

# Trošenje lanaca motornih pila lančanica

---

**Majdak, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*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:235:053734>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-18**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ivan Majdak**

Zagreb, 2015.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

**Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grilec**

Student:

**Ivan Majdak**

Zagreb, 2015.

## **Izjava**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se vlastitim znanjem stečenim tijekom studija i uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Krešimiru Grilecu na stručnoj pomoći u izradi ovog rada, na strpljenju, pristupačnosti, savjetima i zalaganju.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na potpori i razumijevanju.

Na kraju se zahvaljujem svim profesorima i kolegama, koje sam upoznao tijekom studiranja na stručnoj pomoći oko ovog rada.

**Ivan Majdak**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne 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:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **IVAN MAJDAK** Mat. br.: 0035177985

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **TROŠENJE LANACA MOTORNIH PILA LANČANICA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **WEAR OF CHAIN ON CHAINSAW**

Opis zadatka:

Motorna pila lančanica može se definirati kao pila kojoj kao rezni alat služi lanac s nizom zgloбно povezanih zuba. Sastoji se od pogonskog i reznog dijela te spojke koja ih povezuje. Od početka uvođenja šezdesetih godina prošloga stoljeća do današnjih dana, motorna pila lančanica je postala najčešće korišten stroj u šumarstvu, a kroz svoju evoluciju doživjela je niz promjena i poboljšanja. Jedna od tih promjena je i promjena materijala za izradu oštrica.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Opisati motornu pilu lančanicu.
- 2) Navesti i opisati materijale koji se koriste za izradu lanaca pila.
- 3) Pronaći primjer trošenja lanca pila lančanica te analizirati njegovo trošenje.
- 4) Provesti prateća ispitivanja i dati zaključak.

Zadatak zadan:  
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:  
1. rok: 26. veljače 2015.  
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.  
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Izv.prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

## Sadržaj

POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA.....	V
SAŽETAK.....	VI
<b>1. UVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>2. POVIJEST RAZVOJA MOTORNE PILE.....</b>	<b>7</b>
<b>3. MOTORNE PILE LANČANICE.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. KONSTRUKCIJA MOTORNE PILE.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1. POGONSKI DIO MOTORNE PILE.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.2. PRIJENOSNI DIO MOTORNE PILE.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.3. RADNI DIO MOTORNE PILE.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. POVRATNI UDAR.....</b>	<b>24</b>
<b>4. MATERIJALI ZA LANCE.....</b>	<b>26</b>
<b>5. TROŠENJE MATERIJALA.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1. MEHANIZMI TROŠENJA LANCA MOTORNE PILE.....</b>	<b>28</b>
<b>6. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE UZORAKA.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1. SKENIRAJUĆI ELEKTRONSKI MIKROSKOP (SEM) I EDS.....</b>	<b>33</b>
<b>6.1.1. REZULTATI SEM-A I EDS-A.....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. MJERENJE TVRDOĆE VICKERSOVOM METODOM (HV).....</b>	<b>40</b>
<b>6.2.1. REZULTATI ISPITIVANJA TVRDOĆE PO VICKERSU.....</b>	<b>41</b>
<b>6.3. ANALIZA MIKROSTRUKTURE UZORAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>47</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>48</b>

## Popis slika

Slika 1. Motorna pila Beaver [2].....	7
Slika 2. Motorna pila Junior [2].....	7
Slika 3. Chipper lanac [2] .....	8
Slika 4. Motorna pila Stihl BLK [2].....	8
Slika 5. Motorna pila Husqvarna A90 [2].....	9
Slika 6. Motorna pila Stihl Contra [2].....	9
Slika 7. Rast broja motornih pila u odnosu na godine dvadesetog stoljeća [2].....	9
Slika 8. Opći dijelovi motorne pile [4].....	11
Slika 9. Motor s osnovnim dijelovima [5].....	12
Slika 10. Rasplinjač sa membranom [6].....	14
Slika 11. Prikaz dijelova centrifugalne spojke [7].....	16
Slika 12. Vrste pogonskih lančanika [9].....	17
Slika 13. Vodilica lanca [9].....	18
Slika 14. Vodilica sa zakretnom zvijezdom na vrhu [6].....	18
Slika 15. Vodilica sa ojačanim vrhom [6].....	19
Slika 16. Korak lanca [9].....	20
Slika 17. Osnovni elementi reznog lanca motorne pile [9].....	20
Slika 18. Karakteristični elementi reznog zuba[9].....	21
Slika 19. Kut brušenja vršne plohe [9].....	22
Slika 20. Kut rezanja vršne plohe [9].....	22
Slika 21. Grebenski kut reznog zuba [9].....	23
Slika 22. Princip rada reznog zuba [9] .....	23
Slika 23. Nastanak povratnog udara [9] .....	24
Slika 24. Test na povratni udar [10].....	25
Slika 25. Lanac sa modificiranim člankom [10].....	25
Slika 26. Rezni zub od tvrdog metala [10].....	27
Slika 27. Lanac sa reznim zubima od tvrdog metala [10].....	27
Slika 28. Rezultat abrazivnog trošenja rezne površine reznog zuba.....	29
Slika 29. Primjer korodiranog reznog zuba.....	30
Slika 30. Lom lanca uslijed umora materijala članaka.....	30
Slika 31. Lanac uzorka 1.....	31
Slika 32. Lanac uzorka 2.....	31
Slika 33. Uzorak 1.....	32
Slika 34. Uzorak 2.....	32
Slika 35. Trošenje bočne strane uzorka 1.....	34
Slika 36. Trošenje rezne površine zuba uzorka 1.....	34
Slika 37. Naljepljivanje čestica drva.....	35
Slika 38. EDS analiza osnovnog materijala uzorka 1.....	35
Slika 39. Spektar kemijskih elemenata analiziranog područja.....	36
Slika 40. Naljepljine na bočnoj strani uzorka 2.....	37
Slika 41. Tragovi trošenja na reznoj površini uzorka 2.....	37
Slika 42. EDS analiza naljepljina na bočnoj strani uzorka 2.....	37
Slika 43. Spektar kemijskih elemenata naljepljina analiziranog područja.....	38
Slika 44. EDS analiza rezne površine uzorka 2.....	39
Slika 45. Spektar kemijskih elemenata analiziranog dijela uzorka 2.....	39
Slika 46. Utiskivač i otisak kod Vickersovog ispitivanja [16].....	41
Slika 47. Pripremljeni uzorci 1 i 2.....	41
Slika 48. Nagrižene površine uzoraka 1 i 2.....	43

---

Slika 49. Mikrostruktura reznog člana uzorka 1 (povećanje 200 puta).....	44
Slika 50. Mikrostruktura reznog člana uzorka 1 (povećanje 500 puta).....	44
Slika 51. Mikrostruktura reznog člana uzorka 2 (povećanje 200 puta).....	45
Slika 52. Mikrostruktura reznog člana uzorka 2 (povećanje 500 puta).....	46



**Popis tablica**

Tablica 1. Opća podjela motornih pila [3].....	10
Tablica 2. Maseni i atomski udio elemenata u materijalu uzorka 1.....	36
Tablica 3. Maseni i atomski udio elemenata na bočnoj površini uzorka 1.....	38
Tablica 4. Maseni i atomski udio elemenata na reznoj površini uzorka 2.....	40
Tablica 5. Rezultati mjerenja tvrdoće na uzorku 1.....	42
Tablica 6. Rezultati mjerenja tvrdoće na uzorku 2.....	42

**Popis oznaka**

<b>OZNAKA</b>	<b>JEDINICA</b>	<b>OPIS</b>
$d_1$	mm	prva dijagonala kvadrata otiska piramide
$d_2$	mm	druga dijagonala kvadrata otiska piramide
$d_{hv}$	mm	srednja vrijednost udaljenosti vrhova piramide
$D$	mm	put klizanja
$F$	N	sila
$V_{loss}$	$m^3$	volumetrijski gubitak na uzorku zbog trošenja
$\mu_{sp}$	$mm^3/Nm$	specifična brzina trošenja

## Sažetak

Svaki alat u svom radu ima problem sa trošenjem pa tako i lanac motorne pile lančanice. Danas ne postoji materijal koji je otporan na trošenje u svim mogućim radnim uvjetima, međutim određenim postupcima oplemenjivanja i prevlačenja reznih površina možemo povisiti otpornost na trošenje.

U uvodnom dijelu završnog rada općenito se opisuje motorna pila lančanica i njezine komponente. Opisani su pojedini dijelovi motorne pile i objašnjena funkcija istih. Zatim su navedeni materijali izrade lanaca motornih pila te opisani načini trošenja elemenata lanca.

U drugom dijelu rada provedeno je ispitivanje reznih elemenata lanaca u cilju određivanja tragova trošenja na reznim i bočnim površinama, kemijska analiza, određivanje tvrdoće po Vickersu (HV) i mikrostruktura.

Ključne riječi: motorna pila lančanica, trošenje lanca, ispitivanje, lanac

## 1. UVOD

Razvoj civilizacije, povećanje brojnosti stanovništva, samim time i povećanje potreba za drvom kao sirovinom doprinose razvoju alata i strojeva za sječu i izradu drva. Bilo je potrebno mnogo vremena, ideja, prihvaćenih i odbačenih izuma da bi se napravio uređaj koji će povećati proizvodnost i sigurnost rada na sječi i izradi, smanjiti količinu ljudskog rada te potrebno vrijeme za obavljanje istog. Naravno, riječ je o motornoj pili lančanici čija je upotreba danas najraširenija u svijetu.

Njenim uvođenjem u sječu i obradu drva došlo je do znatnog olakšanja posla drvosječa u šumarstvu, a samim time i do smanjena rada koji je potrebno uložiti za sječu jedinične količine drvene mase, što znači došlo je do povećanja proizvodnosti rada. [1]

Motorna pila lančanica do danas je doživjela niz sigurnosnih i ergonomskih poboljšanja, iako su i unaprijeđeni i postupci zaštite pri radu, rad s motornom pilom još spada među najrizičnije i najopasnije radove u obradi drva.

## 2. POVIJEST RAZVOJA MOTORNE PILE

Početak razvoja i izum koji karakterizira motorne pile lančanice je izum reznoga lanca. Počeci ideje reznog lanca koji se kreće po vodilici seže još u 19. stoljeće, kada je u SAD-u, 1858. godine, Harvey Brown patentirao “beskrajni sekcijski mehanizam za piljenje“ točnije, preteču reznog lanca. Ali ideja je ostala na papiru jer još uvijek nije postojao uređaj koji bi lanac pokrenuo dovoljno brzo za piljenje drva. Nakon neuspjeha Brownova patenta, 1860. godine A. Ransome izrađuje parnu pilu sa oštricom istovjetnu onoj ručnih pila. Frederick L. Magaw patentira 1883. godine poboljšane rezne zube lanca koji nisu bili povezani samo spojnicama nego su se nadovezivali jedan na drugi pomoću utora i ispupčenja na njihovim krajevima. Sve su to bili patenti reznog lanca kojih je bilo na desetke u drugoj polovici 19. stoljeća, ali nijedan od njih nije razjasnio pitanje pokretanje lanca i za to potrebnog izvora snage.

U Kaliforniji, R.L. Muir 1910. godine je predstavio motornu pilu lančanicu s čeličnom vodilicom koju je pokretao Ottov ili električni motor. Prvu, uvjetno rečeno, prenosivu pilu lančanicu izumio je Šveđanin A.V. Westfelt 1919. godine nazvanu Sector. Charles Wolf iz Oregona, 1920. godine patentira i počinje proizvoditi prvu komercijalnu uspješnu prenosivu pilu lančanicu, električnu pilu Wolf. Njemačka tvrtka E.Ring za koju su u to vrijeme bili osnivači A. Stihl i E. Larp na Wolfov izum odgovara proizvodnjom prve potpuno prenosive pile lančanice s Ottovim dvotaktnim motorom.

1944. godine američka tvrtka IEL razvija prototip prve motorne pile za jednoga rukovatelja naziva Beaver (hrv. *dabar*). U Engleskoj je 1945. godine tvrtka Danarm predstavila model motorne pile Junior, koja je bila namijenjena ženama koje su u ratnim godinama zamijenile muškarce na poljoprivrednim i šumarskim poslovima.[2]



Slika 1 .Motorna pila Beaver [2]



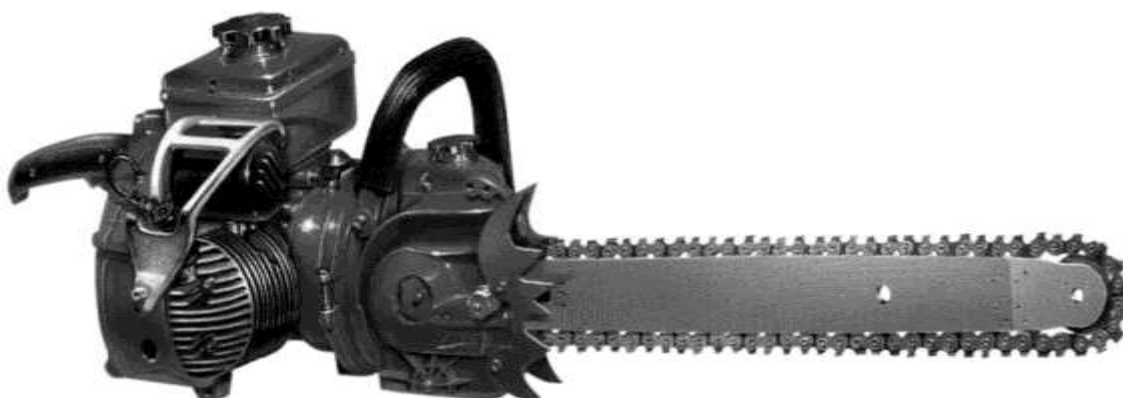
Slika 2. Motorna pila Junior[2]

Šumar Joe Cox je 1946. patentirao takozvane “chipper“ lance koji su bili sastavljeni od naizmjenično poredanih lijevih i desnih reznih zuba zakrivljenih oštrica. Takvi lanci su se kroz drvo probijali režući lijevo-desno umjesto rezanja drveta u smjeru ravno-naprijed. Do ideje je došao promatrajući ličinke kukca drvaša kako buše drvo pomoću svojih zakrivljenih čeljusti.



