

# Trošenje vratila vrcaljke meda

---

**Stojić, Ante**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:735337>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-17**

*Repository / Repozitorij:*

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



# Trošenje vratila vrcaljke meda

---

Stojić, Ante

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:*

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:*

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ante Stojić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Student:

Ante Stojić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj završni rad na temu „Trošenje vratila vrcaljke meda“ izradio samostalno uz pomoć prof. dr. sc. Suzane Jakovljević, koristeći znanja stečena tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje koristeći navedenu literaturu i rezultate dobivene u eksperimentalnom dijelu.

Posebne zahvale idu mentorici prof. dr. sc. Suzani Jakovljević na stručnoj pomoći tijekom izrade rada te na pristupačnosti, zalaganju i strpljenju. Hvala na savjetima, utrošenom vremenu, temeljitosti te velikoj motivaciji prilikom izrade rada.

Na kraju velika zahvala mojim roditeljima, sestrama i svim ostalim članovima obitelji na podršci tokom studija.

Ante Stojić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispите  
Povjerenstvo za završne i diplomске ispите 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: **Ante Stojić**

JMBAG: **0035225898**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Trošenje vratila vrcaljke meda**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Wear of honey spinner shaft**

Opis zadatka:

Pčelarstvo je u mnogim državama tradicionalna grana poljoprivrede. Pčelari se bave uzgojem pčela medarica radi dobivanja pčelinjih proizvoda kao što su: med, vosak, matična mliječ, pelud, propolis i pčelinji otrov. Vrcaljke za med su uređaji koji rotacijom uz djelovanje centrifugalne sile odvajaju med od voska bez oštećenja ili manje kakvoće voska. One se razlikuju po dimenzijama, načinu pogona te po broju i položaju okvira smještenog unutar kućišta vrcaljke.

U radu je potrebno:

- 1) definirati materijale od kojih se izrađuju vrcaljke za med,
- 2) analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kontaktu vratila i košarice sa saćom,
- 3) na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala vratila vrcaljke za med,
- 4) analizirati rezultate i dati zaključak.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

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.

Zadatak zadao:

Prof.dr.s. Suzana Jakovljević

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
1. UVOD.....	8
2. PČELARSTVO .....	10
2.1. Povijesni razvoj.....	10
2.2. Pčelarstvo u Hrvatskoj.....	12
2.3. Pribor i oprema za pčelarstvo .....	12
3. VRCALJKA.....	16
3.1. Povijesni razvoj.....	16
3.2. Vrste vrcaljki.....	18
3.3. Dijelovi vrcaljke i materijali od kojih su izrađeni.....	19
3.3.1. Bubanj.....	19
3.3.2. Slavina .....	20
3.3.3. Nogice.....	21
3.3.4. Košara za okvire.....	21
3.3.5. Vratilo .....	22
3.3.6. Prijenosni mehanizam .....	22
3.3.7. Kućište prijenosnog mehanizma .....	23
3.3.8. Pogonska ručka .....	24
4. TRIBOLOGIJA.....	25
4.1. Trenje.....	26
4.2. Trošenje .....	27
4.2.1. Adhezija.....	28
4.2.2. Abrazija .....	28
4.2.3. Umor površine.....	29
4.2.4. Tribokorozija.....	30
4.3. Podmazivanje .....	31
5. EKSPERIMENTALNI DIO .....	32
5.1. Uzorci .....	32
5.2. Rezanje kućišta.....	32
5.3. Čišćenje uzoraka .....	33

---

5.4. Kemijska analiza .....	34
5.5. Analiza mikrostrukture .....	35
5.6. Mjerenje tvrdoće površine uzoraka .....	40
6. ZAKLJUČAK .....	42
7. LITERATURA.....	43



**POPIS SLIKA**

Slika 1. Pčela oprasuje cvijet .....	8
Slika 2. Med u staklenci i odrezanom saću.....	8
Slika 3. Dubina [4] .....	10
Slika 4. Pletara [5].....	11
Slika 5. Moderna košnica [7] .....	11
Slika 6. Karta pčelinjih paša u Republici Hrvatskoj [8].....	12
Slika 7. Nepokretni paviljon lisnjača [9] .....	13
Slika 8. Košnica nastavljča [10] .....	14
Slika 9. Pčelari u zaštitnom odijelu dime pčele dimilicom [11] .....	14
Slika 10. Pčelarski nož [12] .....	15
Slika 11. Otvaranje ćelija saća pčelarskom vilicom [13] .....	15
Slika 12. Prva verzija Hruschkove vrcaljke [15] .....	17
Slika 13. Tlocrt treće verzije Hruschkove vrcaljke [15].....	17
Slika 14. Bokocrt treće verzije Hruschkove vrcaljke [15].....	17
Slika 15. Položaj okvira saća u radialnoj vrcaljki za vrijeme rotacije [14] .....	18
Slika 16. Položaj okvira saća u tangencijalnoj vrcaljki gledan odozgo .....	18
Slika 17. Klasična tangencijalna vrcaljka .....	19
Slika 18. Ručni pogonski mehanizam .....	19
Slika 19. Bujanj vrcaljke.....	20
Slika 20. Slavina vrcaljke .....	20
Slika 21. 3 zelene nogice spojene na bujanj vrcaljke .....	21
Slika 22. Bočni pogled na košaricu .....	22
Slika 23. Vratilo vrcaljke na kojeg je ugrađen pužni vijak.....	22
Slika 24. Pužni vijak i pužno kolo u otvorenom kućištu .....	23
Slika 25. Pužni vijak i pužno kolo u izrezanom kućištu.....	23
Slika 26. Kućište prijenosnog mehanizma s obje strane .....	24
Slika 27. Pogonska ručka.....	24
Slika 28. Shema jednostavnog tribosustava [19] .....	25
Slika 29. Jedinični događaj trošenja uslijed trenja [19].....	26
Slika 30. Adhezija [21].....	28
Slika 31. Abrazija [21].....	29
Slika 32. Jedinični događaj umora površine [22].....	30
Slika 33. Jedinični događaj tribokorozije [22] .....	30
Slika 34. Izrezano kućište na mjestu kontakta s vratilom.....	33
Slika 35. Uzorci prije čišćenja .....	33
Slika 36. Pužni vijak nakon čišćenja .....	34
Slika 37. Pužno kolo nakon čišćenja .....	34
Slika 38. Olympus XRF uređaj za snimanje kemijskog sastava .....	35
Slika 39. Izrezani uzorak pužnog vijka (na vratilu) u polimeru.....	36
Slika 40. Izrezani uzorak pužnog kola u polimeru.....	36
Slika 41. Izrezani uzorak kućišta u polimeru .....	36
Slika 42. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog kola, uvećana 100x .....	37
Slika 43. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog kola, uvećana 500x .....	37
Slika 44. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog vijka, uvećana 500x .....	38
Slika 45. Mikrostruktura ruba presjeka pužnog vijka, uvećana 500x .....	38
Slika 46. Mikrostruktura vratila, uvećana 100x .....	39
Slika 47. Mikrostruktura vratila, uvećana 500x .....	39

---

Slika 48. Mikrostruktura kućišta, uvećana 200x .....	40
--	----

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Postupak eksperimentalnog ispitivanja .....	32
Tablica 2. Maseni udio pojedinih elemenata u aluminijskoj leguri kućišta.....	35
Tablica 3. Tvrdća uzoraka.....	41

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$F_n$	N	Normalna komponenta opterećenja
$F_{tr}$	N	Sila trenja
$\mu$		Faktor trenja
$d_1$	mm	Udaljenost rubova otiska
$d_1$	mm	Stvarna udaljenost

**SAŽETAK**

U ovom završnom radu opisano je pčelarstvo i uloga vrcaljke u njegovom razvoju. Navedeni su svi dijelovi vrcaljke, njihova uloga u sklopu i materijali od kojih se proizvode te razvoj vrcaljki kroz povijest. U teorijskom dijelu rada objašnjeni su i mehanizmi i procesi trošenja prisutni među elementima u dodiru.

U eksperimentalnom dijelu rada analizirana je mikrostruktura, provedena su ispitivanja tvrdoće osnovnog materijala te su doneseni zaključci na osnovu dobivenih podataka.

Ključne riječi: pčelarstvo, vrcaljka za med, trošenje

**SUMMARY**

This paper describes beekeeping and the honey extractor's contribution to its development. The extractor's components are all listed, as well as their role in the assembly and the materials used to manufacture them. Furthermore, this paper describes the development of honey extractors throughout history. In the theoretical part of the paper, the wear mechanisms and processes that exist among the elements in contact are explained.

In the experimental part of the paper, the microstructure was examined, base material hardness tests were carried out, and the conclusions were drawn based on the obtained data.

