

# Analiza uzroka kvara okretača sijena

---

Vukes, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:235:049530>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Vukes**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# Diplomski rad

Mentor:

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

Student:

Tomislav Vukes

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Suzani Jakovljević na utrošenom vremenu, trudu i stručnoj pomoći tokom izrade rada.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Darku Landeku na pruženim savjetima i pomoći pri izradi rada.

Zahvaljujem se asistentu Filipu Žanetiću, mag. ing. mech. na pruženoj pomoći i savjetima u izradi eksperimentalnog dijela rada.

Zahvaljujem se kolegi Hrvoju Despetoviću, mag. ing. mech. na donaciji stožnika koji je proučavan u radu.

Zahvaljujem svim prijateljima i kolegama na fakultetu koji su mi na neki način pomogli u savladavanju izazova s kojima sam se suočavao tokom studiranja.

Na kraju bih se zahvalio roditeljima, bratu, teti i ostatku obitelji na konstantnoj podršci i povjerenju tijekom studija.

Tomislav Vukes



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-04/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TOMISLAV VUKES** Mat. br.: 0035209565

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza uzroka kvara okretača sijena**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Failure analysis of the hay tedder**

Opis zadatka:

Košnjom trave i njenim sušenjem dobiva se sijeno koje se uglavnom koristi kao hrana za životinje. Razvojem tehnologije i agrotehničke mehanizacije proces dobivanja sijena je znatno olakšan. Unaprijeđenom mehanizacijom postiže se jednostavnije rukovanje sijenom i dobiva se kvalitetnija prehrana životinja u ruralnim dijelovima, čak i u zimskim razdobljima uz pravilno skladištenje baliranog sijena.

U radu je potrebno napraviti sljedeće:

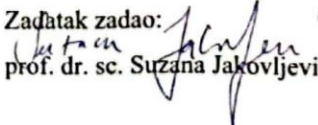
- 1) opisati sustave za košnju trave i sušenje sijena
- 2) navesti i opisati materijale koji se koriste za izradu okretača sijena
- 3) analizirati oštećenja odabranog dijela okretača sijena
- 4) komentirati rezultate i dati zaključak.

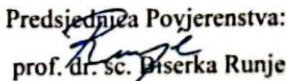
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
5. svibnja 2022.

Rok predaje rada:  
7. srpnja 2022.

Predvideni datum obrane:  
18. srpnja do 22. srpnja 2022.

Zadatak zadao:  
  
prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
2. Dobivanje sijena .....	2
2.1. Košnja sijena .....	2
2.2. Sušenje sijena .....	7
2.3. Prešanje sijena.....	11
3. Zupčanci .....	14
3.1. Stožnici.....	16
3.1.1. Stožnici s ravnim zubima.....	16
3.1.2. Stožnici s kosim zubima .....	18
3.2. Materijali zupčanika.....	18
4. Kvarovi zupčanika .....	22
5. Eksperimentalni dio .....	28
5.1. Vizualni pregled uzorka .....	30
5.2. Analiza mikrostrukture svjetlosnim mikroskopom.....	39
5.3. Analiza kemijskog sastava .....	43
5.4. Mjerenje tvrdoće .....	43
6. Zaključak .....	47
7. LITERATURA .....	48
PRILOZI.....	50

## POPIS SLIKA

Slika 1. Stog sijena [2] .....	1
Slika 2. Leguminozna vrsta Lucerna [4] .....	2
Slika 3. Ručna kosa [6] .....	3
Slika 4. Košnja trave ručnom kosom [5].....	3
Slika 5. Oscilirajuća bočna kosa za traktor IMT 539 [9] .....	4
Slika 6. Oscilirajuća bočna kosa montirana na traktor IMT 539 .....	4
Slika 7. Prijenos snage do bočne kose remenskim prijenosom od pogonske remenice na priključnom vratilu .....	5
Slika 8. Oscilirajuća kosa s prstima Gaspardo montirana na trozglobnu hidrauličnu poteznicu [10] .....	5
Slika 9. Oscilirajuća kosa s dva noža [7] .....	6
Slika 10. Rotacijska kosa s tanjurima [11] .....	7
Slika 11. Rotacijska kosa s bubnjevima[11] .....	7
Slika 12. Nošene zvjezdaste grablje [13] .....	8
Slika 13. Rotacijski okretač-rastresač proizvođača SIP [7] .....	8
Slika 14. Rotacijski okretač-prigrtlač proizvođača Deutz [7] .....	9
Slika 15. Rotacijske grablje proizvođača SIP [14].....	10
Slika 16. Rotacijske grablje proizvođača Claas[7].....	10
Slika 17. Okretač s beskrajnom trakom s elastičnim zupcima (prstima) .....	11
Slika 18. Povezivanje traktora i okretača trozglobnom hidrauličnom poteznicom i kardanskim vratilom .....	11
Slika 19. Preša za male četvrtaste bale Massey Ferguson [15].....	12
Slika 20. Shema rada preše sa elastičnom komorom [7].....	12
Slika 21. Shema rada preše sa tlačnom komorom stalnog oblika [7] .....	13
Slika 22. Preša za valjkaste bale proizvođača Metal Fach [16] .....	13
Slika 23. Primjer viševretene bušaće glave [19] .....	14
Slika 24. Vrste zupčanika [17] .....	15
Slika 25. Podjela čelnika prema obliku bokova [17] .....	15
Slika 26. Podjela stožnika prema obliku bokova [17].....	15
Slika 27. Dobivanje stožnika iz čelnika [18].....	17
Slika 28. Stvaranje evolvente kugle [18] .....	17
Slika 29. Zahvat stožnika s kosim zubima [18] .....	18
Slika 30. Pukotina na zupčaniku izazvana umorom materijala [25] .....	24
Slika 31. SEM slika pukotine nastale progresivnim jamičenjem [26] .....	25
Slika 32. Mikrojamičenje [24] .....	26
Slika 33. Rupičenje [24] .....	27
Slika 34. Ljuskanje [24] .....	27
Slika 35. Okretač sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T [27] .....	28
Slika 36. Shema dijelova okretača sijena sa označenim stožnikom [28] .....	29
Slika 37. Shema dijelova jednog rotora okretača sijena [28] .....	30
Slika 38. Tragovi trošenja ( <i>pitting</i> ) na cijelom obodu stožnika .....	31
Slika 39. Oštećeni stožnik .....	31
Slika 40. Oštećeni stožnik-odozgo .....	32
Slika 41. Pukotina nasuprot utora za pero-odozgo.....	33
Slika 42. Pukotina nasuprot utora za pero-unutrašnja strana .....	33
Slika 43. Pukotina nasuprot utora za pero-vanjska strana.....	34
Slika 44. Zavari na donjoj strani stožnika .....	34

Slika 45. Zavar na kraju pukotine nasuprot utora za pero.....	35
Slika 46. Izrezani dijelovi oštećenog stožnika .....	36
Slika 47. Izrezani dio s pukotinom i utorom za pero-odozgo .....	36
Slika 48. Izrezani dio s pukotinom i utorom za pero-vanjska strana .....	36
Slika 49. Prikaz unutrašnjeg dijela stožnika-utor za pero .....	37
Slika 50. Preostali dijelovi stožnika na originalnim pozicijama .....	37
Slika 51. Uzorak nakon nagrizanja s označenim detaljem.....	39
Slika 52. Mikrostruktura u jezgri stožnika-500x povećanje .....	40
Slika 53. Mikrostruktura na rubu zuba-500x povećanje .....	40
Slika 54. Pukotina na uzorku.....	41
Slika 55. Uvećan prikaz pukotine .....	41
Slika 56. Mjerenje radijusa pomoću programskog paketa <i>ImageJ</i> .....	42
Slika 57. Dodir u dvije točke vratila i glavine [17].....	42
Slika 58. Oblik indentora i kontaktne površine kod Vickers metode[29].....	44
Slika 59. Vrijednosti tvrdoće na različitim udaljenostima od površine .....	46



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Materijali zupčanika [18,21,22] .....	19
Tablica 2. Utjecaji na kvarove zupčanika [18].....	22
Tablica 3. Vrste oštećenja zupčanika [18] .....	22
Tablica 4. Karakteristike okretača sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T [27].....	28
Tablica 5. Parametri brušenja.....	38
Tablica 6. Parametri poliranja .....	38
Tablica 7. Kemijski sastav uzorka.....	43
Tablica 8. Rezultati prvog niza mjerenja tvrdoće .....	45
Tablica 9. Rezultati drugog niza mjerenja tvrdoće .....	45

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis oznake</b>
<i>b</i>	mm	Širina zupčanika
<i>HB</i>	-	Tvrdoća po Brinellu
<i>HV</i>	-	Tvrdoća po Vickersu
<i>m</i>	kg	Masa
<i>m</i>	mm	Modul zupčanika
<i>p</i>	mm	Korak zupčanika
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	Statička čvrstoća u korijenu zuba
$\sigma_{F\ lim}$	N/mm <sup>2</sup>	Istosmjerno promjenljivo opterećenje korijena

## **SAŽETAK**

Moderna agromehanizacija znatno pojednostavljuje i olakšava posao obrade i skladištenja sijena, ali upotreba mehanizacije za sobom povlači i određene uvjete održavanja strojnih dijelova i opreme. Ukoliko strojni dijelovi, koji su nužni za pokretanje i prijenos snage s pogonske jedinice na radni stroj, nisu pravilno konstruirani ili održavani, nastupaju otežani uvjeti rada i dolazi do pojave kvara. U ovom radu je opisan proces manipulacije sijena, korištena mehanizacija, te je provedena analiza kvara pogonskog stožnika okretača sijena. Na uzorku je proučavana mikrostruktura, analiziran je kemijski sastav i izmjerena tvrdoća.

Ključne riječi: okretač sijena, zupčanik, stožnik, analiza kvara

## **SUMMARY**

The appearance of modern agromechanization drastically simplifies and makes the job of processing and storage of hay easier, but the use of machinery entails certain maintenance conditions of machine parts and equipment. If machine parts, which are necessary to transmit power from the drive unit to the working machine, are improperly designed or maintained, difficult working conditions and failure occurs. This paper describes hay manipulation and the machinery used in the process and a failure analysis of a bevel gear of a hay tedder was carried out. The tests carried out on the sample involved studying the microstructure, chemical composition analysis and hardness measuring.

