

# Karakterizacija kućišta pumpe rashladnog sustava benzinskog motora

---

Žalud, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:154803>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Lovro Žalud**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.

Student:

Lovro Žalud

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Prvotno zahvaljujem mentorici, profesorici Suzani Jakovljević, na svoj pomoći i strpljenju što mi je pružala tijekom cijelog procesa pisanja završnog rada. Jednako tako želim zahvaliti stručnom suradniku Ivanu Vovku koji je bio od velike pomoći pri izradi eksperimentalnog dijela rada. Također svojim kolegama koji su mi pružali savjete kad sam bio izgubljen ili nesiguran. Naravno zahvale cijeloj obitelji koja mi je pružala podršku, pogotovo mami i tetku, bez kojih ovog rada ne bi bilo.

Lovro Žalud



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Lovro Žalud** JMBAG: **0035228608**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Karakterizacija kućišta pumpe rashladnog sustava benzinskog motora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Characterization of the pump housing of the gasoline engine cooling system**

Opis zadatka:

Promet je naša svakodnevnica u kojem sudjelujemo kao vozač neke od kategorije vozila ili kao pješak. Bez cestovnih motornih vozila današnja mobilnost ljudi i protok roba bili bi nezamislivi. Kod motora s unutarnjim izgaranjem gorivo koje izgara služi za pretvaranje kemijske energije u toplinsku energiju, a potom iz toplinske energije u mehanički rad. Toplinu dobivenu izgaranjem goriva motor pretvara u mehaničku energiju za pogon kotača. Prilikom rada motora razvijaju se visoke temperature pa je dijelove motora potrebno hladiti kako ne bi došlo do pregrijavanja i kvara motora. U današnje vrijeme motori se najčešće hlade rashladnom tekućinom, vodom. Sustav za hlađenje opremljen je pumpom koja cirkulira vodu kroz motor.

U radu je potrebno:

- 1) opisati sustav za hlađenje motora,
- 2) definirati materijale od kojih se izrađuju kućišta pumpe rashladnog sustava motora,
- 3) analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju prilikom rada pumpe,
- 4) na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala kućišta pumpe,
- 5) analizirati rezultate i dati zaključak.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

*Suzana Jakovljević*  
Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

*Branko Bauer*  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
1. UVOD .....	1
1.1. Reli automobili .....	1
2. Motori cestovnih vozila.....	2
2.1. Motor s unutarnjim izgaranjem .....	2
2.1.1. Sustavi motora s unutarnjim izgaranjem.....	5
2.2. Električni motor .....	7
3. Rashladni sustav.....	8
3.1. Pumpa rashladnog sustava .....	10
3.1.1. Tipovi pumpe rashladnog sustava.....	10
3.1.2. Materijali dijelova pumpe rashladnog sustava .....	11
3.1.3. Uzroci kvarova kod pumpe rashladnog sustava .....	13
4. Materijal kućišta pumpe rashladnog sustava .....	17
4.1. Al-Si legura ili silumin.....	19
4.1.1. Legirni elementi silumina.....	19
4.1.2. Mehanička svojstva silumina.....	22
4.1.3. Skupine silumina.....	23
4.1.4. Primjena silumina .....	24
5. Eksperimentalni dio .....	26
5.1. Priprema uzorka.....	27
5.2. XRF spektrometrija.....	28
5.2.1. Analiza podataka spektrometrije .....	28
5.3. Analiza mikrostrukture .....	29
5.4. Mjerenje tvrdoće.....	31
5.4.1. Metoda po Vickersu .....	31
5.4.2. Rezultati i analiza podataka dobivenih mjerenjem tvrdoće.....	32
6. Zaključak .....	33

**SLIKA**

Slika 1.	Sebastian Loeb i njegov Peugeot 208 WRX [2] .....	1
Slika 2.	Eksplוזija unutar cilindra koja gura klip [3] .....	2
Slika 3.	Četiri takta unutar cilindra [3].....	3
Slika 4.	Redni motor [5] .....	3
Slika 5.	V motor [5] .....	4
Slika 6.	Bokser motor [5] .....	4
Slika 7.	Injektor [6] .....	5
Slika 8.	Turbo punjač [7].....	6
Slika 9.	Upravljačka jedinica vozila [8] .....	6
Slika 10.	Izgled vodenih džepova [14].....	8
Slika 11.	Opis sustava hlađenja motora [15] .....	9
Slika 12.	Dijelovi pumpe za hlađenje [16].....	10
Slika 13.	Razni impeleri pumpe [19] .....	12
Slika 14.	Polomljen mehanizam pogona pumpe [20] .....	14
Slika 15.	Puknuta brtva .....	15
Slika 16.	Korozija unutar pumpe [20].....	16
Slika 17.	Pumpa od lijevanog željeza [23].....	17
Slika 18.	Utjecaj poroziteta na vlačnu čvrstoću aluminijskih legure [27] .....	19
Slika 19.	Ovisnost čvrstoće aluminijske legure o udjelu bakra [27] .....	20
Slika 20.	Ovisnost čvrstoće aluminijskih legura o udjelu nečistoća formiranih željezom i silicijem [27] .....	20
Slika 21.	Ovisnost čvrstoće i produljenja u aluminijskim legurama o udjelu mangana i magnezija [27].....	21
Slika 22.	Utjecaj mangana na razna svojstva aluminijske legure [27] .....	21
Slika 23.	Dijelovi automobila izrađeni od aluminijske legure [29].....	24
Slika 24.	Shinkansen vlak iz Japana [30].....	25
Slika 25.	Uzorak izrezan iz pumpe rashladnog sustava .....	27
Slika 26.	XRF pištolj.....	28
Slika 27.	Olympus GX5 mikroskop.....	29
Slika 28.	Slike dobivene svjetlosnim mikroskopom povećanja 200x .....	29
Slika 29.	Mikrostruktura uzorka pumpe rashladnog vozila, povećanje 1000x .....	30
Slika 30.	Izgled penetratora.....	31

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Postupak eksperimentalnog dijela.....26

Tablica 2. Podatci dobiveni XRF metodom.....28

Tablica 3. Podatci dobiveni mjernjem tvrdoće.....32



---

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$T$	°C	Temperatura
$v$	km/h	Brzina
$m$	g	Masa
$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	Gustoća
$\sigma$	Mpa ili ksi	Čvrstoća
$\varepsilon$	%	Produljenje

---

**SAŽETAK**

Ovaj rad se bavi karakterizacijom materijala pumpe za vodu te zatajenjem pumpe za vodu. Opisan je rad rashladnog sustava benzinskog motora i rad same pumpe.

Teorijski dio sadržava mehanizme i procese zatajenja pumpe te najčešće materijale od kojih su pumpe izrađene.

U eksperimentalnom dijelu rada analizirana je mikrostruktura, kemijski sastav i ispitivana je tvrdoća materijala kućišta pumpe rashladnog sustava.

Ključne riječi: motor s unutarnjim izgaranjem, pumpa rashladnog sustava, silumin

---

**SUMMARY**

This paper deals with the characterization of water pump materials and water pump failure. The operation of the cooling system of the gasoline engine and the operation of the pump itself are described.

The theoretical part contains mechanisms and processes of pump failure and the most common materials from which pumps are made.

In the experimental part of the work, the microstructure and chemical composition were analyzed and the hardness of the cooling system pump housing material was tested.

Key words: Internal combustion engine, water pump, silumin

## 1. UVOD

### 1.1. Reli automobili

Reli je natjecanje za razne kategorije motornih vozila. Prva reli utrka je održana u Monte Carlu 1911 godine. Utrke se održavaju na javnim cestama, asfaltiranim i betoniranim, zemljanim i šljunčanim, pri čemu su ceste za potrebe utrke prethodno zatvorene i blokirane za prometovanje. Utrka je podijeljena na etape. Etape se mogu odvijati na asfaltiranim i/ili šumskim cestama te mogu biti različitih brzina, zavoja i težina. Natjecatelji kreću u jednakim vremenskim razmacima kako bi svaki vozač imao mjesta i vremena potpuno iskoristiti mogućnost svog motornog vozila. Na kraju svake etape dodjeljuju se bodovi kojima se rangiraju natjecatelji. Za reli je potrebno posebno vozilo s modifikacijama specificiranim za reli (Slika 1.). Vozilo mora biti brzo, otporno na razna opterećenja i nagle promjene smjera. Za samu vožnju potreban je vrstan i iskusan vozač koji mora moći podnijeti velike sile te intenzivne promjene smjera i brzine. Uz vozača je nimalo manje bitan vozačev navigator kojemu je uloga upozoravanje na nadolazeće dijelove etape, obavještanje o stazi i mjerenje prolaznog vremena. [1]



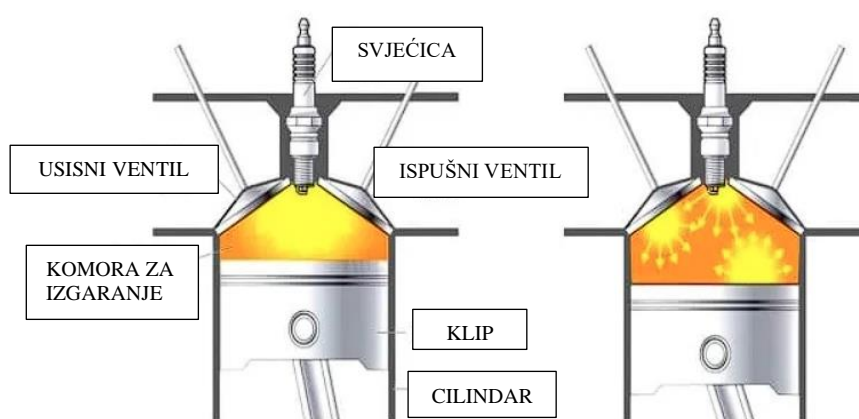
Slika 1. Sebastian Loeb i njegov Peugeot 208 WRX [2]

Ključan dio optimalnih performansi vozila je učinkovito hlađenje. Kako bi motor radio pravilno mora se održavati temperatura kako ne bi došlo do pregrijavanja ili zatajenja. Bitan dio svakog modernog rashladnog sustava trkaćih vozila je pumpa. Pumpa gura rashladnu tekućinu kroz motor i regulira cirkulaciju iste. Pametan izbor materijala pumpe je bitan kako bi pumpa izdržala agresivne uvjete, visoke temperature i korozijsko djelovanje.