Slika 3. “Chipper“ lanac[2]

Daljni razvoj motornih pila doživljava zamah izumom i nastankom motora sa unutrašnjim sagorijevanjem. Tako je 1948. godina bila prijelomna godina u razvoju motornih pila kada je McCulloch proizveo prvu motornu pilu s membranskim rasplinjačem, koji je omogućavao rad pile u svim položajima. Prateći nove trendove, Stihl 1954. proizvodi model BLK točnije laganu i kompaktnu pilu sa Ottovim motorom koja nije imala izravan prijenos, već zupčaničku transmisiju. Kućišta pila su bila magnezijaska dobivena ljevanjem u metalnim kalupima dok su se ostali dijelovi dobivali proizvodnim tehnologijama u skladu s tadašnjim dostignućima u tom području.[2]



Slika 4. Motorna pila Stihl BLK [2]

Ostali proizvođači poput ruskog Dzeržinski, istog desetljeća izlaska Stihlovog BLK, započinje masovnu proizvodnju motornih pila i to modela poput Družba, Ural te kasniji model Tajga.

Krajem tog desetljeća, danas dva vodeća diva u proizvodnji motornih pila, Stihl i Husqvarna, predstavljaju vrlo uspješne modele pila koji su ih smjestili na vodeća mjesta u svijetu. Jedni od tih modela su Husqvarin model A90 i Stihlova Contra.

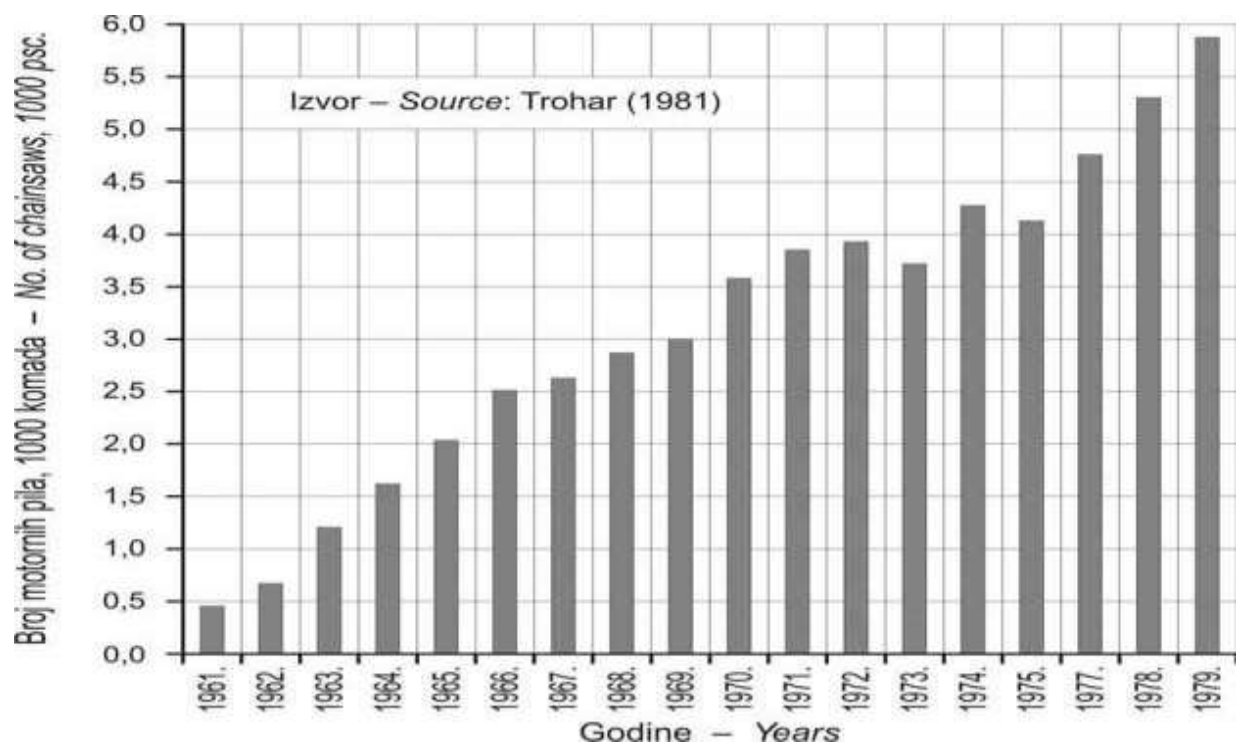


Slika 5. Motorna pila Husqvarna A90[2]



Slika 6. Motorna pila Stihl Contra[2]

Stihl Contra motorna pila, kao i Stihl BLK, značajne su za hrvatsko šumarstvo jer je s njima ostvaren prijelaz s ručne na ručno-strojnu sječu drva šezdestih godina dvadesetoga stoljeća.[2]



Slika 7. Rast broja motornih pila u odnosu na godine dvadesetog stoljeća [2]

Na slici 7 se vidi kako broj korisnika motornih pila iz godine u godinu sve više raste, te samim time raste i proizvodnja motornih pila što zahtijeva razvoj i proizvodnju novih modela kao i dijelova za dugotrajniju i sigurniju obradu drva i drugih materijala.

### 3. MOTORNE PILE LANČANICE

Motorna pila lančanica je prijenosna mehanička pila kod koje rezanje obavljaju rezni zubi pričvršćeni na rotacioni lanac koji se okreće uzduž vodilice. Lanac dobiva pogon pomoću spojke koja prenosi mehaničku energiju dobivenu od strane motora na lančanik na kojem je vezan lanac.

Najviše se koriste za rezanje drva ali i za pogon priključnih strojeva (rezači metala i kamena, škare za živice i sl.).

Primjenju se u : -drvnoj industriji

-šumarskoj industriji

-građevinarstvu

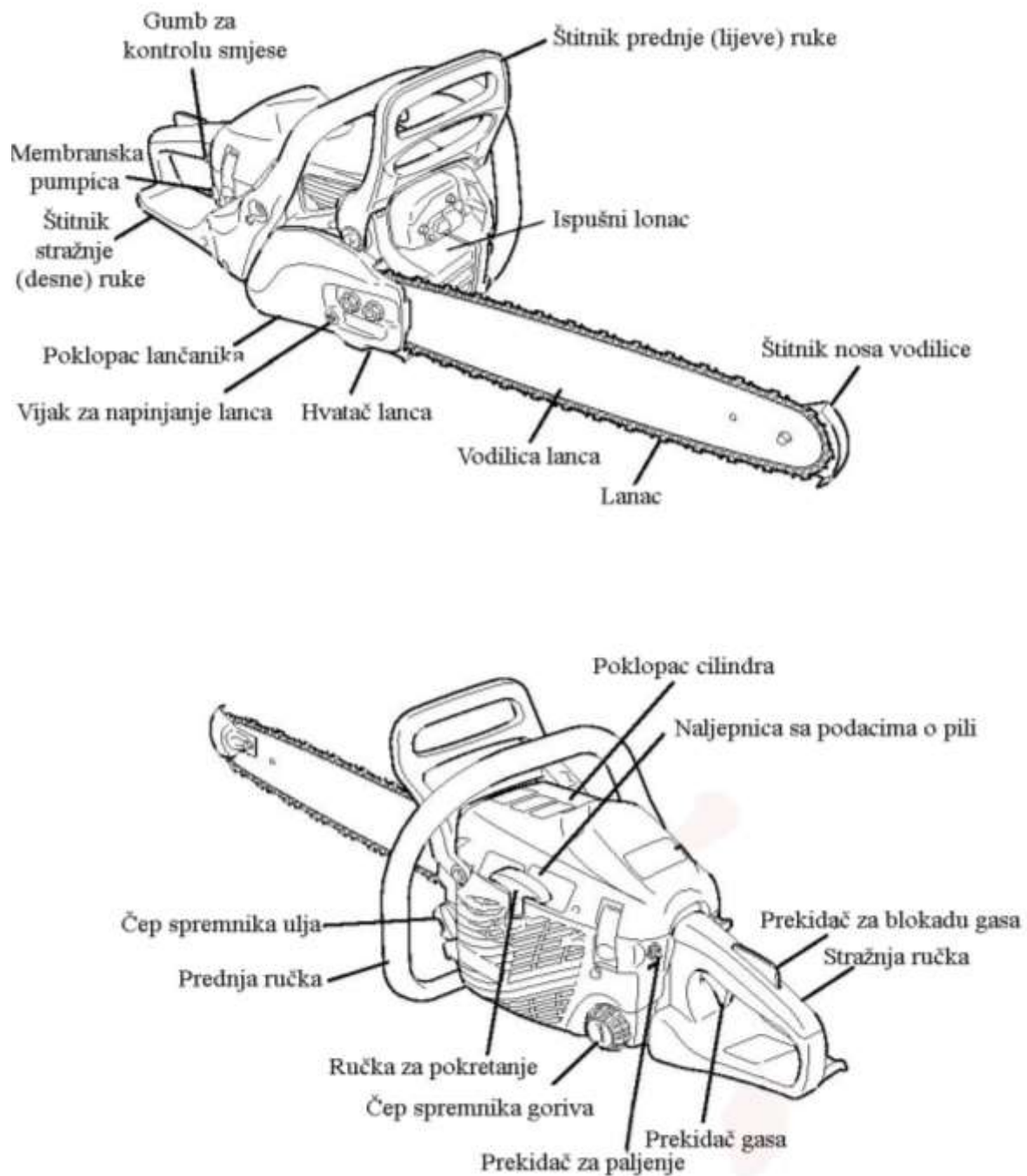
-poljoprivredi

Tablica 1. Opća podjela motornih pila [3]

Vrsta pile	Radni volumen (cm <sup>3</sup> )	Snaga motora kW	Masa pile kg	Dužina vodilice cm	Potrošnja goriva l/h
lake	60	2,2	6,0	30 - 40	1,0
srednje teške	80	3,3	9,0	40 - 50	2,0
teške	100	4,0	12,0	40 - 60	2,5
vrlo teške	130	5,5	14,0	60	3,0



### 3.1. KONSTRUKCIJA MOTORNE PILE



Slika 8. Opći dijelovi motorne pile[4]

Motorna pila se sastoji od tri glavna dijela a to su: a) pogonski dio  
 b) prijenosni dio  
 c) radni dio.

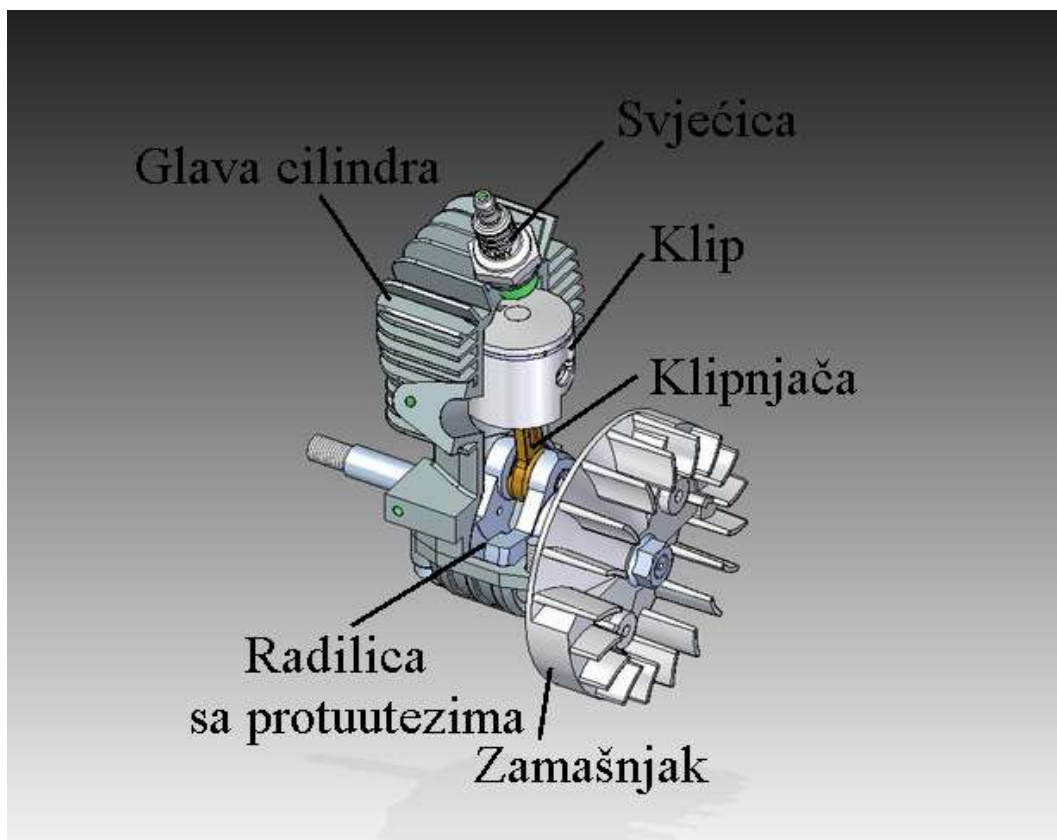
### 3.1.1. Pogonski dio motorne pile

Pogonski dio se najčešće sastoji od:

- motora
- sustava za gorivo
- sustava za paljenje
- sustava za pokretanje i hlađenje
- sustava za ispuh
- regulatora broja okretaja[3]

#### *Motor motorne pile*

Motor je najčešće jednocilindrični dvotaktni benzinski motor sa zračnim hlađenjem. Može biti i električni, hidromotor i pneumatski motor, ali upotreba ostalih tipova motora je zanemariva.