Key words: hay tedder, gear, bevel gear, failure analysis

## 1. UVOD

Košnjom trave i njenim sušenjem na suncu se dobiva sijeno koje se uglavnom koristi kao hrana za životinje. Proizvodnja sijena se temelji na reduciranju vlage iz trave (biljne mase), koja iznosi otprilike 75%, do vlažnosti od cca. 14%. Do kvalitetne hrane za stoku i ostale preživače u zimskom dobu dolazi se košnjom trave u pravom trenutku, ispravnim sušenjem i manipulacijom pokošene trave, te odgovarajućim procesom kompaktiranja i skladištenja osušenog sijena. Može se reći da agrotehnički proces proizvodnje sijena podrazumijeva košnju trave, njeno okretanje u cilju boljeg i bržeg sušenja, sakupljanje sijena u redove (zbojeve), baliranje sijena sa strojevima za baliranje i na kraju skladištenje krajnjeg proizvoda. [1]

Razvojem tehnologije i agrotehničke mehanizacije navedeni proces je znatno olakšan pa je od manualnog rada (košnje ručnom kosom, okretanja vilama, te slaganja osušenog sijena u stogove) prijeđeno na rad s mehanizacijom kojom se omogućuje lakša manipulacija sijena i kvalitetna nutritivna prehrana životinja u ruralnim dijelovima, čak i u zimskim razdobljima uz pravilno skladištenje baliranog sijena. U radu će biti opisano funkcioniranje zupčanog prijenosa i općenito zupčanika i stožnika, te će se provesti analiza kvara odabranog stožnika okretača sijena iz eksploatacije.



Slika 1. Stog sijena [2]

## 2. Dobivanje sijena

Količina i kvaliteta dobivenog nutritivnog sijena uvelike ovisi o vremenu košenja trave i načinu na koji se suši, pa je tako sa iste površine (livade) moguće dobiti 1 kg sijena koje je pokošeno u odgovarajuće vrijeme i pravilno osušeno, ali isto tako i 1,5 do 3 kg nepravilno osušenog i u krivom trenutku pokošenog sijena. Cilj je proizvesti što kvalitetnije sijeno budući da je ono jedno od najbitnijih stavki prehrane biljojeda u zimskom razdoblju, tj. kada im nije dostupna svježa krma. [3]

Najzastupljenije biljne vrste u proizvodnji sijena su livadne trave, višegodišnje leguminoze, u koje ubrajamo većinu biljaka iz današnje skupine mahunarka (grah, grašak, soja, ...), te djetelinsko-travne smjese. Od navedenih vrsta, prednost se daje leguminoznim vrstama radi iznimno visoke hranjive vrijednosti i dobrog prinosa po površini. Na slici 2 je prikazana vrsta leguminozne biljke lucerna.[4]



**Slika 2. Leguminozna vrsta Lucerna [4]**

Proces dobivanja sijena kreće od njegovog košenja koje se razvojem znanosti i tehnologije razvijalo i napredovalo kroz godine.

### 2.1. Košnja sijena

Kvaliteta sijena uvelike ovisi o vremenu košnje. Vrijeme košnje se razlikuje od vrste do vrste, pa je tako primjerice za mahunarke optimalno vrijeme košnje u procesu rane cvatnje, dok je kod djetelinsko-travnih smjesa potrebno na temelju rasta i zrelosti trave donijeti odluku o prvom otkosu. Uglavnom je riječ o košnji u ranim stadijima rasta biljke. [4]

U prošlosti, prije pojave današnje mehanizacije, najveći se dio posla košnje obavljao ručnim alatima, ponajviše ručnom kosom. U današnje se vrijeme, uz prisutnost raznih trimera pogonjenih strujom ili benzinskim gorivom smatra zastarjelim alatom, ali je u ruralnim krajevima još uvijek često vidljiv alat. Počeci upotrebe ručne kose zabilježeni su u Europi u 12. stoljeću. [5]

Riječ je o jednostavnom alatu s tankom oštricom napravljenom uglavnom od nelegiranog niskougličnog čelika uz malo potrebnog održavanja (povremeno brušenje oštrice i iskivanje). Košnja trave se ostvaruje polukružnom rotacijom drvenog kosišta na kojem se nalazi zaobljena oštrica. Najčešći kvar pri ovakvoj vrsti košnje je zatupljivanje ili lom oštrice noža zbog iznimnog abrazivnog trošenja nelegiranog niskougličnog čelika. Budući da je oštrica tanka, često dolazi do puknuća ili oštećenja udarom iste u kamen, zid ili drugi tvrdi materijal. Na slikama 3 i 4 je prikazana ručna kosa i način košnje istom. [5]



**Slika 3. Ručna kosa [6]**



**Slika 4. Košnja trave ručnom kosom [5]**

Razvojem agrotehničke mehanizacije ljudi su sa ručne košnje prešli na upotrebu samohodnih kosilica i priključnih radnih strojeva za pogonsko vozilo, uglavnom traktor. U današnje vrijeme razlikuju se dvije glavne vrste korištenih kosilica [7]:

- Oscilirajuće - s prstima
  - s dva noža
- Rotacijske - s bubnjevima
  - s tanjurima

Kod košnje s oscilirajućom kosilicom s prstima, košnja se odvija na principu škara, tj. stabljika se u trenutku reza nalazi između noža i protunoža (prsta), te se reže primjenom smičnog opterećenja noža na nju. Noževi su u obliku trapeza i oni gibanjem savijaju stabljiku

do protunoža, te ju u tom položaju režu. Zaključak je da je međusobnim razmakom prstiju određena visina reza kod ovakve košnje. Kao prednosti ovakvog tipa kose ističu se mala masa i manja količina snage potrebna za pogon iste, dok su nedostaci mala brzina rada i osjetljivost na neravnine terena. [7]

Od mehanizama trošenja se pri radu kose javljaju abrazija, pri kontaktu oštrice noža sa zemljom, kamenom ili drugim tvrdim materijalima, pa tako dolazi do trošenja materijala oštrice, te adhezija uslijed naljepljivanja naslaga raznih nečistoća (zemlje i trave) na rub oštrice noža. Najčešći kvarovi na ovakvom tipu kose (i na oscilirajućoj kosi s dva noža) su zatupljenje i lom noža uslijed zagušivanja nailaskom na krutičnjake ili ostale tvrde prepreke. Materijali izrade noža oscilirajućih kosa su najčešće čelici za poboljšavanje ili neki drugi čelik namijenjen površinskom kaljenju zbog visoke površinske tvrdoće, a time i otpornosti na trošenje. Konstrukcija oscilirajućih kosa se najčešće izrađuje od općih konstrukcijskih čelika. [7,8]

U krajevima Hrvatske najraširenija su dva tipa oscilirajuće kose s prstima. Riječ je o bočnoj kosi koja se učvršćuje na šasiju poljoprivrednih traktora i o oscilirajućoj kosi s prstima koja se priključuje na stražnju trozglobnu hidrauličnu poteznicu poljoprivrednih traktora. Na slici 5 je prikazana oscilirajuća bočna kosa za traktor IMT 539, dok je na slici 6 prikazana ista kosa spojena na traktor. Na slici 7 je prikazan remenski prijenos kojim se pogoni kosa od pogonske remenice koja je natakuta na priključno vratilo traktora.



**Slika 5. Oscilirajuća bočna kosa za traktor IMT 539 [9]**



**Slika 6. Oscilirajuća bočna kosa montirana na traktor IMT 539**





**Slika 7. Prijenos snage do bočne kose remenskim prijenosom od pogonske remenice na priključnom vratilu**



**Slika 8. Oscilirajuća kosa s prstima Gaspardo montirana na trozglobnu hidrauličnu poteznicu [10]**

Oscilirajuća bočna kosa za traktor IMT 539 ugrađuje se na traktor učvršćujući konstrukciju kose na šasiju samog traktora vijčanim spojevima i klinovima s osiguračima koji sprječavaju aksijalni pomak. Na izlaz pogonskog vratila na stražnjem kraju traktora se stavlja pogonska remenica, dok se gonjena remenica konstrukcije kose postavlja paralelno s pogonskom omogućujući prijenos snage. Remenice se povezuju s dva klinasta remena i omogućuje se prijenos snage uključanjem pogonskog vratila traktora. Rotacijom pogonske remenice rotira i gonjena remenica koja je spojena na vratilo unutar konstrukcije kose na čijem se drugom kraju nalazi ekscentrična drvena poluga koja rotacijsko gibanje pretvara u translacijsko oscilacijsko gibanje noža kose unutar grebena čime se omogućuje košnja.

Kosa na slici 8 se priključuje na stražnji kraj traktora, na trozglobnu hidrauličnu poteznicu, ostvarujući tako, u agromehanici poznato, povezivanje u 3 točke. Prijenos snage je ostvaren povezivanjem pogonskog vratila traktora i kućište kose kardanskim vratilom, te se nastavlja na remenski prijenos koji kao i kod bočne kose prelazi u translacijsko oscilacijsko gibanje noža.