## 2. Motori cestovnih vozila

### 2.1. Motor s unutarnjim izgaranjem

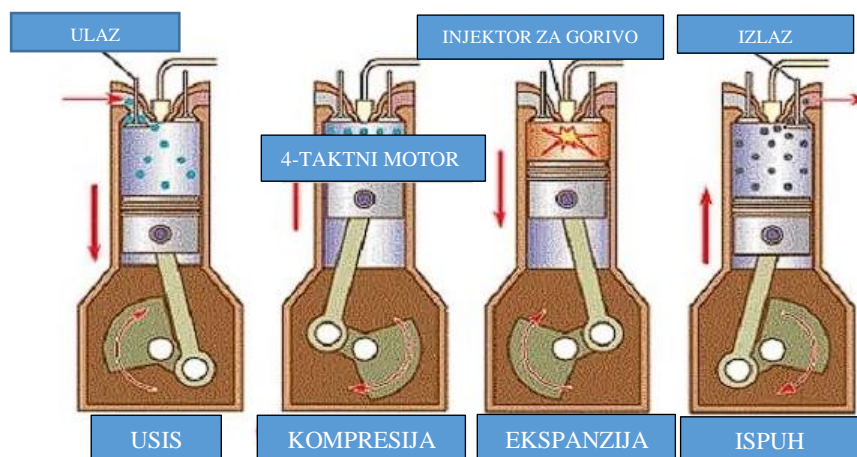
Princip rada ovih motora se zasniva na eksplozijama koje se događaju tijekom izgaranja goriva. Unutar motora se mogu sagorijevati razna goriva koja u kombinaciji sa zrakom i ovisno u sustavu paljenja daju eksplozivne reakcije unutar cilindra. Eksplozije djeluju na klipove, guraju ih naprijed-nazad unutar cilindra, što daje mehaničku energiju kojom se pokreće vozilo (Slika 2.). [3]



Slika 2. Eksplozija unutar cilindra koja gura klip [3]

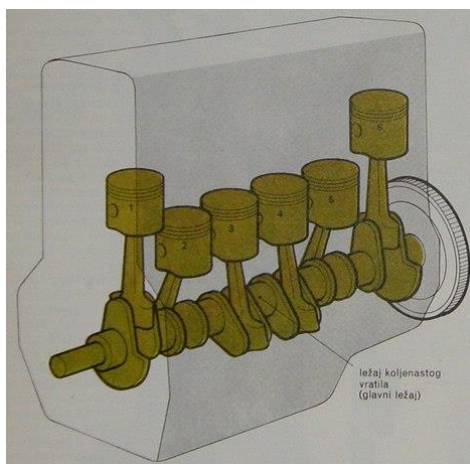
Motori s unutarnjim izgaranjem se dijele na 2-taktne i 4-taktne. 2-taktni motori proizvode više snage, lakši su i jeftiniji, često se koriste u manjim verzijama za kosilice, mopede i bicikle, no vrlo su nepouzdana, glasni i troše previše goriva. Zato svi motori reli vozila koriste jednak princip rada koji se sastoji od 4 takta. 4-taktni motori su generalno pouzdaniji, pa unatoč činjenici da proizvode manje snage koriste se u vozilima za utrkiivanje. [4]

4-taktni motor djeluje u 4 faze. Rasplinjač usisava zrak koji se miješa sa gorivom i ta se smjesa ubrizgava u cilindar. Mješavinu klip komprimira, te na kraju procesa komprimiranja svjeća zapali mješavinu. Zapaljena mješavina pod visokim pritiskom eksplodira unutar cilindra i gura klip koji kemijsku reakciju pretvara u mehaničku energiju i time pokreće vratilo koje dalje predaje okretni moment kotačima. [3]



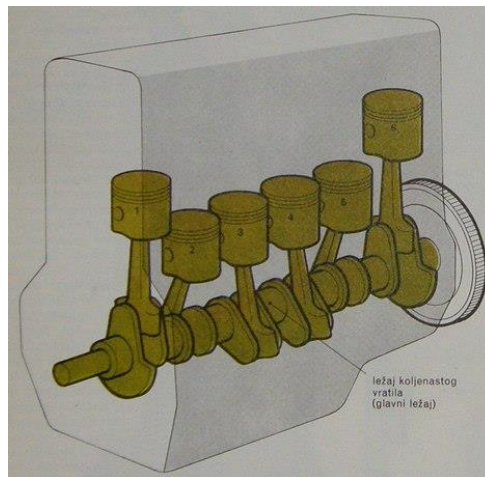
Slika 3. Četiri takta unutar cilindra [3]

Postoje razne izvedbe 4-taktnih motora. Postoje tri najpoznatije izvedbe motora, a od tih je najčešća redni motor (Slika 2.). Koristi se u velikom broju automobila i relativno je jeftina izvedba. [5]



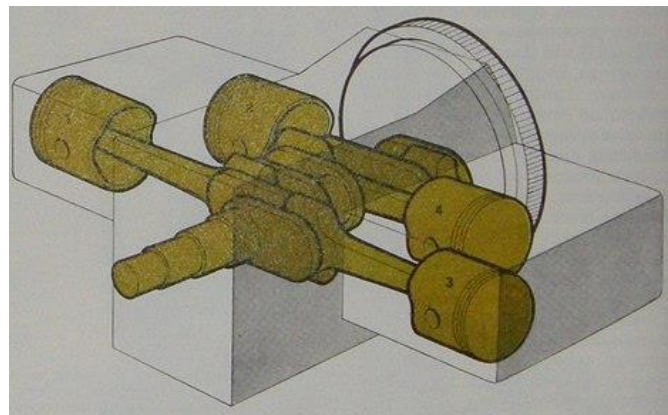
Slika 4. Redni motor [5]

V motor (Slika 3.) ima cilindre posložene u V oblik, a ovisno o vrsti i proizvođaču mogu biti pod različitim kutovima. Ima kraće koljenasto vratilo od rednog i može imati više cilindara. [5]



**Slika 5. V motor [5]**

Bokser motor (Slika 4.) je specifičan po tome što su mu cilindri posloženi u istoj ravnini. Kod boksera sa 4 ili 6 cilindara izravnanje masa je odlično jer se gibanje s jedne strane poništava gibanjem s druge strane. [5]



**Slika 6. Bokser motor [5]**

### 2.1.1. Sustavi motora s unutarnjim izgaranjem

Cijeli motor ima nekoliko bitnih sustava od koji svaki ima svoju ulogu bez koje motori danas ne bi bili isti. Unaprjeđenje i konstantna želja za napredak doveli su industriju do složenijih sustava i komponenti koji omogućuju daleko veću efikasnost i snagu.

Sustav za injekciju goriva je sklop dijelova koji je zadužen za dovođenje goriva iz spremnika za gorivo do motora. Dijeli se na dijelove niskog i dijelove visokog pritiska. Dijelovi pod niskim pritiskom su spremnik i pumpa za dovod goriva koja vodi gorivo iz spremnika do pumpe za injekciju goriva. Dijelovi pod visokim pritiskom su pumpa za injekciju goriva i injektor. Pumpa je zadužena za ubrizgavanje točne količine goriva pod visokim pritiskom. Injektor (Slika 7.) za gorivo koji ju slijedi, pomoću mlaznice vezan je na cilindar i provodi gorivo u cilindar. [3]



Slika 7. Injektor [6]

Konstantno podmazivanje sustava je ključan dio modernih motora koji su sastavljeni od mnogo pokretnih dijelova, mehanički međusobno povezanih sustava koji moraju skladno raditi. U tu svrhu se koristi ulje za podmazivanje kako bi se smanjilo trenje među dijelovima motora. Posljedica toga je smanjene mehaničkih naprezanja među dijelovima i znatno manje trošenje, što produljuje vijek trajanja dijelova i sigurnost tijekom korištenja. [3]

Zadatak ispušnog sustava je da smanji utjecaj štetnih plinova, razvijenih uslijed izgaranja goriva tijekom rada motora, na okoliš i prirodu. Klasični dijelovi su mu razni filteri, katalizator i prigušivač. [3]



Turbo punjač (Slika 8.) usisava i upuhuje veliku količinu zraka u motor. Veća količina zraka omogućava veće sagorijevanje goriva, a time bolje performanse i povoljniju potrošnju goriva.