Slika 9. Motor s osnovnim dijelovima [5]

Osnovni dijelovi motora motorne pile su:

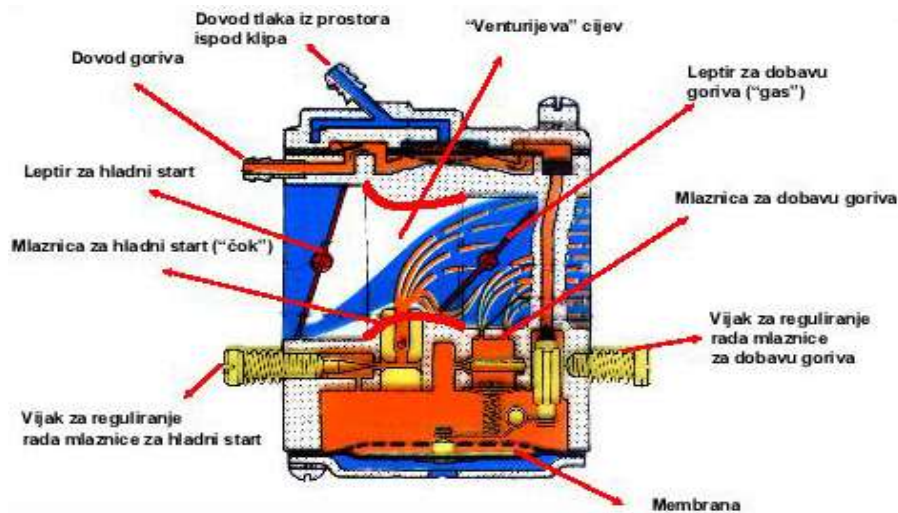
- cilindar – izrađen u jednom komadu od legure lakih metala; ima otvor za svjećicu; na vanjskoj strani rebra za hlađenje te je kromiran sa unutrašnje strane
- karter – nepropusno povezan sa cilindrom
- klip – izrađen je od lagane aluminijske legure i sadrži najčešće dva čelična prstena
- klipnjača – izrađena od kvalitetnog čelika, igličastim ležajem vezana za radilicu te prenosi kretanje klipa na radilicu
- radilica – izrađena od kvalitetnog legiranog čelika i isporučuje se zajedno sa klipnjačom i protuutezima. Pomoću valjkastih ležaja oslonjena je na kućište motora i prenosi kružno gibanje na lančanik.
- zamašnjak – služi za pohranjivanje energije prilikom rotacije, smanjuje triranje motora i buku.

### *Sustav za gorivo*

Uloga gorivnog sustava je da snabdijeva motor sa gorivom potrebnim za rad istog.

Najčešće se sastoji od tri glavna dijela:

- rezervoar za smjesu – volumen ovisi o vrsti o pile (najčešće se kreće od 0,5 – 1,4 l), sadrži smjesu benzina i ulja dok usisna glava sa sitom i filterom uvijek leži u smjesi goriva.
- rasplinjač – najčešće je membranskog tipa, i sastoji se od pumpnog dijela, regulacionog dijela i karburatorske cijevi. Omogućuje rad pile u svim položajima i osigurava pravilan omjer zraka i benzina (1:15). Njegovo podešavanje se izvodi kada je filter za zrak čist i motor ugrijan na radnu temperaturu.



Slika 10. Rasplinjač sa membranom [6]

- filter za zrak – može biti izrađen od tkanine ili finog čeličnog sita. Postavlja se u posebno ležište na kućištu i pokriva poklopcem s otvorom za zrak te je povezan sa karburatorskom cijevi. Čisti se sa stlačenim zrakom iz kompresora a može se i oprati čistom toplom vodom.

### *Sustav za paljenje*

Služi za stvaranje iskre na svjećici čime je omogućeno brzo sagorijevanje smjese goriva i zraka.

Paljenje može biti: - magnetsko - dobivanje električne struje visokog napona 5000 - 25000.

- elektronsko – ostvaruje se pomoću kondenzatora visokog napona ili tranzistorima.
- paljenje mehaničkim prekidačem – sustav se sastoji od zamašnjaka sa stalnim magnetima, svitka sa namotajima žice, prekidača struje, kondenzatora i svjećice.

### *Sustav za pokretanje i hlađenje*

Glavna zadaća sustava za pokretanje je stavljanje motor u pogon.

Dijelovi sustava za pokretanje su: - bubanj za namotavanje užeta

- uže za pokretanje
- povratna opruga
- ručka užeta

Hlađenje motora se izvodi pomoću rebra za hlađenje na cilindru (radi boljeg hlađenja rebra uz cilindar su šira dok se prema vrhu sužavaju) i/ili pomoću ventilatora na zamašnjaku.[3]

### *Sustav za ispuh*

Namjena sustava za ispuh je odvod plinova nastalih izgaranjem goriva i smanjenje buke.

Vrste ispušnih lonaca koji se koriste kao prigušivači buke su: refleksni, interferencijski i apsorbcijski.

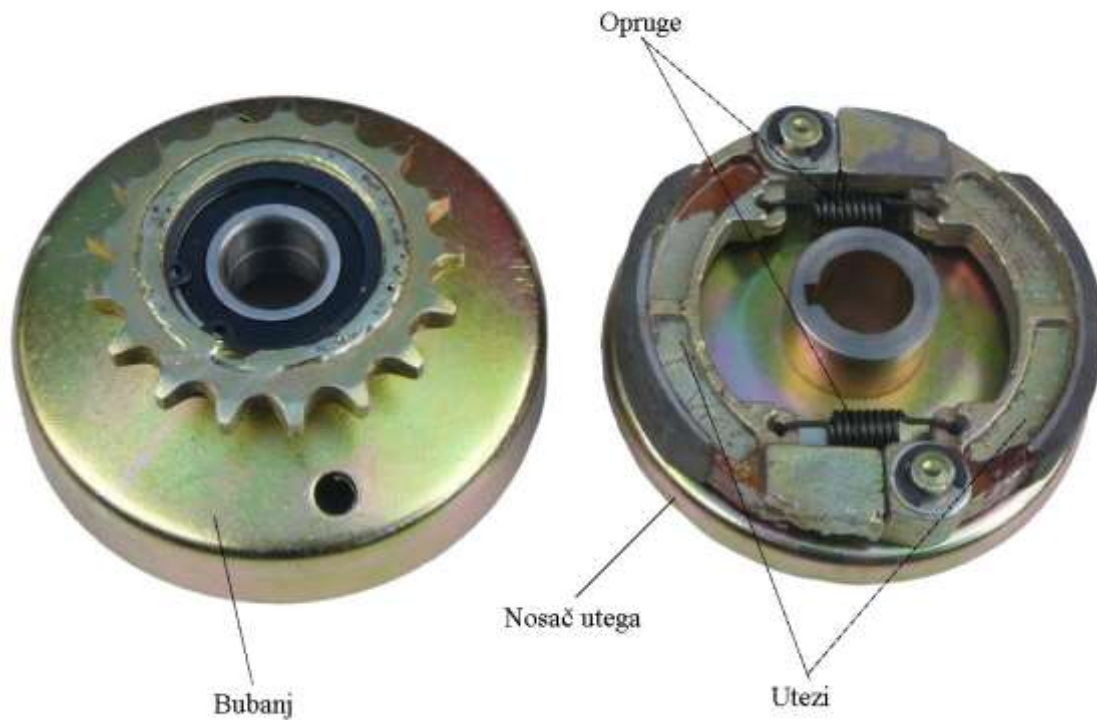
### *Regulator broja okretaja*

Služi da ograničava broj radilice motora u granicama koje je odredio proizvođač pile.

## **3.1.2. Prijenosni dio motorne pile**

Prijenosni dio motorne pile izveden je pomoću automatske centrifugalne spojke čiji je zadatak da prenosi okretni moment radilice motora na lančanik koji pokreće lanac.

Centrifugalna spojka se nalazi s unutrašnje strane lančanika i ona je veza između motora i lanca pile. To je dio motorne pile koji omogućuje mirovanje lanca kada motor radi u praznom hodu, odnosno pokretanje lanca prilikom ubrzavanja motora. Kod manjeg broja okretaja radilice, spojka se slobodno okreće u bubnju dok kod većeg broja okretaja radilice utezi se uslijed djelovanja centrifugalne sile "priljube" uz unutrašnjost bubnja i pokrenu lančanik. Smanjenjem broja okretaja radilice, opruge vraćaju utege u prvobitan položaj. Prikaz dijelova centrifugalne spojke dan je na slici 11. [7]



Slika 11. Prikaz dijelova centrifugalne spojke [7]

### 3.1.3. Radni dio motorne pile

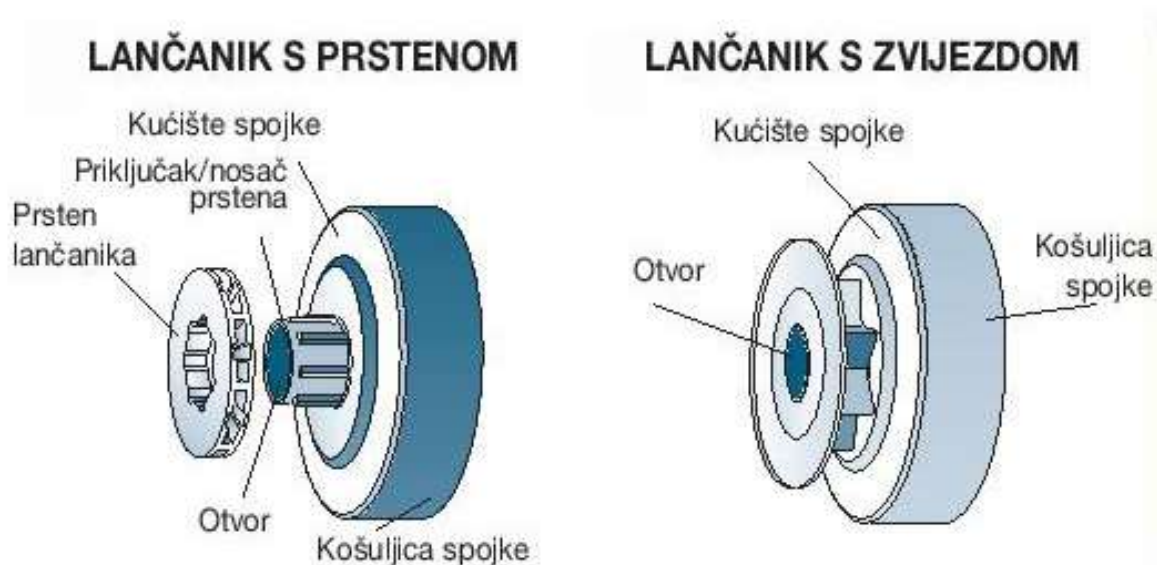
Radni dio motorne pile se sastoji od:

- Pogonskog lančanika
- Vodilice lanca
- Reznog lanca
- Sustava za podmazivanje[3]

#### *Pogonski lančanik*

Pogonski lančanik zajedno sa centrifugalnom spojkom i pojasnom kočnicom nalazi se s desne strane pile ispod poklopca lančanika s desne strane pile. Poklopac je za kućište pričvršćen pomoću dva vijka (kod manjih motornih pila samo s jednim vijkom) i njegova uloga je zaštita radnika od lanca koji rotira i učvršćenje vodilice s lancem za kućište pile.

