem, njegovim frakcijskim svojstvima, a time i s uštedom goriva. Iako se osnovni dizajn nije promijenio, mnogi čimbenici koji utječu na izvedbu kontakta prsten/košuljica evoluirali su i još uvijek se razvijaju. Navedeni dijelovi moraju imati veliku otpornost na trošenje i visoke temperature, trenje te zadovoljavajuća mehanička svojstva. Ovaj rad daje pregled zapažanja povezanih s uzrocima trošenja košuljica cilindara te na koje načine se mogu pratiti i mjeriti takva trošenja.

**Ključne riječi:** *košuljica, cilindar, mjerenje, trošenje, trajnost, temperatura.*

## ABSTRACT

Since the invention of the internal combustion engine, contact between the piston ring and the cylinder liner has been a major concern of engine builders. The quality and durability of this contact are related to the service life of the engine, its maintenance, exhaust gases and exhaust emissions, but also to its fractional properties, and thus to fuel savings. Although the basic design has not changed, many factors affecting the performance of the ring/sleeve contact have evolved and are still evolving. These parts must have high resistance to wear and high temperatures, friction, and satisfactory mechanical properties. This paper provides an overview of observations related to the causes of cylinder liner wear and how such wear can be monitored and measured.

**Keywords:** *liner, cylinder, measurement, the wear, durability, temperature*

# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2. POVJEST MJERENJA</b> .....                                     | <b>2</b>  |
| <b>2.1. METAR KAO MJERNA JEDINICA</b> .....                          | <b>3</b>  |
| <b>2.2. MIKROMETAR</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.2.1. Mjerenje mikrometrom</b> .....                             | <b>7</b>  |
| <b>3. KOŠULJICA CILINDRA</b> .....                                   | <b>9</b>  |
| <b>3.1. MATERIJAL IZRADE</b> .....                                   | <b>9</b>  |
| <b>3.2. PODJELA KOŠULJICE CILINDRA</b> .....                         | <b>11</b> |
| <b>3.2.1. Podjela košuljice cilindra prema konstrukciji</b> .....    | <b>11</b> |
| <b>3.2.2. Podjela košuljice cilindra prema načinu hlađenja</b> ..... | <b>12</b> |
| <b>4. TROŠENJE KOŠULJICE CILINDRA</b> .....                          | <b>15</b> |
| <b>4.1. TRIBOLOGIJA</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>4.2. UZROCI TROŠENJA KOŠULJICE</b> .....                          | <b>16</b> |
| <b>4.2.1. Hladna korozija</b> .....                                  | <b>17</b> |
| <b>4.2.2. Adhezijsko trošenje</b> .....                              | <b>18</b> |
| <b>4.2.3. Abrzivno trošenje</b> .....                                | <b>19</b> |
| <b>4.2.4. Istrošenje u obliku lista djeteline</b> .....              | <b>21</b> |
| <b>4.3. NAČINI SMANJIVANJA TROŠENJA KOŠULJICE</b> .....              | <b>21</b> |
| <b>4.3.1. Uhodavanje</b> .....                                       | <b>23</b> |
| <b>4.3.2. Honanje</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>4.3.3. Cilindarsko ulje</b> .....                                 | <b>25</b> |
| <b>5. MJERENJE ISTROŠENJA KOŠULJICE</b> .....                        | <b>27</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....  | <b>30</b> |
| <b>LITERATURA</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>POPIS SLIKA</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>POPIS TABLICA</b> .....   | <b>34</b> |
| <b>POPIS KRATICA</b> .....   | <b>35</b> |

## 1. UVOD

Poznato je da motori bez ulja za podmazivanje ne mogu normalno raditi. U slučaju nedostatka ulja, mehanički dijelovi koji se međusobno dodiruju, uslijed djelovanja trenja dolazi do povećanja temperature što uzrokuje nepravilan rad motora te stvaranje kvarova. To posebno vrijedi za košuljicu cilindra koja predstavlja jedan od potrošnih elemenata ali vrlo važnu ulogu pri normalnom radu motora.

Svaki brodstrojar mora biti dobro upoznat sa procesima koji se događaju unutar košuljice i koja joj je uloga. Najvažnija svrha strojara na brodu je prepoznati kvar, te ako se može na licu mjesta popraviti. Kako bi se moglo prepoznati kvar košuljice ili njegov nepravilan rad, potrebno ga je nakon određenog vremena (koje je preporučio proizvođač) izmjeriti trošenje površine košuljice odnosno njezino nepoželjno povećanje promjera.

U prvom dijelu završnog rada upoznati ćemo se sa povješću mjerenja te kako je uopće došlo do potrebe korištenja mjerenja i izuma metra. Brodstrojar mora biti dobro upoznat sa alatima koje koristi pa će se tako i objasniti korištenje jednostavnog instrumenta za mjerenje trošenja košuljice cilindra, a to je mikrometar.

Sljedeće poglavlje se odnosi na samu košuljicu cilindra, upoznavanje sa njezinom funkcijom te podjelom košuljica po konstrukciji, načinu hlađenja itd.

Trošenje košuljice cilindra detaljno je obrađeno u trećem poglavlju. Da bi spriječili što veće trošenje, potrebno je znati negativne učinke koje pospješuju brže trošenje materijala. Takvim problemom se bavi tribologija koja ima zadaću pronaći odgovarajuće mjere primjenom kojih se smanjuju trenje i trošenje. Tamo gdje postoje negativni učinci isto tako postoje i pozitivni učinci na košuljicu. Obratiti će se pažnja na sve faktore u cilju boljeg rada košuljice te time i rada glavnog motora. Detaljno će se opisati cilindarsko ulje, kako utječe na površinu te koja svojstva je potrebno gledati pri izboru ulja.

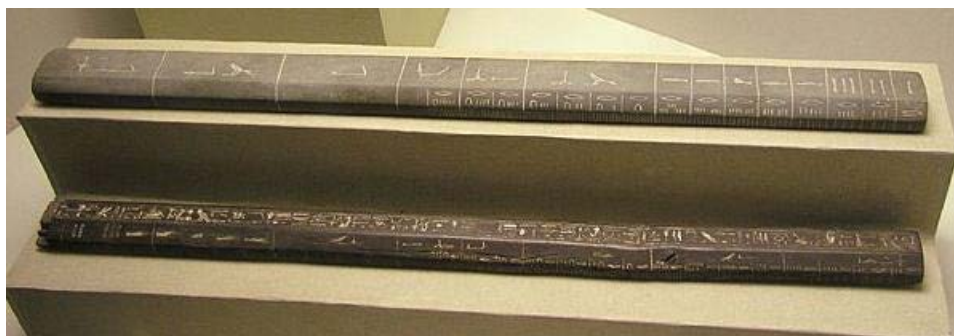
U predzadnjem dijelu odnosno četvrtom, biti će objašnjen postupak mjerenja trošenja cilindra te na koje sve detalje je potrebno pripaziti. Zadnji dio predstavlja zaključak na temelju cijelog završnog rada.

## 2. POVJEST MJERENJA

Povjest mjerenja možemo navesti i kao povijest čovječanstva. Otkad je čovjek zapalio prvu vatru, zasadio prvo povrće te sagradio prve temelje svoje kuće, njegov napredak izgrađen je na temelju mjerenja. Stopa njegova napretka tijekom povijesti bila je usko povezana s njegovim napretkom u znanosti o mjerenju. Međutim, čovjek je u ranoj dobi otkrio da samo sposobnost mjerenja nije dovoljna. Da bi mjerenja imala smisla, morali su se složiti s mjerenjima drugih muškaraca. Ovaj univerzalni sporazum o mjernim jedinicama zahtijevao je usvajanja standarda iz kojih bi svi ljudi mogli izvesti iste mjerne jedinice.

Čovjek je kroz povijest najbolje učio kada mu je nešto bilo potrebno, pa tako za izgradnju vlastitog doma je potrebno dobro poznavanje mjerenja. Ako dijelovi nisu dobro izmjereni može doći do rušenja onoga što je čovjek napravio. Tako danas ne bi postojali neke od velikih znamenitosti kao što su piramide u Gizi, antički amfiteatar u Puli, Dioklecijanova palača u Splitu, Kineski zid itd. Izgrađeni su prije više od 2-3 tisućljeća (piramide 2-3 tisućljeća pr. Kr.) te dan danas stoje što nam govori koliku važnost ima točnost mjerenja.

U najranijim civilizacijama ljudi su uvijek promatrali prirodu i sve što se događalo oko njih što im je i dalo nove ideje koje mogu iskoristiti. Tako su promatrajući svoje tijelo spoznali da mogu koristiti svoje prste, palčeve, laktove te korake nogu za mjerenje duljina određenih stvari. Egipat, kao jedna od najstarijih civilizacija, je oko 3000 godina pr. Kr. uvrstila u svoj sustav mjerenja „Kraljevski lakat“ (slika 1) kao osnovnu mjernu jedinicu. Ona je iznosila približno 524 mm te ju je bilo moguće podijeliti na manje dijelove, ali dosta komplicirano. Još jedan važan razlog zašto je Egipćanima bilo potrebno znanje o mjerenju jest određivanje granice obrađenih polja u blizine rijeke Nil. Poznato je kako rijeka ima vrlo promjeniv vodostaj pa često preplavi označena polja. Sa svakom poplavom to se sve uništi pa ljudi moraju krenuti otpočetak. Sa razvijenim mjernim sustavom uštedjeli su dosta vremena radi jednostavnijeg označavanja te vrlo lako popravili granice i nastavili sa poljoprivredom do sljedeće poplave [15].