Kod kosilica s dvostrukim nožem se kao protunož koristi drugi nož koji se kreće u suprotnom smjeru pa se tako smanjuje broj „mrtvih točaka“ pri gibanju. Karakterizira ih mirniji

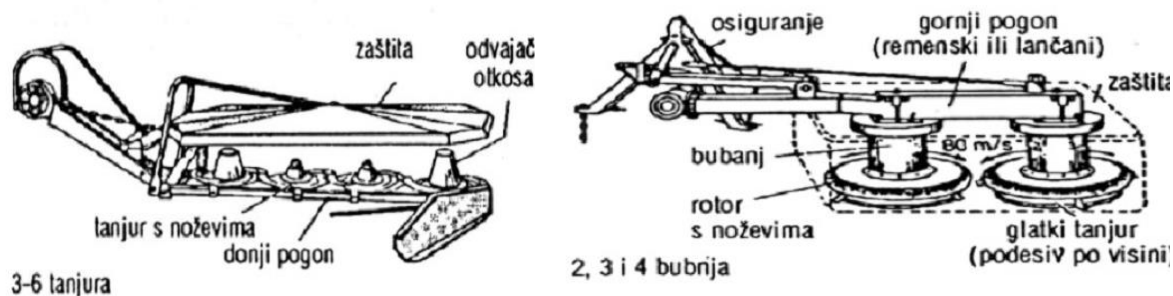
rad, ali i veća potrebna snaga nego kod kosa sa prstima. Na slici 9 je prikazan primjer oscilirajuće kose s dva noža. [7]



**Slika 9. Oscilirajuća kosa s dva noža [7]**

Rotacijske kose dijele se na kose s bubnjevima i kose s tanjurima i kod njih nisu prisutne proturežujuće pločice. Kod kosa s bubnjevima je pogon ostvaren remenskim prijenosom od kardanskog vratila do bubnja, gdje prelazi u zupčasti pogon. U donjem dijelu bubnjeva koji rotiraju oko svoje osi pričvršćeni su noževi najčešće izrađeni od čelika za poboljšavanje, dok je konstrukcija kose napravljena od općeg konstrukcijskog čelika. Rad kosa s bubnjevima je mirniji i otporniji na zastoje i prepreke od oscilirajućih kosa.[7,8]

Kod rotirajućih kosa s tanjurima košnja je ostvarena rotacijom ploča s noževima pogonjenih preko vratila i koničnih zupčanika koji su smješteni u kućištima ispod tanjura. Kod rada kose s tanjurima prisutno je znatno manje zagušenja, ali je potrebna veća snaga radnog stroja. Kod obje vrste rotacijskih kosa je moguća opcija priključenja na stražnji i na prednji kraj traktora (ukoliko traktor ima izvod priključnog vratila na prednjem kraju), te je zbog velike obodne brzine nužna primjena zaštitne cerade. Najčešći kvarovi u radu rotacijskih kosa su zatupljenje ili lom noževa, pucanje pogonskog remena ili lanca kod kosa s bubnjevima i lom križeva na krajevima kardanskog vratila ili pucanje samog kardanskog vratila. Na slikama 10 i 11 su prikazane sheme izvedbi rotacijskih kosa s tanjurima i bubnjevima.[7]



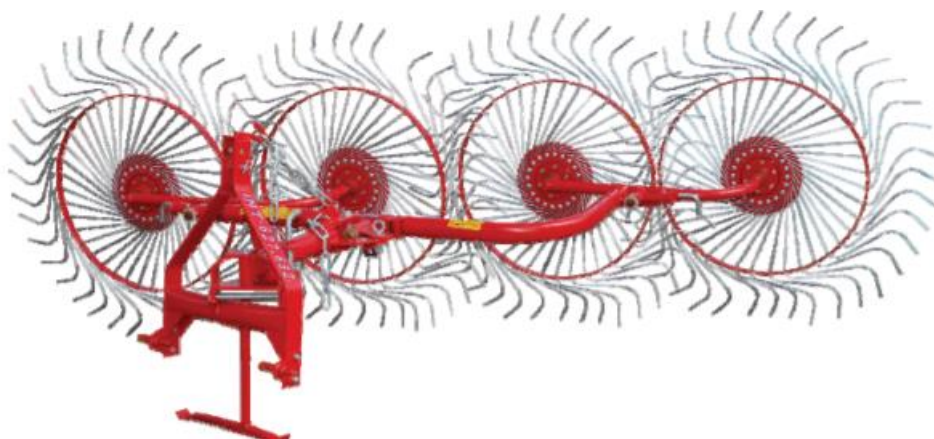
Slika 11. Rotacijska kosa s bubnjevima [11]

Slika 10. Rotacijska kosa s tanjurima [11]

## 2.2. Sušenje sijena

Idući korak u postupku sušenja i skladištenja sijena je njegovo preokretanje i skupljanje koje se odvija uz pomoć specijalizirane mehanizacije i traktorskih priključaka. Cilj je da rad korištene mehanizacije bude efektivan kako bi se pokošena krma što prije prosušila, osušila i uskladištila prije pojave kiše, sa što manje gubitaka hranjivih tvari. Postupak će biti najbolje i najjeftinije proveden ako je krma prirodno sušena na polju do skladišne vlage (18-20%). Za rastresanje, natresanje i okretanje sijena se koriste strojevi koji se zovu natresači i okretači sijena. [12]

Stariji okretači sijena nisu bili pogonjeni pogonskim vratilom, nego su se okretali samim kretanjem agregata (traktora). Primjer takvog okretača su zvjezdaste grablje (sunce) koje se sastoje od više koso postavljenih zvjezdastih kotača napravljenih od tankih čeličnih žica. Ti kotači se okreću kao rezultat djelovanja sile kretanja traktora i okretanja sijena u odnosu na zemlju. Zvjezdaste grablje su najčešće izvedene kao nošeni traktorski priključak, spajajući se na stražnji kraj traktora povezivanjem u tri točke. Najčešće su napravljene od općeg konstrukcijskog čelika, dok se zvjezdasti kotači rade od čelika za opruge. U radu ovog stroja se od mehanizama trošenja javljaju abrazija i adhezija, a najčešći kvar je lom čeličnih žica na zvjezdastim kotačima. Moguće je mijenjati kut zvjezdastih kotača u odnosu na smjer rada, pa tako ovaj stroj ima dvostruku namjenu; rastresanje i preokretanje sijena kada je kut manji, te prikupljanje sijena u zbojeve ako je kut veći. Na slici 12 je prikazan primjer nošenih zvjezdastih grablji proizvođača FPM Agromehanika. [7]



**Slika 12. Nošene zvjezdaste grablje [13]**

Idući primjer stroja za manipulaciju sijenom je rotacijski okretač-rastresač koji se sastoji od konstrukcije na koju su pričvršćena dva ili više rotora s pripadajućim vilama, odnosno zupcima koji rotiraju u paru u suprotnim smjerovima. Okretač se pogoni priključnim vratilom traktora. Zupci i rotori su nagnuti prema naprijed, pa se zbog kuta nagiba sijeno pri radu kratko vuče po tlu i potom odbacuje unazad. Pomoću stroja je moguće rastresanje i okretanje krme. Ukoliko se radi o rastresanju krme, kut rotora bi trebao biti manji, dok bi pri okretanju mase kut trebao biti veći. Ispod svakog rotora se kao potpora nalazi pneumatski kotač. Materijal konstrukcije okretača je najčešće opći konstrukcijski čelik, a zubaca čelik za opruge. Zglobovima na konstrukciji okretača i pneumaticima ispod rotora omogućena je odlična prilagodljivost podlozi prilikom rada. Najčešći kvarovi na ovakvim okretačima su lom zubaca ili pucanje pneumatika, te oštećenje unutarnjih dijelova prijenosa uslijed mogućeg ulaska nečistoća između zupčanika u radu ili manjka podmazivanja. Na slici 13 je prikazan primjer rotacijskog okretača-rastresača proizvođača SIP.[7]



**Slika 13. Rotacijski okretač-rastresač proizvođača SIP [7]**

Primjer stroja sličan rotacijskom okretaču-rastresaču je rotacijski okretač-prigrtač koji funkcionira na sličnom principu elastičnih zubaca pričvršćenih na rotore. Okretač-prigrtač, uz sve operacije koje je moguće obaviti s okretačem-rastresačem, obavlja i operaciju prigrtanja krme u zbojeve (redove). Na slici 14 je prikazan primjer rotacijskog okretača-prigrtača. [7]



**Slika 14. Rotacijski okretač-prigrtač proizvođača Deutz [7]**

Primjer stroja koji obavlja samo operaciju prikupljanja osušenog sijena u redove su rotacijske grablje. Rotacijske grablje su pogonjene od strane priključnog vratila traktora, na koje se nastavlja drugo vratilo u konstrukciji okretača koje prenosi snagu do jednog velikog rotora koji okreće više krakova na čijim su krajevima prsti. Prsti su postavljeni vertikalno u odnosu na tlo i rotacijom zahvaćaju osušeno sijeno i transportiraju ga do vertikalno postavljene zavjese, te se zatim zakreću i ostavljaju sijeno u pravilnim redovima spremnim za iduću operaciju (prešanje sijena). Materijal konstrukcije rotacijskih grablji je najčešće opći konstrukcijski čelik, a zubaca čelik za opruge. Najčešći kvar je lom zubaca zbog istrošenja ili naleta na tvrdi materijal. Na slici 15 su prikazane rotacijske grablje proizvođača SIP, a na slici 16 rotacijske grablje proizvođača Claas. [7]



**Slika 15. Rotacijske grablje proizvođača SIP**  
[14]



**Slika 16. Rotacijske grablje proizvođača Claas**  
[7]

Jedan od najraširenijih tipova okretača sijena u Republici Hrvatskoj je okretač sijena s beskrajnom trakom i elastičnim zupcima. Elastični zupci su pričvršćeni na dva remena napravljena od gume ili sintetičkog materijala koji rotiraju oko dvije remenice položene na krajevima konstrukcije okretača. Okretač se priključuje na stražnji kraj traktora, odnosno na trozglobnu hidrauličku poteznicu (povezivanjem u tri točke), te je na stražnjem kraju konstrukcije, s obje strane poduprt gumenim pneumaticima na kojima je moguće regulirati radnu visinu. Okretač se pogoni snagom od priključnog vratila traktora i kretanjem elastičnih zubaca, koji su u trenutku dodira sa biljnom masom u okomitom položaju u odnosu na zemlju, se ostvaruje operacija okretanja ili rastresanja mase. Kao i kod rotacijskih grabalja, primjenom bočne zavjese moguće je prigrnuti biljnu masu u dobro oblikovan zboj. Materijal konstrukcije okretača je najčešće opći konstrukcijski čelik, dok su elastični zupci od čelika za opruge. Najčešći kvarovi su pucanja remena zbog prevelike izloženosti nečistoćama i mogućnosti kontakta sa stranim tijelom, te pucanje zubaca i pneumatika zbog istrošenosti materijala. Na slici 17 je prikazan okretač s beskrajnom trakom, dok je na slici 18 prikazan način povezivanja traktora i okretača. [7]