[3]



**Slika 8. Turbo punjač [7]**

Mjenjač, kućište mjenjača, pretvarač momenta, prijenosnici, kvačilo i hidrauličke pumpe su bitni dijelova prijenosnog sustava vozila. Sustav može biti automatski ili ručni. [3]

Električni sustav se sastoji od baterije, alternatora i pokretača motora. Kad se auto upali baterija daje električnu energiju pokretaču motora koji tu električnu energiju pretvara u mehaničku i njome pokreće motor. Alternator služi za obrnutu pretvorbu, iz mehaničke u električnu energiju kojom puni bateriju vozila. [3]

Upravljačka jedinica vozila (Slika 9.) je poput dirigenta za orkestar sustava motora. Nadgleda i pazi na precizno i točno paljenje i gašenje raznih dijelova motora kako bi npr. pravovremeno došlo do injekcije goriva u sustav i zapaljenja goriva. [3]



**Slika 9. Upravljačka jedinica vozila [8]**

Rashladni sustav vozila je apsolutno nužan dio svakog motora. Svako vozilo koje proizvodi energiju unutarnjim izgaranjem ima kao posljedicu oslobađanje velike količine temperature, koja može izazvati mehanička i toplinska naprezanja. [3, 4]

### *2.1.1.1. Razlika benzinskih i dizelskih motora s unutarnjim izgaranjem*

Najveća i najbitnija razlika ovih motora je u načinu paljenja goriva. Benzinski motori pomoću svjećice zapale smjesu goriva i zraka, dok dizelski motori ne zahtijevaju svjećicu već se mješavina, sama od sebe, zapali tijekom velike kompresije unutar cilindra. Također se i goriva znatno razlikuju. Dizel je gušći od benzina, pa time ima i više energije koja se može razviti iz njega, zbog toga je puno ekonomičniji. Unatoč manjim emisijama ugljikovog dioksida, generalno proizvode puno više štetnih plinova. Zato je bitno da su dizel motori i njihovi ispušni sustavi opremljeni filterima i konverterima koji smanjuju emisiju štetnih plinova. Motori namijenjeni za uporabu dizela dizajnirani su kako bi mogli izdržati veću kompresiju. Samo tijelo motora ima puno deblje stijenke, pa time ima i duži životni vijek. No manja težina motora i veći broj rotacija u minuti su ipak izborili benzinski motor kao najčešći za trkaća vozila [9]

## **2.2. Električni motor**

U zadnje vrijeme raste popularnost električnih vozila. Visoka početna cijena opravdava se manjom potrošnjom na „gorivo“ i puno manjim utjecajem na okoliš. Početna brzina im je veća od benzinskih no često su im najviše moguće brzine manje. Motor ovih vozila pretvara električnu struju dovedenu preko invertera iz baterija u mehaničku energiju kojom pokreće kotače. Električna energija trenutačno se pretvara u okretni moment koji daje veliko ubrzanje, no zbog velikog broja elektromotora i baterija koji su postavljeni kroz vozilo često je masa ovih automobila veća. Uz već postojeća benzinska i dizel vozila za utrkanje, industriju koja ih razvija, sponzore i pravila oko njih, električna vozila se rijetko koriste za reli utrke.

[10, 11]

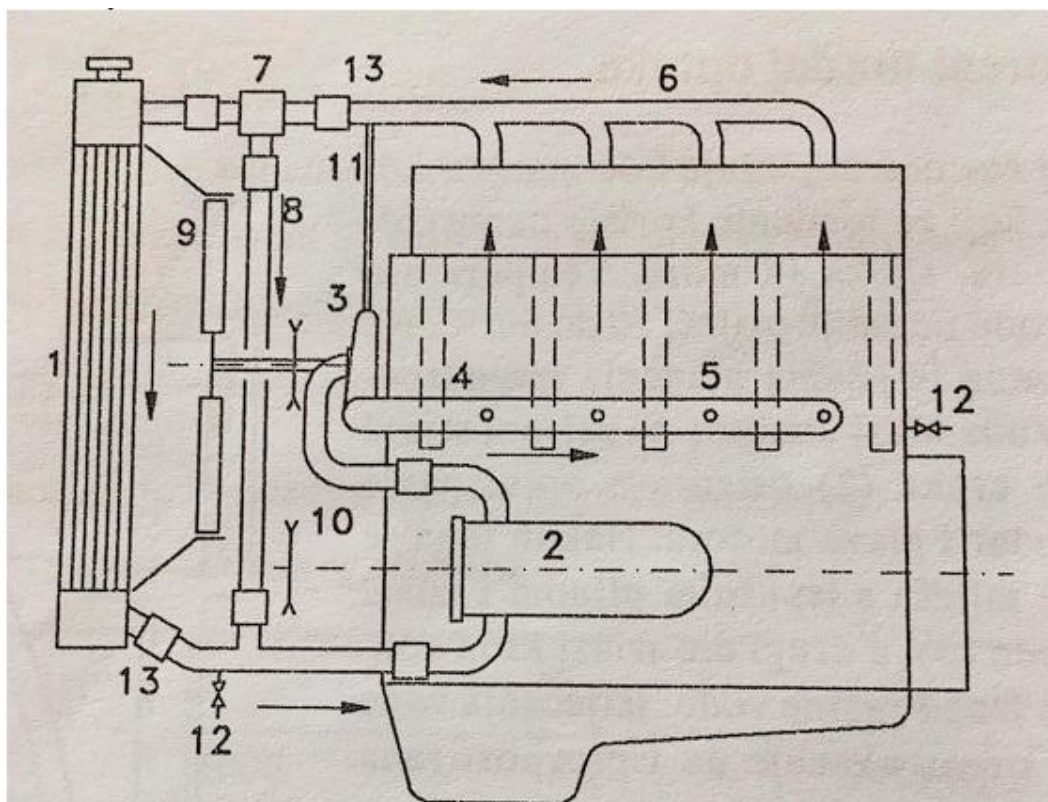
### 3. Rashladni sustav

Svaki motor modernih motornih vozila mora se hladiti. Najčešći način hlađenja motora je prolazom rashladne tekućine kroz sustav za hlađenje koji obilazi čitav motor. Blok i glava motora s unutarnjim izgaranjem puni su vodenih džepova, to je čitav sustav rupa i provrta kojima struji rashladno sredstvo. U početku razvijanja vozila služili su se samo termosifonskim hlađenjem. Termosifonsko hlađenje koristi svojstvo vode da joj porastom topline pada gustoća. Pametnim dizajnom i konstrukcijom džepova (Slika 10.) kroz motor voda bi sama od sebe cirkulirala kroz sustav hlađenja. Danas je svaki sustav za hlađenje opremljen pumpom koja pomaže protoku vode kroz motor. Pumpa ubrzava kruženje te održava motor na željenoj temperaturi. [12, 13]



Slika 10. Izgled vodenih džepova [14]

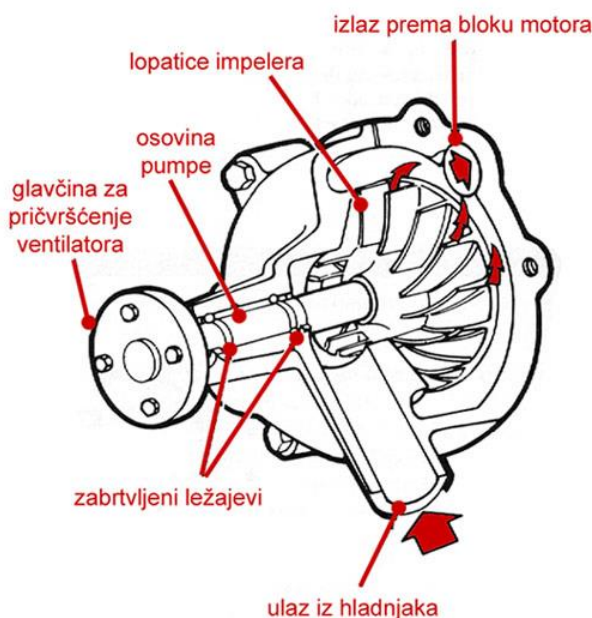
Pri hlađenju motora tekućina iz sabirnika (6) odlazi iz motora u hladnjak (1) gdje je zrak hladi pomoću sustava s ventilatorom i rebrima (9). Za održavanje konstantne temperature rashladne tekućine zadužen je termostat (7) koji po potrebi usmjerava tekućinu za rashlađivanje u hladnjak ako je previsoke temperature ili nazad u vod (8). Kada je tekućina dovoljno hladna vraća se u motor, usputno prolazi kroz hladnjak ulja za podmazivanje (2), gdje hladi i ulje. Pumpa za vodu (3) gura tekućinu za hlađenje kroz sustav. Preko pompe za vodu rashladna tekućina dolazi u džepove motora preko sabirnika (4), a kontrolni otvori (5) osiguravaju podjednaki dotok tekućine za svaki cilindar. U procesu hlađenja cilindra i glave tekućina se zagrijava, postaje manje gusta te struji prema gore. Inteligentno konstruiranje provrta kroz motor prati prirodno gibanje vode. Topla rashladna tekućina se skuplja na najvišem mjestu kako bi se ponovno mogla ohladiti, no sa njome se tamo nakupljaju i zadržavaju mjehurići pare u motoru. Zbog toga postoji i sustav odzračivanja (11) na najvišem mjestu pumpe. Naravno postoje i slavine (12) kojima je omogućeno pražnjenje cijelog sustava. Pogon ventilatora i crpke za vodu osiguran je remenskim prijenosom (10), ali nekada i preko sustava zupčanika. (Slika 11.) [15]



Slika 11. Opis sustava hlađenja motora [15]

### 3.1. Pumpa rashladnog sustava

Kada se govori o pumpi za vodu, najčešće se radi o centrifugalnoj pumpi koja ima rotor s lopaticama. Pumpe su obično povezane na motor s remenicom ili pomoću sustava zupčanika. Pod velikim opterećenjima kroz pumpu može prostrujati do 28.500 litara u satu. Lopatice vuku rashladnu tekućinu s dna hladnjaka te ju guraju kroz džepove motora u gornji dio hladnjaka i nazad. Osovina pumpe za vodu postavljena je u zabrtvljene ležajeve te mehaničkom energijom motora i lopaticama na impeleru gura rashladnu tekućinu kroz sustav (Slika 3.) [12, 13]



Slika 12. Dijelovi pumpe za hlađenje [16]

#### 3.1.1. Tipovi pumpe rashladnog sustava

Mehaničke pumpe, pogonjene remenom, sakupljaju toplinu motora i provođenjem tekućine kroz hladnjak predaju toplinu zraku. Mogu biti ugrađene na motor ili integrirane u njega.