Key words: beekeeping, honey extractor, wear of material

## 1. UVOD

Pčela (lat. *Anthophyta*) je vrsta insekta reda opnokrilaca veličine od 2 mm do 4 cm koja za ishranu skuplja cvjetni polen. Postoji oko 20 000 vrsta pčela, a razlikuju se po boji, građi tijela, ponašanju, sposobnosti skupljanja nektara itd. Prema načinu života dijele se na solitarne (usamljeničke) i društvene pčele. Društvo medonosnih pčela sačinjeno je od matice (1) koja nosi jaja, radilica (25 do 150 tisuća jedinki) koje imaju razne zadaće unutar društva i trutova (nekoliko stotina) koji oploduju maticu. Pčele svoje porijeklo dijele s osama koje su nekada davno bile čisti mesožderi. U vrijeme Krede (prije oko 140 milijuna godina), zbog manjeg izbora mesne hrane u prirodi i ubrzanog razvoja biljaka cvjetnica koje postaju raznovrsnije i brojnije, dolazi do nastanak i razvoja pčela. Medonosne pčele danas su najbrojniji i najvažniji prirodni oprašivači. [1]



**Slika 1. Pčela oprašuje cvijet**

Pčelarstvo je poljoprivredna djelatnost, grana stočarstva, koja obuhvaća uzgoj pčela za biološku reprodukciju (matica i rojeva), proizvodnju pčelinjih proizvoda (meda, voska, propolisa, cvjetnoga praha, matične mliječi i pčelinjeg otrova) te oprašivanje bilja. U širem smislu pčelarstvo obuhvaća i preradbu pčelinjih proizvoda, proizvodnju ljekovitih i kozmetičkih pripravaka, proizvodnju vina i rakije od meda te proizvodnju medenjaka i paprenjaka. [2]



**Slika 2. Med u staklenci i odrezanom saću**

Vrcaljka je stroj na ručni ili elektromotorni pogon koja se koristi za vađenje (vrcanje) meda iz saća, a da se pritom ne ošteti samo saće. Prvi izumi vezani za vrcaljku datiraju još iz 19. stoljeća i potaknuli su nagli razvoj pčelarstva, prvo na području Europe, a onda i svijeta. Vrcaljka se sastoji od pogonskog mehanizma, vratila, bubnja, košarice i slavine. Može biti tangencijalna ili radijalna, odnosno klasična ili industrijska i primati od 2 do nekoliko desetaka okvira saća istovremeno.



## 2. PČELARSTVO

Pčelarstvo je tradicionalna grana poljoprivrede koja obuhvaća sve radnje usmjerene ka održavanju pčelinjih zajednica i dobivanju te preradi meda i proizvoda od meda. Iako je glavna zadaća pčelarstva dobivanje meda, ukupna vrijednost svih pčelinjih proizvoda znatno je manja od značaja i koristi od oprašivanja bilja. Medonosne pčele najvažniji su i najbrojniji prirodni oprašivači. Jednako značajnu ulogu imaju i u oprašivanju samoniklog bilja čime pridonose očuvanju ukupne biološke raznolikosti. [3]

### 2.1. Povijesni razvoj

Tražeći plodove biljaka i loveći životinje, čovjek je nailazio na šupljine u drveću odnosno stijenama ispunjene saćem i medom. Doći do samog meda na početku je bilo puno teže jer nije bila razvijena metoda micanja pčela sa saća. Otkrićem vatre taj problem je nestao. Na početku su ljudi jeli med zajedno sa saćem i leglom u saću, dok su kasnije iskorištavali med ne samo kao hranu već i kao lijek i poslasticu (stari Grci med su smatrali hranom bogova i eliksirom mladosti). Postojanje velikih prašuma pogodovalo je eksponencijalnom umnažanju broja pčela u prirodi. Kasnije nestajanje prašuma pratilo je i smanjenje broja pčela, ali je čovjek naučio sam uzgajati i umnažati pčele te tako dolazio do meda na jednostavniji način. To je činio premazivanjem šupljine u drvetu ili stijeni medom za vrijeme sezone rojenja, što je privlačilo rojeve pčela koje bi se u toj šupljini nastanile. Takav način pčelarstva bio je najrasprostranjeniji na području današnje Rusije, upravo zbog najpovoljnijih uvjeta. Prelaskom s nomadskog na sjedilački način života, pčele su prenesene i uzgajane u prvotnim naseljima u izdubljenim panjevima – dubinama. [2]



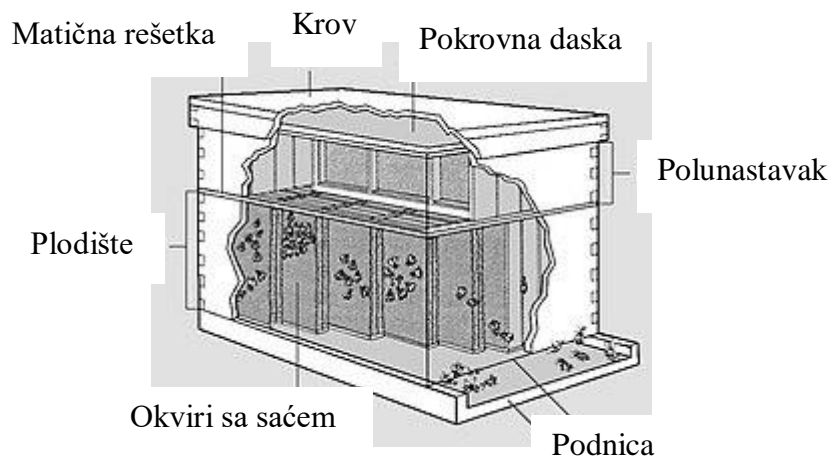
Slika 3. Dubina [4]

Prve ručno rađene košnice izrađivale su se od šiblja i oblagale blatom – blatare, a vrlo brzo su se razvile i pletene košnice od ražene slame – pletare. [2]



**Slika 4. Pletara [5]**

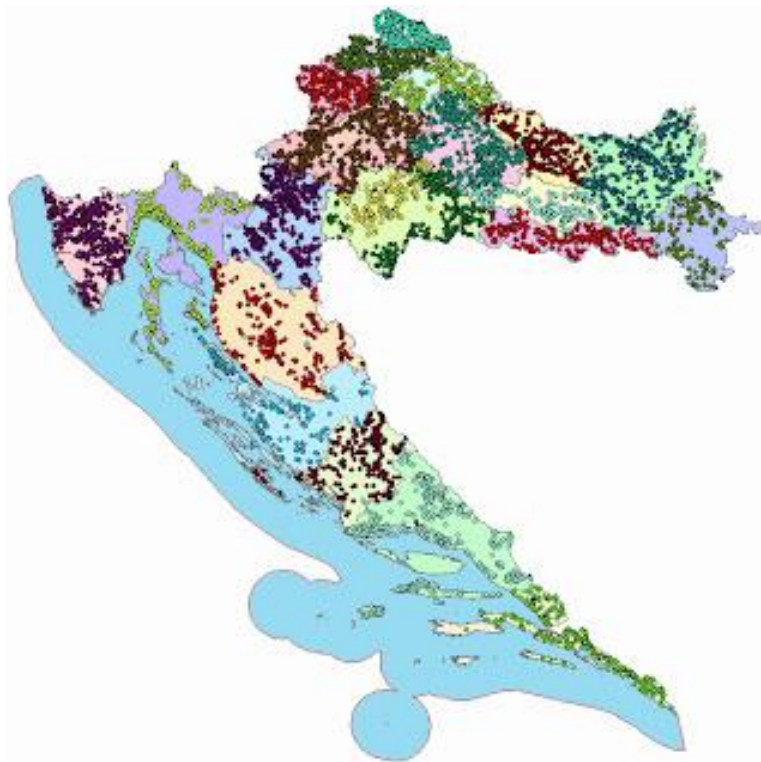
Na Bliskom istoku zbog nedostatka šuma pčele su živjele u izdubljenoj zemlji, sve dok se nisu počele raditi košnice od ilovače. To su bili prvi primitivni pčelinjaci, kojima je kasniji razvoj uvjetovan željom za manjim nanosom štete pčelinjoj zajednici pri rukovanju samim pčelinjacima i ekstrakcijom meda. Iako je srednjem vijeku na području feudalne Europe zbog povećane potražnje meda (nije bila poznata proizvodnja šećera) došlo do naglog rasta broja pčelinjih zajednica, prve velike promjene u pčelarstvu dogodile su se tek u 18. stoljeću kada je austrijska kraljica Marija Terezija Austrijska izdala „Patent o pčelarstvu“ koji je oslobodio pčelare od svih nameta, poreza, pa čak i vojne obveze. Također je došlo i do otvaranja pčelarskih škola diljem Europe. [6] Tijekom 19. stoljeća došlo je do izuma košnica s okvirima, preše za izradu osnovnog saća i pčelarske centrifuge, odnosno vrcaljke za izvlačenje meda. Sve to značajno je povećalo efikasnost samog pčelarstva i pružilo temelje za razvoj znanosti o pčelarenju i modernog pčelarstva.[7]



**Slika 5. Moderna košnica [7]**

## 2.2. Pčelarstvo u Hrvatskoj

Pčele i košnice u Hrvatskoj spominju se od 12. stoljeća u odredbama gradskih statuta i sudskim spisima. Prva pčelarska literatura na hrvatskom jeziku pojavila se sredinom 19. stoljeća: *Kratki nauk o gojenju pčelah* (1859) Franje Klaića, *Nauk o pčelarstvu* (1861) Franje Horvata i *Pčelarstvo* (1877) Milana Kučenjaka. Tijekom 19. i 20. stoljeća u Hrvatskoj su osnovane mnoge pčelarske zadruge (na Šolti 1874., u Splitu 1920., Petrinji 1926), a 1879. u Osijeku je osnovano Prvo pčelarsko društvo. U Zagrebu je 1919. osnovano Centralno pčelarsko društvo. Većina pčelara danas organizirana je u lokalne pčelarske udruge, a većina lokalnih pčelarskih udruga u Republici Hrvatskoj pripada Hrvatskom pčelarskom savezu. Većina (55%) pčelara ima između 31 i 150 košnica i prodaju svoje proizvode izravnom prodajom. 2018. godine u Hrvatskoj je bilo 7 283 pčelara s 372 000 pčelinjih zajednica. Proizvodnja meda uvelike ovisi o vremenskim prilikama i sustavu biljnog pokrova. Prosječan prinos 2018. godine bio je 20 kilograma meda po košnici, a na bolje godine može biti i do tridesetak kilograma po košnici. Kod pokretnog pčelarenja prinos može biti i do 100 kilograma po košnici u godini. [2]