**Slika 17. Okretač s beskrajnou trakom s elastičnim zupcima (prstima)**



**Slika 18. Povezivanje traktora i okretača trozglobnom hidrauličnom poteznicom i kardanskim vratilom**

### 2.3. Prešanje sijena

Nakon skupljanja suhog sijena u pravilne redove, ono se prešama skuplja i preša u bale čime se omogućuje lakša manipulacija u usporedbi sa rasutom krmom i ostvaruje se ušteda na prostoru. Razlikujemo visokotlačne preše za velike i male četvrtaste bale i preše za valjkaste bale.[7]

Preše za male četvrtaste bale prešaju sijeno u bale koje su dimenzija 50 cm širine, 30-35 cm visine i varirajuće dužine (50-100 cm). Osušeno sijeno se podiže i zahvaća uređajem za podizanje s bubnjem, dodaje se pužnom transporteru koji se nalazi u poprečnom kanalu, gdje se masa nastavlja kretati do uzdužnog kanala gdje se odvija prešanje, oblikovanje i vezanje bale. Na slici 19 je prikazan preša za male četvrtaste bale proizvođača Massey Ferguson. [7]



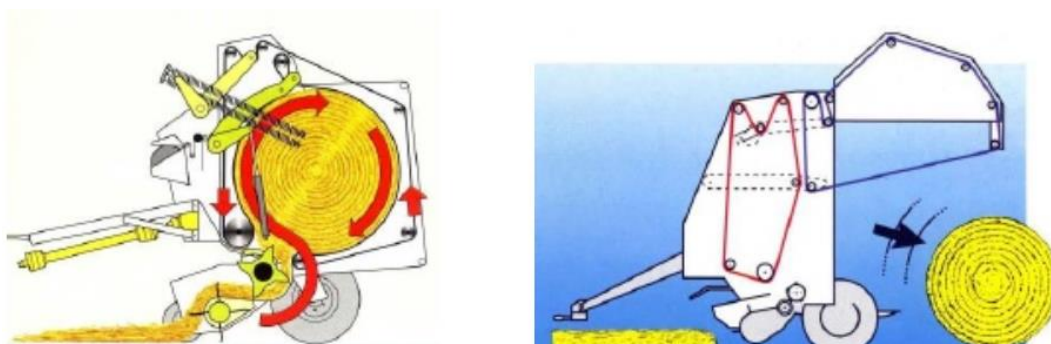
**Slika 19. Preša za male četvrtaste bale Massey Ferguson [15]**

Kod većih gospodarstava se preše za male četvrtaste bale pretvaraju u preše za velike četvrtaste bale ili u preše za valjkaste bale. Rad preša za valjkaste bale se temelji na namotavanju i istovremenom prešanju krme. Razlikujemo dvije vrste preša za valjkaste bale:

- Preše s elastičnom tlačnom komorom.
- Preše s tlačnom komorom stalnog oblika.

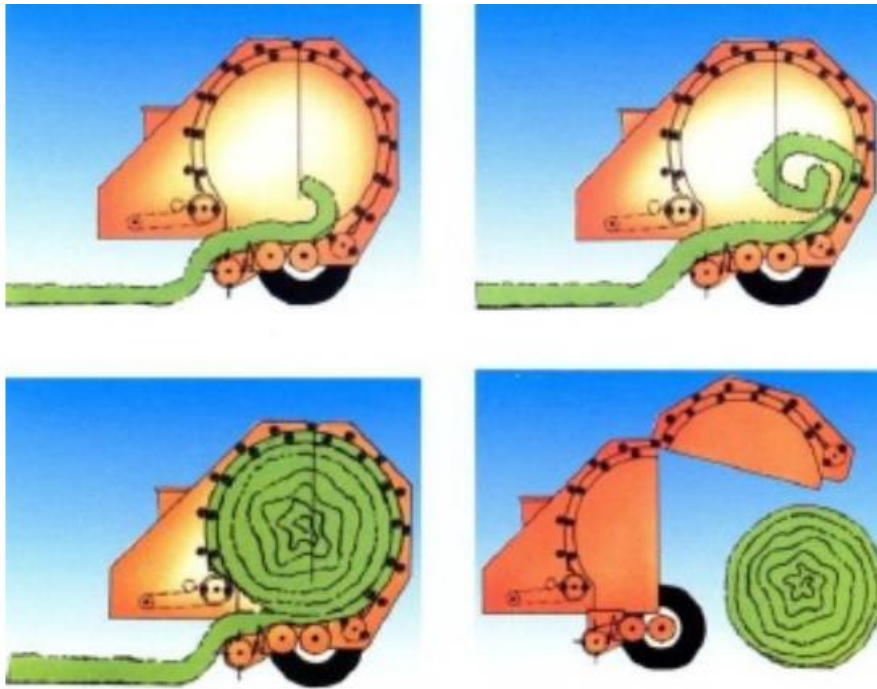
Kod preša s elastičnom tlačnom komorom uređaj za podizanje krme ju dovodi do rotirajućih tlačnih traka koje se punjenjem preše šire i time povećavaju tlačnu komoru. Gustoća bale je ujednačena kroz cijelu balu, a promjer joj je moguće mijenjati. [7]

Kod preša sa stalnom tlačnom komorom se konačan oblik bale postiže već na početku prešanja. Nije moguće mijenjati promjer bale, ali je moguće mijenjati zbijenost vanjskog sloja bale, koji štiti balu od oborina, praćenjem tlaka na ugrađenom manometru. Na slikama 20 i 21 su prikazane sheme rada dvaju navedenih vrsta preša za valjkaste bale, dok je na slici 22 prikazan primjer preše za valjkaste bale.[7]



**Slika 20. Shema rada preše sa elastičnom komorom [7]**





Slika 21. Shema rada preše sa tlačnom komorom stalnog oblika [7]

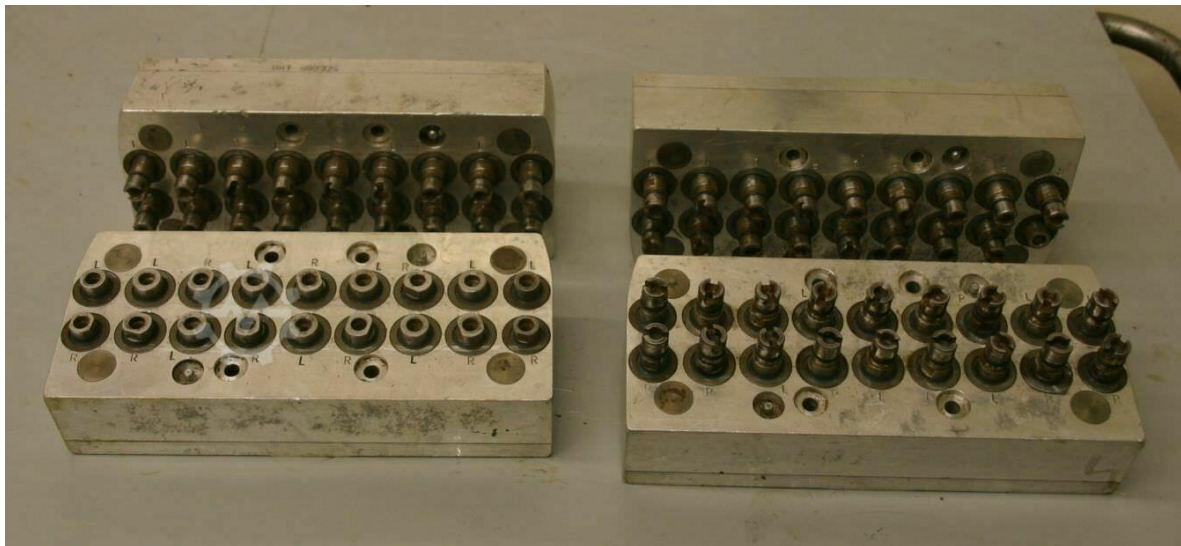


Slika 22. Preša za valjkaste bale proizvođača Metal Fach [16]

Nakon opisivanja postupaka košnje, sušenja i pospremanja trave, odnosno suhog sijena i navođenja i opisivanja rada razne mehanizacije potrebne za manipulaciju sijena, u idućim će poglavljima biti opisani zupčanici i zupčani prijenos, budući da će u ovom radu biti analiziran kvar zupčanika sa okretača sijena.

### 3. Zupčanici

U današnjem strojarstvu zupčanike smatramo jednim od važnijih elemenata strojeva, pa se tako na njih postavljaju vrlo visoki zahtjevi u pogledu prenesene snage, pravilne brzine vrtnje, konstrukcijski pravilne i točne izrade, te točnosti u samoj eksploataciji. Zupčanici kao strojni dijelovi služe za prijenos gibanja jednog vratila na drugo na principu povezivanja oblikom. Nije potreban treći prijenosni element kao kod lančanih ili remenskih prijenosa. Dva zupčanika koji su u zahvatu nazivamo zupčani par – zupčani prijenosnik. Prijenosnici se mogu podijeliti na prijenosnike sa stalnim prijenosnim omjerom, koji najčešće služe kao veza između pogonskih i radnih strojeva, mjenjače brzina, kod kojih se promjenom para zupčanika koji se trenutno nalaze u zahvatu mijenja prijenosni omjer, te razdjelne prijenosnike koji služe za istodoban pogon više vratila. Na slici 23 prikazan je primjer razdjelnog prijenosnika. [17,18]

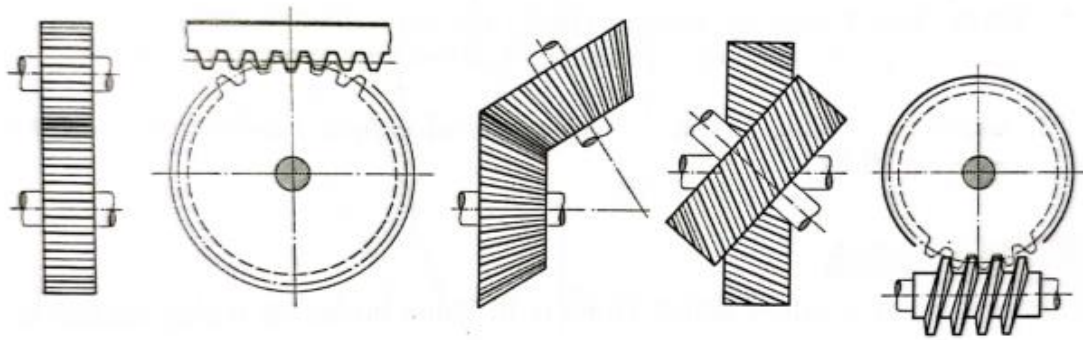


**Slika 23. Primjer viševretene bušace glave [19]**

Iduća podjela zupčanika je prema međusobnom položaju osi vratila na kojima oni leže. Prema ovoj podjeli razlikuju se sljedeći:

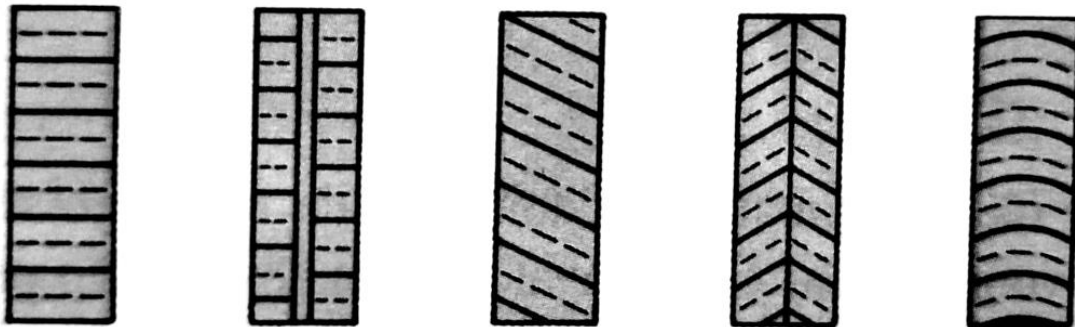
- Čelnici, koji povezuju paralelna vratila.
- Ozubnice, koje služe za promjenu kružnog gibanja i pravocrtno.
- Stožnici, koji povezuju vratila čije se osi sijeku.
- Vijčani zupčanici, koji povezuju vratila s mimosmjernim osima.
- Puževi i pužna kola, koja također povezuju vratila s mimosmjernim osima. [17]

Na slici 24 prikazani su osnovni oblici zupčanika.

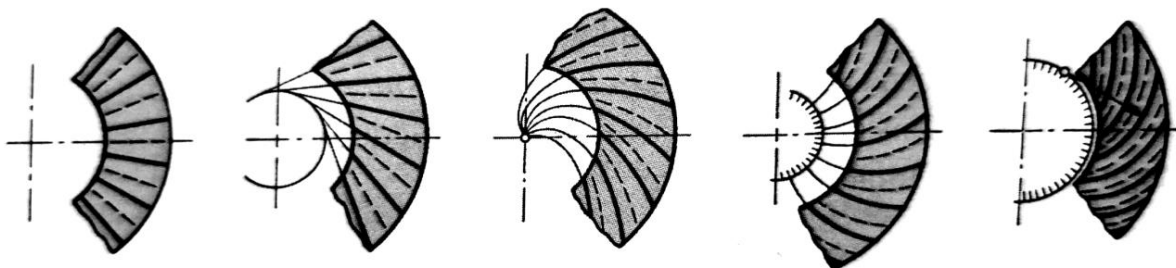


Slika 24. Vrste zupčanika [17]

U industriji i strojevima su najčešće primjenjivani čelnici i stožnici, pa se tako oni dijele prema toku uzdužnih linija bokova (prema DIN 968) na čelnike sa ravnim, stupnjevitim, kosim, strjelastim i lučnim zupcima, te na stožnike s ravnim, kosim, zakrivljenim evolventnim i zakrivljenim lučnim zupcima. Na slikama 25 i 26 prikazani su čelnici i stožnici podijeljeni prema oblicima bokova. [17]



Slika 25. Podjela čelnika prema obliku bokova [17]



Slika 26. Podjela stožnika prema obliku bokova [17]

Kod para čelnika se gibanje odvija s konstantnim prijenosnim omjerom ako je prijenos ostvaren na način kao da su na dva paralelna vratila navučena dva cilindra koja su konstantno

u dodiru po površini svojih plaštova, te prenose gibanje bez klizanja. Spomenute cilindre nazivamo kinematskim cilindrima, a presjeke tih cilindara sa ravninom okomitom na os vratila nazivamo kinematskim kružnicama. [18]

Kod čelnika je uvjet valjanja ostvaren ako kinematske kružnice imaju jednaku obodnu brzinu. Radi lakšeg razumijevanja proizvodnje i općenito konstrukcije stožnika, nužno je objasniti par osnovnih pojmova koji olakšavaju razumijevanje matematičkog i strojarskog opisivanja elemenata. Korak zupčanika se označuje s  $p$  i označava razmak između dva zuba, to jest lučnu mjeru uzastopnih lijevih, odnosno desnih bokova, a računa se kao umnožak standardizirane veličine, modula  $m$  i broja  $\pi$ . Iz toga bitna izvedena računski veličina koja se kod zupčanika ne može mjeriti je diobeni promjer zupčanika koji je jednak umnošku modula zupčanika i broja zuba zupčanika. Još jedna važna geometrijska karakteristika zupčanika je evolventa koja nastaje valjanjem svake točke valjnog pravca (generatriše) po obodu temeljne kružnice (kružnica koja označava početak evolvente zuba).[17,18]

### 3.1. Stožnici

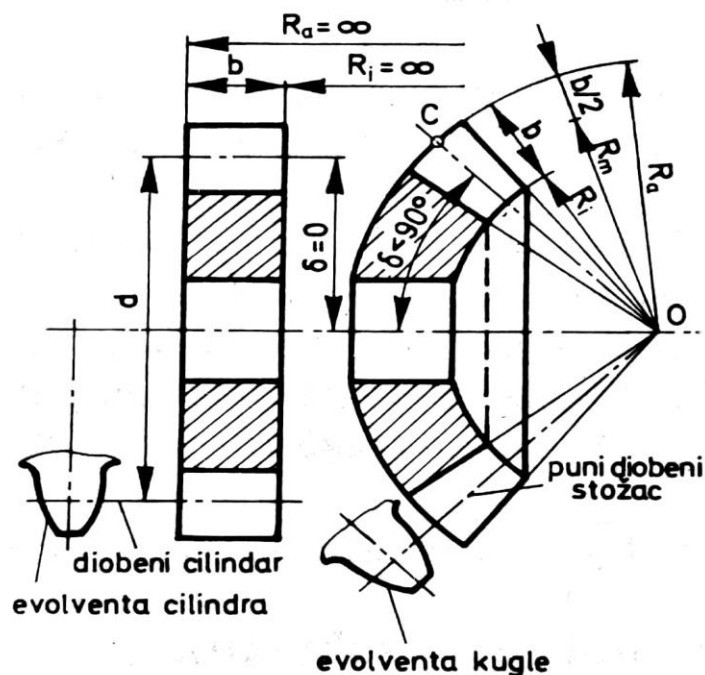
Gledajući čelnik s ravnim zubima, njegovi su bokovi evolventne kružnice, a uzdužne linije tih bokova pravci. Budući da je to cilindrični zupčanik s ravnim zubima, zamišlja se da su njegovi diobeni podnožni cilindri (od diobenih kružnica) paralelni sa osi rotacije, to jest zamišlja se da se sijeku s osi rotacije u beskonačnosti. Shodno tome je taj cilindrični zupčanik moguće zamisliti kao stožnik kod kojeg je promjer tjemene kružnice predstavljen kao isječak kugle kojoj je središte također u beskonačnosti, gdje bi debljina tog isječka kugle odgovarala širini zupčanika  $b$ . [17,18]

#### 3.1.1. Stožnici s ravnim zubima

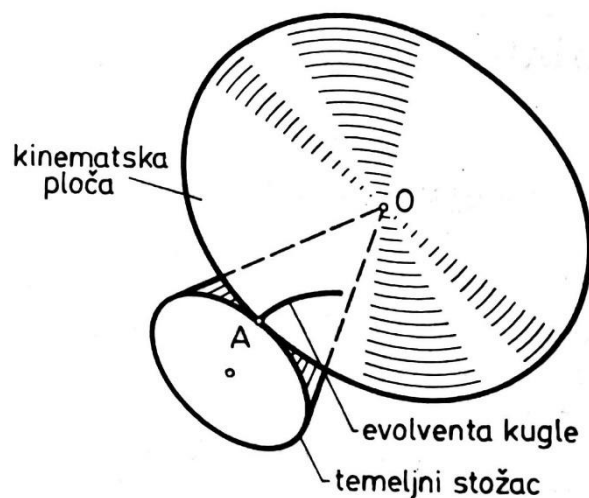
Sada se zamišlja da su i vanjski i unutarnji polumjer kugle  $R_a$  i  $R_i$  jednaki beskonačnosti. Zamisli li se da centar čelnika s ravnim zubima, kojeg se nastoji zamisliti kao stožnik s vrhom u beskonačnosti, poprimi neku konačnu vrijednost, tada će se i polumjeri kugle svesti na konačne vrijednosti, te je tim postupkom čelnik s ravnim zubima zakrivljen u obliku kugle formirajući stožasti oblik. [17,18]

Ranije spominjani diobeni cilindar koji nastaje spajanjem gornje i donje diobene kružnice, sada postaje diobeni (kinematski) stožac s kutom manjim od  $90^\circ$ . Valjanjem kinematske ravnine po kinematskom cilindru su kod čelnika dobivani evolventni bokovi, koji

se kod stožnika dobivaju valjanjem kinematske ravnine po temeljnom stošcu. Iz toga proizlaze i razlike u evolventnim površinama kod čelnika i stožnika. Valjanjem kinematske ravnine po kinematskom cilindru je dobivana ravninska evolventa površina, dok je to kod čelnika evolventa kugle. Naziva se evolventom kugle zbog toga što se svaka točka tako nastale krivulje nalazi na jednakoj udaljenosti od vrha stošca. Budući da se kinematska ploča valja po površini temeljnog stošca oko točke O u kojoj se sijeku izvodnice stošca i os vrtnje, evolventa stožnika će se nalaziti na površini kugle. Na slici 27 prikazan je opisano promatranje stožnika kao čelnik zakrivljen u obliku kugle, dok je na slici 28 prikazano nastajanje evolvente kugle kod stožnika. [17,18]