Postoje i varijabilne pumpe koje mogu dozirati količinu vode koja prolazi motorom. Pomoću mijenjanja snage vakuuma mogu funkcionirati točno kad je potrebno, koliko je potrebno.

Električne pumpe rade neovisno o brzini okretanja motora. Ne hlade uvijek jednako, nego u određenim trenucima kada upravljačka jedinica vozila to zahtjeva. Time se smanjuje potražnja za energijom, to jest smanjuje se potrošnja goriva, a time i zagađenje okoliša.

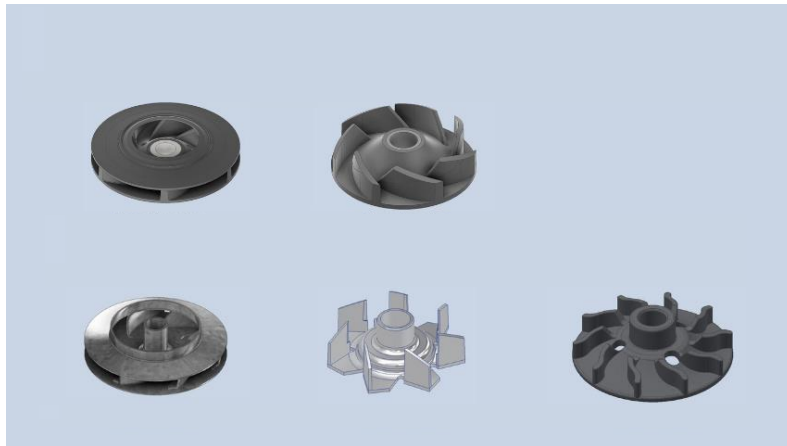
Pomoćne pumpe pomažu glavnoj pumpi i može ih biti više u jednom vozilu. Koriste ih veća vozila, zatim vozila koja su pod većim opterećenjima i električna vozila kojima je potrebno hlađenje baterija i elektromotora kroz cijeli sustav. [16]

### **3.1.2. Materijali dijelova pumpe rashladnog sustava**

Glavčina prenosi rad s motora kroz osovinu na impeler, no u procesu mora smanjiti moment sile koji motor proizvodi. Zato je bitno da se konstruira od laganog i vrlo čvrstog materijala. Najčešće se koriste čelični limovi ili ljevovi. Bitno je da se konstruira precizno, inače čak i male deformacije mogu dovesti do velikih problema u radu pumpe. [17]

Kućište okružuje i povezuje sve komponente motora. Kao i sve ostale komponente trkaćih vozila kućište treba biti što manje mase, kako ne bi negativno utjecalo na performanse i potrošnju goriva, no opet dovoljno robusno da izdrži eksploatacijske uvjete. Potrebno je da može izdržati unutarnji pritisak rashladnog sustava kao i okretni moment remena koji pokreće impeler. Također kućište može biti izloženo višim temperaturama pa materijal mora dobro moći podnijeti rad pri povišenoj temperaturi. Izrađuje se od aluminijevih slitina postupkom lijevanja, lijevanog željeza ili gnječnog čelika. [17]

Impeler (Slika 13.) je centralni dio pumpe i čitava bit pumpe. Provodi tekućinu iz spremnika i gura je u motor. Brzina, količina i pritisak tekućine ovise o njegovoj konstrukciji, a o njegovom radu ovisi ispravnost rada motora. Najčešće su napravljeni od metala, a rjeđe od plastike. [17]  
[18]



**Slika 13. Razni impeleri pumpe [19]**

Brтва stvara vodonepropusnu membranu između pumpe i motora, sprječava izlaz tekućine za hlađenje iz sustava kao i ulaz zraka u sustav. Može biti napravljena od gume, lima ili ponekad od posebne vrste papira. [17]

### **3.1.3. Uzroci kvarova kod pumpe rashladnog sustava**

U idealnom svijetu željena temperatura motora bila bi uvijek moguća i održiva. No u nepredvidljivim radnim uvjetima, kao što su bili u začecima reli utrka, auti se nisu štedjeli, radna temperatura je rasla znatno više od predviđene, pa je dolazilo do mnogo kvarova u sustavim hlađenja. Općenito do zatajivanja pumpe najčešće dolazi zbog loše instalacije, nepravilnog korištenja automobila ili zbog krive tekućine za rashlađivanje.

Sustav za hlađenje vozila mora biti pomno konstruiran. Male greške znatno mogu negativno utjecati na pravilan rad sustava. Nepravilna pozicija vodenih džepova ili neispravno pozicionirane cijevi neće moći dobro provoditi tekućinu do dijelova kojima je najviše potrebna. No nije sve samo u konstrukciji sustava već i pravilnom održavanju. Bitno je redovito provjeravati razinu tekućine u automobilu, jesu li svi otvori dobro začepljeni te ima li negdje rupa ili nepravilno pričvršćenih komada iz kojih tekućina može procuriti. [20]

#### *3.1.3.1. Problemi s tekućinom za hlađenje*

Prosječne temperature motora kreću ispod 100°C, ponekad mogu dostići čak i do 200°C. Vrlo je bitno da tekućina dobro odvodi toplinu iz sustava, kako bi sustav mogao pravilno funkcionirati. Tekućina za hlađenje ima tri glavne svrhe osim samog hlađenja vozila u pogonu: smanjuje temperaturu ledišta cijelog sustava, povišuje temperaturu isparavanja te čuva i njegove dodatne dijelove od utjecaja korozije i stvaranja korozijskih produkata. Zbog vrlo brzog razvijanja automobilske industrije, proizvođači automobila su s jednostavnih materijala prešli na komplicirane slitine, polimere i kompozite koji zahtijevaju pomno promišljanje o kemikalijama koje utječu na njih. Nekada je postojalo svega nekoliko takvih sredstava za razliku od danas. Tipovi i vrste tekućina razlikuju kako od vozila do vozila, tako i od države do države. Postoje više vrste tekućina, no sve su tekućine bazirane na glikolu koji s vodom i raznim aditivima tvori različite sastave za razne primjene. Od svih spojeva voda ima najbolju mogućnost prijenosa topline, no dolazi sa svojim nedostacima jer uzrokuje stvaranje korozijskih produkata unutar sustava za hlađenje što je velik problem za kasniji prijenos topline kroz sustav. Ti produkti se nakupljaju u sedimente i mogu smanjiti efikasnost sustava ili ga čak i potpuno začeptiti. Nedovoljna količina tekućine za hlađenje ostavlja sustav bez kvalitetne tvari za provedbu topline. Zbog manjka tekućine povećava se količina zraka koji ne može prenijeti dovoljnu količinu topline da bi motor dugotrajno ispravno funkcionirao pa se motor opetovanim



zagrijavanjem pregrije. Zato je bitno nadopunjavati tekućinu za hlađenje po potrebi i redovito ispirati cijeli sustav kako bi se smanjila količina nečistoća u sustavu. [20, 21]

### 3.1.3.2. Problemi s mehanizmom pumpe

Najčešći problemi s mehanizmom pumpe javljaju se u prijenosu momenta sile s motora preko remenice na glavčinu ili pogonski kotač pumpe. Tu može doći do problema iz raznih razloga pa uvijek treba provjeriti je li pravilno instaliran mehanizam, odgovaraju li dijelovi jedan drugome te koliko su dijelovi stari ili potrošeni.

Pogonski kotač pumpe rashladnog sustava ležajem prenosi rad na impeler. U slučaju da vibrira može polomiti ležajeve i znatno smanjiti efikasnost, a u gorem slučaju zbog vibracija impeler postane nestabilan te ne može kvalitetno provoditi tekućinu kroz sustav. [20]



**Slika 14. Polomljen mehanizam pogona pumpe [20]**

Pravilno postavljanje remenice je također ključan korak ka ispravnom funkcioniranju sustava. Remenica mora biti točno zategnuta na pogonski kotač pomoću zatezača. Ako remenica nije dovoljno zategnuta, pumpa ne radi ispravno ili uopće ne radi što lako može dovesti do zastoja motora. Remenica može biti i prejako stegnuta što može rezultirati preranim zatajenjem pogonskog kotača, ležajeva ili samog tijela pumpe (Slika 14.). [20]

### 3.1.3.3. Loše brtvljenje

Brтва se nalazi između motora i pumpe i ima dvije svrhe: sprječava curenje tekućina izvan sustava i drugu, puno bitniju, sprječava ulaz zraka u sustav hlađenja. Kada zrak uđe u motor nakuplja se u džepiće plinova koji vode do pretjeranog grijanja u dijelovima motora gdje se plin „zaglavi“. Plin ostaje u raznim provrtima motora gdje onda nastaju velika temperaturna naprezanja za koji dijelovi motora nisu dizajnirani. Do pucanja brtve (Slika 15.) dolazi ako nije pravilno instalirana, ako se motor jako pregrijava (znatno više nego za što je predviđena) ili ako tekućina koja prolazi sustavom ima korozivno djelovanje na nju. [20]