Slika 6. Karta pčelinjih paša u Republici Hrvatskoj [8]

## 2.3. Pribor i oprema za pčelarstvo

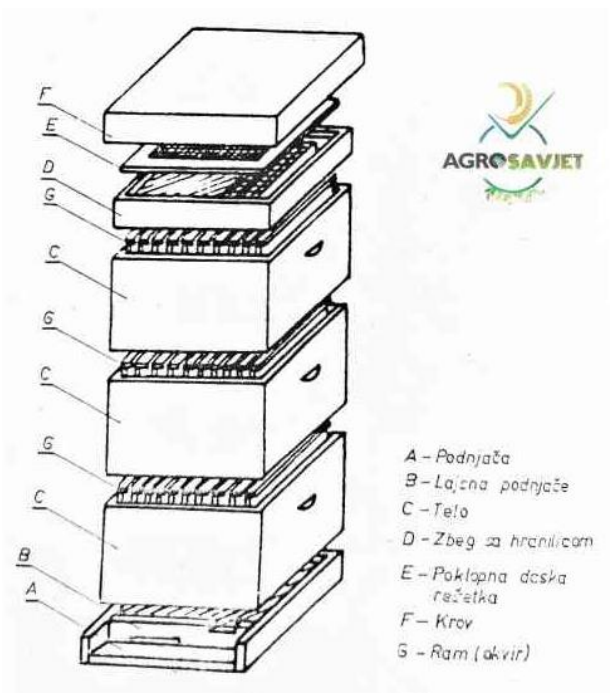
Razvoj pčelarstva sa sobom nosi i razvoj opreme za pčelarstvo. Osim kolonije pčela, potrebno je imati i košnicu u koju će se kolonija nastaniti. U suvremenom pčelarstvu koriste se dva osnovna tipa košnica: lisnjače i nastavljjače.

Lisnjače su košnice napravljene od jednog dijela, čija se veličina ne može modificirati, odnosno prilagoditi veličini pčelinje zajednice, ali se može ugraditi u pokretne ili nepokretne paviljone. Lisnjače se otvaraju sa stražnje strane.



**Slika 7. Nepokretni paviljon lisnjača [9]**

Nastavljачe se, s druge strane, mogu sastojati od više nastavka postavljenih okomito jedan na drugog i otvaraju se na vrhu, što omogućava veću manipulaciju veličine košnice ovisno o veličini prinosa i pčelinje zajednice.



**Slika 8. Košnica nastavljiva [10]**

Kako bi se zaštili od uboda pčela, pčelari koriste zaštitnu odjeću (rukavice, zaštitno odijelo ili zaštitni šešir).

Za omamljivanje pčela dimom koristi se dimilica u koju se stavlja sredstvo za dimljenje (dimni štapići, gljive s drveta, papir ili neko drugo priručno gorivo), čime se smanjuje agresivnost pčelinje zajednice za vrijeme rukovanja košnicom.



**Slika 9. Pčelari u zaštitnom odijelu dime pčele dimilicom [11]**

Unutrašnjost košnica, zbog meda i voska vrlo je ljepljiva što otežava pomicanje i izvlačenje okvira tijekom pregleda pčelinjaka. Rješenje tog problema predstavlja pčelarski nož ili dljeto (izrađeno od inoxa) koje se koristi kao poluga za lakše rukovanje okvirima legla ili meda.



**Slika 10. Pčelarski nož [12]**

Budući da su i pčelinje zajednice sklone bolestima, potrebno je imati i sredstva za zaštitu pčela od zaraznih bolesti i štetočina. Osim za rukovanje košnicama i zaštitu zajednice, potrebno je imati i opremu za vrcanje meda. To su prvenstveno pčelarska vilica koja se koristi za otvaranje saća kako bi se iz njih izvukao med i kako se ne bi oštetilo samo saće, zatim kante za prikupljanje meda i naravno vrcaljka za med.



**Slika 11. Otvaranje ćelija saća pčelarskom vilicom [13]**

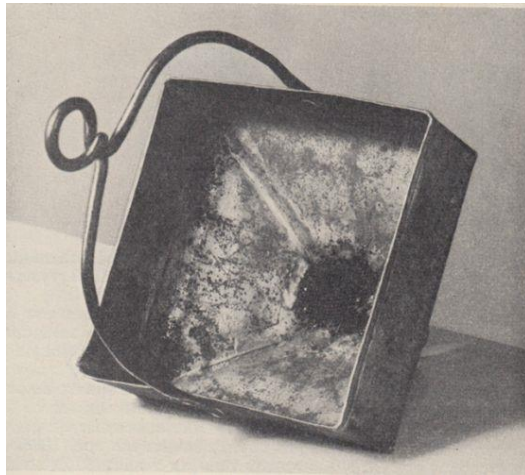
### 3. VRCALJKA

Vrcaljka (ili pčelarska centrifuga) je stroj koji se koristi u pčelarstvu za vađenje meda iz saća, a da se pritom ne ošteti struktura samog saća. Vrcaljke mogu biti raznih dimenzija i oblika, od onih koje mogu primiti samo nekoliko okvira saća do velikih komercijalnih koji drže do šezdeset okvira. One manje moguće je pokretati ručno dok će druge (osobito one komercijalne) pokretati elektromotor. Većina ručno pokretanih vrcaljki oslanja se na sustav zupčanika za povećanje brzine rotacije okvira. Većina velikih komercijalnih ekstraktora je radijalna i oslanja se na nagib ćelija saća. Kada pčele grade svoje saće, ćelije su nagnute pod kutom od 10 do 14 stupnjeva. Iskorištavanjem ovog kuta nagiba, lakše je izvaditi med. Osim toga, količina rada tijekom vrcanja je smanjena kod radijalnog tipa jer se okviri ne moraju okretati da bi se vrcao med s druge strane saća (postoje i tangencijalne vrcaljke koje mogu automatski okretati saće, ali takav dizajn je rijedak). Neke prijenosne vrcaljke za med pokreću mali benzinski ili dizelski motori. Veći dizelski motori skuplji su od kompaktnih dvotaktnih benzinskih i obično koriste dizelsko gorivo za rad pri nižim okretajima s većim okretnim momentom. Ekstraktore s dizelskim motorom teže je pokrenuti, posebno zimi zbog povećane viskoznosti goriva u uvjetima leda i snijega. Izum vrcaljke uvelike je pridonio razvoju pčelarstva i brzo se proširio svijetom.

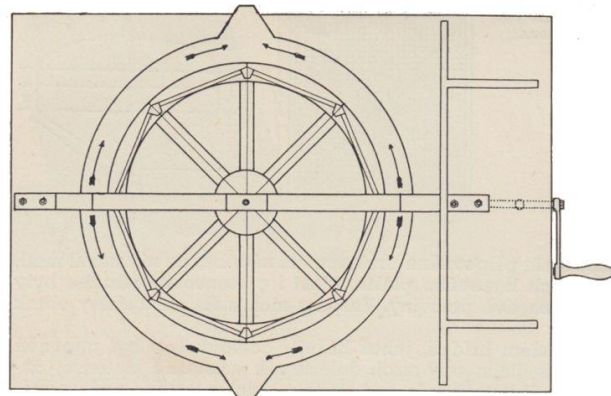
#### 3.1. Povijesni razvoj

Godine 1838. njemački rimokatolički svećenik i pčelar Johann Dzierzon razvio je prvu praktičnu košnicu s pokretnim saćem koja je omogućavala manipuliranje pojedinačnim saćem bez uništavanja strukture košnice. Ideju je dalje razvio L. L. Langstroth, američki svećenik i pčelar iz Philadelphije, koji je patentirao svoj dizajn košnice 1852. Ti okviri bili su veliki napredak u odnosu na staru pčelarsku metodu izdubljivanja trupaca i izradu pletara. Međutim, nije pronađen jednostavan način za vađenje meda. Ekstraktor ili vrcaljku za med je u ljeto 1865. godine izumio Franz Hruschka, bivši časnik austrijske vojske, a zatim pčelar u Italiji. Točan datum njegova izuma nije poznat, ali u rujnu 1865. na pčelarskom kongresu u Brnu predstavio je svoj izum, centrifugalni ekstraktor. Prvi model izrađen je u Bollingerovoj tvornici u Beču. Prva verzija bila je jednostavna limena kutija pričvršćena na žičanu užu, s lijevkom na dnu i staklenkom za med. Problem je bilo presporo cijedenje meda, a također je zahtijevalo i veliki trud pčelara. Druga verzija koristila je isti dizajn, ali je bila postavljena na osovinu na vrhu tronošca koja se mogla rotirati oko svoje osi i time je prvi put iskorišteno znanje o centrifugalnoj sili u vrcanju meda. Konačna verzija nalikovala je onome što je danas poznato kao vrcaljka s poznatom okruglom kadom. Makete triju verzija ekstraktora predstavljene su u kolovozu 1868. na Exposition des Insectes (Izložba insekata)

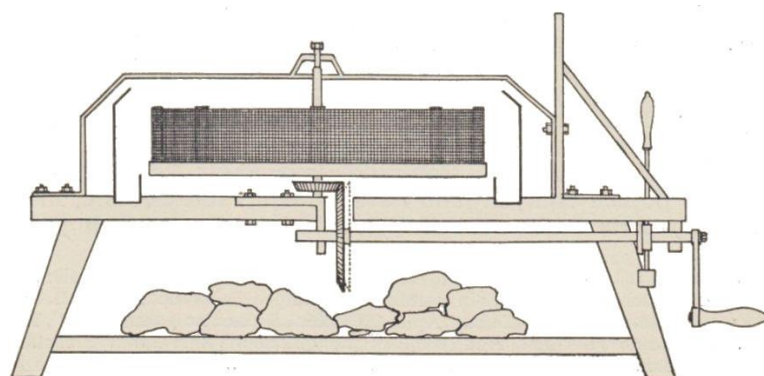
u Parizu. Ideja je ubrzo objavljena u nekoliko pčelarskih časopisa diljem svijeta, a vrcaljke je proizvodilo nekoliko dobavljača i prodavalo ih diljem svijeta na temelju njegove ideje. [15]



Slika 12. Prva verzija Hruschkove vrcaljke [15]



Slika 13. Tlocrt treće verzije Hruschkove vrcaljke [15]



Slika 14. Bokocrt treće verzije Hruschkove vrcaljke [15]



### 3.2. Vrste vrcaljki

Vrcaljka može biti tangencijalna ili radijalna, ovisno o usmjerenju okvira u košari. Kod tangencijalnih vrcaljki, jedna strana saća okrenuta je prema van, dok je kod radijalnih vrcaljki prema van okrenuta gornja šipka okvira.