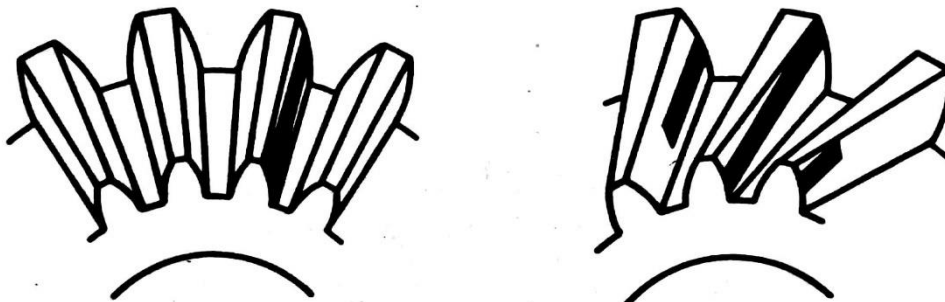
Slika 27. Dobivanje stožnika iz čelnika [18]



Slika 28. Stvaranje evolvente kugle [18]

### 3.1.2. Stožnici s kosim zubima

Zakrivljenost se kod ovih zupčanika naročito očituje kod bokova manjih, pogonskih zupčanika, a bokovi gonjenog, velikog zupčanika postaju tek malo zakrivljeni. Stožnike s kosim zubima moguće je proizvesti na istim strojevima na kojima se izrađuju i bokovi stožnika s ravnim zubima. Proces se odvija tako da se dva boka jednog zuba blančaju u isto vrijeme pomoću dva noža njihovim translacijskim gibanjem gdje pravci njihovih oštrica opisuju ravnine dva boka jedne uzubine na zupčanoj ploči. Prednost stožnika s kosim zubima je veći stupanj prekrivanja nego stožnici s ravnim zubima, budući da je u zahvatu stalno prisutan veći broj zubi. Kod stožnika s ravnim zubima se stupanj prekrivanja sastoji samo od prekrivanja profila, dok je kod stožnika s kosim zubima nadodana vrijednost stupnja prekrivanja bočne linije. Tim povećanjem ukupnog stupnja prekrivanja povećava se i mirnoća u radu. Na slici 29 je prikazan zahvat stožnika s kosim zubima. Tamna područja na bokovima zuba označuju zahvaćenu površinu. [18]



Slika 29. Zahvat stožnika s kosim zubima [18]

U nastavku će biti dan pregled čest korištenih materijala za izradu zupčanika

### 3.2. Materijali zupčanika

Jedno od glavnih načela izbora materijala je uparivanje zahtjeva na proizvod sa svojstvima dostupnih materijala. Kod zupčanika se kao temeljni zahtjevi ističu potreba za dobrim prijenosom opterećenja, stabilnost u uvjetima eksploatacije (u pogonu) u smislu proizvedene buke, mogućnost obrade materijala uobičajenim postupcima izrade zupčanika, te

cijena kao bitan faktor koji nam je izravno povezan s proizvodnim postupkom prikladnim za proizvodnju zupčanika zahtijevanih performansi. [17,18,20]

Materijale za izradu zupčanika mogu se podijeliti u tri skupine:

- Metali; gdje se ističu čelici, razni ljevovi, te obojeni metali (bakar, aluminij i cink).
- Sinterirani materijali.
- Polimerne mase (plastomeri i duromeri).

Najistaknutiji materijal od navedenih je zasigurno čelik koji se ističe svojom zadovoljavajućom nosivošću po volumenu. Često se za izradu zupčanika koriste nelegirani ugljični čelici, te legirani čelici obrađeni raznim postupcima toplinske obrade (npr. kaljeni, cementirani, poboljšani, plameno ili indukcijski kaljeni). U sljedećoj tablici navedeni su najčešće korišteni čelični materijali za proizvodnju zupčanika. Vrijednosti trajne dinamičke čvrstoće su izražene za istosmjerno promjenjivo opterećenje korijena zuba. [17,18,20]

**Tablica 1. Materijali zupčanika [18,21,22]**

Materijal	Oznaka po HRN	Oznaka po EN	Stanje	Tvrdoća na površini bokova	Trajna dinam. čvrstoća, MPa	Stat. čvrstoća u korijenu zuba, MPa
Sivi lijev	SL 20	EN-GJL-200	-	170 HB	50	200
	SL25	EN-GJL-250S	-	210 HB	60	260
	SL35	EN-GJL-340S	-	230 HB	80	350
Nodularni lijev	NL 42	GJS400-12	-	170 HB	200	800
	NL 60	GJS600-3	-	250 HB	220	1000
	NL 80	GJS800-2	-	275 HB	230	1200
	NL100	-	-	300 HB	240	1300
Crni temper lijev	C TeL 35	GJMB-350-10S	-	140 HB	190	800
	C TeL 65	GJMB-650-2S	-	235 HB	230	1000
Čelični lijev	ČL 0545	-	-	150 HB	150	470

	ČL 0645	-	-	175 HB	170	520
Konstrukcijski čelici	Č 0462	-	-	125 HB	170	450
	Č 0545	E295	-	150 HB	190	550
	Č 0645	E335	-	180 HB	200	650
	Č 0745	E360	-	208 HB	220	800
Čelici za poboljšavanje	Č 1331	C22E	poboljšano	140 HV10	170	600
	Č 1531	C45E	normalizirano	185 HV10	200	800
	Č 1730	C60	poboljšano	210 HV10	220	900
	Č 4130	34Cr	poboljšano	260 HV10	260	900
	Č 4131	41Cr4	poboljšano	260 HV10	270	950
	Č 4731	34CrMo4	poboljšano	280 HV10	290	1100
	Č 5431	34CrNiMo6	poboljšano	310 HV10	320	1300
Čelici za poboljšavanje, plameno ili indukcijski kaljeni čelici	Č 1531	C45E	Rotacijski postupak sa	560 HV10	270	1000
	Č 4131	41Cr4	kaljenjem	610 HV10	310	1150
	Č 4732	42CrMo4	korijena	650 HV10	350	1300
Čelici za poboljšavanje, nitrirani	Č 1531	C45E	u kupci	400 HV10	350	1100
	Č 4732	42CrMo4	u kupci	500 HV10	430	1450
	Č 4732	45CrMo4	plinsko	550 HV10	430	1450
Čelici za nitriranje	-	31CrMoV9	plinsko nitriranje	700 HV10	500	1500
Čelici za cementiranje	Č 1220	C15		720 HV10	230	900
	Č 4320	16MnCr5		720 HV10	460	1400
	Č 4321	20MnCr5		720 HV10	480	1500
	Č 4721	20CrMo5	plinska cementacija	720 HV10	400	1300
	Č 5420	15CrNi6		720 HV10	500	1600
	Č 5421	18CrNi8		740 HV10	500	1700
	Č 4520	18NiCrMo7 6		740 HV10	500	1700



Zupčanici od obojenih metala (bakrene, aluminijske i cinkove legure) svoju upotrebu pronalaze u slučajevima gdje su prisutne velike brzine klizanja, npr. kod pužnih prijenosnika. Najčešći postupci izrade su ekstruzija i izvlačenje budući da su to pogodniji postupci za ovakve materijale zbog njihove dobre deformabilnosti. Daljnja prednost ovakvih zupčanika je izrazita otpornost na koroziju. [18]

Zupčanici od sinteriranih materijala se proizvode postupkom metalurgije praha koji se sastoji od miješanja metalnih prahova, njihovog usitnjavanja, kompaktiranja (prešanja) pod određenim tlakom u kalupu, čime nastaju takozvani „zeleni otpresci“ i zatim sinteriranja. Zbog postizanja bolje točnosti završnog obradka, moguće su dodatne operacije nad već sinteriranim obradkom (ponovno sinteriranje ili kovanje). Sinterirane materijale klasificiramo prema poroznosti, gdje su materijali sa 20 % (i manje) porozne strukture prikladni za upotrebu u izradi zupčanika. Zupčanici proizvedeni od sinteriranih materijala postupkom metalurgije praha su često malih dimenzija i proizvode se u velikim serijama, te se često koriste u autoindustriji. [18]

Kod zupčanika od umjetnih materijala, tj. polimernih masa, najčešće korišteni materijali su različite termoreaktivne (duromeri) i termoplastične (plastomeri) polimerne mase. Razlikuju se po tome što duromeri nakon kemijskog vezanja i strvrdnjavanja ponovnim zagrijavanjem ne omekšavaju, dok kod plastomera zagrijavanjem dolazi do omekšavanja i ponovnog otvrdnuća pri ohlađivanju.[18]

#### 4. Kvarovi zupčanika

Kvarovi zupčanika nastaju nepovoljnim utjecajem njihove okoline u smislu vanjskog preopterećenja i općenito uvjeta rada ili zbog samih karakteristika izvedbe i materijala od kojeg je zupčanik napravljen. Te utjecaje je moguće podijeliti u pet skupina: [18,23]

**Tablica 2. Utjecaji na kvarove zupčanika [18]**

<b>Pogonsko opterećenje</b>	trenje i trošenje, naprezanje na savijanje uzduž bokova zubi, naprezanje na smik bokova zubi
<b>Pogonski uvjeti</b>	korozija, utjecaj stranog tijela, mazivo
<b>Materijal</b>	prisutnost grešaka u materijalu
<b>Proizvodnja i montaža</b>	loša strojna obrada koja rezultira lošom kvalitetom površinske obrade, greške u montaži ili toplinskoj obradi
<b>Konstruktivski oblik</b>	dimenzijske greške, krivo proračunato naprezanje,...