**Slika 15. Puknuta brtva**

### 3.1.3.4. Korozija

Korozija (Slika 16.) nastaje zbog nepravilne brige o rashladnom sustavu. Neispravna instalacija dopušta ulazak zraka u dijelove gdje mu nije mjesto. Dodavanje vode iz slavine u sustav može i hoće korodirati lopatice, džepove i brtvu, uzrokuje nakupljanje kamenca i drugih nečistoća na unutrašnjosti sustava, mijenja vodljivost topline iz motora na tekućinu i dodatno otežava pravilan rad motora. Zato je u svim tekućinama za hlađenje isključivo destilirana voda. Također nepravilan izbor tekućina za hlađenje je čest uzrok korozije unutrašnjosti pumpe ili brtve. Od svih mogućih kvarova pumpe koroziju je najteže uočiti jer je to vidljivo samo kada pumpa već treba popravak. Tek se tada mogu vidjeti korodirani dijelovi pumpe, curenje tekućine za hlađenje i slomljena brtva. [20]



**Slika 16. Korozija unutar pumpe [20]**

#### 4. Materijal kućišta pumpe rashladnog sustava

Gnječeni čelik i lijevano željezo su puno rjeđi izbor zbog svoje veće mase. Koriste se na većim vozilima te u postrojenjima gdje ukupna masa nije toliko bitna za rad i ukupnu potrošnju vozila ili sustava (Slika 17). Aluminijski lijev je materijal koji se najčešće koristi kad se radi o cestovnim vozilima, pogotovo onima za utrku. [22]



Slika 17. Pumpa od lijevanog željeza [23]

Aluminij je uvijek bio vrlo tražen metal zbog svoje male gustoće i dobre livljivosti. Niska temperatura tališta je povoljna kad su u pitanju troškovi toplinske obrade, no kad se govori o eksploataciji pri povišenoj temperaturi niža temperatura tališta je problematično svojstvo. Vrlo je reaktivan i odmah u kontaktu sa zrakom formira sloj oksida koji ga štiti. Njegovu korozijsku postojanost mogu narušiti tvari koje uništavaju oksidni film. Čvrstoća mu je relativno mala no precipitacijskim očvršćivanjem moguće je dostići vrijednosti čvrstoće kakve imaju mnogi čelici. Najbitniji legirni elementi aluminiju su silicij, bakar, magnezij, cink i mangan. Tri su osnovne skupine lijevanog aluminija i dijele su po udjelu drugog najzastupljenijeg elementa: Al-Mg, Al-Cu i Al-Si legure. [24-26]

Al-Mg najčešće se proizvode s udjelom magnezija od 3 % do 5 %. Legure s 10 % Mg su najbolje, ali im je livljivost znatno lošija pa se ne koriste često. Odlično su korozijski postojane i pritom su i dobro zavarljive. [26]

Al-Cu legure su najslabije korozijski postojane, slabo su livljive i slabo otporne na udarno djelovanje. Bakar služi da se smanji udio silicija kako bi se povećala mehanička obradivost legure. Dobra im je otpornost na povišenim temperaturama, pa se mogu koristiti na temperaturama do 300 °C. [26]

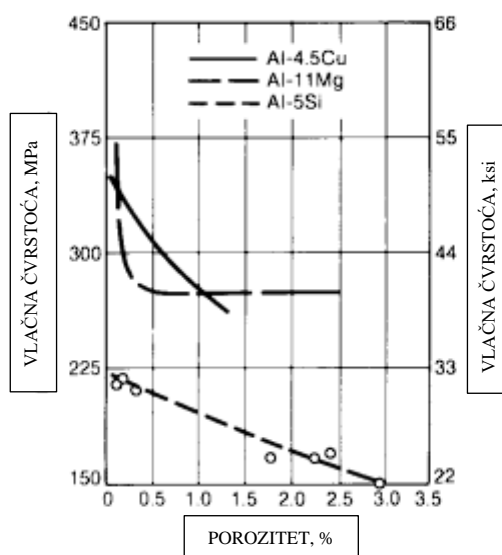
Al-Si legure su najpoznatije lijevačke legure. Silicij koji je glavni legirni element znatno poboljšava livljivost. Rijetko se primjenjuju u čisto binarnom stanju zbog nedovoljnih mehaničkih svojstva pa im se skoro uvijek dodaju drugi legirni elementi koji će povećati čvrstoću i mogućnost strojne obrade. Dijele se na podskupine ovisno o udjelu silicija. [26]

#### 4.1. Al-Si legura ili silumin

Al-Si legura ili silumin je slitina primarno napravljena za lijevanje, ali zbog vrlo tvrdih čestica silikona i mekane matrice obrada odvajanja čestica nije dobar izbor oblikovanja ovih materijala. Zato se primarno koriste smo u lijevanom stanju. [26]

##### 4.1.1. Legirni elementi silumina

Silicij je najbitniji legirni element ove slitine, on znatno olakšava lijevanje te time daje fluidnost slitini u otopljenom stanju i pomaže kod neželjenog stiskanja odljevka tijekom hlađenja. Ima vrlo nizak koeficijent toplinskog širenja što je vrlo pogodno tijekom rada pri visokim temperaturama i kod skrućivanja nakon lijevanja. Visoka tvrdoća silicijevih kristala pomaže kod problema uzorkovanih trošenjem (pogotovo kod su u pitanju legure s više od 20% silicija), jer je otpornost trošenja silumina 10 puta bolja nego kod čelika. Generalno ga ima u slitinama maksimalno 22-25 %, no kada se radi o metalurgiji praha taj broj može skočiti do 50%. Problem sa silicijem je što na sebe veže plinove, pa može doći do poroziteta (Slika 18.) u mikrostrukтури lijeva. [25-27]

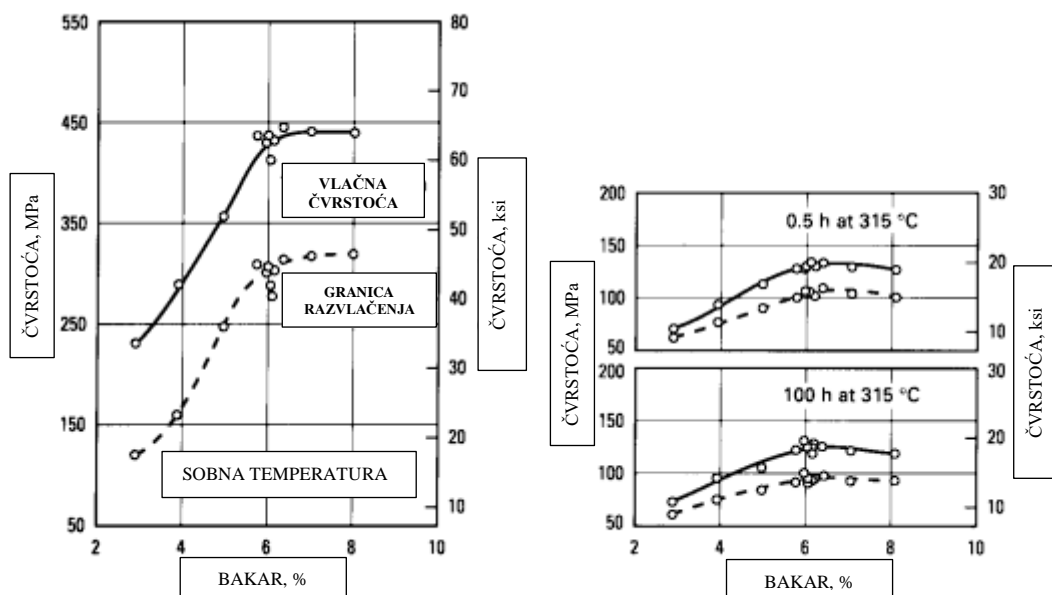


Slika 18. Utjecaj poroziteta na vlačnu čvrstoću aluminijevih legure [27]

Bakar se dodaje u silumin kada je potrebno povećati vrijednosti čvrstoće, tvrdoće i otpornost umoru (Slika 19.), no samo kada otpornost koroziji nije toliko ključan dio primjene materijala.

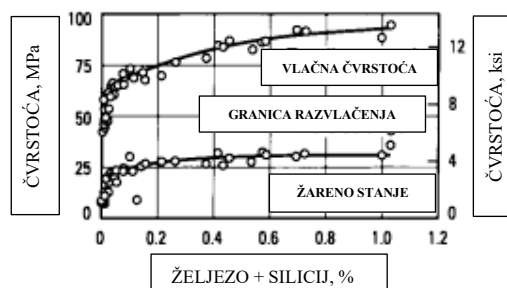
Dotakom bakra matrica silumina postaje tvrđa, pa ga je lakše obrađivati odvajanjem čestica.