**Slika 15. Položaj okvira saća u radijalnoj vrcaljki za vrijeme rotacije [14]**



**Slika 16. Položaj okvira saća u tangencijalnoj vrcaljki gledan odozgo**

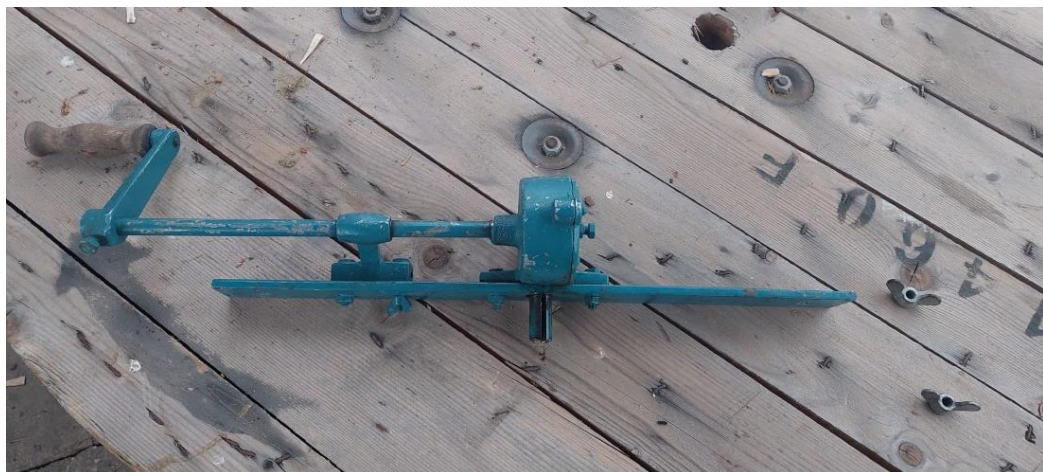
Oba tipa oslanjaju se na korištenje centrifugalne sile za izbacivanje meda iz otvorenih ćelija saća. Tijekom procesa vrcanja med izlijeće iz otvorenih voštanih ćelija, slijeva se niz stijenke vrcaljke i sakuplja na dnu. Slavina za med omogućava uklanjanje meda iz vrcaljke. Med treba ispustiti iz bubnja na vrijeme i njegova razina unutar vrcaljke mora uvijek ostati ispod rotirajuće košarice jer inače onemogućuje okretanje okvira dovoljnom brzinom.

### 3.3. Dijelovi vrcaljke i materijali od kojih su izrađeni

Klasična tangencijalna vrcaljka na ručni pogon korištena za ovaj završni rad može se rastaviti na: bubanj, slavinu, nogice, košaricu za okvire, vratilo te pogonski mehanizam koji se sastoji od prijenosnog mehanizma (dva zupčanika) i njegovog kućišta te pogonske ručke.



Slika 17. Klasična tangencijalna vrcaljka



Slika 18. Ručni pogonski mehanizam

#### 3.3.1. Bubanj

Bubanj vrcaljke velika je posuda u kojoj se nalazi košarica za okvire. Služi za prikupljanje meda nakon što izađe iz saća. Zbog mogućnosti tragova čestica plastike u medu, bubanj ne smije biti izrađen od plastičnih materijala. Isto tako, zbog mogućnosti kemijskih reakcija korozivskih

produkata i meda, bubanj ne smije biti izrađen ni od čelika sklonog koroziji. Kao najbolji materijal za izradu bubnja vrcaljke izdvaja se 18/10 Cr-Ni čelik (inox), odnosno nehrđajuća čelična legura s 18% masenog udjela kroma i 10% masenog udjela nikla, upravo zbog otpornosti na koroziju. [16]



**Slika 19. Bubanj vrcaljke**

### 3.3.2. Slavina

Slavina je naprava za zatvaranje i otvaranje protoka meda iz bubnja u kante za skladištenje. Mogu biti raznih dimenzija i izgleda, a bitna stavka je propuštanje točno određene količine meda kako se ne bi usporavala vrtnja košare odnosno preopteretilo sito za cijedenje. Većinom se rade od nehrđajućeg čelika. [16]



**Slika 20. Slavina vrcaljke**

### 3.3.3. Nogice

Nogice vrcaljke nemaju prevelike zahtjeve pa mogu biti izrađene od raznih vrsta čelika. Služe za odizanje bubnja od podloge kako bi se med lakše prikupljao u kante za pohranjivanje. Nogice na manjim (nekomercijalnim) vrcaljkama vrlo su tanke. Takav dizajn dovodi do ljuljanja vrcaljke pri većim brzinama okretanja košarice, što je željena posljedica, jer se time ograničava moguća brzina vrtnje na dovoljno nisku vrijednost kako se saće ne bi odvajalo od okvira, odnosno uništilo. [17]



**Slika 21. 3 zelene nogice spojene na bubanj vrcaljke**

### 3.3.4. Košara za okvire

Košarice za okvire također se izrađuju od nehrđajućeg čelika, a služe prijemu i stabilizaciji okvira sa saćem. Košarica je vratilom povezana s prijenosnim mehanizmom.



Slika 22. Bočni pogled na košaricu

### 3.3.5. Vratilo

Vratilo je strojni dio koji prenosi rotacijsko gibanje i zakretni moment, odnosno snagu s pogonskog mehanizma na košaricu. Materijal za izradu vratila konstrukcijski je čelik. [18]



Slika 23. Vratilo vrcaljke na kojeg je ugrađen pužni vijak

### 3.3.6. Prijenosni mehanizam

Prijenosni mehanizam izrađen je u obliku pužnog mehaničkog prijenosa, zbog čega je povećano trošenje zupčanika usred trenja. On povezuje izvor snage s vratilom, odnosno prenosi i mijenja

smjer momenta. Prijenosni mehanizam, odnosno njegovi zupčanici podložni su trošenju usred rada znatno više od ostalih dijelova vrcaljke. Materijali od kojih se izrađuju bit će dani u nastavku rada.



**Slika 24. Pužni vijak i pužno kolo u otvorenom kućištu**



**Slika 25. Pužni vijak i pužno kolo u izrezanom kućištu**

### ***3.3.7. Kućište prijenosnog mehanizma***

Kućišta prijenosnog mehanizma male su kutije koje štite zupčanike od vanjskih utjecaja. Naslanjanjem vratila na kućište dolazi do trošenja dijelova kućišta, što će biti objašnjeno u

sljedećem poglavlju. Kućišta nemaju velike konstrukcijske zahtjeve, a izrađuju se od aluminijskih legura raznog sastava.



**Slika 26. Kućište prijenosnog mehanizma s obje strane**

### **3.3.8. Pogonska ručka**

Pogonska ručka drvena je ručka spojena na čeličnu šipku (vratilo) koja ju povezuje na prijenosni mehanizam.



**Slika 27. Pogonska ručka**

#### 4. TRIBOLOGIJA

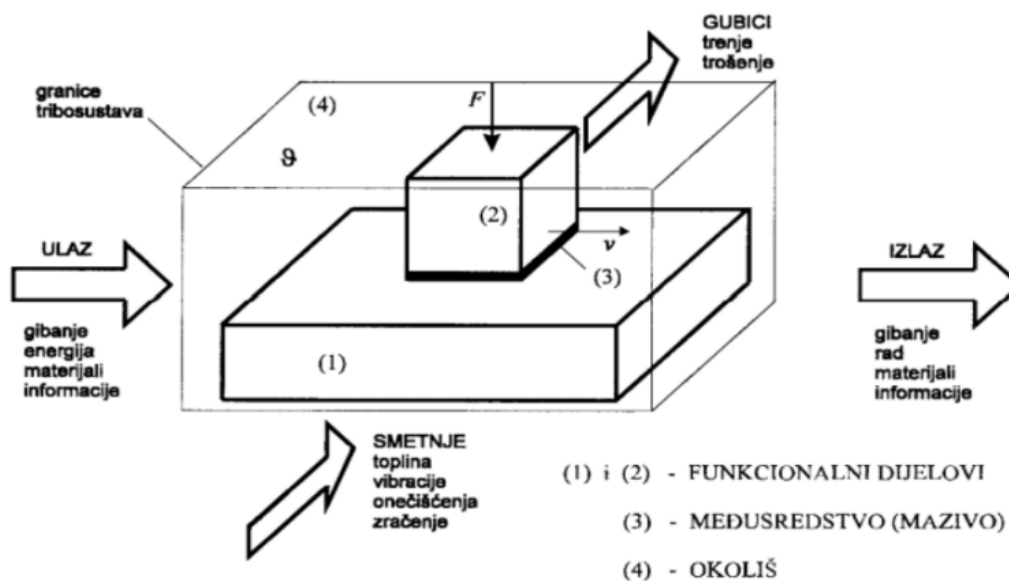
Tribologija (grč. τριβειν: trljati + -logija: znanost) je znanstvena disciplina koja obuhvaća istraživanje pojava i procesa na površinama koje su u međusobnom djelovanju, direktnom ili indirektnom dodiru i relativnom gibanju. Naziv tribologija potiče od grčke riječi TRIBOS (τριβωσ) što znači trenje i riječi LOGOS – znanost. Pri proučavanju triboloških fenomena koriste se znanja iz više područja: organska i anorganska kemija, fizika, elementi strojarstva, mehanika, termodinamika, tehnologija itd. Iako to nije u potpunosti točno, tribologiju se često naziva i znanošću o trenju, trošenju i podmazivanju. Tribologija je izrazito važna interdisciplinarna znanost koja se, pogotovo posljednjih tridesetak godina, intenzivno razvija. [19]