Pogonski lančanik je dio motorne pile uz pomoć kojeg se s koljenastog vratila preko centrifugalne spojke prenosi snaga i brzina vrtnje prema lancu. Izrađuje se od visokokvalitetnog čelika otpornog na trošenje i izrađuje se u obliku zupčanika sa 6 do 9 zubaca. Postoje dva različita tipa pogonskog lančanika. Prvi je lančanik sa zvijezdom koja je pričvršćena za tijelo lančanika i to je tzv. zvijezdasti lančanik, a drugi tip je prstenasti lančanik kod kojeg se uslijed istrošenosti mijenja samo prsten koji pogoni lanac. Prstenasti lančanik se uglavnom koristi na većim motornim pilama s duljim vodilicama. Općenito se smatra da je radni vijek lančanika jednak radnom vijeku 2 lanca. Previše istrošen lančanik oštećuje pogonske članke lanca koji onda posljedično oštećuju vodilicu lanca pa dolazi do stvaranja većih vibracija prilikom rada i na kraju smanjenja produktivnosti. Na slici 12 prikazani su oba lančanika sa dijelovima. [8]

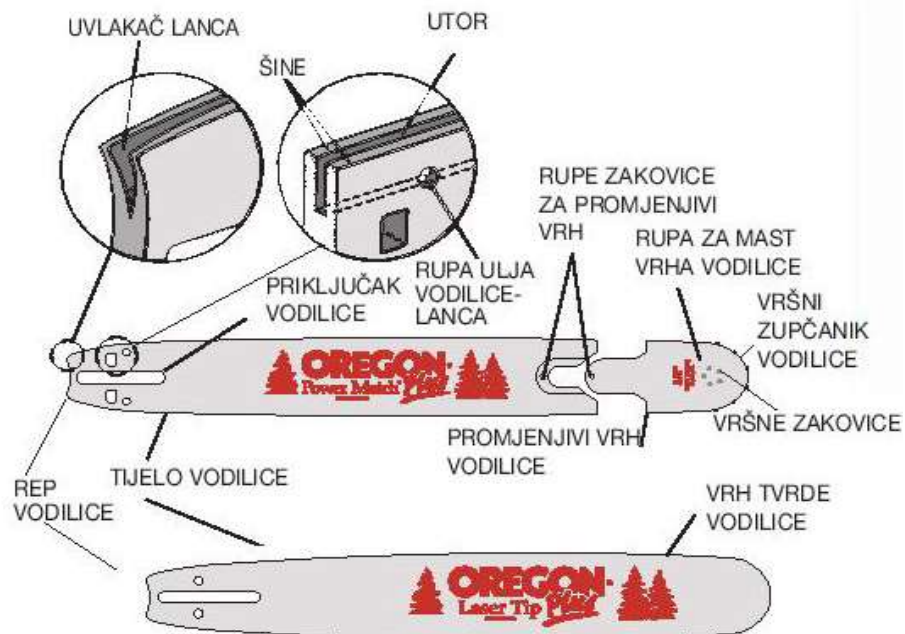


Slika 12. Vrste pogonskih lančanika [9]

### Vodilica lanca

Vodilica omogućuje vođenje i kretanje lanca. Najčešće se izrađuju od čelika otpornog na trošenje.

- Svaka vodilica mora sadržavati:
- žljeb za pogonske članke
  - prorez za svornjake kućišta pile
  - otvore za ulje za podmazivanje
  - otvor za vijak napinjača lanca



Slika 13. Vodilica lanca [9]

Postoje dva osnovna tipa vodilica. Prvi tip je vodilica koja na svom vrhu ima zakretnu zvijezdu (zupčanik) po kojoj se lanac prilikom rotacije vodi preko vrha vodilice. Takav tip vodilice omogućava lakši rad pile zbog smanjenog trenja prilikom klizanja lanca po vodilici. Mana takvih vodilica je što su dosta nestabilne u radu, pogotovo kada je potrebno izvršiti ubodni rez pa dolazi do pojave povratnog udara, ali su vrlo povoljne kada se koriste samo za prerezivanje.



Slika 14. Vodilica sa zakretnom zvijezdom na vrhu [6]

Drugi tip vodilice umjesto zakretne zvijezde ima vrh ojačan sa specijalnim metalom koji je otporniji na trošenje od ostatka vodilice. Usprkos podmazivanju kod klizanja lanca po takvoj vodilici, trenje je povećano pa je i okretanje lanca nešto teže u odnosu na vodilicu za



zakretnom zvijezdom. Takav tip vodilice je povoljniji za izradu ubodnog reza iz razloga što je prilikom rada s takvom vodilicom opasnost od povratnog udara smanjena.



Slika 15. Vodilica sa ojačanim vrhom [6]

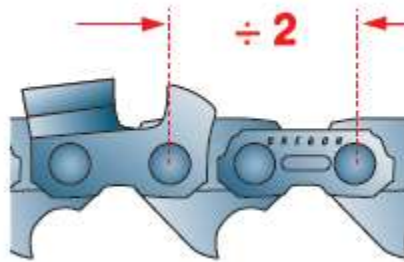
Vodilica lanca zahtjeva redovito održavanje i njeno stanje (istrošenost, oštećenja) je potrebno provjeravati svaki put prije početka rada. Bočne stranice utora vodilice moraju biti u istoj razini i ravne kako bi se spriječilo zapinjanje i iskakanje lanca. Utor vodilice mora biti čist od metalne prašine i krhotina koji mogu prouzročiti trajno oštećenje vodilice u slučaju kada je vodilica vruća pa se te krhotine metala mogu zapeći za samu vodilicu. Rupa na vodilici kroz koju prolazi ulje za podmazivanje lanca nužno je uvijek održavati čistim od prašine i drugih nečistoća. Svi ti elementi na vodilici čiste se univerzalnim alatom koji se isporučuje zajedno s pilom.[8]

### *Rezni lanac motorne pile*

Rezni lanac je najvažniji dio motorne pile jer je njime omogućeno rezanje drva. Lanac je poželjno redovno i pravilno kontrolirati i održavati jer u protivnom dolazi do slabijeg rezanja i oštećenja vodilice. Lanac je u obliku beskonačne trake sa nizom zubaca za sječenje. Svaki lanac motorne pile se sastoji od 3 osnovna elementa, a to su: zub rezač (lijevi i desni), pogonski član, spojni član i sigurnosni član. Članovi su međusobno povezani zakovicama, a njihova brojnost ovisi o dužini lanca, točnije o dužini vodilice lanca.[8]

Osnovne karakteristike lanca su:

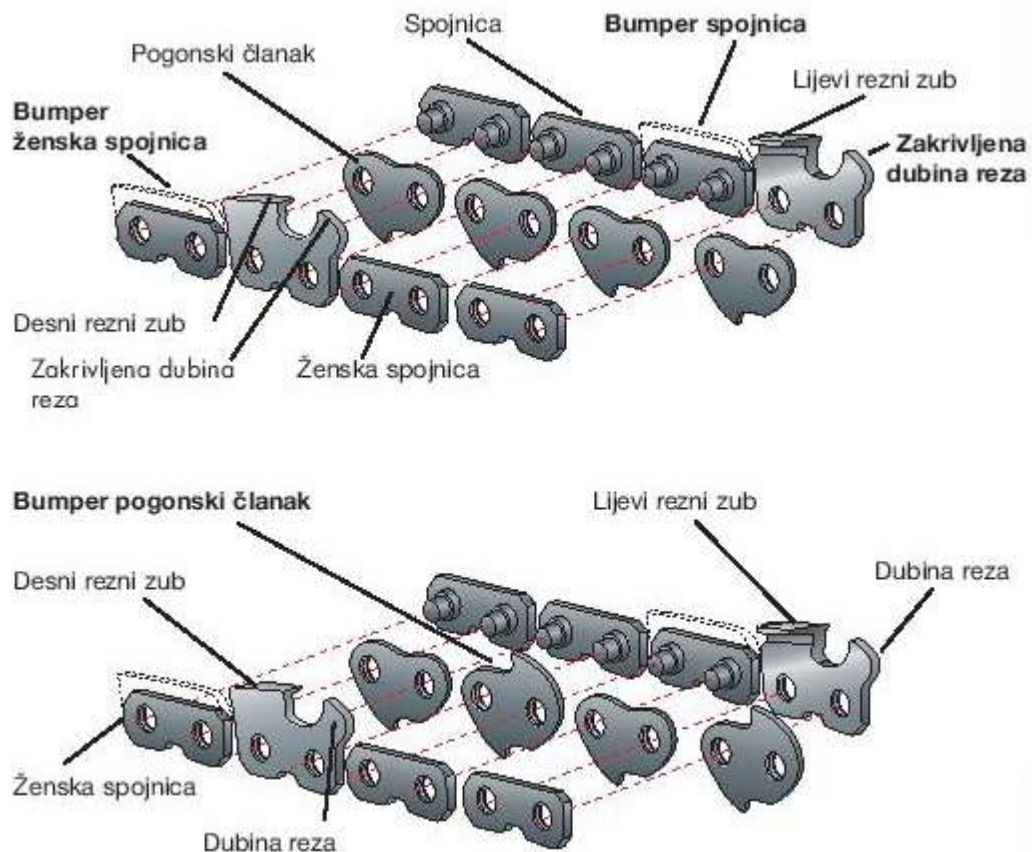
- Korak lanca – udaljenost između bilo koje tri uzastopne zakovice podijeljen sa dva.  
Rezultat je korak lanca izražen u jedinici inch (inč, col), npr. 3/8".  
Korak lanca je uglavnom utisnut na svakom reznom zubu lanca. S korakom lanca mora se poklapati i korak lančanika na kojem je isto tako utisnuta vrijednost koraka lanca.



Slika 16. Korak lanca [9]

- Širina lanca – širina ili debljina pogonskih članaka lanaca mora odgovarati širini utora vodilice. Širina može biti izražena u jedinici inch ili u mm.
- Dužina lanca – ovisi o dužini vodilice i broju članova lanca.

Na slici 16 prikazani su opći elementi reznog lanca.



Slika 17. Osnovni elementi reznog lanca motorne pile [9]

Napomena: “Bumper“ članci se koriste u cilju smanjenja mogućnosti pojave povratnog udarca.

Elementi reznog lanca su:

- Pogonski članovi – pretvaraju rotaciju pogonskog lančanika u linearno gibanje lanca. Vode lanac po vodilici te osiguravaju stabilnost istog u smjeru kretanja i prenose ulje za podmazivanje. Debljina pogonskih članova ovisi o vrsti lanca i proizvođaču.
- Spojni članovi – spajaju pogonske i rezne članove te donjim dijelom klize po žlijebu vodilice.
- Zakovice – spajaju članove lanca
- Rezni član ili rezni zubi – izrađuju se od super- čvrste legure čelika razvijene kroz opširno metalurško testiranje s dugim vijekom trajanja zahvaljujući tvrdo kromiranim reznim površinama i služe za rezanje drva.[9]

Postoje dvije osnovne vrste reznog zuba a to su desni i lijevi, a karakteristični elementi svakog reznog zuba prikazani su na slici 17.

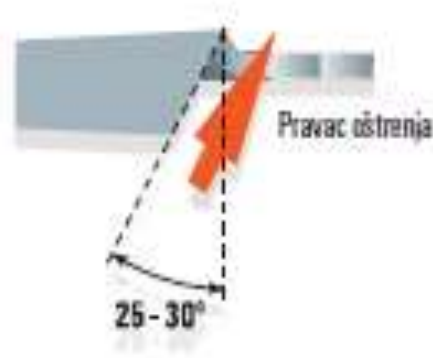


Slika 18. Karakteristični elementi reznog zuba [9]

Za različite vrste reznih zuba propisane su različite vrijednosti karakterističnih kuteva:

1) Kut brušenja vršne plohe

- Premali kut, lošiji učinak rezanja
- Preveliki kut, veća istrošenost rezača
- Preporučena vrijednost kuta brušenja se kreće u rasponu od 25-30°



Slika 19. Kut brušenja vršne plohe [9]

## 2) Kut rezanja vršne plohe

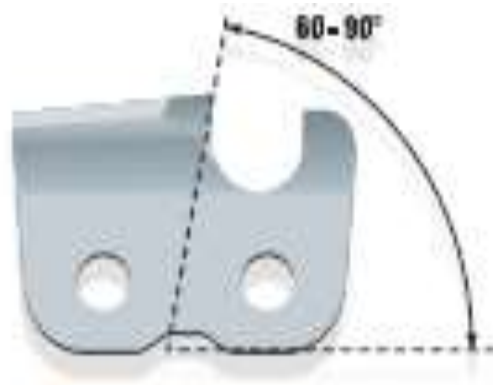
- Premali kut, rezni zubi previše zadiru u materijal te se samim time i brže troše, pila se tresce
- Preveliki kut, rezni zubi loše režu, potreba za jačim pritiskanjem pile, veća istrošenost lanaca
- Preporučena vrijednost  $60^\circ$



Slika 20. Kut rezanja vršne plohe [9]

## 3) Grebenski kut ili kut sječiva

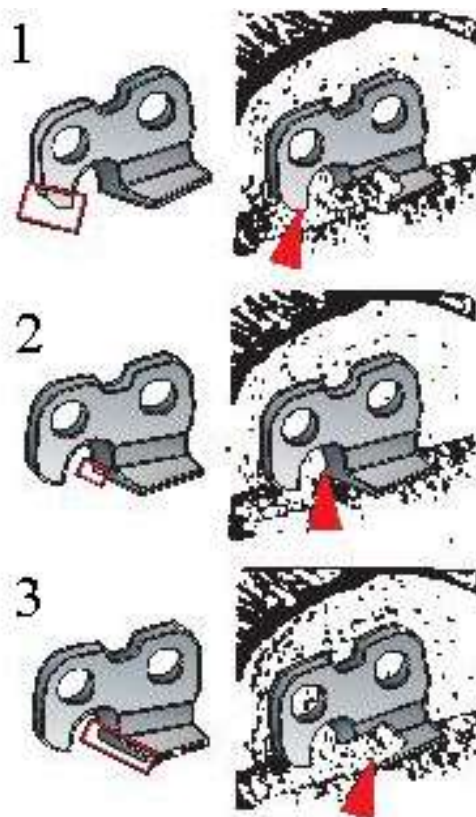
- Premali kut, tanko sječivo, brža istrošenost reznih članova
- Preveliki kut, lošiji učinak, veći pritisak na pilu, brža istrošenost spojnih i pogonskih članova
- Preporučena vrijednost se kreće u rasponu od  $60-90^\circ$



Slika 21. Grebenski kut reznog zuba [9]

Princip rada reznog zuba možemo opisati u 3 koraka i samim razumijevanjem istog možemo pridonijeti pravilnom održavanju lanca.