**Slika 1. Karaljevski lakat starog egipta [15]**

Koliko čovječanstvu matematika stvarno znači, najbolje je opisao antičko-grčki filozof Platon koji je jednom rekao: „*Svim ljudima nisu sve stvari potrebne, ali je račun ne samo svima nego i svakome jako potreban. Tko računati ili barem brojiti ne zna, mora se izbrisati iz broja svih ljudi, inače nema prijateljstva među trgovcima, ni ljubavi među susjedima, ni sluge u općini, niti pravednost u pravdi stalno stanovati može!*“ [14].

Možemo slobodno reći kako je poslije izuma vatre nastala matematika. S razlogom se naziva „majka svih znanosti“ te je od naših prvih koraka, pa sve do zadnjeg dana prisutna u našem životu. Gotovo da ne postoji područje znanosti u kojem nije matematika. Od jednostavnih radnji kao npr. zbrajanje, oduzimanje, pa sve do kompleksnih brojeva i integrala je omogućila daljnja istraživanja i bolji napredak u određenim područjima znanosti (npr. izgradnja piramida, prvi kalkulator, prvo računalo itd.). Tako je značajna i u mjerenju trošenja košuljice cilindra.

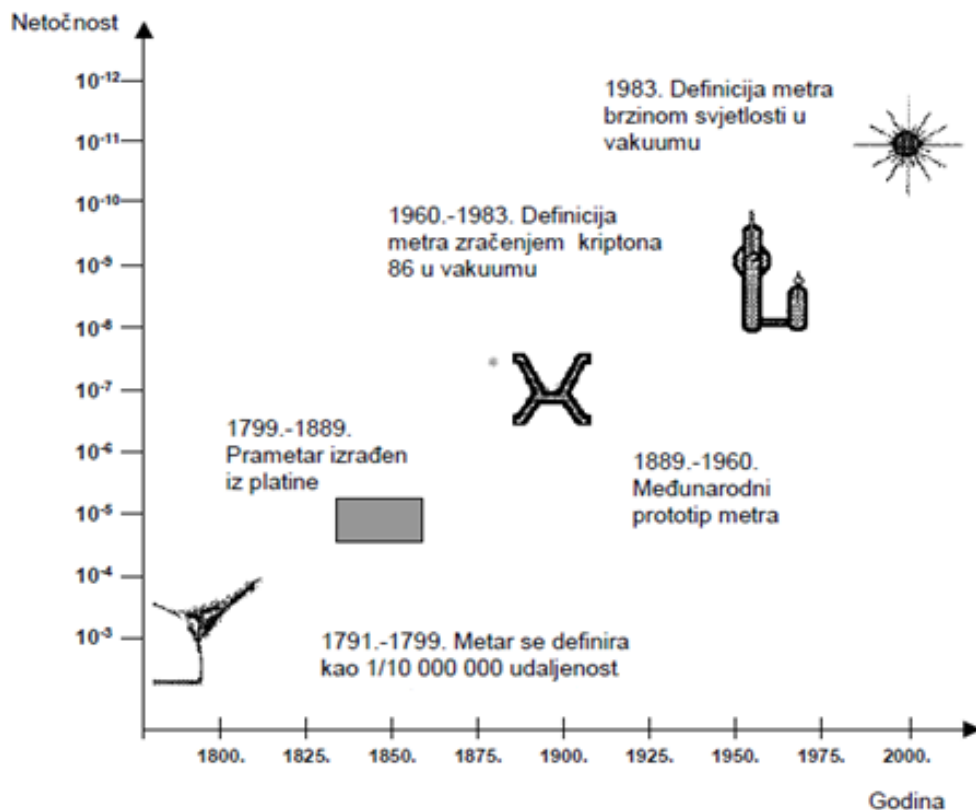
## **2.1. Metar kao mjerna jedinica**

Svi ga danas koristimo kako bi nešto procijenili bez obzira je li to element za boravak u svojoj kući ili komad zemlje koja se obrađuje. Nažalost, jako malo ljudi uopće zna kako je metar kao mjerna jedinica nastala. Na slici 2 je dan kronološki prikaz definiranja metra.

Službeni početci korištenja metra kao jedinice je bilo u Francuskoj 1790-ih te su metar definirali kao jedan na prema deset milijunti dio udaljenosti od ekvadora do sjevernog pola duž meridijana kroz Pariz. Takva udaljenost se zvala „Meridijanski metar“ te je imala mjernu pogrešku od  $\pm 150\text{-}200 \mu\text{m}$  [16].



Međunarodni zavod za utege i mjere, osnovan 1875., (IBWM) za praktičnu upotrebu je napravila realni prikaz metra u obliku šipke izrađene od 90 posto platine i 10 posto iridijeve legure sa mjernom pogreškom od  $\pm 0,2 \mu\text{m}$  [16]. Ti elementi su izabrani zbog toga što imaju visoku otpornost na koroziju te vrlo dobru tvrdoću. I dan danas se koriste slitine platine i iridija u laboratorijskim priborima zbog svoje dugotrajnosti. Šipka je napravljena u obliku slova X kako bi se smanjili učinci torzijskog naprezanja tijekom usporedbi duljina.



Slika 2. Razvoj jedinice duljine metra [18]

Napredak u znanosti konačno je dopustio dematerijalizaciju definicije metra, pa je 1960. nova definicija temeljena na određenom broju valnih duljina svjetlosti iz određenog prijelaza u kriptonu-86 omogućila da standard bude univerzalno dostupan mjerenjem. Ta definicija glasi: „Metar je duljina jednaka 1 650 763,73 valnih duljina zračenja u vakuumu koja odgovara prijelazu između razina  $2p_{10}$  i  $5d_5$  atoma kriptona-86“. Mjerna pogreška tzv. „valni metar“ iznosi  $\pm 0,02 \mu\text{m}$  [17]. Za određivanje metra pomoću kriptonskog plina koristila se staklena lampa (slika 3) specifičnog dizajna.

Svjetiljka za ispušt kripton-86 koja radi na trostrukoj točki dušika (63,14 K,  $-210,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) bila je najsuvremeniji izvor svjetlosti za interferometriju 1960. godine, no uskoro ju je trebao zamijeniti novi izum: laser, čija je prva radna verzija izgrađena iste godine kada je ponovno definiran metar. Lasersko svjetlo obično je vrlo monokromatsko, a također je i koherentno (svo svjetlo ima istu fazu, za razliku od svjetla iz staklene lampe), a oboje je pogodno za interferometriju [17].



**Slika 3. Staklena lampa za definiranje metra [17]**

Razvoj elektronike također je prvi put omogućio mjerenje frekvencije svjetlosti u vidljivom području spektra ili blizu njega. Iako su vidljive i infracrvene frekvencije još uvijek su bile previsoke za izravno mjerenje. Bilo je moguće izgraditi "lanac" laserskih frekvencija koje se odgovarajućim množenjem međusobno razlikuju samo za izravno mjerljivu frekvenciju u mikrovalnom području. Utvrđeno je da je frekvencija svjetlosti lasera stabiliziranog metanom  $88,376181627\text{ (50) THz}$ . Ipak, infracrveno svjetlo lasera stabiliziranog metanom bilo je nezgodno za upotrebu u praktičnoj interferometriji. Tek 1983. lanac mjerenja frekvencija dosegao je liniju helij-neonskog lasera  $633\text{ nm}$ , stabiliziranu pomoću molekularnog joda. Te iste godine sedamnaesti sastanak GCWM-a usvojio je definiciju metra, u smislu konvencionalne vrijednosti brzine svjetlosti iz 1975. godine koja glasi: „Metar je duljina puta koji je svjetlost prešla u vakuumu tijekom vremenskog intervala od jednog  $299\ 792\ 458$ -og dijela sekunde“ [17]. Ovo je ujedno i najpreciznije mjerenje sa mjernom pogreškom od  $\pm 0,004\ \mu\text{m}$ .

## 2.2. Mikrometar

Ovaj vrlo poznati instrument u brodstrojarstvu se koristi za precizno mjerenje debljine blokova, vanjskog i unutarnjeg promjera osovina i dubine proreza. Ima široku primjenu mjerenja raznih elemenata i zbog toga je neizostavan u strojarskom svijetu. Tako se i ovaj instrument koristi za mjerenje trošenja košuljice cilindra jer bez njega to nebi bilo moguće. Na slici 4 može se vidjeti koliko je potrebna duljina mikrometra da bi se izmjerile razlike promjera košuljice prije i poslije njezine upotrebe. Najčešće su odvojeni u više segmenata radi lakšeg skladištenja i uštede prostora jer brod ima ograničen prostor pa svaka ušteda mnogo znači brodstrojarima.



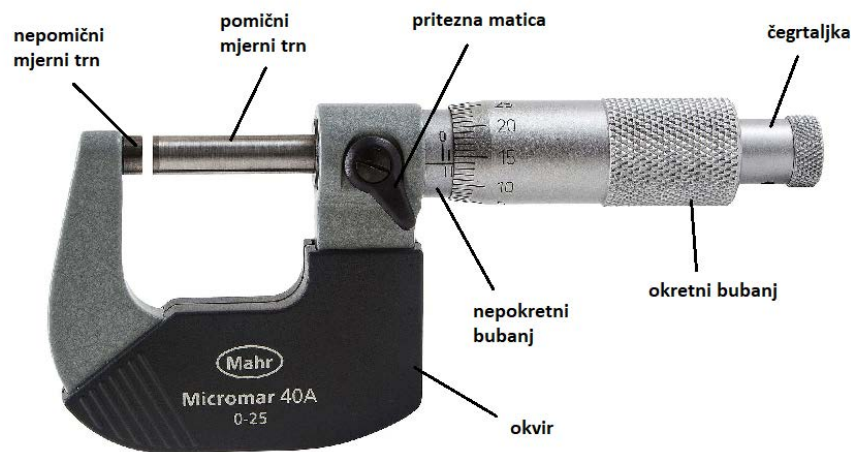
**Slika 4. Mikrometar za mjerenje unutrašnjeg promjera [19]**

Postoje 4 izvedbe mikrometara, a svaka se razlikuje po svom načinu korištenja [20]:

- Mikrometar za vanjsko mjerenje
- Mikrometar za unutarnje mjerenje
- Mikrometar za dubinu
- Mikrometar provrta.