[25, 27]



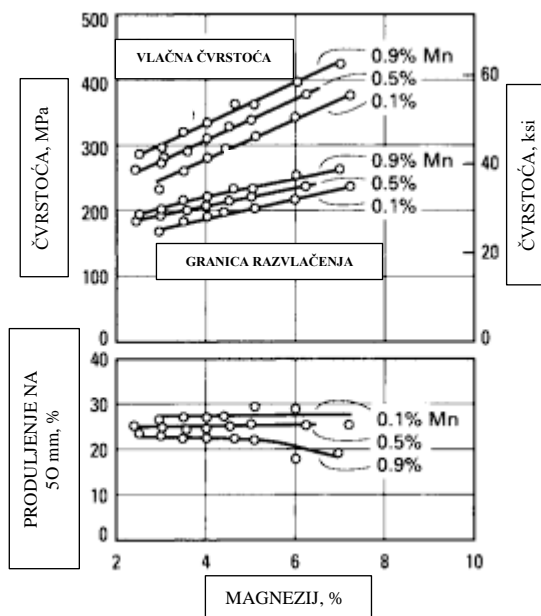
Slika 19. Ovisnost čvrstoće aluminijeve legure o udjelu bakra [27]

Željezo je često neželjeni konstituent (Slika 20.) kojeg se drži na minimumu do 0,7%. U slučaju da u leguri ima bakra i željeza, otpornost na koroziju se smanjuje pa kako bi se ispravio neželjeni utjecaj željeza dodaju se kobalt, krom, mangan, molibden i nikal. Navedeni elementi pomažu kad je u otpornost na koroziju. Željezo generalno smanjuje vrijednosti čvrstoće i duktilnosti i promovira porozitet. Koristan je kao konstituent jer pomaže pri hlađenju legure i pri povećanju otpornosti na tople pukotine. Kako bi se smanjio utjecaj željeza želimo formirati kompaktnu morfologiju to jest potaknuti stvaranje kineskog pisma. [25, 27]



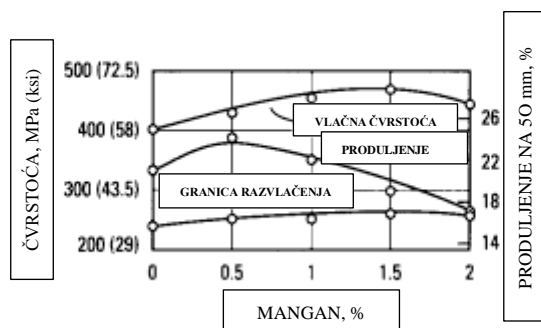
Slika 20. Ovisnost čvrstoće aluminijskih legura o udjelu nečistoća formiranih željezom i silicijem [27]

Magnezij je vrlo dobra primjesa jer u kombinaciji sa silicijem tvori očvršćavajući spoj  $Mg_2Si$ , no treba pripaziti na udjele magnezija jer smanjuje duktilnost legure. Kada se nalazi u siluminu zajedno s manganom, povećava čvrstoću (Slika 21.). [25] [27]



Slika 21. Ovisnost čvrstoće i produljenja u aluminijским legurama o udjelu mangana i magnezija [27]

Mangan je generalno nečistoća, no pomaže u neutralizaciji štetnog utjecaja željeza. Kada se vodi računa u odnosu udjela  $Mn/Fe \sim 0,5$  i o brzini hlađenja potiče se izdvajanje željeza u morfologiji kineskog pisma  $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ . Morfologija kineskog pisma se razlikuje od klasične igličaste morfologije, zato što se ne prekida metalna osnova i pozitivno utječe na mehanička svojstva (Slika 22.). [25, 27]



Slika 22. Utjecaj mangana na razna svojstva aluminijske legure [27]



Nikal kada je u kombinaciji sa željezom daje siluminu otpornost na vodu ili paru visoke temperature i daje veće vrijednosti čvrstoće.

Krom služi za kontroliranje rasta granica zrna i za pomoć pri otpornosti na koroziju. Osjetljiv je ako se materijal mora brzo gasiti.

Kobalt je rijetka primjesa ovim legurama, no u legurama koje sadrže i željezo pomaže pri formiranju to jest globulariziranju spojeva koji se baziraju na željezu i siliciju, kako bi se smanjila naprezanja unutar materijala. [25, 27]

#### **4.1.2. Mehanička svojstva silumina**

Loše tehnike lijevanja mogu znatno smanjiti svojstva ljevačkih legura, no prednost silumina je što su lijevani komadi vrlo otporni na greške i nepravilnosti u procesu. Vrlo dobro podnosi lošu konstrukciju i dizajn kalupa, zaostale plinove te neodgovarajuće brzine lijevanja i hlađenja, što su generalno veliki problemi ljevačkih postupaka. Što je veća čistoća legiranih elemenata, što je manje neželjenih uključaka i nečistoća, to su svojstva odljevka bolja. Mogu narasti čak i za 20%. Najveće vrijednosti vlačne čvrstoće silumina kreću se između 200-400 MPa, vrijednost tlačne čvrstoće se kreće oko 220-440 MPa ovisno o leguri. Smična čvrstoća iznosi tek oko 70% vlačne čvrstoće. Modul elastičnosti je između 85 i 95 GPa te opada starenjem legure, pa treba pripaziti kada koristiti koji oblik silumina. Zbog visokog udjela tvrdih i krhkih faza udarna čvrstoća je slaba, no sferiodizacijom silicija to jest uklanjanjem oštih rubova, faza se može nešto poboljšati. Također sferiodizacijom silicija tijekom toplinske obrade moguće je povećati otpor umoru materijala što je vrlo bitno svojstvo materijala u dugotrajnoj eksploataciji pri povišenim temperaturama. Poput mnogih drugih materijala, povećanjem temperature opada čvrstoća, raste duktilnost i smanjuje se otpor umoru materijala, no silumin kojem je dodan bakar može podnijeti temperature do 220 °C bez znatnog pada otpornosti umoru. Otpornost puzanju materijala je slaba kod aluminijskih, međutim svi drugi klasični legirni elementi silumina pomažu pri smanjenju puzanja (silicij nešto manje, dok bakar, magnezij i kobalt nešto više). Otpornost na koroziju je jaka strana ovih slitina osim kad su pitanju alkalni mediji koji napadaju i silicij i aluminij. [25]

### 4.1.3. Skupine silumina

Silumin se dijeli na tri podskupine s obzirom na udjele drugog najvećeg konstituenta, silicija.

#### 4.1.3.1. Podeutektičke legure

Podeutektičke legure s manje od 12% Si, odlične su livljivosti i dobre korozijske postojanosti. Generalno se udio silicija kreće od 7% do 11%, a ostatak elemenata se prilagođava ovisno o željenim svojstvima. Dodatno se poboljšavaju usitnjavanjem zrna i precipitacijskim očvršćivanjem. Dodatkom bakra i magnezija luče se precipitati koji siluminu povećavaju čvrstoću na sobnoj temperaturi, međutim pogrubljuje se struktura na višim temperaturama. Bakar i nikal isto povećavaju čvrstoću i na sobnoj i na višim temperaturama. Željezo je neželjena pojava zbog smanjenja žilavosti, no ako se drži na minimumu može povećati čvrstoću bez pada u žilavosti. [26]

#### 4.1.3.2. Eutektičke legure

Eutektičke legure imaju sadržaj silicija između 12% i 13%. Visoke su specifične čvrstoće i krutosti, otporne na koroziju i toplinski vodljive. Mikrostruktura eutektika je sačinjena od 90% primarnog aluminija  $\alpha_{Al}$  i 10% silicija  $\beta_{Si}$  što leguri daje dobru žilavost i odličnu livljivost. Kao i kod prethodne legure usitnjavanje zrna i precipitacija su najčešći postupci modifikacije legure. Ova vrsta sadrži dosta nikla koji u kombinaciji sa željezom i sferiodizacijskim žarenjem daje odlična mehanička svojstva tijekom rada pri povišenim temperaturama. [26]

#### 4.1.3.3. Nadeutektičke legure

Nadeutektičke legure su one kojima je sadržaj silicija viši od 13 %. Kristali silicija su generalno najtvrdi dio mikrostrukture ovih legura, znatno pozitivno utječu na otpornost trošenju, no negativno utječu na druga mehanička svojstva. Kako bi smanjili loš utjecaj silicija koji je vrlo bitan konstituent dodaje se fosfor koji usitnjuje Si kristale. Najčešće su legirane magnezijem, bakrom i željezom koji u kombinaciji s naknadnom toplinskom obradom osiguravaju dobra mehanička svojstva pri povišenim temperaturama. Kada je koncentracija silicija iznad 14% modul elastičnosti silumina raste dok koeficijent toplinskog rastezanja pada, što je isto pogodno za rad pri višim temperaturama. Mikrostruktura je sastoji u najvećem udjelu od  $\beta_{Si}$  i eutektika ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). [26]

#### 4.1.4. Primjena silumina

Ljevovi silumina tijekom i nakon hlađenja pokazuju minimalnu kontrakciju. Imaju dobra mehanička svojstva i otpornost trošenju. Silumin je danas vrlo česta pojava u automobilskoj industriji, ali i općenito u transportnoj industriji. U vozilima, i osobnim i teretnim, upotrebljava se umjesto čelika (Slika 23.) . Iako je čelik čvršći i otporniji od silumina, kada se uzme u obzir njegova velika gustoća (oko  $8 \text{ g/cm}^3$ ) naspram puno manje gustoće silumina ( $2,5 - 3 \text{ g/cm}^3$ ), efikasnost silumina u potrošnji goriva daleko nadmašuje malo veću izdržljivost vozila koju bi pružao čelik. Silumin se često upotrebljava za električne automobile jer je lakši od čelika pa ne dodaje nepotrebnu masu. [24, 28]



Slika 23. Dijelovi automobila izrađeni od aluminijske legure [29]

Najpoznatija uporaba silumina je na japanskim Shinkansen vlakovima (slika 24.). Zbog male mase i smanjenja djelovanja trenja postao je glavni metal ovih vlakova. Odlična svojstva uzrokuju smanjenje troškova goriva i omogućavaju vožnju većim brzinama (preko 300 km/h), što zauzvrat smanjuje zagađenje okoliša. Znatno smanjuje trenje, visoke je čvrstoće i male gustoće pa se upotrebljava čak i za svemirske letjelice. [28, 30]



**Slika 24. Shinkansen vlak iz Japana [30]**

U novije se vrijeme koristi i za gradnju. Pošto silumin nije jako težak, poput čelika ili betona, temelji ne trebaju biti toliko duboki. Otpornost na koroziju znači da se može primjenjivati kao potpora za svakojake strukture i građevine u raznim uvjetima i okolišima.