- 1) Rezna dubina klizi po drvu i određuje dubinu reza reznog kuta.
- 2) Radni kut i stranična pločica režu poprečne veze na drvetu. To je ujedno i najteži dio rezanja.
- 3) Rezni kut vršne pločice zarezuje drvena vlakna, podižući ih od površine drveta.[9]



Slika 22. Princip rada reznog zuba[9]

### Sustav za podmazivanje

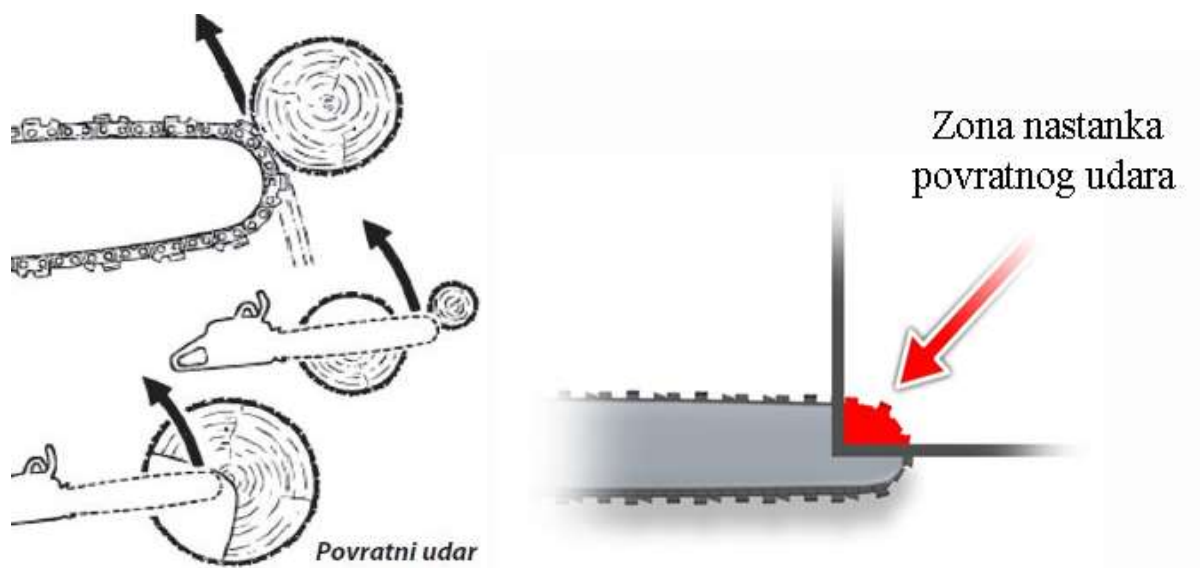
Sustav se koristi za podmazivanje vodilice i lanca.

Sastoji se od: - rezervoara za ulje (0,25 – 0,60 l )

- pumpe za ulje (dobiva pogon od lančanika i uključena je samo kad je uključen i lanac)
- otvori i kanalići za ulje ( na vodilici, pogonski članci...)

### 3.2. POVRATNI UDAR

Povratni udar je jedna od najopasnijih situacija koja može nastati prilikom rada s pilom. Nastaje kada lanac pile u zoni gornje četvrtine vrha vodilice nehotice zahvati drvo ili neki drugi nepomični predmet.



Slika 23. Nastanak povratnog udara [9]

Zona povratnog udarca se stvara na gornjem dijelu vrha mača i rad sa ovim dijelom predstavlja rizik od povratnog udara.. U slučaju povratnog udarca (lanac će uhvatiti drvo u zoni povratnog udarca) pila se zabacuje unazad i na gore snagom lanca koji se okreće.

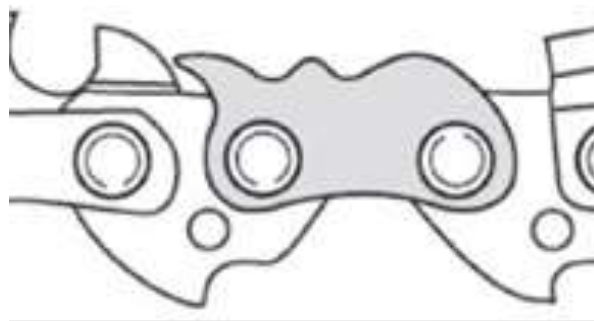
Ispitivanje lanaca vrši se pri stvarnim radnim uvjetima, tako da se drvo vlaži specijalnim prskajućim sustavom. Time stvaramo vlagu u drvetu i nakon što se stablo posijeklo, debla su ostavljena vlažna tako da bi stimulirala stvarne uvjete sječenja što je više moguće. Ispitivanje se prati računalom tako da se može očitati brzina pri kojoj dolazi do povratnog udara i položaj

vodilice pri nastanku udara. Također se može ustanoviti koja je vlažnost drveta kod koje je došlo do povratnog udara.[9]



Slika 24. Test na povratni udar [10]

Da bi se smanjila sklonost nastanka povratnog udara, danas su sve češće u upotrebi lanci sa modificiranim člankom prikazanim na slici 24.



Slika 25. Lanac sa modificiranim člankom [10]

## 4. MATERIJALI ZA LANCE

Za izradu lanca mogu se izabrati razni materijali. Izbor se pri obradi drva dodatno povećava činjenicom da se obrađuje materijal relativno niskih vrijednosti mehaničkih svojstva. Pri izboru materijala za izradu reznih lanaca mora se voditi računa o cijeni alata s jedne strane, a s druge strane maksimalno povećati postojanost. Također se želi da taj alat ima visoku otpornost na trošenje, ali istovremeno i žilavost. Stoga je prilikom izbora materijala za izradu lanca potrebno izvršiti analizu nužnih i poželjnih svojstava što ih izabrani materijal treba imati.

Materijal izrade članova lanca bit će ujedno i materijal reznog lanca.

Izbor materijala ima veliki utjecaj na ukupno vrijeme obrade, pa je time i njegov utjecaj na troškove proizvodnje veoma značajan. Materijali koji nam stoje na raspolaganju za izradu članaka lanca svrstavaju se po različitim radnim svojstvima, pretežno po tvrdoći i otpornosti na trošenje.

Elementi lanca se najčešće izrađuju od:

- Alatnih čelika ( nelegiranih i niskolegiranih)
  - najviše se koriste za izradu članova lanaca
  - tvrdoća ovisi o udjelu ugljika
  - postizanje martenzitne mikrostrukture na površini i eutektoidne mikrostrukture u jezgri, bolja žilavost, niska prokaljivost
  - jednostavni za toplinsku obradu
  - lakše obradivi odvajanjem čestica
  - povišenje određenih svojstava postupcima prevlačenja površine.[11]

Lako je uočljivo da alatni čelici nisu pogodni za rezne površine lanaca, onda se rezne površine reznog člana oplemjenjuju određenim kemijskim elementima poput kroma ili nikla koji povisuju otpornost površine na trošenje i kemijsku postojanost na okolne medije i okolinu. Čelici koji se koriste za izradu elemenata lanaca najčešće imaju bainitnu mikrostrukturu s mogućim česticama karbida (ovisno o postotku ugljika).

- Tvrđih metala
  - visoka cijena izrade
  - otpornost na trošenje, otpornost na koroziju i umor bolja nego kod alatnih čelika



- složena izrada elemenata lanca zbog teške obrade odvajanja čestica
- visok modul elastičnosti
- visoka tvrdoća i visoka vlačna čvrstoća na povišenim temperaturama
- obrađuju se samo brušenjem
- primjer tvrdog metala: legura sa 4- 15% kobalta + karbidi (WC, TiC, TaC).[12]



Slika 26. Rezni zub od tvrdog metala [10]

Rezni zub od tvrdog metala ima duži vijek trajanja, iznadprosječne performanse rezanja i otporan je na nečistoće i djelovanje okoline ili agresivnih medija. Ostaje oštar 4 puta dulje nego zub od alatnog čelika ali mana je što se ne može ručno brusiti. Brusi se kod proizvođača pomoću dijamante brusilice.



Slika 27. Lanac sa reznim zubima od tvrdog metala [10]

## 5. TROŠENJE MATERIJALA

Trošenje materijala može se definirati kao neželjeni gubitak krutog materijala s krutih površina koji nastaje zbog mehaničkih interakcija.

Obično se trošenje kvantificira određivanjem specifične brzine trošenja ( $\mu_{sp}$ ), mjerenjem volumetrijskog gubitka uzorka ( $V_{loss}$ ) pri primijenjenoj sili ( $F$ ) i putu klizanja ( $D$ ):

$$\mu_{sp} = V_{loss} / (F \cdot D) \quad (1)$$

Standardna mjerenja trošenja raznih materijala trebaju dati mjerljive rezultate promjene mase što ovisi o danom sastavu odabranih uzoraka.

Osnovni mehanizmi trošenja:

- Abrazija
- Adhezija
- Tribokorozija ili tribokemija
- Trošenje inducirano električnim lukom
- Utjecaji erozije i sudara
- Umor[13]

Mehanizmi trošenja opisuju se jediničnim događajima tj. slijedom događaja koji dovodi do odvajanja čestice trošenja s trošenje površine.

### 5.1. MEHANIZMI TROŠENJA LANCA MOTORNE PILE

Trošenje površine osnovnog materijala prisutno je svugdje gdje se izvodi obrada odvajanja čestica. Ne postoji materijal koji je potpuno otporan na trošenje jer je nemoguće postići odgovarajuća svojstva kojim bi se to realiziralo. [13]

Razumijevanje trošenja lanaca kod motornih pila lančanica jednako je važno za proizvođača i za korisnika. Na temelju trošenja motorne pile, proizvođač može procijeniti svojstva pile, potrebnu reznu silu i utrošenu energiju i što je najvažnije, kakav je utjecaj trošenja na reznu površinu reznog zuba. Dakako da se teži da se produlji vijek trajanja lanca, zato se isti podmazuje da bi se smanjio utjecaj topline u radu i prekomjerno trošenje članaka lanca.

U drvu, kao materijalu, prisutni su razni kemijski elementi poput silicija (takvo je drvo teže prerezat) i kiseline (jaka agresivna kiselina u drvu cedra) koje znatno povećavaju trošenje lanca i samim time smanjuju mu radni vijek.

Kod lanaca motornih pila razlikujemo 4 mehanizma trošenja a to su:

- 1) Abrazivno trošenje kod kojeg dolazi do grebanja površine, točnije trošenja istiskivanjem materijala. Ono nastaje kada tvrde čestice ili neravne hrapave tvrde površine kližu po mekšoj površini oštećuju istu do loma. Karakteristično za reznu površinu reznog zuba. [13]



Slika 28. Rezultat abrazivnog trošenja rezne površine reznog zuba

- 2) Adhezijsko trošenje koje nastupa kada se neravnine (izbočine) u kontaktu uslijed klizanja smiču što dovodi do odvajanja dijelova s jedne površine i naljepljivanjem čestica na drugu površinu.[13]

Karakteristično za bočne strane reznog zuba lanca. Ulje osim što podmazuje cijeli lanac, ono ujedno stvara sloj na bočnim površinama lanca koji sprečava naljepljivanje nečistoća i produkata obrade.

- 3) Tribokorozija ili kemijsko trošenje pri kojem prevladavaju kemijske i elektrokemijske reakcije članaka lanca sa okolinom. Nastaje kao rezultat reakcije članaka lanca sa vodom i drugim elementima u drvu. [13]

Što je manji udio vlage u drvetu, manja je mogućnost kemijskog trošenja ali ujedno i smanjena mogućnost pojave povratnog udara.



Slika 29. Primjer korodiranog reznog zuba

- 4) Umor materijala je pojava postupnog oštećenja materijala uslijed dugotrajnih periodičnih promjenjivih opterećenja. Utjecaj promjenjivih opterećenja može biti praćen i visokim ili niskim temperaturama, i istovremenim djelovanjem agresivnih medija. Pojavi umora izložen je velik broj dijelova i/ili strojarskih konstrukcija i transportnih sredstava. Zato čak 80 do 90% svih lomova kod strojarskih dijelova imaju karakter loma uslijed umora materijala. Umor se kvalificira pomoću tri stadija a to su: rast i stapanje nepravilnosti, formiranje pukotine, te njeno širenje do konačnog puknuća.