Vanjski mikrometar obično se koristi za mjerenje žica, vratila i blokova. Unutarnji mikrometar obično se koristi za mjerenje promjera rupa (košuljica cilindra), a dubinski mikrometar obično mjeri dubinu proreza i koraka. Mikrometar provrta obično je glava s tri ticala na bazi mikrometra koja se koristi za točno mjerenje unutarnjih promjera [20]. Oni se najčešće koriste kod cilindara manjih promjera zbog jednostavnosti i bržeg mjerenja.

Preciznost mikrometra postiže se korištenjem vijčanog mehanizma s finim korakom. Dodatna značajka mikrometra je uključivanje čegrtaljke i pritezne matice (slika 5). Normalno, moglo bi se iskoristiti mehanička prednost vijka za prisiliti mikrometar da stisne materijal, dajući netočno mjerenje. Međutim, pričvršćivanjem okretnog bubnja i pomičnog mjernog trna koji će pri određenom zakretnom momentu kliziti trenjem, mikrometar neće nastaviti napredovati kad se naiđe na dovoljan otpor čime se postiže veća točnost i preciznost instrumenta.



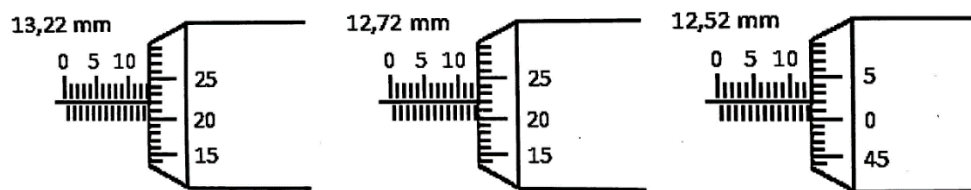
**Slika 5. Dijelovi vanjskog mikrometra [21]**

### **2.2.1. Mjerenje mikrometrom**

Mikrometar se sastoji od pomičnih i nepomičnih dijelova. Mjerenje duljine se vrši pomicanjem pokretnog dijela vijkom (bubanj), a temelji se na proporcionalnosti između translacijskog pomaka vijka i kuta zakretanja vijak. Kada se okretni bubanj okreće, njegov pomak se očitava na skali nepokretnog bubnja. Okretni bubanj ima 50 stupnjeva, od kojih je svaki podjeljen za 0,01 milimetar (stoti dio milimetra). Toliko je ovaj instrument precizan. Jedan potpuni okret bubnja daje vertikalni pomak na nepokretnoj skali udaljenost od 0,5 milimetra [21]. Skala na nepokretnom bubnju se sastoji od gornje i donje skale. Obe dvi pokazuju podjele od 1 milimetar, ali su drugacije postavljene. Gornja skala predstavlja normalne milimetre kao na svim drugim instrumentima, a donja skala predstavlja polovicu jednog milimetra gornje skale.

Kod očitavanja mjere na mikrometru, prvo je potrebno spoznati na kojem dijelu okretni bubanj „siječe“ gornju skalu nepokretnog dijela. Kada smo to ustanovili, zatim trebamo vidjeti je li prelazi polovicu milimetra s gornje skale. Ako da, onda na tu mjeru treba dodati 0,5 milimetra. Između gornje i donje skale postoji središnja vertikalna os koja predstavlja nulu. Sada gledamo na pokretnom bubnju koja „crtica“ se podudara sa vertikalnom osi. Nakon uzimanja mjera vrlo je važno podignuti priteznu maticu kako se pri pomicanju mikrometra okretni bubanj ne bi pomaknuo i pokazao netočnu mjeru.

Na primjeru (slika 6) su prikazani različiti rezultati mjerenja. Na jednom od primjera je vidljivo kako okretni bubanj „siječe“ skalu na 12 mm. Uz to prelazi i polovicu milimetra što znači da se na tu mjeru dodaje dodatno 0,5 mm. Vidljivo je da se 22 stupnja sijeku zajedno sa vertikalnom osi što predstavlja mjeru od 0,22 mm. Kada se sve to zbroji, dobijemo za rezultat duljinu od 12,72 mm.



**Slika 6. Primjeri milimetarskog očitavanja [21]**

### 3. KOŠULJICA CILINDRA

Košuljica cilindra predstavlja uklonjivu komponentu cilindričnog oblika koji se nalazi unutar bloka motora, slika 7. Osigurava površinu za klizanje klipa i izvršava svoj zadatak kompresije. Za vrijeme rada izložene su velikim toplinskim i mehaničkim opterećenjima, te zbog zagrijavanja košuljice je potrebno osigurati mogućnost njihova uzdužnog i radijalnog širenja [1].



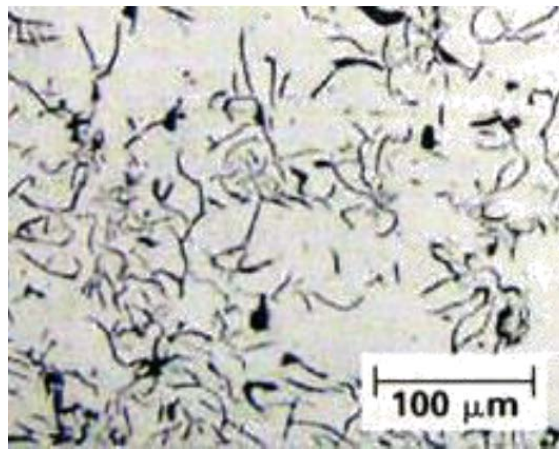
Slika 7. Stvarni prikaz vanjske strane košuljice cilindra [4]

#### 3.1. MATERIJAL IZRADE

Košuljica se izrađuje od kvalitetnijeg materijala u odnosu na blok motora. Tijekom postupka taljenja sivom lijevanom željezu dodavaju se elementi kako bi se dobila legura s poboljšanim mehaničkim svojstvima tvrdoće, otpornosti na koroziju te otpornost na habanje pri visokim temperaturama. U većini slučajeva blok motora je izrađen od sivog lijeva, dok je košuljica izrađena od lijevanog željeza legiranog kromom (poboljšava tvrdoću i otpornost na koroziju), vanadijem i molibdenom, te još bakrom i titanom (koristi se u formula 1 motorima) [2].

Ako bi blok motora i košuljica bili izrađeni kao jedan komad, a zatim se izlože neprihvatljivim toplinskim naprezanjima (nepoželjno širenje i suženje elementa), to bi sigurno uzrokovalo lom materijala. „Tipična košuljica od lijevanog željeza počinje gubiti svojstva materijala kod površinske temperature od oko 340° C. Zbog toga se moraju legirati sa skupljim metalima i hladiti na oko 80° C ispod te temperature“ [2].

Lijevano željezo u svojoj mikro-strukturi sadrži grafit (slika 8) što pridonosi dodatna podmazujuća svojstva odnosno predstavlja lubrikant. [1].



**Slika 8. Mikroskopski prikaz grafita u košuljici [2]**

Nadalje, u tablici 1 su prikazani svi pronađeni elementi košuljice cilindra tijekom procesa određene analize. Vidljivo je kako najveći udio u kemijskom sastavu košuljice sadrži željezo čime možemo zaključiti kako je košuljica izrađena od sivog lijeva. Cilj prikazivanja ove analize je stvoriti predodžbu o tome koji se sve elementi mogu naći u košuljici cilindra.

**Tablica 1. Kemijski sastav materijala košuljice [5]**

| Elementi   | Si   | P     | S    | Cr   | Mn   | Fe    | Cu   | Zn   |
|------------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| Udjeli [%] | 1,76 | 0,038 | 0,69 | 0,25 | 0,76 | 96,18 | 0,06 | 0,25 |

### 3.2. PODJELA KOŠULJICE CILINDRA

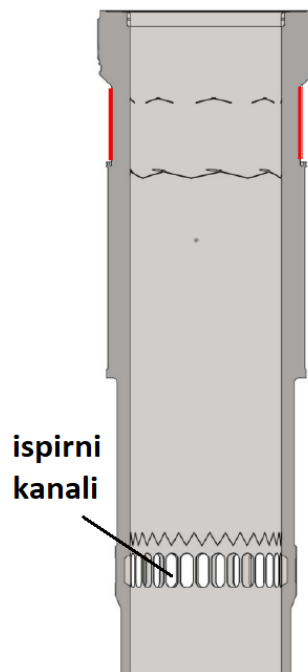
Podjela košuljice cilindra vrši se prema dvije osnovne karakteristike: prema konstrukciji i prema načinu hlađenja. Obje podjele su detaljno obrađene u nastavku.

#### 3.2.1. Podjela košuljice cilindra prema konstrukciji

Kada dijelimo košuljice prema konstrukciji možemo ih podjeliti na:

- Košuljica cilindra sa ispirnim kanalima (slika 9) i
- Košuljica cilindra bez ispirnih kanala (slika 10).

Razlog takve podjele objašnjava na kojoj vrsti motora se koristi. Naime, postoje motori sa dvotaktnim procesom i četverotaktnim procesom. Glavna razlika između njih je u tome što dvotaktni motor obavi cijeli proces pri jednom okretaju koljenastog vratila, dok četverotaktni motor obavi taj isti proces pri dva okretaja koljenastog vratila. Svaki od tih motora ima određene prednosti i nedostatke, ali nećemo se posebno odnositi na to kako procesi motora funkcioniraju.