Sve veća populacija, razvijenije društvo i urbanizacija guraju cijelo tržište naprijed, a tako i silumin, koji postaje omiljen u auto industriji. Stručnjaci tvrde da će do 2024. godine, zbog sve veće uporabe aluminijskih legura u svakodnevnici, tržište aluminijskih i njegovih slitina prerasti 150 milijardi USD. [28]

## 5. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada analiziran je uzorak izdvojen iz kućišta pumpe rashladnog sustava trkaćeg vozila za reli. Uzorak je ispitivan u laboratorijima Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Postupak kojim se ispitivao uzorak nalazi se u tablici 1.

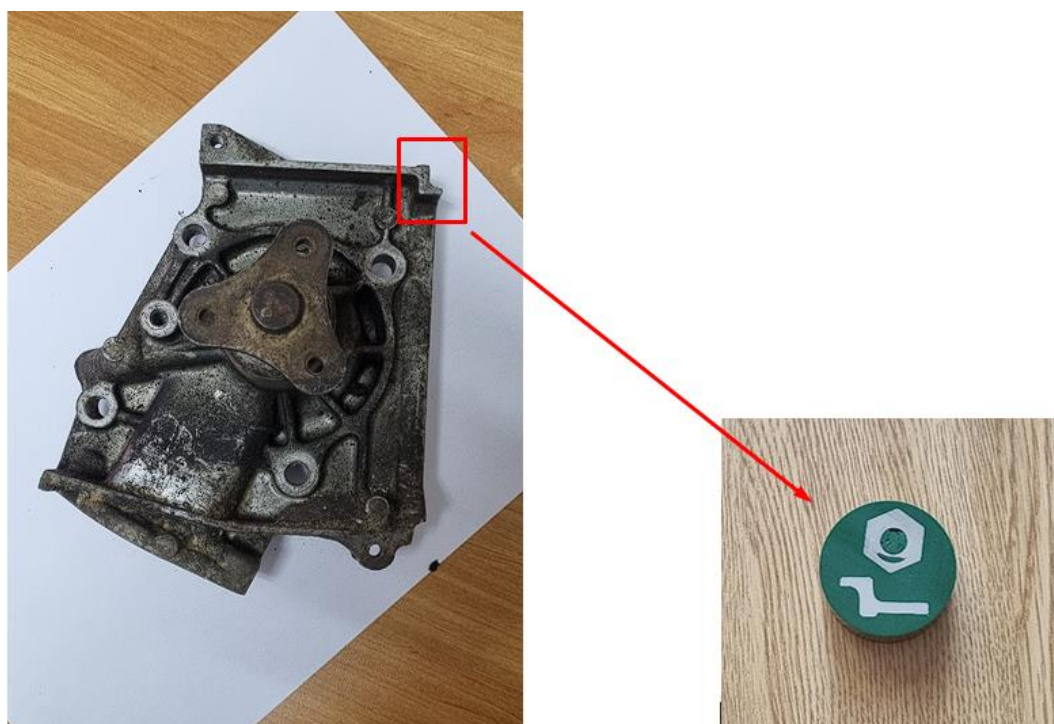
**Tablica 1. Postupak eksperimentalnog dijela**

Postupak ispitivanja uzorka	
1.	Rezanje kućišta pumpe
2.	Zalijevanje uzorka u polimernu smjesu
3.	Brušenje i poliranje
4.	XRF spektrometrija
5.	Analiza mikrostrukture
6.	Mjerenje tvrdoće

## 5.1. Priprema uzorka

Iz kućišta pumpe je izrezan uzorak. Često strojevi za obradu uzoraka imaju već definirane utore za uzorke. Komadi koji se ne mogu izrezati na željeni način ili su već u početku manjih dimenzija od odgovarajućih moraju biti zaliveni polimernom smjesu radi lakšeg rukovanja. Zbog toga je nakon izrezivanja uzorak zaliven u polimernu smjesu radi lakšeg rukovanja. (Slika 25.).

Uzorak je zatim brušen brusnim papirima, postepeno sve sitnijim česticama, prvo 320, pa 600, 1000, 2400 i na kraju 4000 grita. Nakon brušenja za poliranje je korišten MECATECH 250 od Presi-ja. Uzorak je ručno poliran pomoću dijamantne paste veličine čestica 3  $\mu\text{m}$  i tekućinom za poliranje.



Slika 25. Uzorak izrezan iz pumpe rashladnog sustava

## 5.2. XRF spektrometrija

XRF spektrometrija je nerazorna metoda karakterizacije materijala. Pištoljem se šalju fotoni na površinu uzorka. Ti fotoni izbijaju elektrone iz unutarnjih orbitala atoma materijala, zbog čega atomi postaju nestabilni. Kako bi ti atomi ipak ostali u ravnoteži, elektroni iz vanjske orbitale popunjavaju mjesta izbijenih elektrona i pri tim skokovima između orbitala oni zrače X-zrake. Pomoću detektora zraka i računalom interpretiraju se dobiveni podaci o kemijskom sastavu ispitivanog materijala. [31]

Za provedbu spektrometrije korišten je prijenosni XRF pištolj marke Olympus (slika 26.). Korištenje XRF pištolja je vrlo sigurna, nerazorna i učinkovita metoda koja omogućuje identifikaciju udjela kemijskih elemenata u uzorku. Vrlo je popularan zbog svoje lake uporabe i malog rizika za korisnika koji može bez diranja ispitnih komada skenirati i dobiti željene rezultate. Koristi se ne samo u metalografiji nego i u mnogim drugim granama industrije.



Slika 26. XRF pištolj

### 5.2.1. Analiza podataka spektrometrije

Analiza podataka spektrometrije (Tablica 1.) upućuje da se radi o aluminijskoj leguri.

Tablica 2. Podatci dobiveni XRF metodom

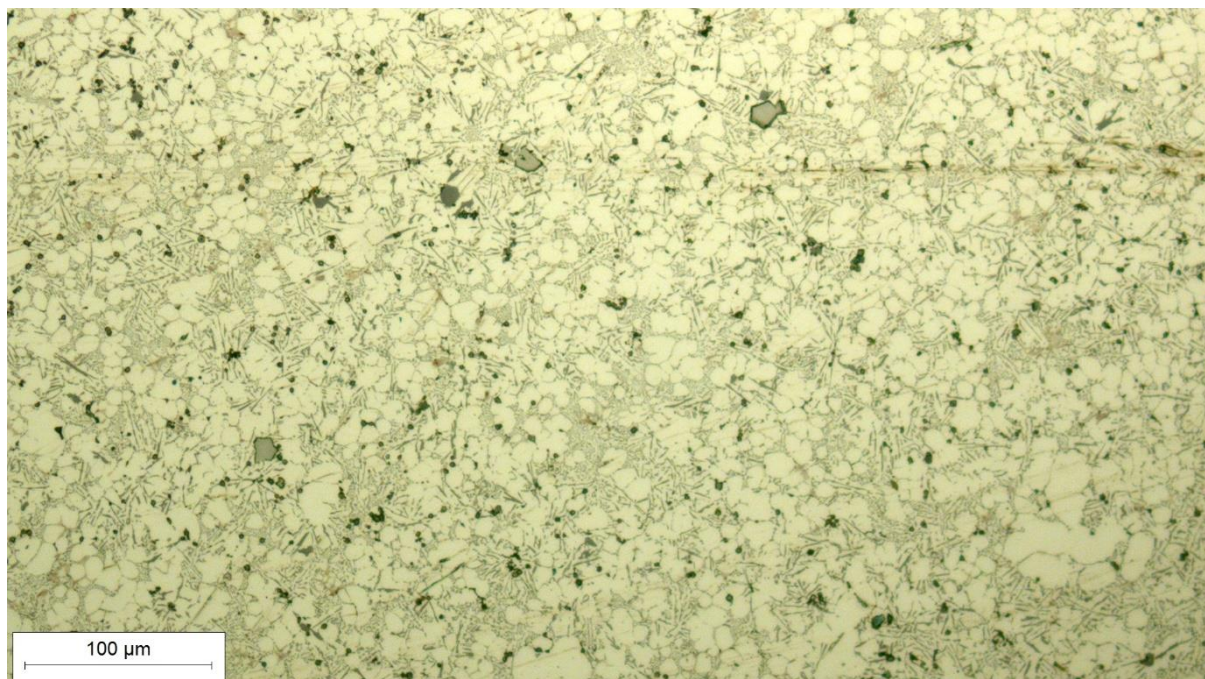
Al	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Zr
77,13	16,82	2,64	1,23	0,89	0,26	0,17	0,097	0,089	0,0064

### 5.3. Analiza mikrostrukture

U laboratoriju za metalografiju slikana je mikrostruktura (Slika 28.) odabranog uzorka. Fotografiranje je provedeno na Olympusovim GX51 (slika 27.) invertiranom mikroskopu.