Kod lanaca motornih pila, umor se može javiti u pojedinim člancima lanca uslijed vibracija i/ili djelovanju promjena temperature i agresivnog medija. Da bi smanjili velik utjecaj vibracija cijele pile, današnji modeli motornih pila imaju anti-vibracijski sustav koji ublažava prijenos vibracija pogonskog i reznog sustava.



Slika 30. Lom lanca uslijed umora materijala članaka

Danas se teži postizanju da rezni članak ili zub lanca bude tvrd, žilav i otporan na pojavu umora materijala. Svaka prednost ima i neku manu tako i npr. ako imamo tvrd materijal, on je ujedno i krhak isto tako kao što žilavost ovisi o radnim temperaturama motorne pile. Najčešće se rezni članci izrađuju od čelika, koji je jeftiniji od tvrdih metala, dok se rezne površine oplemjenjuju odgovarajućim materijalima u cilju postizanja zadovoljavajućih svojstava tvrdoće, žilavosti i otpornosti na trošenje i koroziju.

## 6. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE UZORAKA

U eksperimentalnom dijelu ovog rada ispitivat će se 2 rezna zuba sa 2 različita rezna lanca motornih pila. Uzorak 1 je rezni zub izrezan sa lanca koji je radio u vlažnim uvjetima i pri niskim temperaturama u Lici, dok je uzorak 2 izrezan sa lanca koji je radio u normalnim uvjetima u okolici Zagreba.



Slika 31. Lanac uzorka 1



Slika 32. Lanac uzorka 2

Uzorci su izrezani sa lanaca u svrhu određivanja mikrostrukture reznog vrška zuba, tvrdoće reznog vrška te da bi utvrdili tragove trošenja na reznim površinama.



Slika 33. Uzorak 1



Slika 34. Uzorak 2

## 6.1. SKENIRAJUĆI ELEKTRONSKI MIKROSKOP (SEM) I EDS

SEM mikroskopi pojavili su se 60-tih godina 20 stoljeća i spadaju u skupinu elektronskih mikroskopa. Osnove rada SEM-a sastoje se od skeniranja površine ispitivanog uzorka vrlo precizno fokusiranim snopom elektrona. Uzorak se nalazi na nosaču u komori mikroskopa, a izvor elektrona je katoda smještena u emisionoj komori. Elektroni se ubrzavaju na putu između katode i anode koje se nalaze pod visokim naponom te se dalje fokusiraju i usmjeruju pomoću magnetskih leća na površinu uzorka.

Komora i kolona elektronskog mikroskopa za vrijeme rada nalaze se pod niskom ili visokim vakuumom. Prilikom udarca elektrona o površinu uzorka, događaju se razni efekti koje koristimo za dobivanje slike i provođenje analize u SEM-u.

SEM može koristiti tri osnovna tipa detektora:

- SE (engl. Secondary Electron) – detektor sekundarnih elektrona
- BSE (engl. Back Scatter Electron) – detektor povratnog raspršenja
- EDS (engl. Energy Dispersive Spectrometer) – energijsko disperzivni spektrometar

Prilikom sudara s atomskom jezgrom atoma koji grade uzorak, elektron iz elektronskog snopa mikroskopa se može odbiti natrag. Takve odbijene elektrone nazivamo elektroni povratnog raspršenja ili BSE (engl. Back Scatter Electron). Njih detektiramo pomoću BSE (engl. Back Scatter Electron) detektora povratnog raspršenja. BSE pokazuje uzorak u nijansama sive boje koje odgovaraju atomskim težinama atoma koji izgrađuju uzorak. BSE detektor koristi se za proučavanje razlika u kemijskom sastavu uzoraka, a ujedno smanjuje efekte izazvane nakupljanjem elektrona na površini uzorka (nabijanje), pa se uz njegovu upotrebu mogu snimati i uzorci koji nisu električki vodljivi.

Drugi važan efekt koji nam se događa u trenutku sudara elektrona iz snopa i uzorka je izbijanje elektrona iz elektronskog omotača atoma iz uzorka. Te izbijene elektrone nazivamo sekundarni elektroni ili SE (engl. Secondary Electrons). SE detektor prikazuje površinu uzorka u velikoj rezoluciji, pa je posebno pogodan za proučavanje morfologije. Kod izbijanja elektrona iz elektronskog omotača atoma ostaje prazno tzv. vakantno mjesto,

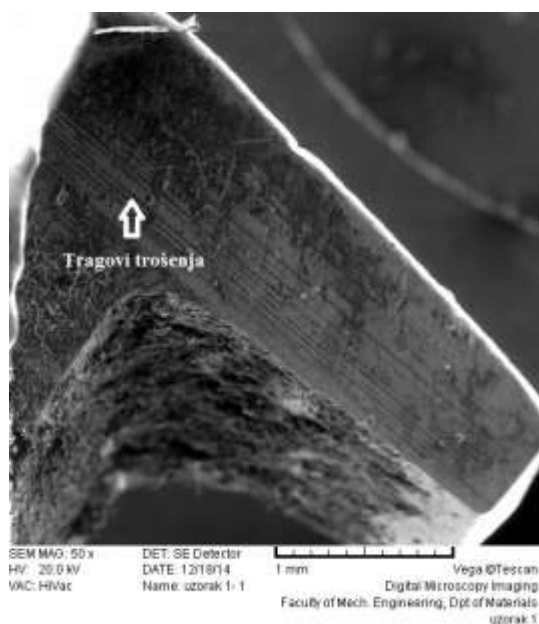
koje se popuni elektronom iz druge elektronske ljuske više energije. Prilikom tog skoka elektrona emitira se jedan kvant energije ili X-zraka.

Energija ovako nastalog zračenja karakteristična je za svaki kemijski element. Ovu vrstu zračenja detektira treća vrsta detektora, EDS detektor (engl. Energy Dispersive Spectrometer). Ovaj detektor služi za određivanje kemijskog sastava uzorka na temelju X-zraka koje emitira uzorak pod elektronskim snopom mikroskopa.[14]

### 6.1.1. REZULTATI SEM-A I EDS-A

Na SEM-u na Fakultetu strojarstva i brodogradnje napravljena je analiza površine vrška reznog zuba s ciljem određivanja masenih udjela pojedinih elemenata reznog zuba. Na uzorcima se mogu uočiti tragovi abrazivnog trošenja na reznom vršku. Također je vidljivo da je na uzorcima došlo i do naljepljivanja čestica drva.

#### Uzorak 1



Slika 35 . Trošenje bočne strane



Slika 36. Trošenje rezne površine zuba uzorka 1

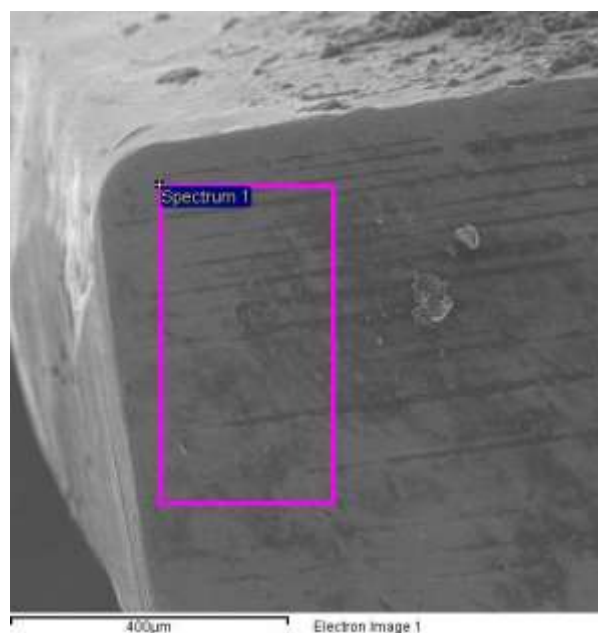




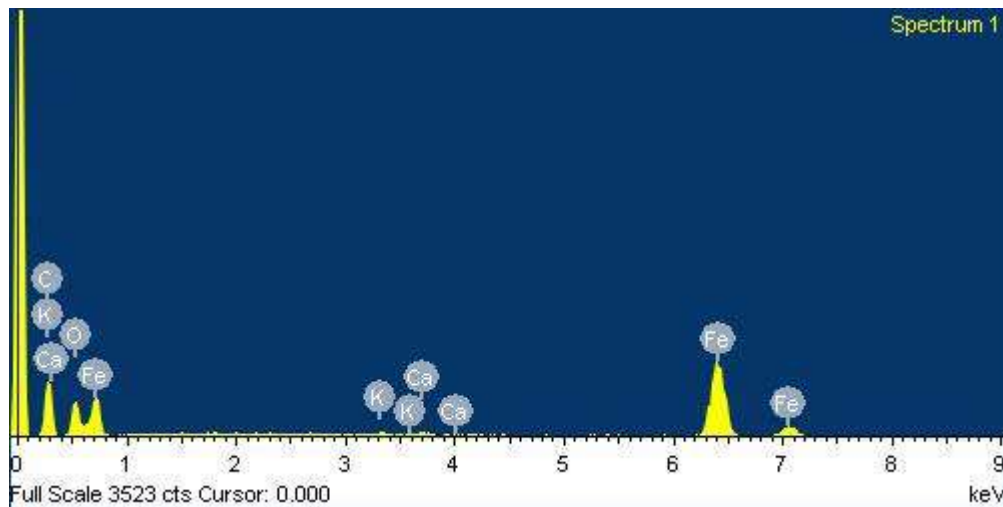
Slika 37. Naljepljivanje čestice drva

Na slikama 35 i 36. se vide tragovi abrazivnog trošenja tj. tamnije linije na površini uzorka, dok se na slici 37 vidi ujedno i naljepljena čestica drva na reznjoj površini zuba.

EDS analizom smo odredili maseni i atomski udio pojedinog elementa na površini reznog zuba označenog područja.



Slika 38. EDS analiza osnovnog materijala uzorka 1



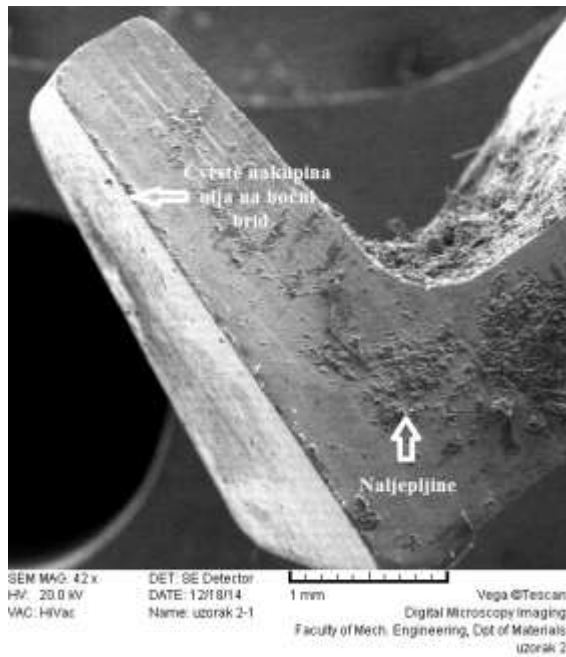
Slika 39. Spektar kemijskih elemenata analiziranog područja

Tablica 2. Maseni i atomski udio pojedinog elementa u materijalu uzorka 1

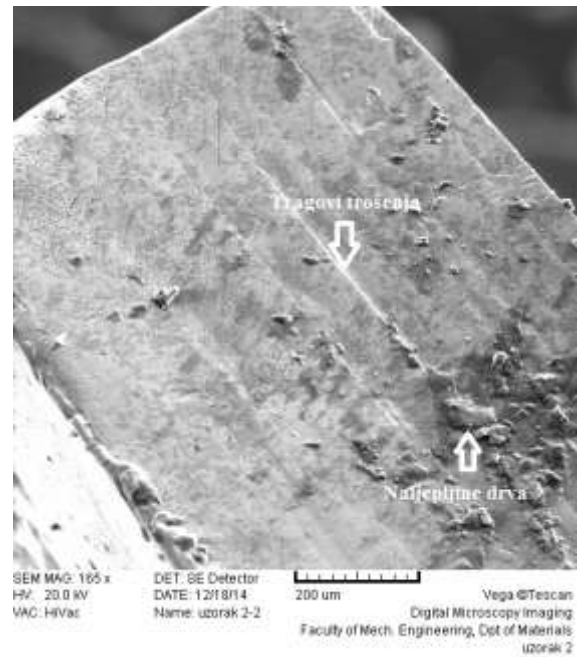
Element	Maseni%	Atomski%
C K	43.19	65.35
O K	19.81	22.51
K K	0.34	0.16
Ca K	0.37	0.17
Fe K	36.29	11.81
Ukupno	100.00	

Na osnovu dobivenog kemijskog sastava zaključujemo da se radi o nelegiranom čeliku. [15] Vidimo da u tablici imamo i elemente poput kalija i kalcija, ali to nisu legirni elementi nego su oni ostali na površini zuba zbog naljepljivanja čestica obrađivanog drva.