Slika 9. Košuljica cilindra sa ispirnim kanalima [3]



Treba istaknuti zašto postoje ispirni kanali u jednom, a zašto ih nema u drugom motoru. Kada je riječ o dvotaktnom motoru, tijekom procesa ispiranja odnosno kada klip iz DMT krene prema GMT kroz ispirne kanale prolazi svježi atmosferski zrak te preko ispušnog ventila potiskuje ispušne plinove (produkt izgaranja mješavine goriva i svježeg zraka) koji zatim ide na daljnu obradu i na kraju u atmosferu.

Kod četverotaktnih motora usis svježeg zraka prolazi kroz usisni ventil te nema potrebe za ugradnjom ispirnih kanala



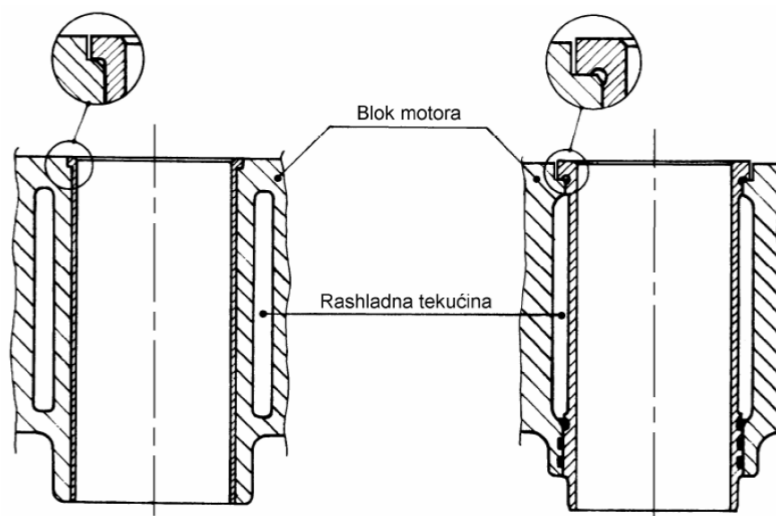
**Slika 10. Košuljica cilindra bez ispirnih kanala [6]**

### **3.2.2. Podjela košuljice cilindra prema načinu hlađenja**

Postoje tzv. „suhe košuljice“ i „mokre košuljice“, slika 11. Vezano za suhe košuljice, osnovna prednost im je mogućnost jednostavnog popravka potpuno istrošenog cilindra te sloboda izbora materijala cilindra neovisno o bloku. Nedostatak im predstavlja otežano odvođenje topline te relativno visoki troškovi popravka jer se obrađuje i provrt u koji se košuljica uprešava [7].

Mokra košuljica je za razliku od suhe u direktnom kontaktu s rashladnom tekućinom. „*Budući da između rashladne tekućine i košuljice nema potporne strukture provrta bloka, košuljica mora biti odgovarajuće debljine i čvrstoće stijenke kako bi mogla podnijeti velika opterećenja koja nastaju pri izgaranju*“ [5]. Prednost mokrih košuljica je u

njenoj jednostavnoj zamjeni ukoliko dođe do oštećenja kao i mogućnost podnošenja velikih opterećenja bez pregrijavanja zbog vrlo dobrog i učinkovitog hlađenja [5].

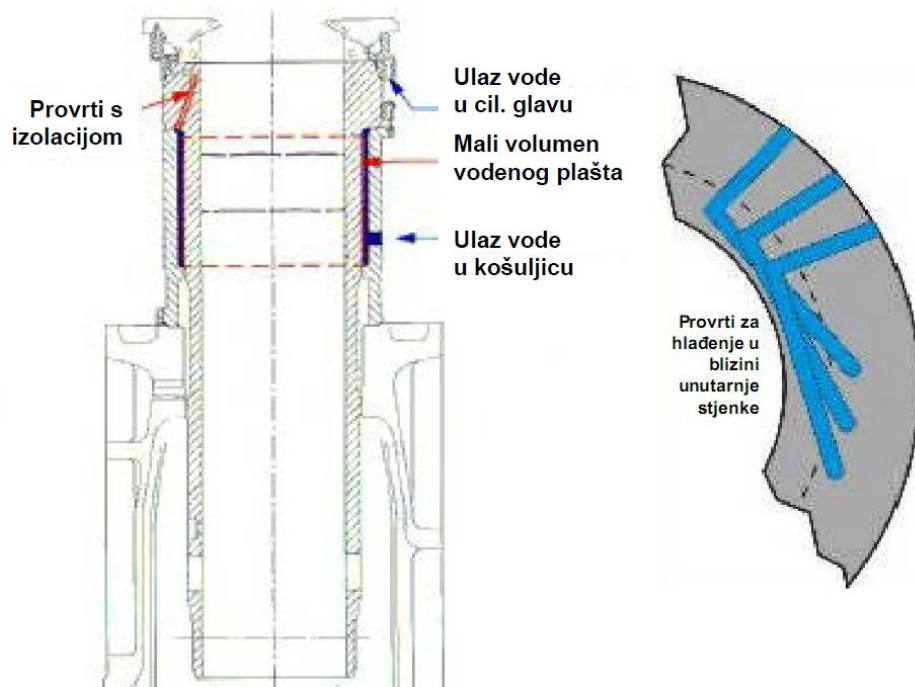


**Slika 11. Shematski prikaz suhe (lijevo) i mokre košuljice (desno) [7]**

Može se primijetiti kako je mokra košuljica postavljena malo iznad bloka motora, a razlog tomu je postizanje najvećeg tlaka nalijeganja brtve na košuljici [7].

*„Na cilindarsku košuljicu s unutarne strane se prenosi velika količina topline, koja se na vanjskoj strani odvodi rashladnom vodom. Razlike u termičkim dilatacijama unutarne i vanjske strane cilindarske košuljice uzrokuje termička naprezanja. Da bi se ta naprezanja smanjila, hlađenje se provodi odmah uz unutarnju stjenku košuljice, na gornjem dijelu gdje su naprezanja najveća“ [3].*

Uz prethodno navođenje, valja istaknuti kako se ovdje radi o dvotaktnim sporohodnim motorima koji su velikih dimenzija (veličine stambene zgrade od 3 ili 4 kata), te se samo na tim tipovima motora provodi hlađenje na području najvećih termičkih naprezanja (slika 12) odnosno na području prostora izgaranja gorive smjese. Kod motora manjih dimenzija (najčešće četverotaktnih) to nije slučaj nego se hlađenje izvodi na cijelom volumenu košuljice. To se najbolje može vizualno prikazati pa tako na slici 7. Možemo uočiti žučkasto-smeđe naslage koje predstavljaju koroziju uslijed prolaska rashladne tekućine na cijelu vanjsku površinu košuljice.



**Slika 12. Shematski prikaz područja hlađenja košuljice cilindra [3]**

## 4. TROŠENJE KOŠULJICE CILINDRA

### 4.1. TRIBOLOGIJA

Da bih se uopće moglo razgovarati o trošenju materijala, potrebno je upoznati osnovnu znanost koja se bavi tim problemom, a to je tribologija. Tribologija se može definirati kao interdisciplinirana znanost o trenju i trošenju. Zasniva se na osnovnim disciplinama strojarstva (mehanika, znanost o materijalima), metalurgije, fizike i kemije. Područja gdje ova znanost ima primjenu jesu mehaničke konstrukcije (zupčanci, ležajevi, košuljice cilindra itd.), obrada materijala (sredstva za hlađenje i podmazivanje) i podmazivanje (ulja, masti, aditivi) [8], [9].

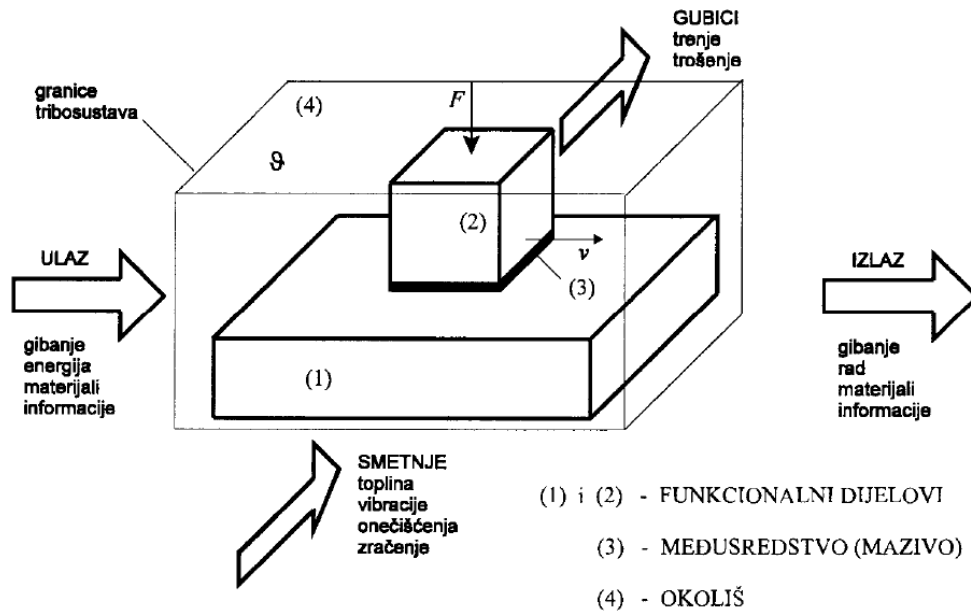
Trenje i trošenje se ne mogu izbjeći, ali ih je moguće kontrolirati i svesti na prihvatljivu razinu. To je ujedno i glavni zadatak tribologije. Kontrola trenja i trošenja provodi se pravilnim izborom materijala kao i površinskim pred-obradama. Korisno trenje nalazimo u primjerima kočenja i bušenja dok je za primjer korisnog trošenja najbolje uzeti postupke obrade odvajanjem čestica (npr. glodanje metala). Potrebno je razlikovati korisno trenje od nekorisnog (štetnog) trenja koji stvaraju ogromne gubitke energije odnosno gubitke materijala, ali i velike troškove održavanja kod trošenja [5], [10].