Osnovna zadaća tribologije pronalazak je odgovarajućih mjera primjenom kojih se smanjuje utjecaj trenja i trošenja na triboelemente. Te mjere uključuju: [20]

- Izbor materijala triboelemenata
- Zaštitu površina od trošenja
- Uhodavanje
- Podmazivanje

Glavna područja primjene tribologije su:

- Mehaničke konstrukcije
- Materijali
- Obrada materijala
- Podmazivanje



Slika 28. Shema jednostavnog tribosustava [19]



#### 4.1. Trenje

Trenje, odnosno sila trenja, sila je kojom se površina na kojoj tijelo miruje ili po kojoj se giba opire gibanju. Trenje ovisi o kemijskom sastavu i hrapavosti dodirnih površina, odnosno posljedica je kemijskog i mehaničkog međudjelovanja tijela u dodiru. Osnovna podjela trenja je na trenje mirovanja, odnosno statičko trenje čiji je smjer suprotan djelovanju zbroja vanjskih sila na tijelo i trenje gibanja, odnosno dinamičko trenje koje se dalje može podijeliti na trenje klizanja, trenje kotrljanja i otpor fluida gibanju čvrstih tijela, a smjer mu je suprotan smjeru brzine. Faktor proporcionalnosti koji povezuje normalnu silu i silu trenja zove se faktor trenja, odnosno koeficijent trenja. Faktor trenja je, dakle, bezdimenzijski omjer sile trenja između dva tijela i normalne sile kojom tijela pritišću jedno o drugo: [19]

$$\mu = \frac{F_{tr}}{F_n} \quad (4.1.)$$

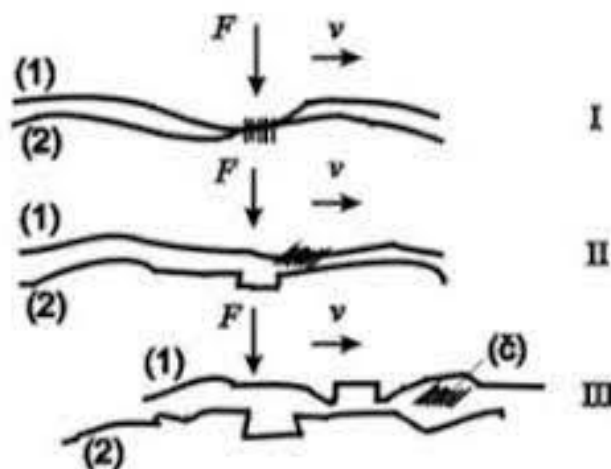
Trenje također možemo podijeliti prema agregatnom stanju na:

- a) Trenje među krutim površinama
- b) Trenje između fluida i krutog tijela

kao i prema podmazivanju:

- a) Suho trenje
- b) Trenje uz podmazivanje

Trenje klizanja između dva tijela u kontaktu ima najveći utjecaj na potrošnju materijala. Iako je trenje neovisno o površini kontakta krutih tijela, stvarni dodir dviju površina razlikuje se od geometrijskog (prividnog). Na slici 30. dan je slijed zbivanja od početka do završetka dodira jednog para mikroizbočina (jedinični događaj). [19]



Slika 29. Jedinični događaj trošenja uslijed trenja [19]

Faza 1:

- Elastična deformacija
- Plastična deformacija
- Brazdanje

Faza 2:

- Adhezijsko spajanje

Faza 3:

- Raskidanje spojeva
- Elastični povrat

Na trenje utječu razni faktori kao što su: [20]

- a) kemijski sastav materijala
- b) temperatura
- c) vrsta kontakta
- d) način gibanja
- e) opterećenje
- f) sastav okoline
- g) prethodno klizanje po toj površini
- h) stanje obradbe površine obaju tijela

#### **4.2. Trošenje**

Površine strojnih dijelova koje su prilikom gibanja u međusobnom kontaktu, mijenjaju s vremenom i svoja svojstva. Mijenja im se struktura i svojstva površinskih slojeva, geometrija i veličina. Ove promjene ovise o: [20]

- a) Uvjetima opterećenja
- b) Količini gibanja
- c) Prirodi materijala elemenata koji su u kontaktu
- d) Sastavu i svojstvima okoline
- e) Sastavu i svojstvima maziva

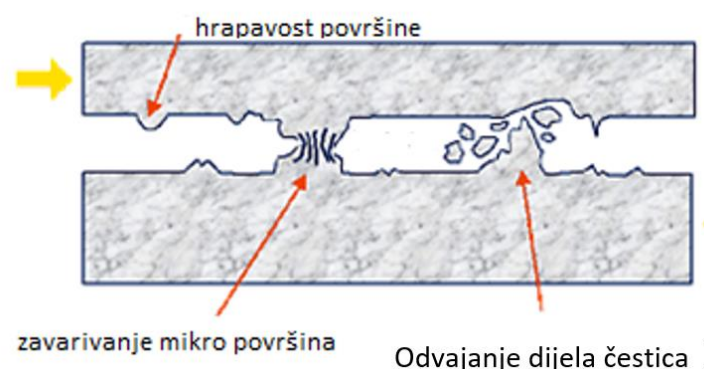
Po definiciji, trošenje je progresivni gubitak materijala elemenata ili dijelova strojeva koji su u neposrednom kontaktu i nalaze se u relativnom kretanju. Posljedice procesa trošenja su istrošenost

dijelova strojeva, smanjena efikasnost njihovog rada, povećana potrošnja energije itd. Osnovna podjela trošenja je na mehaničko (adhezija, abrazija, umor površine i erozija) i kemijsko trošenje (trošenje kao posljedica oksidacije površine materijala i uslijed procesa korozije).

U najvećem broju realnih slučajeva, trošenje se javlja kao posljedica kombinacije mehaničkog i kemijskog trošenja. [20]

#### 4.2.1. Adhezija

Adhezijsko trošenje predstavlja osnovni vid trošenja opterećenih površina koje su u kontaktu. Pojava ovog vida trošenja nalazi se u direktnoj vezi s trenjem klizanja, s kontaktnom površinom i adhezivnim vezama molekula tih površina. Do pojave adhezijskog trošenja dolazi kod visokopterećenih površina, kod kojih se, bez obzira na prisutno mazivo između njih, ostvaruje kontakt vrhova neravnina. Razlog tome je visoka vrijednost specifičnog pritiska na mjestu kontakta, što dovodi do cijepanja sloja maziva. Kod razdvajanja dvije mikrozavarene neravnine može doći do lijepljenja materijala s jedne površine na drugu, a često i do odvajanja djelića osnovnog materijala, koji se kasnije slobodno kreću između površina, a dovode do abrazijskog trošenja, slika 31. Ova pojava kod mikropovršina može se proširiti i na pojavu adhezijskog trošenja cijelih površina. Povećanjem pritiska na površini, proporcionalno se povećava broj spojeva i stvarna površina kontakta. Kod ekstremnih pritisaka, deformacija i visokih temperatura, dolazi do međusobnog zavarivanja mikrospojeva po značajnom dijelu površina u kontaktu. Tako zavareni spojevi neravnina se raskidaju pa dolazi do trošenja cijele površine. [21]

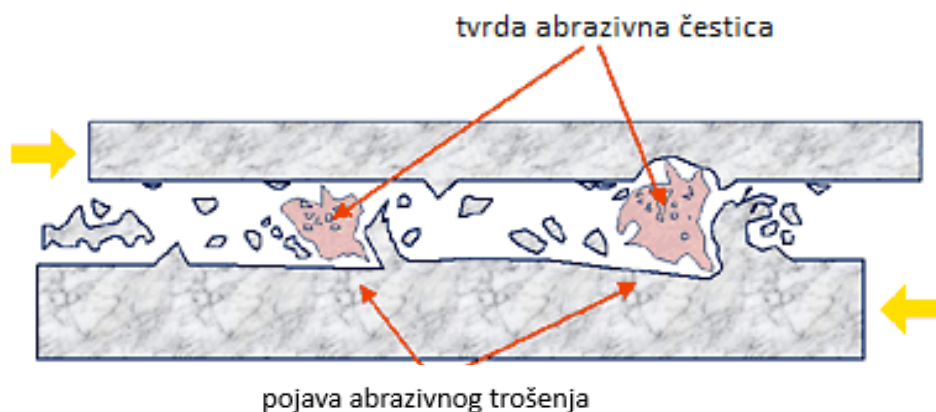


Slika 30. Adhezija [21]