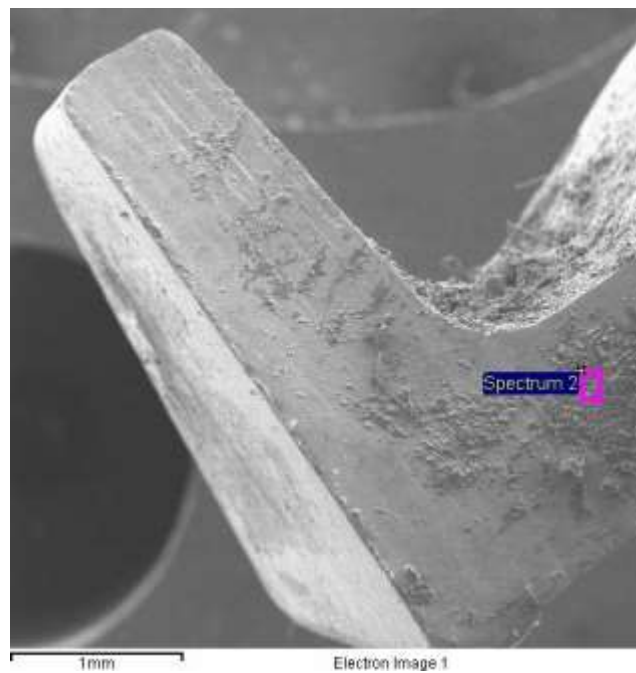
## Uzorak 2



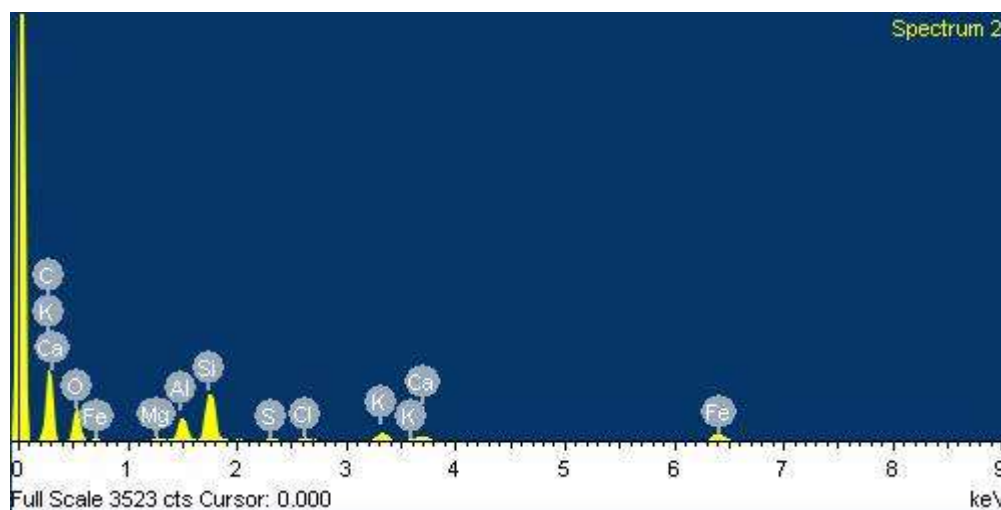
Slika 40. Naljepljine na bočnoj strani uzorka 2



Slika 41. Tragovi trošenja na reznoj površini uzorka 2



Slika 42. EDS analiza naljepljina na bočnoj strani uzorka 2



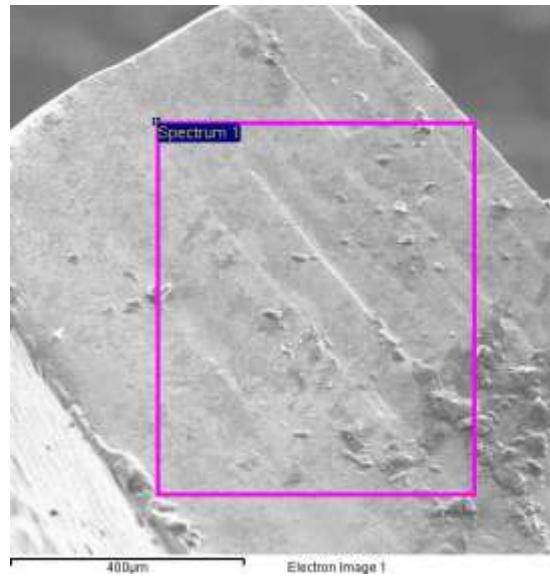
Slika 43. Spektar kemijskih elemenata naljepljina analiziranog područja

Tablica 3. Maseni i atomski udio elemenata naljepljina na bočnoj površini uzorka 1

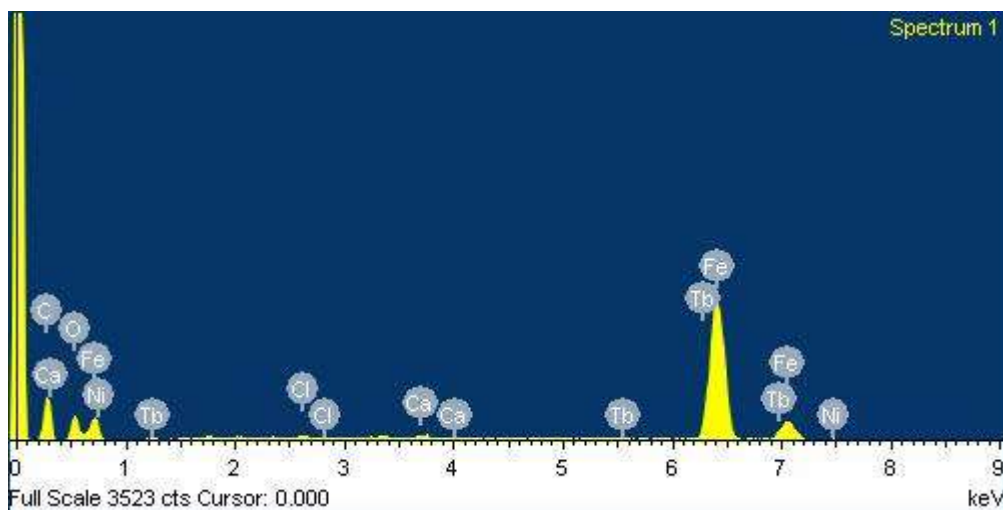
Element	Maseni%	Atomski%
C K	57.03	68.53
O K	27.63	24.93
Mg K	0.37	0.22
Al K	2.56	1.37
Si K	5.48	2.82
S K	0.21	0.10
Cl K	0.40	0.16
K K	1.41	0.52
Ca K	0.83	0.30
Fe K	4.07	1.05
Ukupno	100.00	

U naljepljinama na bočnoj površini uzorka 2 javljaju se neki elementi koje drvo kao zasebno ne sadržava. Povišeni maseni udio ugljika, mali udjeli magnezija, silicija, sumpora i klora ukazuju na kemijski sastav pepela. Nadalje na temelju analize možemo zaključiti da su

naljepljine na površini ustvari ostaci pepela koji je nastao pri doslovnom “gorenju“ drva uzrokovan velikom brzinom okretanja lanca i povišenjem radne temperature u zoni reza.



Slika 44. EDS analiza rezne površine uzorka 2



Slika 45. Spektar kemijskih elemenata analiziranog dijela uzorka 2

Tablica 4. Maseni i atomski udio elemenata na reznoj površini uzorka 2

Element	Maseni%	Atomski%
C K	29.37	59.74
O K	9.09	13.88
Cl K	0.37	0.26
Ca K	0.38	0.23
Fe K	57.80	25.28
Ni K	0.54	0.23
Tb L	2.45	0.38
Ukupno	100.00	

Na osnovu dobivenog kemijskog sastava analizirane rezne površine zuba zaključujemo da se radi o nelegiranom čeliku. [15]

Površina je oplemenjena sa niklom u svrhu povišenja otpornosti na trošenje.

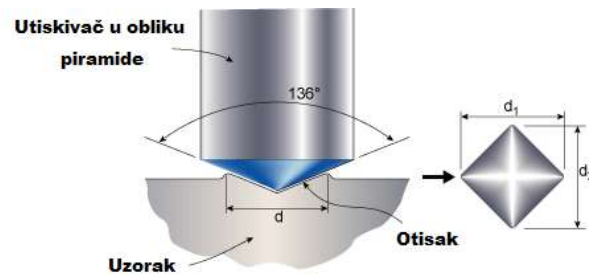
## 6.2. MJERENJE TVRDOĆE VICKERSOVOM METODOM (HV)

Ispitivanje se vrši dijamantnom piramidom sa vršnim kutem  $136^\circ$ . Otisak na materijalu je kvadratnog oblika, ali zbog nesavršenosti ispitivanja česta su odstupanja od kvadratnog oblika, pa se pri mjerenju površine otiska mjere obje dijagonale i uzima srednja vrijednost. Tvrdoća se dobije iz odnosa primjenjene sile i površine otiska. Vickersova tvrdoća se računa pomoću sile pritiska  $F$  (N) i srednje vrijednosti udaljenosti vrhova  $d_{HV}$  (mm). [16]

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{0,1981 \times F}{d_{HV}^2} \quad (2)$$

$$d_{HV} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

Gdje su  $d_1$  i  $d_2$  duljine dijagonala kvadrata otiska dijamantne igle.



Slika 46. Utiskivač i otisak kod Vickersovog ispitivanja[16]

### 6.2.1 REZULTATI ISPITIVANJA TVRDOĆE PO VICKERSU

Prije samog početka ispitivanja tvrdoće, površine na kojima će se vršiti ispitivanje bilo je potrebno odmastiti i očistiti u cilju dobivanja pravilnog i vidljivog otiska indentora. Zatim su uzorci uliveni u polimernu masu i ispolirane su ispitne površine, kao što se vidi na slici 47.



Slika 47. Pripremljeni uzorci 1 i 2

Mikrotvrdomjer je PMT-3 i ispitivala se tvrdoća gornje površine reznog zuba. Opterećenje je indenterom mase 200g, silom 1,962 N u trajanju 6 sekundi te se po uzorku radilo 5 mjerenja te je krajnja vrijednost tvrdoće njihova srednja vrijednost.

**Uzorak 1**

U tablici 5 prikazani su rezultati 5 mjerenja i izračunata je njihova srednja vrijednost tvrdoće uzorka 1.

Tablica 5. Rezultati mjerenja tvrdoće na uzorku 1

Broj mjerenja	Tvrdoća HV0,2	Srednja vrijednost
1	765	
2	566	
3	639	662
4	633	
5	707	

**Uzorak 2**

U tablici 6 su prikazani rezultati 5 mjerenja i izračunata je njihova srednja vrijednost tvrdoće uzorka 2.

Tablica 6. Rezultati mjerenje tvrdoće na uzorku 2

Broj mjerenja	Tvrdoća HV0,2	Srednja vrijednost
1	536	
2	593	
3	623	628
4	608	
5	780	



### 6.3. ANALIZA MIKROSTRUKTURE UZORAKA 1 I 2

Analiza mikrostrukture provedena je u Laboratoriju za materijalografiju Zavoda za materijale Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu na svjetlosnom mikroskopu OLYMPUS GX51. Mikrostruktura je analizirana u nagriženom stanju.

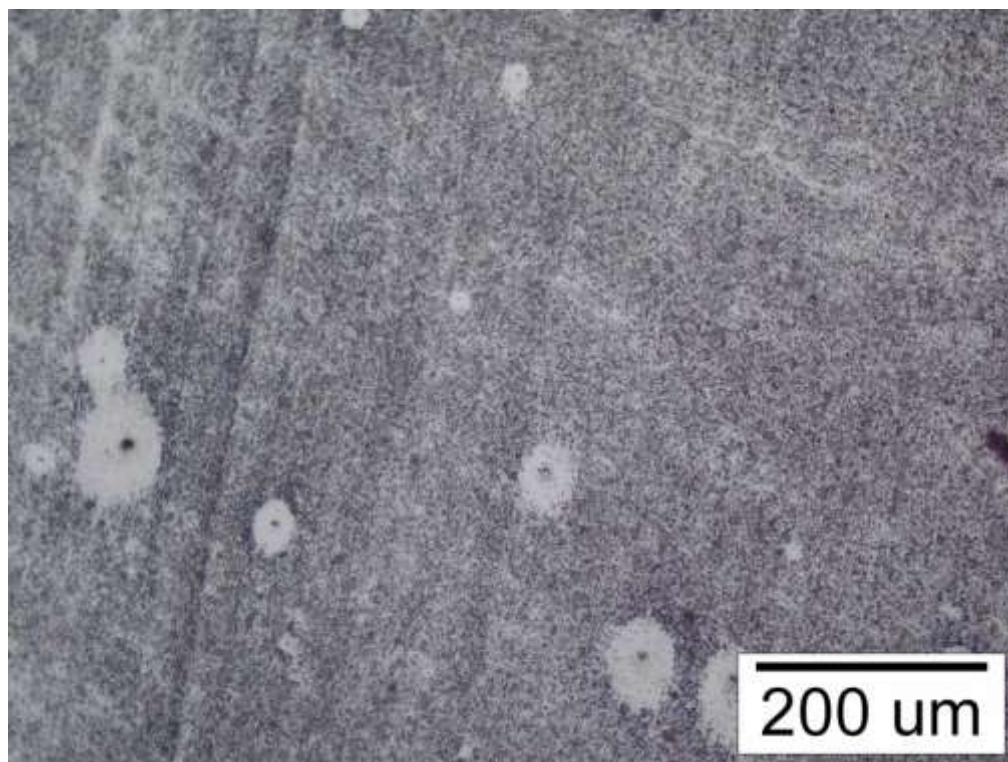
Nagrizanje je selektivno korodiranje materija sa ciljem dobivanja mikrostrukture uzoraka. Uzorci su nagrizani u smjesi kiselina HCl/NHO<sub>3</sub> u omjeru 3:1 u trajanju od 30 sekundi te su nakon nagrizanja isprani u vodi i alkoholu.