Gubici kao posljedica trenja i trošenja možemo podijeliti na [9]:

- Direktni gubici (energija, materijal)
- Indirektni gubici (održavanje, pouzdanost, sigurnost, utjecaj na okoliš).

Tribosustavi su svi sustavi kod kojih postoji relativno gibanje između pojedinih dijelova, čime se pojavljuju i procesi trošenja. Jednostavan tribosustav (slika 13) sastoji se od funkcionalnih dijelova koji se dodiruju, postojećeg maziva između njihovih površina te utjecaja okoline. Za primjer možemo uzeti linearno gibanje klipa motora po površini košuljice cilindra predstavlja tribosustav [9].

*„Osnovni tribološki elementi čije je poznavanje potrebno za optimalno djelovanje i pouzdanost kod situacija trenja i trošenja su hrapavost površine, mehanizmi adhezije i fizikalnih i kemijskih interakcija između površina u gibanju te mehanizmi trenja i trošenja“* [10].



**Slika 13. Prikaz jednostavnog tribosustava [10]**

Da bi se došlo do zadovoljavajućih rješenja za smanjivanje problema trenja, trošenja i podmazivanja potrebno je uzeti u obzir opterećenje  $F$ , silu trenja, temperaturu (okoline, ulja za podmazivanje, dijelovi koji se međusobno dodiruju), smjer i brzinu gibanja dijelova, razne smetnje poput vibracija i onečišćenja te naravno gubici uslijed trenja i trošenja [5].

#### 4.2. UZROCI TROŠENJA KOŠULJICE

Od raznih uzroka oštećenja materijala košuljice nabrojati ćemo tri glavna koja stvaraju najveće probleme, a to su [2]:

- Hladna korozija uzrokovana kiselim produktima izgaranja
- Prekidanje uljnog filma za podmazivanje zbog trenja koje je uzrokovano kontaktom metala o metal (adhezija)
- Abrazija uzrokovana čvrstim česticama koje prekidaju uljni film.

Svaki od spomenutih problema pod određenim uvjetima može biti više ili manje zastupljen, ali redovito se javljaju u sprezi pa im se učinci kumuliraju. Važno je

poznavanje uzroka pojedinih efekata, a potom ih identificirati na osnovi pregleda radnih površina košuljice cilindra, da bi se moglo pristupiti rješavanju problema [11].

#### 4.2.1. Hladna korozija

Gledajući kemijski sastav goriva koji koristi određeni motor vidljivo je kako sadrži određeni postotak sumpora (ovisno o vrsti goriva) otprilike 0,1-3 % koji propisuje Marpol konvencija, aneks VI, SECA. Tijekom procesa izgaranja u cilindru može se pojaviti efekat hladne korozije tj. u strojarском žargonu poznatije pod nazivom „Niskotemperaturna korozija“. Razlozi koji dovode do ovog problema variraju od neravnomjerne izmjene temperature po obodu vrha košuljice pa do metode povećanja tlaka izgaranja u komori za vrijeme rada na niskim opterećenjima pomoću varijabilnog podešavanja kuta ubrizgavanja.

NT korozija nastaje kada temperatura ispušnih plinova padne ispod točke rosišta sumporne kiseline. Temperatura kondenzacije sumporne kiseline je između 116°C i 166°C, zavisno o koncentraciji SO<sub>3</sub> i pretičku zraka [12] (što je pretičak zraka veći od zadanog, oksidacija sumpornog trioksida je potpunija.).

Izgaranjem sumpora u gorivu kao produkti nastaju sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>), te daljnjim oksidiranjem sumporov trioksid (SO<sub>3</sub>) koji je nepoželjan jer se on spaja sa vodom te se stvara sumporna kiselina (3) kao što je prikazano sljedećim formulama.

Izgaranje sumpora:



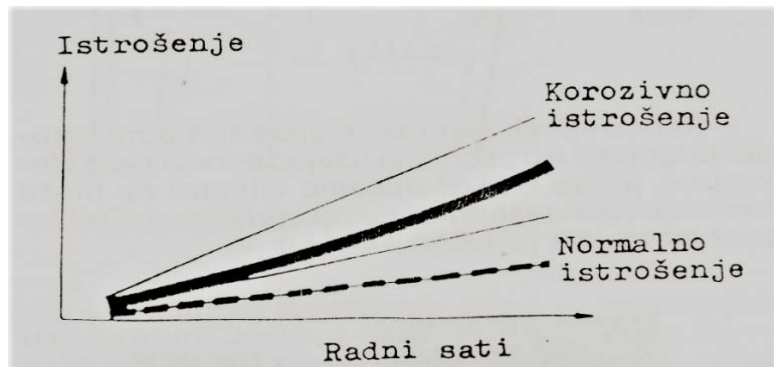
Oksidacija SO<sub>2</sub>:



Stvaranje sumporne kiseline:



Učinak koji sumporna kiselina stvara košuljici cilindra vidljiv je na slici 14 koja prikazuje povećano trošenje, za čak pet puta veće od normalnog istrošenja. Agresivna kiselina „nagrizava“ stijenke što prouzrokuje stvaranje malih rupica nepravilnih oblika i nejednakih dubina (slika 15) [11]. Područja označena crvenom bojom predstavljaju učinak sumporne kiseline na materijal.



**Slika 14. Usporedba normalnog i korozivnog istrošenja [11].**



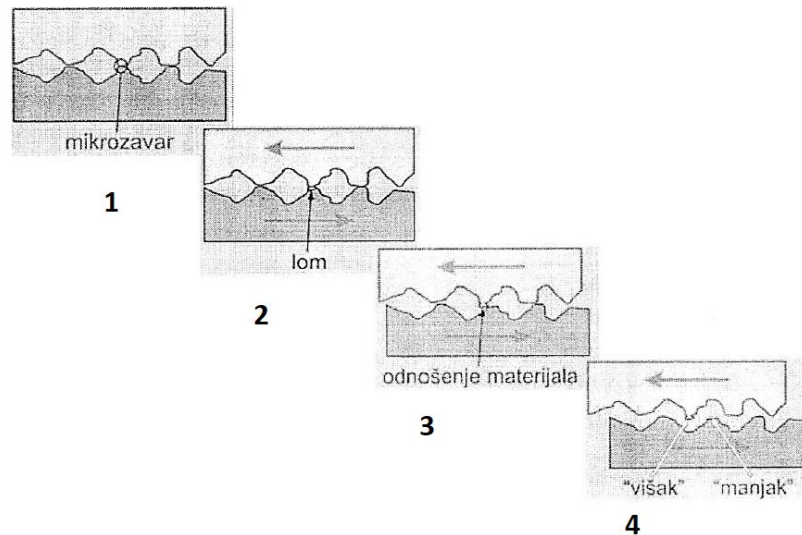
**Slika 15. Djelovanje sumporne kiseline na materijal [13]**

Daljnijim djelovanjem kiseline može dovesti do puknuća košuljice te time i prodor rashladne vode u unutarnji prostor cilindra. Velika količina vode u cilindru pri procesu kompresije motora može dovesti do hidrauličnog udara i time dodatno oštetiti motor. U većini slučajeva kada se dogodi ovakva situacija, potrebno je mijenjati kompletan motor zbog prevelikih troškova popravka.

#### **4.2.2. Adhezijsko trošenje**

Do ove vrste trošenja dolazi kada se otapa film ulja za podmazivanje uzrokujući kontakt metal o metal između klipnog prstena i košuljice cilindra. Stupanj trošenja može biti znatan i dogoditi se u vrlo kratkom vremenskom razdoblju [13].

Prekid uljnog filma dolazi zbog velikih specifičnih tlakova klipnih prstenova na radnu površinu košuljice, te visoka temperatura stijenki koja utječe na promjenu viskoznosti mazivog ulja. Osim toga, pri tim visokim specifičnim tlakovima i temperaturama stvaraju se mikrozavari na kliznim površinama (slika 16).



**Slika 16. Procesi adhezijskog trošenja [9]**

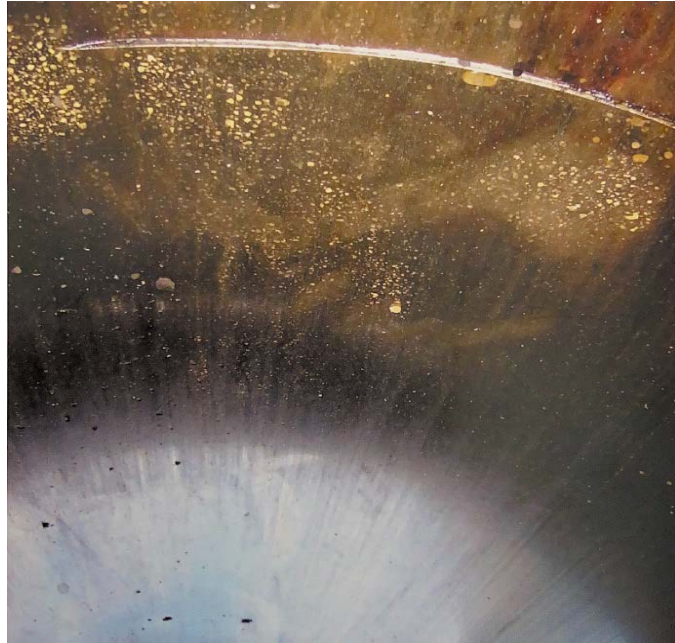
Gorivo s pre niskim sadržajem sumpora (engl. *Low Sulfur Fuel*) također potpomaže stvaranju adhezijskog trošenja jer se na stijenama košuljice cilindra ne može formirati zaštitni sloj koji sprječava direktni kontakt kliznih površina [11].