#### 4.2.2. Abrazija

Abrazijsko trošenje oblik je odstranjivanja materijala s površina u kontaktu kao posljedica zadiranja neravnina površine veće tvrdoće u površinu manje tvrdoće. Čestice materijala mogu biti

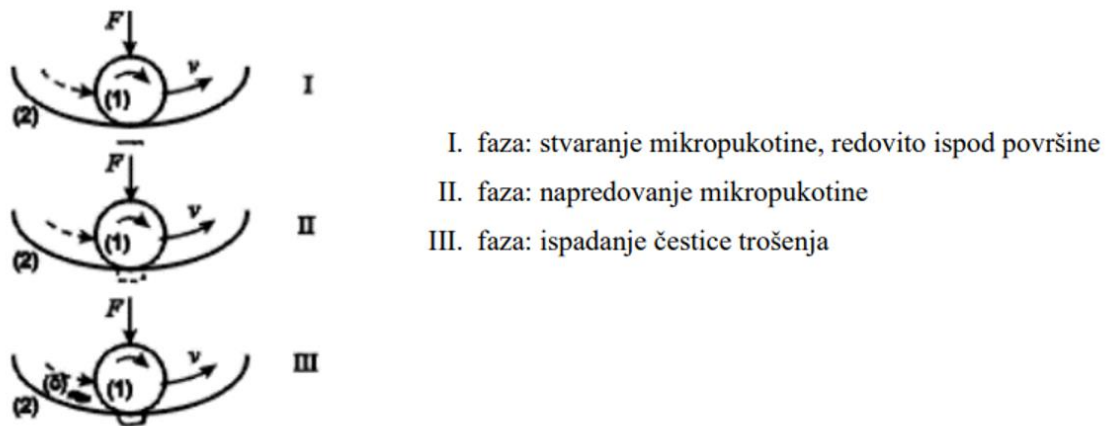
slobodne i ponašati se kao treće tijelo, ali mogu se i utisnuti u jednu ili obje površine. One mogu nastati ili unutar samog tribomehaničkog sustava kao rezultat procesa trošenja površina ili se mogu unijeti sredstvom za podmazivanje. Čestice koje su veće ili jednake veličini razmaka između dvije kontaktne površine imaju najveći utjecaj na oštećenje površina, slika 32. Zato je neophodno omogućiti da se između površina nađu samo čestice čija je veličina manja od veličine razmaka između tih površina. U cilju sprječavanja ulaza čvrstih čestica, mora se omogućiti dobro podmazivanje odgovarajućih elemenata stroja, a u sisteme podmazivanja ili hidraulike ugrađuju se uređaji za filtriranje. Abrazijsko trošenje može u pozitivnom smislu imati široku primjenu kod obrade metala brušenjem, struganjem, poliranjem i dr. [21]



**Slika 31. Abrazija [21]**

#### 4.2.3. Umor površine

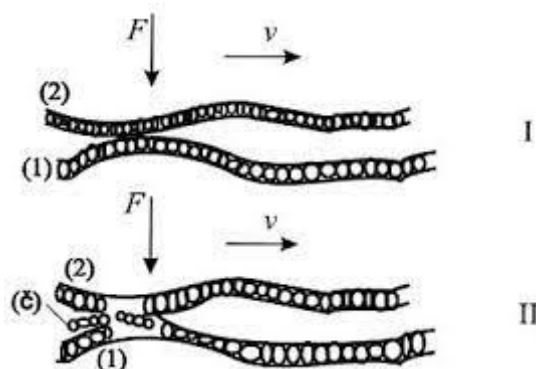
Trošenje uslijed umora javlja se u slučajevima kada se površine stalno klizu ili valjaju po istom putu. Ciklusi promjenljivih opterećenja mogu prouzrokovati površinske i potpovršinske pukotine. Također, makro i mikro neravnine kao posljedica mehaničke ili toplinske obrade, pogoduju nastanku površinskih mikropukotina. Pukotine se, naročito uslijed promjenljivih opterećenja, progresivno šire sve do trenutka otkidanja sitnih komadića materijala. Ovaj vid trošenja nije karakterističan za strojne elemente kod kojih je prisutno stalno ili vrlo malo promjenljivo opterećenje. Često se javlja kod zupčanika, svih vrsta kotrljajućih i kliznih ležajeva, bregastih osovina i dr. [21]



Slika 32. Jedinični događaj umora površine [22]

#### 4.2.4. Tribokorozija

Tribokemijsko trošenje ili tribokorozija mehanizam je trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem. Nastaje pri klizanju dviju površina u korozivnom okolišu, pa se trošenju pridodaje i kemijska degradacija svojstva materijala. Jedinični događaj tribokorozije prikazan je na slici 34.



Slika 33. Jedinični događaj tribokorozije [22]

Faze:

I – stvaranje (ili obnavljanje) sloja produkata korozije

II – mjestimično razaranje sloja produkata korozije

Tribokorozija je slabo intenzivan mehanizam trošenja pri kojem izgled površina izloženih tribokoroziji ovisi o intenzivnosti odnošenja stvorenih čestica trošenja. Mala intenzivnost znači da se na površini pojavljuju proizvodi korozije, a kod veće intenzivnosti odnošenja površina je naizgled polirana. Iako se tribokorozija ubraja u osnovne mehanizme trošenja, to je ipak

kombinacija kemijskih reakcija na površini triboelementa i jednog od osnovnih mehanizama trošenja (abrazije, adhezije ili umora površine)

### **4.3.Podmazivanje**

Trajnost i pouzdanost rada strojeva i različitih mehanizama bitno ovise o pravilnom izboru i primjeni maziva. Loše odabrano mazivo ili njegova pogrešna primjena uzrok je ubrzanom trošenju površina koje su u kontaktu i pojava trajnih deformacija, odnosno oštećenja. Jedan od osnovnih kriterija izbora maziva je specifičnost rada mehanizma: brzina i oblik kretanja, specifična opterećenja, temperatura itd. Općenito, maziva se ne biraju za strojeve u cjelini, već posebno za različite sklopove jednog stroja. Tako na primjer, kod pogonske grupe nekog motornog vozila motor se podmazuje uljem, prijenosni mehanizam transmisijskim uljem, neke ležajeve mazivim mastima itd. [21]

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu završnog rada provedena je analiza mikrostrukture i kemijskog sastava pogonskog sustava (malog i velikog zupčanika) i kućišta mehanizma vrcaljke za med. Sva ispitivanja provedena su u laboratorijima Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Postupak ispitivanja prikazan je u tablici 1.

**Tablica 1. Postupak eksperimentalnog ispitivanja**

Postupak ispitivanja	
1.	Rezanje kućišta
2.	Čišćenje uzoraka
3.	Kemijska analiza
4.	Analiza mikrostrukture
5.	Mjerenje tvrdoće površine uzoraka

### 5.1. Uzorci

Uzorci na kojima su provedena ispitivanja su: dva zupčanika (pužni vijak i pužno kolo) koji zajedno čine pužni prijenosni mehanizam te kućište koje je u dodiru s vratilom na kojem se nalazi pužni vijak. Kako bi se smanjilo trenje među navedenim komponentama, redovito su podmazivane običnim uljem koje se kroz godine rada sjedinilo s kapljicama meda koje bi ušle u mehanizam i tvorilo smjesu koja je otežavala okretanje samog mehanizma.

### 5.2. Rezanje kućišta

Nakon rastavljanja mehanizma, u Laboratoriju za toplinsku obradu, Fakulteta strojarstva i brodogradnje, izrezano je kućište kako bi se mogla obavljati daljnja ispitivanja na dijelu koji je bio u kontaktu s vratilom (na slici 35. označeno strelicom), odnosno koji je bio izložen najvećem stupnju trošenja.



**Slika 34. Izrezano kućište na mjestu kontakta s vratilom**

### 5.3. Čišćenje uzoraka

Po cijeloj površini zupčanika i pužnog vijka nalazio se stvrdnuti sloj ulja i meda (slika 36.) pa ih je bilo potrebno očistiti. Čišćenje je provedeno u dva koraka – prvo običnim deterdžentom i četkom, a zatim organskim otapalom (etil-metil-keton).



**Slika 35. Uzorci prije čišćenja**

Na slikama 37. i 38. prikazani su pužni vijak i pužno kolo nakon čišćenja.





**Slika 36. Pužni vijak nakon čišćenja**



**Slika 37. Pužno kolo nakon čišćenja**

Sa slika 37. i 38. vidljivo je da zupci pužnog vijka, kao ni pužnog kola nisu potrošeni.

#### **5.4. Kemijska analiza**

XRF (engl. *X-ray fluorescence*) tehnikom određen je kemijski sastav kućišta. To je nedestruktivna analitička tehnika koja se koristi za određivanje kemijskog sastava materijala. XRF analizatori određuju kemijske elemente koji tvore uzorak mjerenjem fluorescentnog (ili sekundarnog) rendgenskog zračenja koje emitira uzorak kada ga pobudi primarni izvor rendgenskog zračenja.

Svaki od elemenata prisutnih u uzorku proizvodi skup karakterističnih fluorescentnih X-zraka koji je jedinstven za taj specifični element, zbog čega je XRF spektroskopija izvrsna tehnologija za kvalitativnu i kvantitativnu analizu sastava materijala. [23] U Tablici 2. prikazan je rezultat kemijske analize osnovnog materijala kućišta XRF metodom.