Uzevši u obzir navedene uvjete nastanka razlikuju se četiri grupe kvarova koji se općenito javljaju kod zupčanika uz pripadne mehanizme trošenja materijala:

**Tablica 3. Vrste oštećenja zupčanika [18]**

<b>Vrsta oštećenja</b>	<b>Mehanizam trošenja i značajke</b>
<b>Istrošenost zupčanika</b>	abrazija, adhezija, korozija, erozija česticama, kavitacija
<b>Rupičenje ili jamičenje bokova (<i>pitting</i>)</b>	umor površine
<b>Deformacija uslijed plastičnog tečenja</b>	plastična deformacija
<b>Lomovi zubi</b>	umor materijala, nasilni lom

U realnom svijetu je najzastupljenije abrazijsko trošenje zuba, lom uslijed umora površine ili materijala, te nasilni lom. [18]

Lomove zuba dijelimo prema njihovom uzroku na nasilne lomove i lomove izazvane umorom materijala. To je tip oštećenja nakon kojeg je zupčanik dalje neuporabljiv. Moguća je pojava loma samo dijela zuba ili lom zuba u cijelosti. [23]

Nasilni lom zupčanika nastaje trenutnim postizanjem kritične vrijednosti promjenjivog naprezanja koje je veće od lomna čvrstoće zupčanika. Naprezanja pri nasilnom lomu zupčanika nekoliko su puta veća od naprezanja koja se javljaju pri lomovima izazvanim umorom materijala. Veliku ulogu u postizanju iznimnih skokova i općenito velikih vrijednosti dinamičkih promjenjivih opterećenja imaju i vanjski utjecaji u smislu ulaska stranog tijela u zahvat dvaju zupčanika, ali i povećanje opterećenja uslijed postupnog trošenja materijala zupčanika. [23]

Pri dinamičkom opterećenju zupčanika može doći do njihovog loma čak i kada prisutno naprezanje u korijenu zuba nije veće od čvrstoće loma. Općenito se pod pojmom umora materijala misli na progresivno oštećivanje koje je izazvano periodičkim djelovanjem opterećenja koje uzrokuje pojavu cikličkih naprezanja i deformacija. Ukoliko tako izazvane vrijednosti naprezanje prijeđu granicu tečenja, dolazi do razvoja i značajnog proširenja oštećenja, te konačnog loma pri znatno nižem broju ciklusa od projektiranog. Tada pričamo o niskocikličnom umoru materijala. [24]

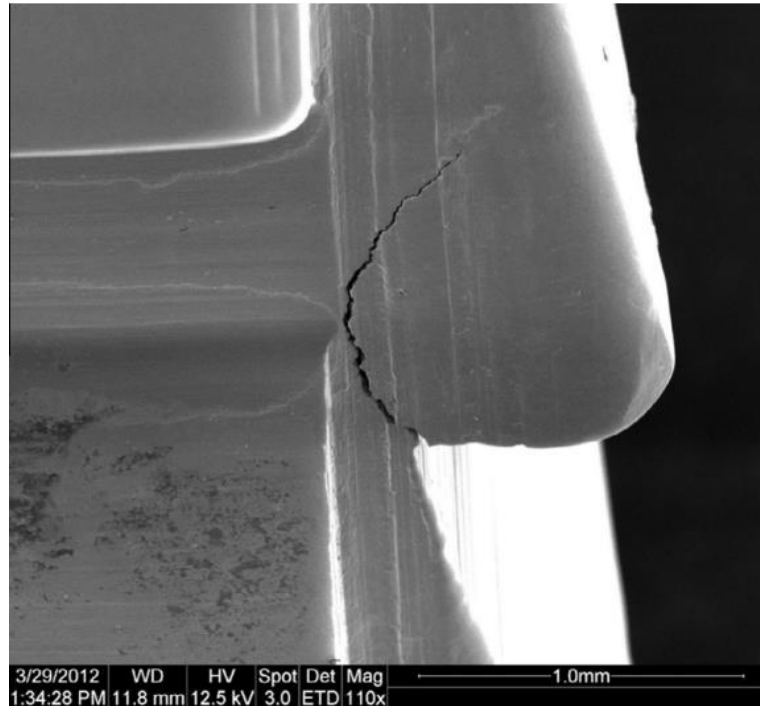
Konačni lom od umora materijala može nastupiti i kada prisutna naprezanja nisu veća od granice tečenja. Pri takvom lomu su prisutne plastične deformacije koje su veoma lokalizirane, a javljaju se veoma blizu koncentratora naprezanja. Tada se broj ciklusa koji je potreban za razvoj pukotine i konačnog loma povećava i pričamo o visokocikličnom umoru materijala. [24]

Kod jednog i drugog oblika umora materijala razlikujemo više faza kroz koje se odvija umor materijala, a to su:

- Inicijacija pukotine.
- Rast kratkih pukotina.
- Rast dugih pukotina.
- Lom.[24]

Za vrijeme gibanja dvaju zupčanika u dodiru, njihovi se bokovi međusobno odvaljuju, ali također dolazi i do kotrljanja i klizanja dijelova jednog zuba po drugom. Pritom dolazi do prijenosa snage s jednog na drugi i razvijanja normalnih sila između njih, a zbog razvijanja trenja između površina, materijal je opterećen i odgovarajućim tangencijalnim silama. Naziv

koji se koristi za umor materijala koji izaziva oštećenja materijala u navedenim uvjetima je kotrljajuće-klizno-kontaktni umor materijala. Na slici 30 prikazan je primjer pukotine na zupčaniku izazvan umorom materijala, gdje je vidljivo da je inicijacija pukotine bila u korijenu zuba. [24]



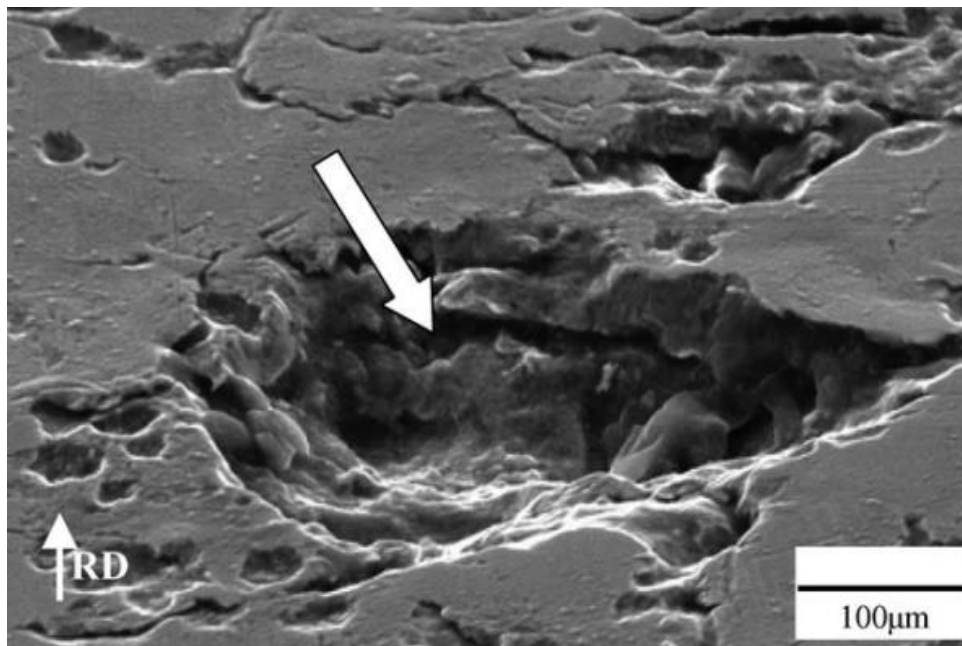
**Slika 30. Pukotina na zupčaniku izazvana umorom materijala [25]**

Rupičenje (jamičenje) je postupak postupnog oštećenja površina bokova zuba koje rezultira nastankom sitnih pukotina, tj. jamica dimenzija od nekoliko desetinki milimetra do nekoliko milimetara ukoliko se radi o nekom većem zupčanom paru. Jamičenju su češće izloženi pogonski zupčanci zbog češćeg ulaženja u zahvat. Oštećenja najčešće nastaju u području oko i ispod kinematskog kruga zupčanika zbog općenito nepovoljnijeg načina djelovanja opterećenja na tom dijelu boka zuba. Razlikujemo par osnovnih oblika jamičenja koji će biti kratko opisani u nastavku. [24]

Inicijalno jamičenje se javlja samo u počecima rada zupčanog para i to samo na određenim mjestima koja su zbog svojih nepravilnosti u geometriji i odstupanja u hrapavosti površine izloženi izravnom metalnom kontaktu i većim kontaktnim pritiscima. Nakon nekog vremena se površina bokova u kontaktu zagladi, pa se sila raspoređuje po većoj površini, tj. smanjuje se naprezanje u površinskom sloju i zaustavlja se proces jamičenja.[24]

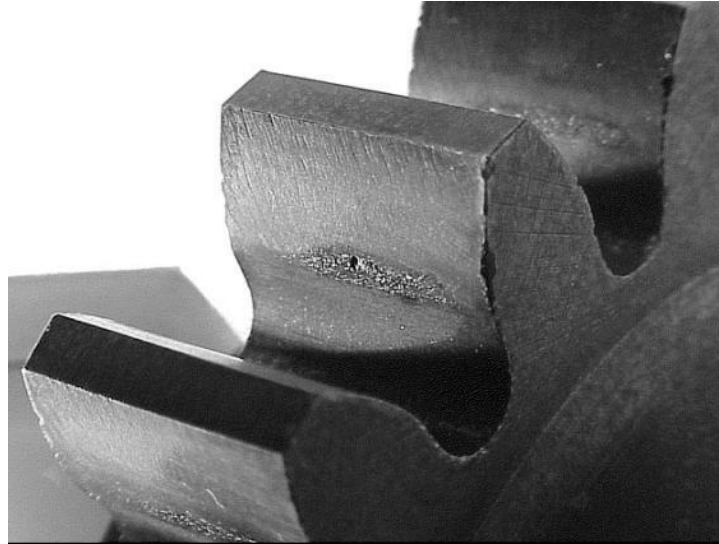
Progresivno jamičenje je prouzročeno umorom materijala, te inicijacijom mikropukotina na površini ili ispod nje. Spajanjem više takvih pukotina i njihovim rastom i izbijanjem na površinu otkidaju se komadići materijala raznih veličina ostavljajući na svom

mjestu rupice raznih veličina i dubina. Na slici 31 prikazana je SEM slika pukotine nastale progresivnim jamičenjem gdje RD na slici označava smjer valjanja. [24]