#### **4.2.3. Abrazivno trošenje**

Abrazivno trošenje se najčešće događa kada abrazivne čestice uđu u prostor za izgaranje sa zrakom za ispiranje ili kao posljedica loše kvalitete ili onečišćenog goriva. Primjer iznimno visokog stupnja abrazivnog trošenja dogodio se u prošlosti zbog sagorijevanja goriva jako zagađenog katalitičkim „šporkicama“. Proizvodi korozije mogu također uzrokovati pojavu stvaranja abrazivnog učinka u vidu čestice fine granulacije koja djeluje kao brusna pasta između površina klipnih prstenova i košuljice [11].

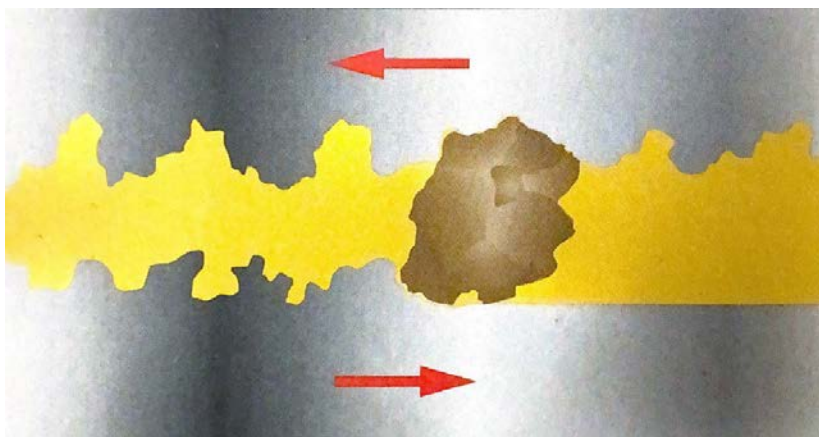
Abrazivno-korozivno djelovanje najlakše se može objasniti pomoću slike (slika 17) na kojoj se jasno vide stvaranje korozivnih naslaga na stijenama košuljice i sitnih vertikalnih tragova trošenja materijala. „Kao što je prethodno objašnjeno u [11], sumporasta kiselina povećava trošenje materijala te uz abrazivni učinak (koji pri svakom procesu trošenja dolazi kao šlag na torti) čine ubojitu kombinaciju za površinu košuljice cilindra, a time i velike troškove održavanje te glavobolje strojarima.





**Slika 17. Abrazivno-korozivno djelovanje na košuljicu cilindra [13]**

Može se spomenuti kako i adhezivno trošenje utječe na učinak abrazije, na način da se odvajanjem odnosno puknućem mikrozavara nastale čestice, uslijed nastavka gibanja pokretnih dijelova koji su u direktnom kontaktu, dovodi do grebanja materijala (slika 18) i stvaranja vertikalnih paralelnih „brazgotina“ čime vizualno pokazuju i gibanje klipa u cilindru.



**Slika 18. Abrazivni učinak grebanja na materijal [13].**

#### 4.2.4. Istrošenje u obliku lista djeteline

Istrošenje u obliku lista djeteline tzv. *Clover Leafing* je pojava gdje radna površina košuljice cilindra pokazuje znakove trošenja u područjima gdje je ulje za podmazivanje cilindra relativno udaljeno od mjesta isporuke (slika 19). To je posljedica nedovoljne opskrbe cilindričnim uljem za podmazivanje u kombinaciji s uranjanjem TBN-a na radnu površinu.



**Slika 19. Shematski prikaz nastanka istrošenja [2]**

Većina trošenja nalazi se između mjesta podmazivanja gdje je opskrba uljem gotovo pa nikakva i stoga je neutralizacija sumporne kiseline znatno manja nego u područjima dobrog podmazivanja. Jedini način korekcije ovog problema je brušenje površine košuljice dok se ne uklone strukture djeteline. Kromirani klipni prstenovi posebno su osjetljivi na ovu pojavu jer se kromirani sloj može raspasti. Oštećenje površine prstena uzrokovat će habanje ili, u nekim slučajevima, lom prstena [13].

#### 4.3. NAČINI SMANJIVANJA TROŠENJA KOŠULJICE

Nije sporno kako brodstrojari obavljaju svoje dužnosti korektno pri radu sa motorom. Da bi se postiglo što manje trošenje dijelova motora odnosno košuljice cilindra te time i duži radni vijek, potrebno je obratiti pažnju na sljedeće uvjete [22]:

- Korektnu količinu i gradaciju cilindarskog ulja
- Korektno instalirani klipni prstenovi

- Korektno zagrijavanje tijekom početka rada motora
- Dobro održavanje i tempiranje rasprskaače goriva
- Dobro organizirano skladištenje i pročišćavanje goriva
- Korektne temperature rashladne vode i ulja za podmazivanje
- Korektne temperature ispirnog zraka
- Promjene opterećenja motora provode se postupno
- Dobro održavanje opreme.

Pogoršanje kvalitete goriva koje se dogodilo s godinama zajedno s povećanjem tlakova i temperatura koje se javljaju tijekom procesa izgaranja rezultiralo je radom košuljica i klipnih prstenova u vrlo teškim uvjetima. Unatoč ovim nepovoljnim radnim uvjetima, stopa trošenja košuljice cilindra smanjena je posljednjih godina, pri čemu veliki proizvođači dvotaktnih motora tvrde da su stope trošenja 0,03 mm/1000 sati, a proizvođači srednjehodnih 4-taktnih motora tvrde da su 0,02 mm/1000 sati pri radu na teško gorivo [22].

Ovi rezultati trošenja tijekom određenog vremena su se ostvarili uz pomoć sljedećih faktora [22]:

- Razvoj ulja za podmazivanje sa visokim alkalnim svojstvima kako bi se neutralizirale kiseline nastale tijekom izgaranja
- Razvoj kontrole temperature rashladne vode ovisno o opterećenju motora koja održava temperaturu košuljice cilindra na optimalnoj razini
- Korištenjem kvalitetnog lijevanog željeza
- Pažljiv dizajn profila klipnih prstenova kako bi se povećala debljina uljnog filma
- Poboljšanja u distribuciji ulja za podmazivanje po površini košuljice cilindra.
- Poboljšano odvajanje kondenzata od ispirnog zraka (manja mogućnost pojave hidrauličnog udara).

Za što boljom distribucijom ulja po velikim površinama cilindra kod dvotaktnih motora, došlo je do konstrukcijskog rješenja ugradnje „žljebova“ (slika 20). Ovo rješenje omogućuje vrlo dobro zadržavanje uljnog filma po površini, pa tako i smanjeno trošenje samog elementa.



**Slika 20. Unutarnji izgled košuljice cilindra [3].**

#### **4.3.1. Uhodavanje**

Uhodavanjem se naziva postupak kojim se površine elemenata tribološkog sustava prilagođavaju. Provođi se isključivo radi produljenja vijeka trajanja elemenata tribološkog sustava, a pogrešno proveden proces uhadavanja u najgorem slučaju može dovesti i do potpunog uništenja cilindarske košuljice i stapnih prstenova.

Osnovni uvjet osiguravanja dobrog uhadavanja košuljice cilindra je pravilan izbor materijala za izradu košuljice cilindra i stapnih prstenova koji osiguravaju kompatibilna tribološka svojstva.

Što se tiče provođenja postupka, on se vrši u tri faze i to nulta faza uhadavanja koja traje prvih 500 sati uhadavanja i predstavlja relativno kratki period, zatim slijedi prva faza koja traje narednih 1000 sati, a zatim nastupa druga faza uhadavanja koja traje još 1000 sati i završava sa odrađenih 2500 sati uhadavanja. Postoji i preporuka proizvođača kojom se navodi na postepeno i relativno brzo opterećivanje motora do punog opterećenja, odnosno da se u roku od 5,5 sati dostigne maksimalno opterećenje. Također, valja napomenuti da se postupak uhadavanja uvođenjem prevlaka za uhadavanje na svim stapnim prstenovima skraćuje.

### 4.3.2. Honanje

Honanje je dobro prilagođen i naširoko korišten postupak završne obrade površina cilindra. Postupak brušenja proizvodi preciznu površinu unutarnje površine cilindrične košuljice trljajući abrazivni kamen o nju po određenoj putanji. Koristi se specijalan alat sa zrnima kamena nepravilnog oblika promjera između 10 i 50 mikrometara (300 do 1500 granulacije. Što je veća granulacija, finija je obrada površine). Manji promjer zrnaca ostvaruje „gladū“ površinu materijala. Abrazivni materijali koji se koriste za obradu honanjem su. korund, silicijev karbid, borni-nitrid i dijamant. Odabir abrazivnog materijala obično se temelji na karakteristikama materijala obrade. U većini slučajeva korund ili silicijev karbid su prihvatljivi, ali izuzetno tvrdi materijali obrade moraju se brusiti superabrazivima odnosno dijamantima [27].

Razlog ovakvog načina obrade površine jest povećanje otpornosti na trošenje materijala. Na ovaj način se stvaraju povoljni uvjeti zadržavanja ulja na stijenkama košuljice odnosno duži „boravak“ uljnog filma. Sve ovo pozitivno utječe na radni vijek motora, pa i tako na njegovu učinkovitost.