**Slika 38. Olympus XRF uređaj za snimanje kemijskog sastava**

**Tablica 2. Maseni udio pojedinih elemenata u aluminijskoj leguri kućišta**

%									
Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
10,64	56,98	20,51	0,37	0,37	1,64	0,26	0,42	5,43	2,34

Iz tablice 2. utvrđeno je da je kućište pogonskog mehanizma izrađeno od aluminijske legure.

### 5.5. Analiza mikrostrukture

Kako bi se provela metalografska analiza mikrostrukture potrebno je prvo pripremiti uzorak. Postupak pripreme uzorka sastoji se od sljedećih 5 koraka:

- a) Izrezivanje uzorka
- b) Ulijevanje uzorka u polimernu masu
- c) Brušenje uzorka
- d) Poliranje uzorka
- e) Nagrizanje uzorka [19]

Budući da je kućište već izrezano u prvom koraku, ostalo je izrezati reprezentativne uzorke pužnog vijka i pužnog kola što je također obavljeno u Laboratoriju za toplinsku obradu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Izrezani primjerci, primjereni za daljnja ispitivanja pripremljeni su vrućim zalijevanjem u polimernu masu čime dobivaju uniformni oblik, što omogućava lakši prihvat i rukovanje uzorcima.



**Slika 39. Izrezani uzorak pužnog vijka (na vratilu) u polimeru**



**Slika 40. Izrezani uzorak pužnog kola u polimeru**



**Slika 41. Izrezani uzorak kućišta u polimeru**

Sljedeći korak mehanička je priprema uzoraka, što obuhvaća brušenje i poliranje uzoraka. Brušenje se obavilo brusnim papirom (P320, P600, P1000, P2400, P4000), a poliranje na uređaju PRESI Mecatech 250 dijamanтном pastom (3  $\mu\text{m}$ ) i tekućinom za poliranje. Uzorci su također nagrizeni 3%-tnom otopinom nitala prije nego što je analizirana njihova mikrostruktura na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51.

Na slikama 45. i 46. prikazana je mikrostruktura pužnog kola.



**Slika 42. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog kola, uvećana 100x**



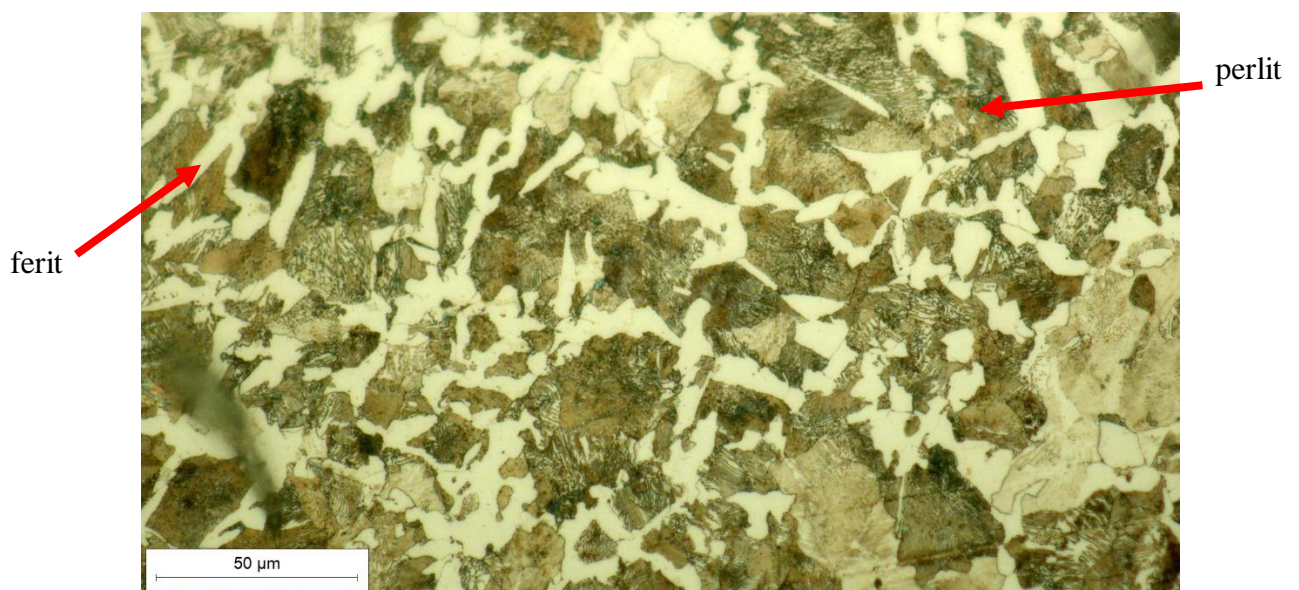
**Slika 43. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog kola, uvećana 500x**

Pužno kolo trakaste je mikrostrukture i sastoji se od ferita i perlita. Trakasta mikrostruktura karakteristična je za proizvode izrađene valjanjem. Uzorak ispitivan u ovom radu valjan je u čeličani.

Na slikama 45. i 46. prikazan je mikrostruktura pužnog vijka.



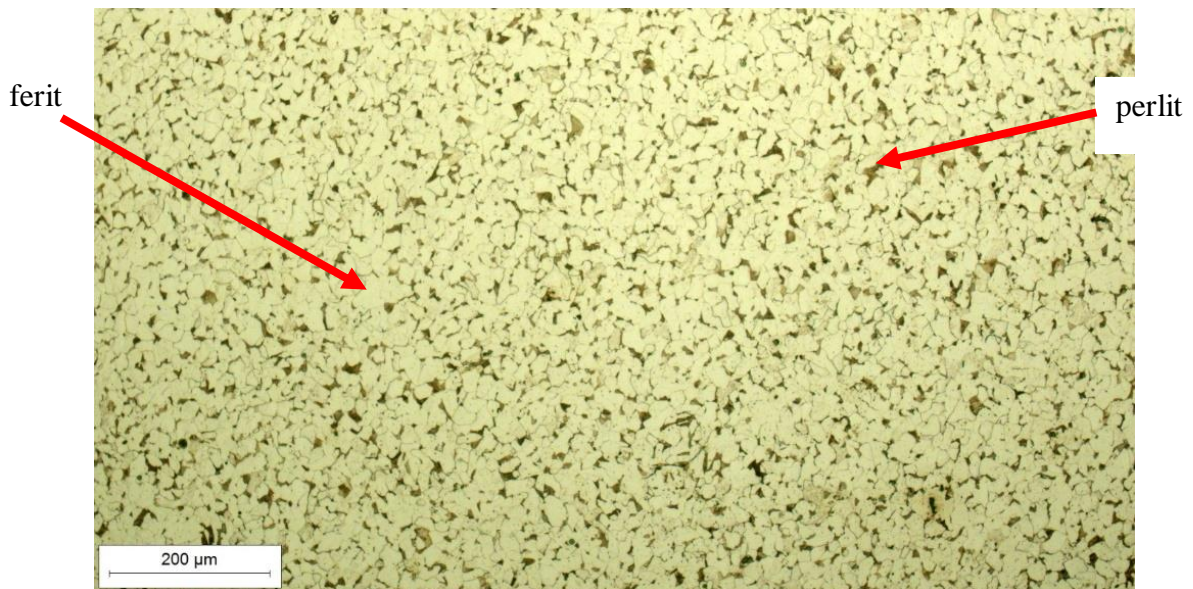
**Slika 44. Mikrostruktura sredine presjeka pužnog vijka, uvećana 500x**



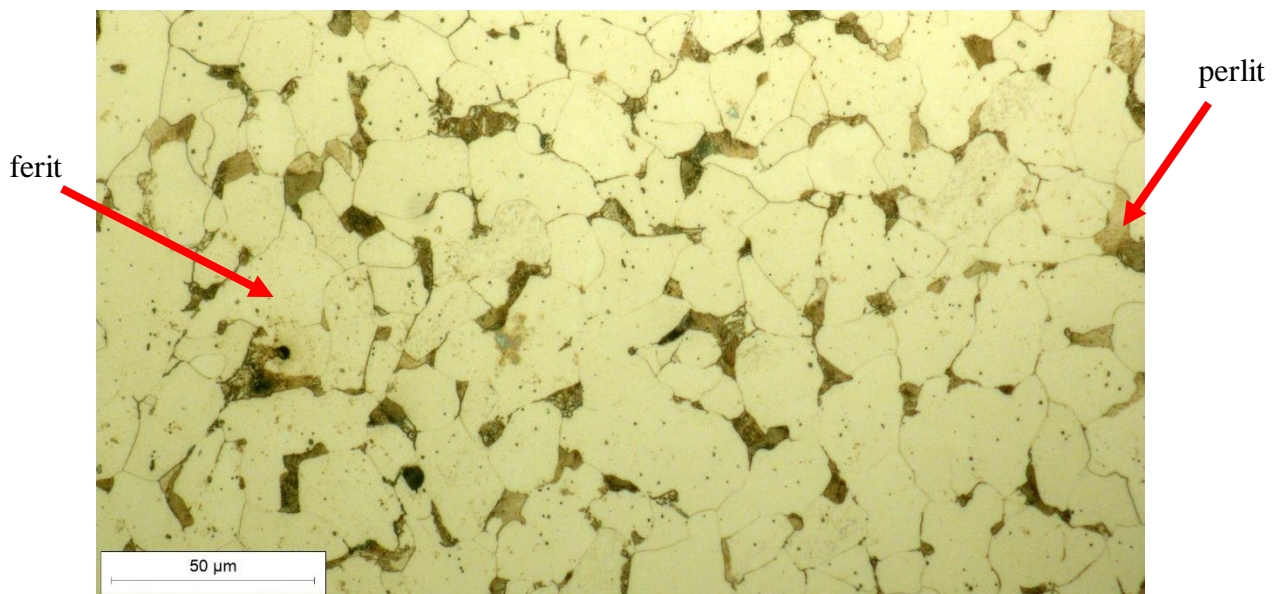
**Slika 45. Mikrostruktura ruba presjeka pužnog vijka, uvećana 500x**

Pužni vijak feritno – perlitne je mikrostrukture.