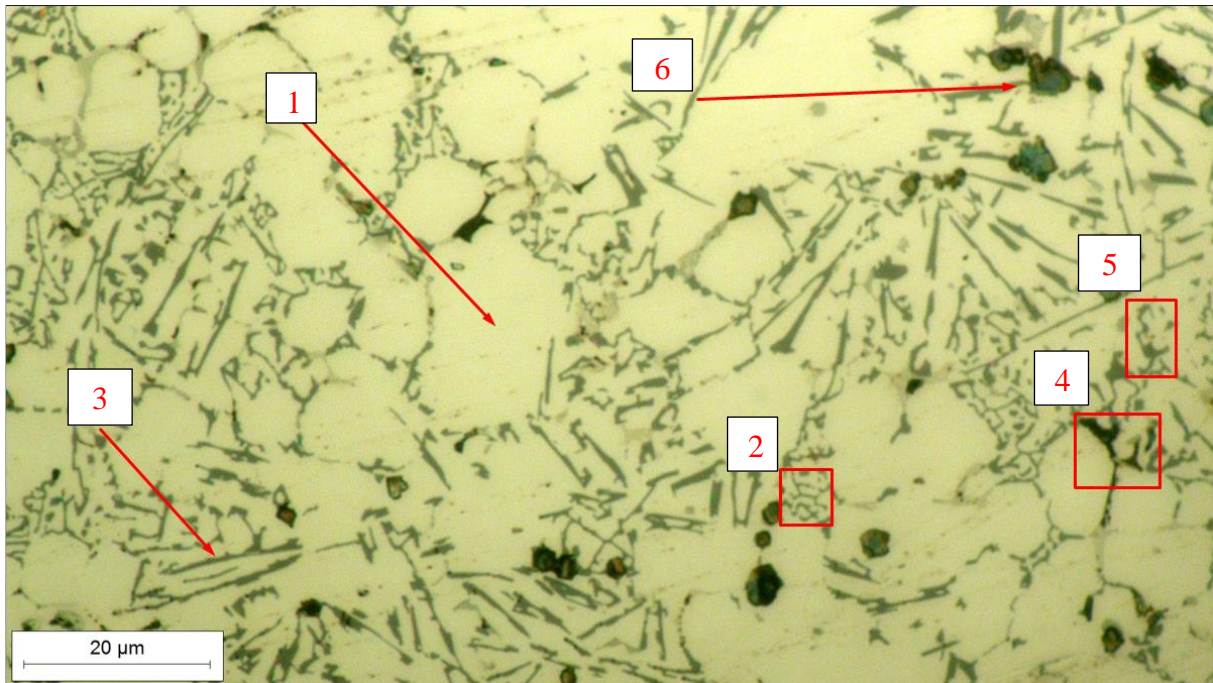
Slika 27. Olympus GX5 mikroskop



Slika 28. Slike dobivene svjetlosnim mikroskopom povećanja 200x



U mikrostrukтури (Slika 29.) se nalazi primarni aluminij  $\alpha_{Al}$  (1), eutektik  $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$  (2), silicij u igličastom obliku (3),  $Mg_2Si$  (4) karakteristično kinesko pismo (5) i nečistoće (6) [33]



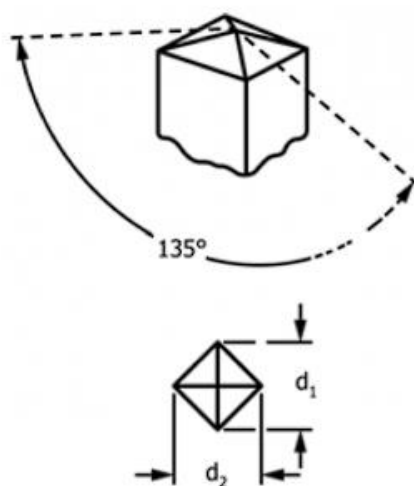
**Slika 29.** Mikrostruktura uzorka pume rashladnog vozila, povećanje 1000x

## 5.4. Mjerenje tvrdoće

Tvrdoća je po definiciji otpornost materijala prema prodiranju drugog tijela koje je tvrđe od njega samog. Za mjerenje tvrdoće odabranog uzorka korištena je Vickers metoda i mikroskop koji na sebi ima ugrađeni penetarator koji primjenjuje točnu silu na uzorak pomoću utega težine 200 g. Tvrdoća je mjerena u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava na PMT-3Y4.2 tvrdomeru.

### 5.4.1. Metoda po Vickersu

Pomoću Vickers metode moguće je mjeriti tvrdoću najtvrdih materijala. Kao indentor ili penetrator koristi se dijamant posebne geometrije. Penetrator je oblika istostrane četverostrane piramide kojoj su kutovi između stranica  $136^\circ$  (Slika 29.). Pomoću takvog penetratora možemo izračunati tvrdoću raznih materijala, tvrdih i mekih, opterećivanih istom silom. [32]



Slika 30. Izgled penetratora

### 5.4.2. Rezultati i analiza podataka dobivenih mjerenjem tvrdoće

Podatci dobiveni mjerenjem tvrdoće Vickers metodom nalaze se u tablici 3.

**Tablica 3. Podatci dobiveni mjernjem tvrdoće**

Vrijednost L ruba	Vrijednost D ruba	$(D - L) \times 0.302$	Vrijednosti očitane iz tablice
318	481	49,226	153
312	485	53,246	136
314	478	49,528	151
317	482	49,832	150
312	473	48,622	157

Izmjerena tvrdoća iznosi 149HV0,2.

---

## **6. Zaključak**

Nakon provedenih ispitivanja na odabranom uzorku može se zaključiti da je materijal rashladne pumpe reli vozila Al legura - silumin tvrdoće 149HV0,2.

Legura silumina primjenjuje se za konstrukciju rashladnih pumpi osobnih vozila ali i natjecateljskih reli vozila zbog dobrih svojstava kao što su: mala masa, korozijska otpornost, dobra otpornost na trošenje i otpornost na umor pri povišenim temperaturama.. Temperature tekućina za hlađenje i cijelog rashladnog sustava mogu biti vrlo visoke, što se dodatno povećava kada se radi o trkaćem automobilu koji radi pri vrlo visokim opterećenjima.

**LITERATURA**

- [1] <https://proleksis.lzmk.hr/2630/>, 03.12.2022.
- [2] <https://www.motorsport.com/world-rx/news/loeb-s-new-peugeot-208-wrx-car-unveiled-887980/887980/>, 03.12.2022.
- [3] <https://mechanicalboost.com/internal-combustion-engine/>, 03.12.2022.
- [4] <https://www.prometna-zona.com/motori/>, 03.12.2022.
- [5] <https://superauto.ba/sta-su-injektori-kako-rade-i-simptomi-kvara/>, 03.12.2022.
- [6] <https://www.automobili.ba/kako-produziti-zivotni-vijek-turbopunjaca/>, 11.01.2023.
- [7] <https://hr.puntomarinero.com/the-engine-control-unit/>, 11.01.2023.
- [8] <https://www.valvoline.com/en-eur/difference-between-diesel-and-petrol-engines/>, 03.12.2022.
- [9] <https://www.carwow.co.uk/guides/choosing/electric-cars-vs-petrol-cars>, 03.12.2022.
- [10] <https://www.news24.com/wheels/wildonwheels/petrol-vs-electric-which-car-is-the-fastest-in-a-drag-and-sprint-race-20191016-2> 04.12.2022.
- [11] <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/hladenje-motora-i>, 03.12.2022.
- [12] Karlogan S.: Sustav hlađenja motora, Šibenik, 2019, Dostupno na: <https://repozitorij.vus.hr/islandora/object/vus%3A1235/datastream/PDF/view>, 03.12.2022.
- [13] <https://www.viewtech.com/glossary/water-jacket/>, 11.01.2023.
- [14] Jeras D.: Klipni motori, Školska Knjiga, Zagreb, 1992.
- [15] <https://www.idolz.com/en/2022/12/15/types-of-automotive-water-pumps/>, 25.01.2023.
- [16] <https://www.linquip.com/blog/parts-of-water-pump/>, 04.12.2022.
- [17] <https://www.grundfos.com/nz/learn/research-and-insights/impeller>, 04.12.2022.
- [18] <https://www.idolz.com/en/2022/11/21/the-importance-of-a-water-pump-impeller/>, 04.12.2022.
- [19] <https://gmb.net/blog/water-pump-failure-causes/>, 04.12.2022.
- [20] <https://www.uti.edu/blog/automotive/car-coolant>, 12.01.2022.
- [21] <https://www.idolz.com/en/2021/03/17/discovering-the-main-water-pump-components/>, 04.12.2022.
- [22] <https://www.indiamart.com/proddetail/cast-iron-car-water-pump-26511954855.html>, 25.01.2022.
- [23] <https://sciencealpha.com/silumin/>, 03.12.2022.
- [24] <https://www.totalmateria.com/Article80.htm>, 03.12.2022.

- 
- [25] Zadelj I.: Lijevanje Aluminijske i njegovih legura, Zagreb 2012
- [26] Davis J.R., p351-416: Aluminum and Aluminum Alloys 2001, Dostupno na: <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/173/Aluminum%20and%20Aluminum%20Alloys%20Davis.pdf>, 05.12.2022
- [27] <https://hpqsilicon.com/blog/silicon-aluminum-alloy-industry/>, 05.12.2022.
- [28] <https://www.indiamart.com/proddetail/automobile-aluminum-parts-1180135733.html>, 25.01.2023.
- [29] <https://www.timeout.com/tokyo/travel/things-you-didnt-know-about-shinkansen-world-famous-japanese-bullet-trains>, 25.01.2023.
- [30] <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/elemental-analyzers/xrf-spectrometers/how-does-xrf-work.html>, 06.12.2022.
- [31] Ivušić V., Franz M., Španiček Đ., Čurković L.: Materijali I, Zagreb 2018
- [32] Metals Handbook, 8th Edition, vol. 9, Atlas of microstructures of Industrial Alloys, ASM International, Ohio, USA