**Slika 21. Honirana površina košuljice cilindra četverotaktnog motora [4]**

### 4.3.3. Cilindarsko ulje

Jedan od vrlo važnih faktora za što manje trošenje je upotreba kvalitetnog cilindarskog ulja. Svrha ulja je spriječavanje izravnog kontakta dvaju metalnih površina kako bi se trenje i trošenje smanjili na što moguće manju mjeru. Postoje nekoliko karakteristika koje određuju upotrebu cilindarskog ulja [9]:

- Točka paljenja (engl. *Fire Point*) predstavlja najnižu temperaturu pri normalnom tlaku do koje treba zagrijati neko ulje da bi se oslobođene pare zapalile uslijed otvorenog plamena.
- Točka tečenja (engl. *Pour Point*) je najniža temperatura pri kojoj ulje još pokazuje tendenciju tečenja. Izražava se u stupnjevima celzijusima.
- Ukupni bazni broj (engl. *Total Base Number – TBN*) definira se kao mjera alkalnosti koja potječe od svih materijala u mazivu koje ima baznu reakciju. Izražava se u mg KOH/g uzorka ulja.
- Ukupni kiselinski broj (engl. *Total Acid Number – TAN*) predstavlja mjeru sadržaja kiselina u ulju za podmazivanje. Granica vrijednosti ne bi smjela prelaziti 3,0 mg KOH/g ulja za neutralizaciju
- Viskoznost je trenje nastalo pri strujanju fluida zbog različite brzine gibanja njegovih slojeva. Izražava se u centistoksima [cSt] gdje je  $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$  [23].

Tijekom podmazivanja cilindra ulje mora udovoljiti još i ekstremne uvjete tlaka i temperature. Ako kojim slučajem ulje ima prenisku ili previsoku viskoznost, na površini cilindra se neće formirati potreban uljni film. Ulje preniske viskoznosti nije u stanju održati uljni film pošto prebrzo isparava pod utjecajem visokih temperatura, a ulje prevelike viskoznosti ne može se dovoljno brzo širiti po površini cilindra da bi stvorilo neprekinuti uljni film.

Uvjeti podmazivanja su se pogoršali kad su se počela upotrebljavati teška goriva koja u sebi imaju veći sadržaj sumpora (3,5-5 %). To je uvjetovalo potrebu za alkalnim uljima. Danas su u upotrebi samo alkalna ulja, a radi se o visokokvalitetnim mineralnim uljima s dodatcima aditiva. Što je postotak sumpora u gorivu veći, ulje mora imati veću alkalnu rezervu, kako bi površine cilindra i klipa bile zaštićene od djelovanja kiselina nastalih izgaranjem goriva [26].

Društvo automobilskih inženjera (engl. *Society of Automotive Engineers – SAE*) osnovalo je numerički kodni sustav za ocjenjivanje razreda motornih ulja prema njihovim karakteristikama viskoznosti [24]. Oznaka SAE 10, 20, 30 ili 40 pokazuju kakva su svojstva ulja po pitanju viskoznosti pri 100 °C, a oznake SAE 5 W, 10 W i 20 W govore kakva su im svojstva pri -18 °C. Ti razredi viskoznosti naravno daju podatak o gustoći ulja odn. veći broj znači da je ulje gušće, a manji broj da je ulje rjeđe [25]. Oznaka W označava zimski razred viskoznosti (engl. *Winter*).

TBN iskazuje svoj potencijal neutralizacijom kiselih produkata izgaranja sa svojim lužnatim svojstvima. Izražena je u ekvivalentnom broju miligrama alkalnog kalijevog hidroksida (mg KOH/g) koja mora neutralizirati sve alkalne sastojke u jednom gramu uzorka ulja. Uzmimo za primjer jedan BN od 60 za tipičan sporohodni motor, znači da za neutralizaciju količinu kiselinskog ekvivalenta je potrebno 60 miligrama kalijevog hidroksida u jednom gramu ulja. U tablici 2 možemo vidjeti količine TBN-a za goriva s određenim udjelom sumpora.

**Tablica 2. Prikaz količine TBN za različita goriva [9]**

| VRSTA GORIVA | RAZRED ULJA | UDIO SUMPORA | TBN (mg KOH/g) |
|--------------|-------------|--------------|----------------|
| LNG gorivo   | SAE 10-20   | <0,5%        | 10-15          |
| Lako gorivo  | SAE 30-40   | 0,5-1,0%     | 20-25          |
| Teško gorivo | SAE 50      | 1,0-3,5%     | 40-70          |
| Teško gorivo | SAE >50     | >3,5%        | 70-100         |

## 5. MJERENJE ISTROŠENJA KOŠULJICE

Površina košuljice cilindra mora se redovito mjeriti kako je navedeno u priručniku za održavanje. Za svaku se košuljicu vodi evidencija mjerenja i izračunava se stopa trošenja. Kako bi se moglo pravilno izmjeriti istrošenje koje se stvorilo tijekom određenog vremena, potrebno je pridržavati se nekih pravila.

Nakon što se motor ugasi i ohladi, skida se glava motora i uklanja se klip koji se nalazi u cilindru. Potrebno je pokriti brtvenicu koja odvaja cilindar od kućišta radilice kod dvotaktnih motora kako se ne bi dodatne „šporkice“ nakupljale i i time smanjile radni vijek brtvenice. Zatim treba ukloniti prsten košuljice te očistiti sve naslage ugljika s njezine gornje površine. Nakon obavljenih radnji, ubacuju se ljestve i pažljivo pregledava površina prije mjerenja kako bi se saznalo je li ima dodatnih uzroka trošenja koje tijekom određenog vremena ne bi trebali biti. Istrošenje se mjeri standardnim predloškom (slika 22) koji se sastoji od strateški postavljenih rupa u koje se postavlja mikrometar i očitava materijal.

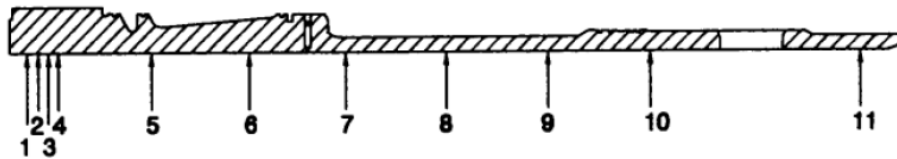


**Slika 22. Mjerenje trošenja košuljice mikrometrom [1].**

Vrlo je važno da su temperature površine mikrometra i košuljice jednake, u suprotnom, zbog linearnog temperaturnog širenja materijala uslijed razlike temperatura, mikrometar neće pokazivati točna mjerenja. Najbolje je pričekati da se temperature površina izjednače sa okolinom i tek onda početi s radnjom mjerenja.



Očitavanja se uzimaju na četiri strane a orijentacija su im strane broda (lijevo, desno, prova, krma). Razlog takvog očitovanja je zbog nejednakog trošenja u različitim smjerovima te se provjerava ovalnost košuljice koja može biti puno opasnija nego ravnomjerno trošenje. Procjenjuje se da je maksimalno istrošenje košuljice između 0,4-0,8 % normalnog promjera košuljice. U slučaju nejednake ovalnosti, košuljica se mijenja sukladno preporukama proizvođača [3].



**Slika 23. Vertikalni prikaz standardnog predloška [3]**

Sve podatke očitovanja i zapažanja potrebno je zapisati u obrascima (slika 24) radi jednostavnijeg praćenja radnog vijeka trajanja košuljice. Ako su mjerenja svedena na minimume onda se može očekivati radni vijek približno koliko traje vijek samog motora.

| <h2 style="margin: 0;">Cylinder Condition Report</h2>  |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
|--|-----|------------------------|--|---|----------------|------------------------|-----------|----------------|---------------------|-------------|----|----|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Vessel:  |     |                        | IMO no:                                      |   | Eng. builder   |                        | Eng. no.: |                |                     | Checked by: |    |    |                                   |                                   |  |
| No. of cyl.:   |     | Eng. type              | Eng. hrs.:                                   |   |                | Date (yymmdd):         |           |                | Inspected unit no.: |             |    |    |                                   |                                   |  |
| <b>Voyage info</b>   |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Weeks pr. port calls:  |     |                        | Normal service load (% of MCR):              |   |                | Lub. part load control |           |                | Lub. type           |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Cyl. oil consumption (l/24 hrs):   |     |                        | at load %:                                   |   |                | Cyl. oil type          |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| <b>Cylinder liner</b>  |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Liner hours:   |     | Insulation pipe (Y/N): |  |   | PC ring (Y/N): |                        |           | Liner material |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Drawing no.:   |     |                        | Frame type                                   |   |                | Liner cool type        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Producer/Marking:  |     |                        | Wear type                                    |   |                | Liner honed (Y/N):     |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Cyl. cover tightened (Y/N):  |     |                        | Temp. between liner and measuring tool (°C): |   |                |                        |           | Shims (mm):    |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| <b>Measuring point</b>   | 0   | 1                      | 2  | 3 | 4              | 5                      | 6         | 7              | 8                   | 9           | 10 | 11 | A1<br><small>(Additional)</small> | A2<br><small>(Additional)</small> |  |
| Depth (mm)   |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Diameter (mm)  | F-A |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
|  | E-M |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>E: Exhaust    M: Manoeuvre<br/>A: Aft        F: Fore</p> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="background-color: #ffffcc; padding: 5px; border: 1px solid black; font-size: small;"> <p>All measuring points are defined from the distance of the mating surface from the cylinder cover.</p> <p>Pos. 0: The middle of the none sliding part above the top piston ring at TDC.</p> <p>Pos. 1-4: The middle of the rings at TDC.</p> <p>Pos. 5 &amp; 6: Equally positioned between pos. 4 and 7 (1/3 of distance).</p> <p>Pos. 7: Lubrication quill level.</p> <p>Pos. 8 &amp; 9: Equally positioned between pos. 7 and 10 (1/3 of distance).</p> <p>Pos. 10: 100 mm. above the scav. air ports.</p> <p>Pos. 11: The middle of the none sliding part below the bottom piston ring at BDC.</p> </div> </div> |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |
| Liner remarks  |     |                        |  |   |                |                        |           |                |                     |             |    |    |                                   |                                   |  |

**Slika 24. Obrazac za prikupljanje podataka mjerenja [2]**

## 6. ZAKLJUČAK

Tijekom ovog završnog rada, malo smo se bolje upoznali sa jednim malim elementom motora, a to je košuljica cilindra. Tko bi rekao da jedan tako mali dio vrlo velikog motora (neki i veličine zgrade od četiri kata) može toliko značajno utjecati na njegovu učinkovitost odnosno pravilan rad bez nekih velikih problema.