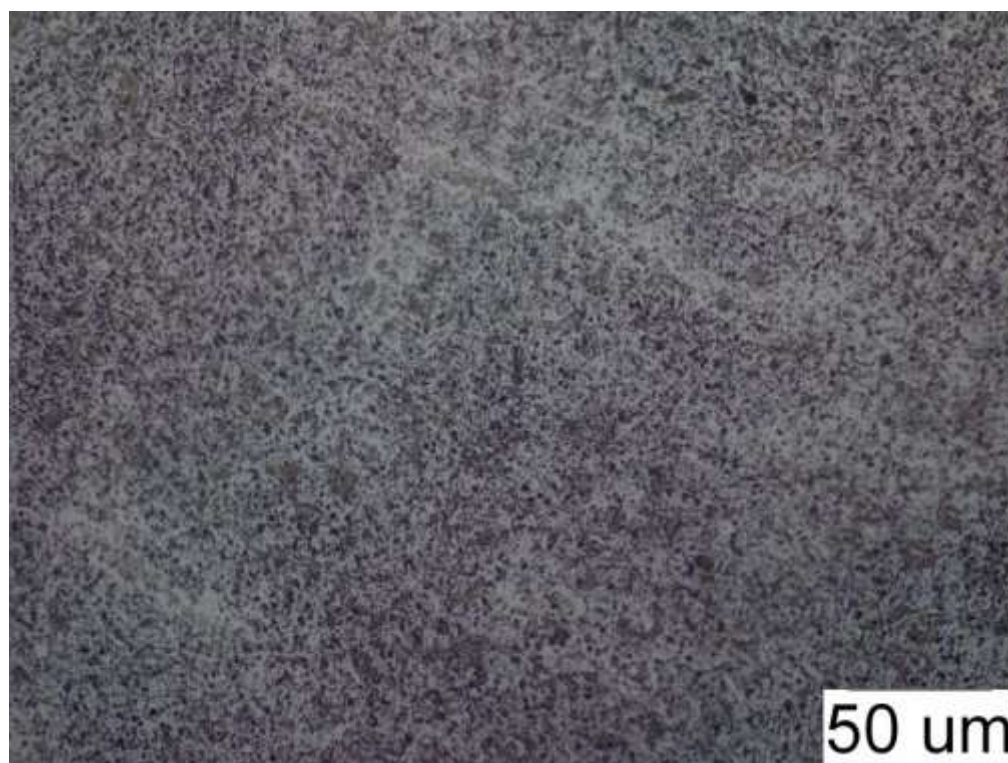
Slika 48. Nagrižene površine uzoraka 1 i 2

Mikrostruktura nagriženih površina uzoraka 1 i 2 dane svjetlosnim mikroskopom prikazane su na sljedećim slikama.

**Uzorak 1**



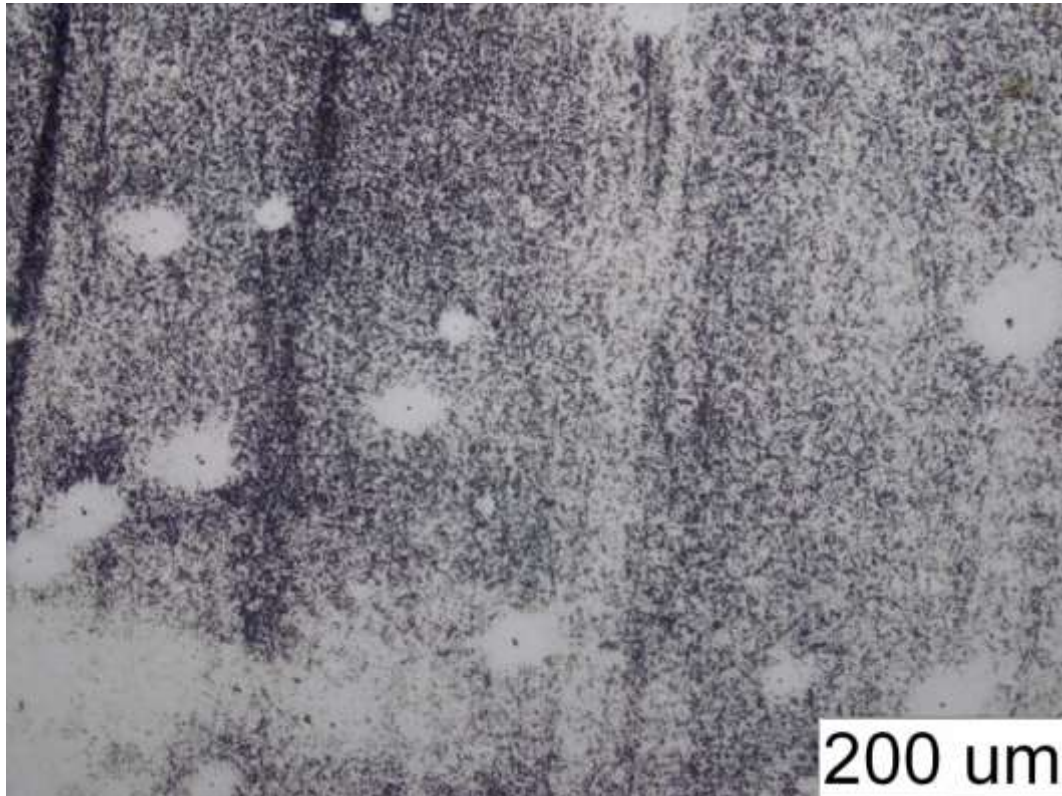
Slika 49. Mikrostruktura reznog člana uzorka 1 (povećanje 200 puta)



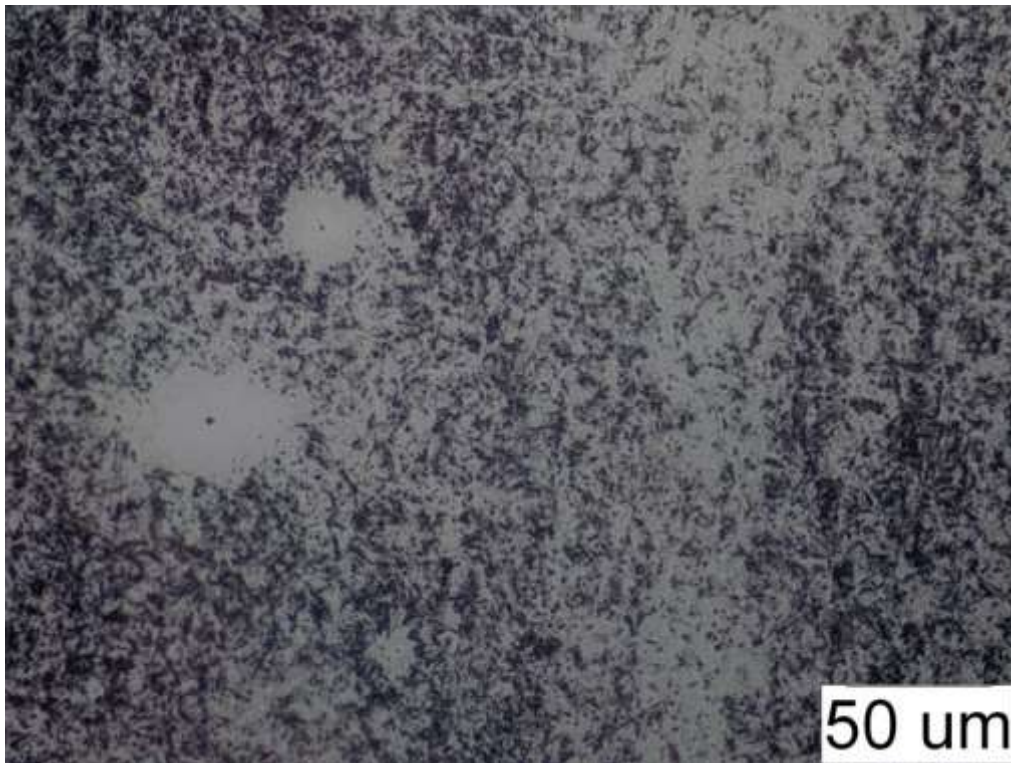
Slika 50. Mikrostruktura reznog člana uzorka 1 (povećanje 500 puta)

Na slikama 49 i 50 se vidi da se struktura čelika uzorka 1 sastoji od martenzitne matrice i sitnih čestica karbida (svjetlija područja). [19]

### ***Uzorak 2***



Slika 51. Mikrostruktura reznog člana uzorka 2



Slika 52. Mikrostruktura reznog člana uzorka 2

Na slikama 51 i 52 se vidi da se struktura čelika uzorka 2 sastoji od martenzitne matrice i sitnih čestica karbida. [19]

## 7 ZAKLJUČAK

Ispitivanje lanaca motornih pila lančanica potrebno je zbog utvrđivanja kvalitete proizvoda koji će izvršavati namijenjenu funkciju. Međutim, ispitivanje istog je također bitno zbog sigurnosti korisnika te se iz tog razloga lanci analiziraju i testiraju kako bi stupanj sigurnosti bio što veći.

Uslijed trošenja reznog zuba, oštri rezni bridovi rezne površine tupe i gube svoje geometriju i stabilnost u radu. Stoga je reznu površinu zuba potrebno brusiti da bi se sačuvala geometrija zuba i produžio vijek trajanja lanca.

Nakon provedenih ispitivanja na uzorcima 1 i 2 doneseni su sljedeći zaključci:

- Dominatni mehanizmi trošenja kod reznog elementa lanca su abrazija i adhezija.
- Nema primjera tribokorozije ni loma lanca
- Na uzorcima 1 i 2 su uočene naljepljine na reznoj i bočnoj površini reznog zuba i brazde nastale od trošenja na reznoj površini zuba
- EDS analizom reznih površina je uočeno da nema sloja kroma ili nikla otpornog na trošenje

Na temelju izmjerene tvrdoće i analize mikrostrukture ustanovljeno je da je materijal izrade lanca nelegirani alatni čelik.

## 8 LITERATURA

- [1] Đukić I; Utjecaj antivibracijskih rukavica na smanjenje vibracija koje se prenose na ruke operatera motornih pila lančanica; Šumarski fakultet; Zagreb; 2010.
- [2] J. Kranjec, T. Poršinsky; Povijest razvoja motorne pile lančanice; Šumarski fakultet; Zagreb; 2011.
- [3] <https://www.scribd.com/doc/186692983/14Motorna-Pila>
- [4] Echo Incorporated; Chainsaw instruction manual; Lake Zurich; USA; 2010.
- [5] <http://grabcad.com/library/2-stroke-chainsaw-motor>
- [6] Predavanja Strojevi za sječu i izradu; Motorne pile lančanice; Šumarski fakultet, Zagreb, 2012.
- [7] <http://www.explainthatstuff.com/how-chainsaws-work.html>
- [8] <http://www.gospodarski.hr/Publication/2012/22/rad-s-motornom-pilom-i-odnavanje/7728>
- [9] [http://www.oregonproducts.eu/fileadmin/support/2\\_technical/maintemanual/MM\\_HR.pdf](http://www.oregonproducts.eu/fileadmin/support/2_technical/maintemanual/MM_HR.pdf)
- [10] [http://www.stihl.com/p/media/download/sharpening\\_STIHL\\_saw\\_chains\\_0457-181-0121\\_02.pdf](http://www.stihl.com/p/media/download/sharpening_STIHL_saw_chains_0457-181-0121_02.pdf)
- [11] S. Kožuh; Specijalni čelici – skripta; Metalurški fakultet Zagreb; Sisak; 2010.
- [12] F. Cajner; Predavanja iz Posebnih metalnih materijala; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2014.
- [13] K. Grilec, I. Ivušić; Tribologija; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2011.
- [14] G. Mršić, S. Žugaj; Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX); stručni članak; Zagreb; 2007.
- [15] T. Filetin, F. Kovačićek, J. Indof; Svojstva i primjena materijala; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2006.
- [16] <http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Ispitivanje20tvrdoce.pdf>
- [17] B. Kraut; Strojarski priručnik; Tehnička knjiga; Zagreb; 2009.
- [18] T. Lyman, H. E. Boyer, W. J. Carnes, P. M. Unterwelser, H. Baker, H. C. Doepken, H. L. Waldorf, H. V. Bukovics, B. A. Caldwell, C.W. Kirkpatrick, J. W. Kothera; Atlas of microstructures of industrial alloys, American Society for Metals, Ohio, 1979.