Na slici 47. prikazana je mikrostruktura vratila.



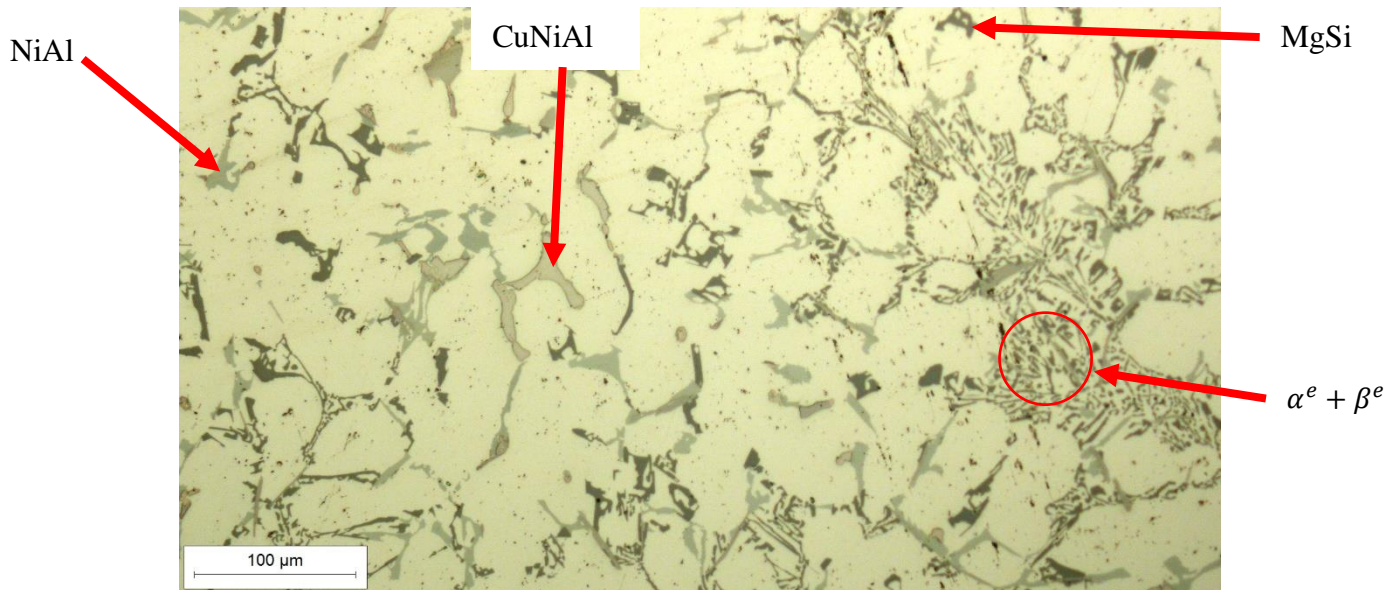
**Slika 46. Mikrostruktura vratila, uvećana 100x**



**Slika 47. Mikrostruktura vratila, uvećana 500x**

Vratilo na kojem se nalazi pužni vijak također je feritno - perlitne mikrostrukture, ali s većim udjelom ferita (bijelo), nego perlita (tamne trakice).

Na slici 48. prikazana je mikrostruktura kućišta.



**Slika 48. Mikrostruktura kućišta, uvećana 200x**

Pretraživanjem literature i uspoređivanjem slika mikrostrukture aluminijских legura iz literature s dobivenom u ovom radu zaključeno je da je kućište mehanizma napravljeno od aluminijске legure A332-T551 koja se sastoji od Al matrice ( $\alpha^e$ ) i eutektičkih kristala silicija ( $\beta^e$ ), MgSi, CuNiAl i NiAl. [24]

### 5.6. Mjerenje tvrdoće površine uzoraka

Mjerenje tvrdoće provedeno je u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava, Fakulteta strojarstva i brodogradnje na PMT-3Y4.2 tvrdomjeru, Vickersovom metodom. Pri ispitivanju tvrdoće Vickersovom metodom koristi se dijamantna četverostrana piramida kao penetrator s kutem između stranica  $136^\circ$ . Penetrator se utiskuje proizvoljnom silom  $F$ . Nakon utiskivanja mjeri se udaljenost vrhova, odnosno dijagonala  $d_1$  otisnute piramide te se računa stvarni  $d$  prema formuli:

$$d_1 \times 0,302 = d \quad (5.1.)$$

Za dobivenu vrijednost  $d$ , iz tablice za HV0,2 (budući da je za ispitivanje korišteno opterećenje od 200 g) očitava se tvrdoća. Tvrdoća je mjerena na osnovnom materijalu, na sredini uzorka i na rubu. Mjerenje je ponovljeno 3 puta, a ukoliko bi tvrdoće previše odstupale jedna od druge, napravila bi se dva dodatna mjerenja.

Vrijednosti tvrdoće svih uzoraka dane su u tablici 3. Za pužni vijak mjerena je i tvrdoća vratila na kojem se nalazi.

**Tablica 3. Tvrdoća uzoraka**

Tvrdoća prema Vickersu (HV)						
Broj mjerenja	1.	2.	3.	4.	5.	Srednji HV
Vratilo	233	252	237	/	/	241
Pužni vijak	319	362	303	325	308	323
Pužno kolo	187	176	169	213	200	189
Kućište	114	127	138	/	/	126



## **6. ZAKLJUČAK**

Provedenom analizom mikrostrukture i mjerenjem tvrdoće može se zaključiti:

- Zupčanici koji zajedno tvore pužni prijenosni mehanizam izrađeni su od feritno - perlitnog čelika. Izmjerena tvrdoća pužnog vijka je 323 HV0,2, a pužnog kola 189 HV0,2.
- Mikrostruktura vratila je feritno – perlitna i izmjerena tvrdoća 241 HV0,2.
- Kućište je aluminijska legura izmjerene tvrdoće 126 HV0,2.
- Zbog učestalog podmazivanja mehanizma i ulaska zalutalih kapljica meda u mehanizam, došlo je do stvaranja smjese ulja i meda na površini uzoraka, što je smanjivalo faktor trenja među strojnim dijelovima i time im produžilo radni vijek.
- Direktni kontakt vratila i kućišta izazvao je blagu, gotovo zanemarivu potrošnju kućišta na mjestu kontakta. Iako stara preko 30 godina, vrcaljka je u izvrsnom stanju, a njen mehanizam i dalje vrlo efikasan.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.nwf.org/Educational-Resources/Wildlife-Guide/Invertebrates/Bees>, 5.12.2022.
- [2] <https://tehnika.lzmk.hr/pcelarstvo/>, 5.12.2022.
- [3] <https://stocarstvo.mps.hr/pcelarstvo/>, 5.12.2022.
- [4] <https://exarc.net/issue-2017-2/aoam/prehistoric-beekeeping-central-europe-themed-guided-tour-zeiteninsel-germany> , 10.02.2023.
- [5] <https://www.uppula.hr/pcelarenje/pcelarska-oprema/pletara>, 6.12.2022.
- [6] <https://www.uppula.hr/proizvodi/propolis?view=article&id=316:patent-o-p%C4%8Delarstvu&catid=16>, 6.12.2022.
- [7] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=47213>, 6.12.2022.
- [8] <http://arkod-katastar-gruntovnica.blogspot.com/p/katastar-pcelinjaka-i-pcelinjih-pasa.html>, 6.12.2022.
- [9] [http://vreme.zajcek.org/gradisce/about\\_gradisce.php](http://vreme.zajcek.org/gradisce/about_gradisce.php), 10.02.2023.
- [10] <https://agrosavjet.com/langstrotrutova-kosnica-konstrukcija-za-samostalnu-izradu/>, 7.12.2022.
- [11] <https://pcelarstvo.hr/>, 7.12.2022.
- [12] <https://www.pcelarska-oprema.hr/proizvodi/pcelarski-noz-multi/>, 7.12.2022.
- [13] <https://www.keepingbackyardbees.com/best-methods-for-uncapping-honey-zbwz1902zsau/>, 10.02.2023
- [14] <http://completebeehives.com/how-to-use-a-honey-extractor/>, 10.02.2023.
- [15] <https://www.fhruschka.cz/en/Medomet.aspx>, 10.02.2023.
- [16] <https://www.serto-bel.hr/inox-opcenito/glavne-karakteristike-najznacajnijih-nehrdjajucih-celika-inoxa.html>, 8.12.2022.
- [17] Filetin T., Kovačiček F., Indof J.: Svojstva i primjena materijala, Sedmo izdanje, FSB, Zagreb, 2013
- [18] B. Kraut; Strojarski priručnik; Tehnička knjiga; Zagreb; 1987
- [19] Grilec K., Jakovljević S., Marić G.: Tribologija u strojarstvu, FSB, Zagreb, 2017.
- [20] Bilješke s predavanja predmeta "Karakterizacija materijala", FSB, 2020.
- [21] <http://www.maziva.org/>, 10.12.2022.
- [22] Ivušić, V. (1998.): Tribologija. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb
- [23] <https://www.thermofisher.com/blog/ask-a-scientist/what-is-xrf-x-ray-fluorescence-and-how-does-it-work/>, 10.12.2022.
- [24] Metals Handbook, 8th Edition, vol. 9, Atlas of microstructures of Industrial Alloys, ASM International, Ohio, USA