Prepoznati neki kvar nije jednostavno, ali uz dovoljno znanja, rada i ljubavi prema poslu, steknu se vrlo dobre vještine pravovremenog uočavanja i prepoznavanja mogućnosti kvara. U tome nam uvelike pomažu razni mjerni parametri koji prate rad motora i dužnost je brodstrojara da redovito prate te parametre i na vrijeme uoče odstupanja koja mogu dovesti do kvara, kao i mogući uzrok tih odstupanja. Za riješiti neki problem potrebno je znanje, a znanje se stekne iskustvom i dugogodišnjim radom. Za svaki problem postoji rješenje bez obzira kakve je jačine.

Cilj rada je dobro upoznati se sa košuljicom cilindra, njezinom funkcijom te na koje sve simptome kvarova treba pripaziti. Kako kvarovi izgledaju, što se sve može dogoditi ako se pravilno ne postupi u skladu sa strukom, sve ovo utječe na sigurnost i normalan boravak brodstrojara tijekom njegove plovidbe. Vidjeli smo kako bez pravilne kontrole odnosno mjerenja trošenja mogu nastati veliki problemi. Naučili smo što je to trošenje te postupak kako se on mjeri. Sada znamo što je to mikrometar i kako ga koristiti jer neće proći dan na brodu, a da se taj instrument ne koristi.

## LITERATURA

- [1] Spinčić, A.; Pritchard, B.: *English Textbook For Marine Engineers 2*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2009.
- [2] Jelić, S.: *Konstruktivski elementi sporookretnih brodskih motora*, 2016, <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A91/datastream/PDF/view>, (pristupljeno 24.07.2021.)
- [3] Komar, I.: *Autorizirana predavanja iz predmeta Brodski motori*, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet (pristupljeno 25.07.2021.)
- [4] Osobno preuzeto sa broda „ZADAR“, Jadrolinija d.o.o. (pristupljeno 20.05.2021.)
- [5] Pavlović, A.: *Trošenje klipa i košuljice cilindra motora te zupčanika reduktora traktora*, 2020, <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6492/datastream/PDF/view> (pristupljeno: 22.07.2021.)
- [6] <https://www.indiamart.com/proddetail/cylinder-liner-16077634373.html> (pristupljeno 27.07.2021.)
- [7] Mahalec, I.; Kozarac, D.; Lulić, Z.: *Konstrukcije motora*, Zagreb, 2015, [https://www.fsb.unizg.hr/miv/MSUI/KonMot/KonMot\\_2015/1\\_Predavanja/KonMot\\_2015.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/miv/MSUI/KonMot/KonMot_2015/1_Predavanja/KonMot_2015.pdf) (pristupljeno 28.07.2021.)
- [8] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Tribologija> (pristupljeno 29.07.2021.)
- [9] Dvornik, J.: *Maziva*, Split, 2014 (pristupljeno 29.07.2021.)
- [10] Kovačević, V.; Vrsaljko, D.: *Tribologija*, pdf, Zagreb, 2011.
- [11] Biočina, Lj.: Istrošenja košuljice cilindara, klipa, klipnih prstenova na sporohodnim diesel Sulzer „4 RLA 90“, *Naše more*, Sveučilište u Dubrovniku, 37, 1990, str 69-72
- [12] Račić, N.: *Brodski generatori pare i toplinske turbine*, Korozija, Sveučilište u Splitu, 2020, <https://bit.ly/3lj1dnj> (pristupljeno 31.07.2021.)
- [13] Kuiken, K.: *Diesel engines II for ship propulsion and power plants*, Nizozemska, 2012
- [14] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Matematika> (pristupljeno 06.08.2021.)
- [15] Petković, Z.: *Praktična realizacija definicije metra*, Zagreb, 2013 [http://repozitorij.fsb.hr/2187/1/28\\_03\\_2013\\_Zavrzni\\_rad.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/2187/1/28_03_2013_Zavrzni_rad.pdf) (pristupljeno 08.08.2021.)
- [16] [http://www.surveyhistory.org/the\\_standard\\_meter1.htm](http://www.surveyhistory.org/the_standard_meter1.htm) (pristupljeno 10.08.2021.)

- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_metre#cite\\_note-2019metre-3](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_metre#cite_note-2019metre-3) (pristupljeno 10.08.2021.)
- [18] Perić, T.: *Autorizirana predavanja iz predmeta Mjerenja u tehnici*, Sveučilište u Splitu, 2018, Pomorski fakultet (pristupljeno 11.08.2021.)
- [19] <https://www.judgetool.com/products/mitutoyo-8-40-digimatic-inside-micrometer-extension-rod-type-337-303/> (pristupljeno 15.08.2021.)
- [20] <http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/01Measuring/Micrometer.doc> (pristupljeno 18.08.2021.)
- [21] Sumić, T.: *Brodski pomoćni sustavi*, Hrvatsko vojno učilište Dr. Franjo Tuđman, Zagreb, 2016
- [22] Morton, D. T.; Jackson, L.: *Motor engineering knowledge for marine engineers*, Adlard Coles Nautical, London, 2003.
- [23] Lalić, B.: Sustav ulja za podmazivanje, Split, 2019. (pristupljeno 22.08.2021.)
- [24] Budimir, A.: Dijagnostika na sustavima ulja kod brodskih motora, 2016, <https://repositorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A88/datastream/PDF/view> (pristupljeno 22.08.2021.)
- [25] <https://autostart.24sata.hr/magazin/sto-znace-oznake-evo-kako-odabrati-najbolje-ulje-6935> (pristupljeno 23.08.2021.)
- [26] <https://ssm.hr/2019/11/22/podmazivanje-cilindara-brodskih-sporohodnih-2t-motora/> (pristupljeno 23.08.2021.)
- [27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Honing\\_\(metalworking\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Honing_(metalworking)) (pristupljeno 24.08.2021.)

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Karaljevski lakat starog egipta [15].....                           | 3  |
| Slika 2. Razvoj jedinice duljine metra [18] .....                            | 4  |
| Slika 3. Staklena lampa za definiranje metra [17].....                       | 5  |
| Slika 4. Mikrometar za mjerenje unutrašnjeg promjera [19].....               | 6  |
| Slika 5. Dijelovi vanjskog mikrometra [21] .....                             | 7  |
| Slika 6. Primjeri milimetarskog očitavanja [21] .....                        | 8  |
| Slika 7. Stvarni prikaz vanjske strane košuljice cilindra [4] .....          | 9  |
| Slika 8. Mikroskopski prikaz grafita u košuljici [2].....                    | 10 |
| Slika 9. Košuljica cilindra sa ispirnim kanalima [3] .....                   | 11 |
| Slika 10. Košuljica cilindra bez ispirnih kanala [6] .....                   | 12 |
| Slika 11. Shematski prikaz suhe (lijevo) i mokre košuljice (desno) [7].....  | 13 |
| Slika 12. Shematski prikaz područja hlađenja košuljice cilindra [3] .....    | 14 |
| Slika 13. Prikaz jednostavnog tribosustava [10] .....                        | 16 |
| Slika 14. Usporedba normalnog i korozivnog istrošenja [11]......             | 18 |
| Slika 15. Djelovanje sumporne kiseline na materijal [13].....                | 18 |
| Slika 16. Procesi adhezijskog trošenja [9].....                              | 19 |
| Slika 17. Abrazivno-korozivno djelovanje na košuljicu cilindra [13].....     | 20 |
| Slika 18. Abrazivni učinak grebanja na materijal [13].....                   | 20 |
| Slika 19. Shematski prikaz nastanka istrošenja [2] .....                     | 21 |
| Slika 20. Unutarnji izgled košuljice cilindra [3].....                       | 23 |
| Slika 21. Honirana površina košuljice cilindra četverotaktnog motora[4]..... | 24 |
| Slika 22. Mjerenje trošenje košuljice mikrometrom [1].....                   | 27 |
| Slika 23. Vertikalni prikaz standardnog predloška [3].....                   | 28 |
| Slika 24. Obrazac za prikupljanje podataka mjerenja [2].....                 | 29 |

## **POPIS TABLICA**

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Kemijski sastav materijala košuljice [5].....    | 10 |
| Tablica 2. Prikaz količine TBN za različita goriva [9]..... | 26 |

## POPIS KRATICA

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| GMT   | Gornja mrtva točka                    |
| DMT   | Donja mrtva točka                     |
| NT  | Niskotemperaturna korozija            |
| SECA (engl. <i>Sulfur Emission Control Area</i> )                 | Područje kontrole emisije sumpora     |
| IBWM (engl. <i>Internacional Bureau of Weights and Measures</i> ) | Međunarodni zavod za utege i mjere    |
| GCWM (engl. <i>General Conference on Weights and Measures</i> )   | Opća konferencija o utezima i mjerama |
| TBN (engl. <i>Total Base Number</i> )                             | Ukupni bazni broj                     |
| TAN (engl. <i>Total Acid Number</i> )                             | Ukupni kiselinski broj                |
| SAE (engl. <i>Society of Automotive Engineers</i> )               | Društvo automobilskih inženjera       |
| BN (engl. <i>Base Number</i> )                                    | Bazni broj                            |