**Slika 31. SEM slika pukotine nastale progresivnim jamičenjem [26]**

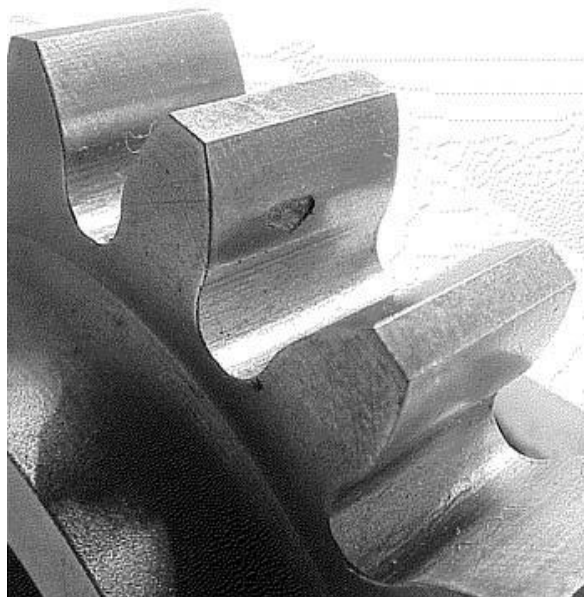
Mikrojamičenje često sadrži velik broj plitkih pukotina i jamica koje su duboke do nekoliko mikrometara, pa tako zahvaćenoj površini boka zuba daju „smrznuti“ ili mat-sivi izgled. Ukoliko dođe do izravnog kontakta, vrhovi neravnina se dijelom plastično deformiraju, a dijelom otkidaju, čime se oštećuje plitki površinski sloj materijala zubi i stvaranje mikropukotina. Napredak navedenog procesa može omogućiti i loše podmazivanje jer bez prisutnog ulja nema stvaranja uljnog filma koji sprječava metalni kontakt površine bokova zuba. Mikrojamčenje se ne smatra jednim od kritičnih oblika oštećenja, te je u slučaju dobrog podmazivanja, ovakav tip oštećenja moguće lako izbjeći. Na slici 32 prikazan je primjer mikrojamčenja.[24]



**Slika 32. Mikrojamichenje [24]**

Još jedan čest oblik na zubima zupčanika je rupičenje (engl. *flake pitting*), oblik oštećenja gdje su bokovi zuba oštećeni trostrano i ono nastaje odvajanjem tankih iveraka materijala s površine. Oblik oštećenja sličan rupičenju jest ljuskanje (engl. *spalling*), oštećenje koje se inicira ispod površine materijala, a slično kao i rupičenje zahvaća veću površinu boka zuba i rezultira odlomljenim komadima većih debljina. Pukotine se u početku procesa šire usporedno s površinom zuba i nakon što dostignu svoju kritičnu veličinu skrenu na površinu zuba čime dolazi do odvajanja materijala. [24]

Kada ovakav oblik nastane kod zupčanika s cementiranim zubima, dolazi do nastanka većeg oštećenja na boku zuba i nastanka jame čije je dno najčešće na rubu između cementiranog sloja i unutarnjeg sloja jezgre, dok kod zupčanika koji nisu podvrgnuti nekom obliku toplinske obrade u cilju otvrdnuća, dolazi do nastanka većih nakupina međusobno ispreplitujućih jama. Na slikama 33 i 34 prikazani su rupičenje i ljuskanje.[24]



**Slika 33. Rupičenje [24]**

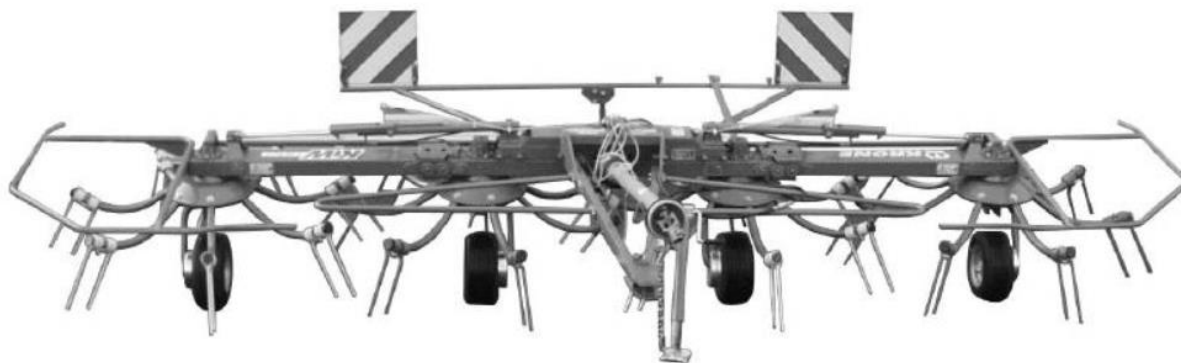


**Slika 34. Ljuskanje [24]**

## 5. Eksperimentalni dio

Tema ovog rada je analiza kvara pogonskog stožnika koji zajedno sa svojim pripadnim gonjenim stožnikom, čini zupčasti par koji služi za prijenos snage unutar strojeva.

Eksperimentalni je dio rada proveden na oštećenom pogonskom stožniku koji pogoni jedan od četiri rotora okretača sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T. Okretač se pogoni priključivanjem na kardansko vratilo radnog stroja (traktora). Na slici 35 prikazan je okretač sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T, a u tablici 4 njegove osnovne karakteristike.



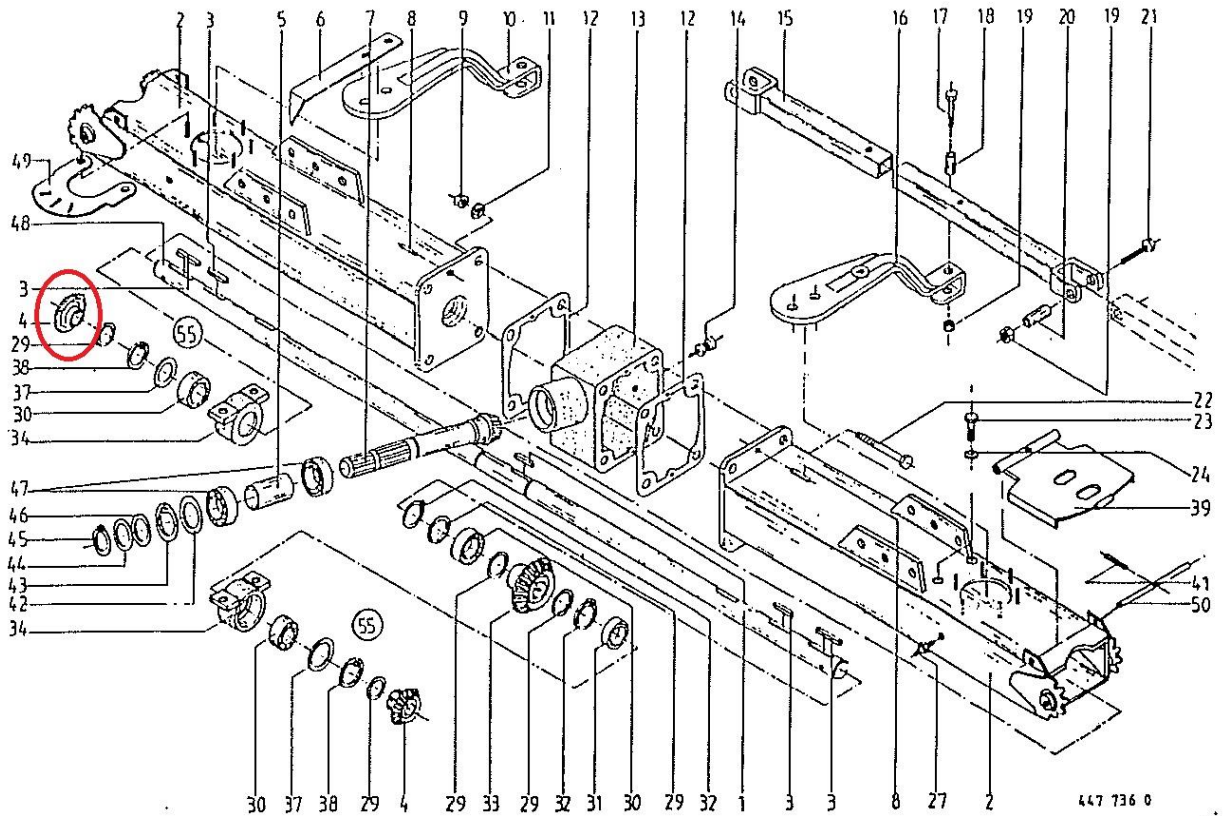
Slika 35. Okretač sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T [27]

Tablica 4. Karakteristike okretača sijena KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T [27]

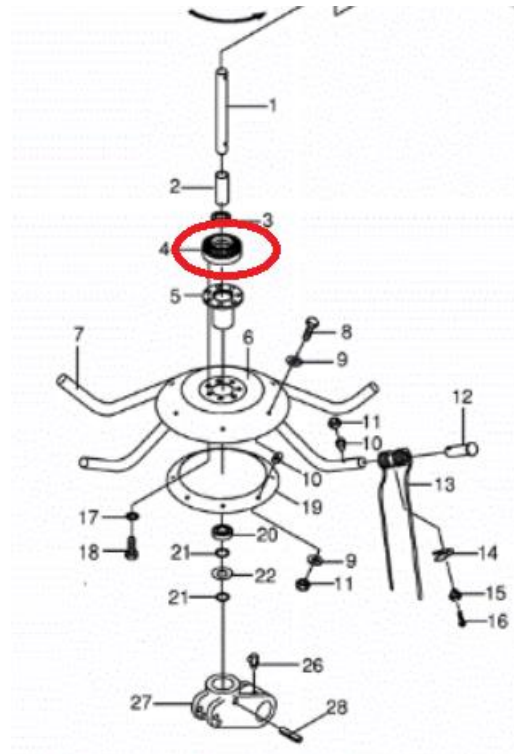
Radna širina [mm]	5500
Broj rotora	4
Širina u transportnoj poziciji [mm]	2930
Visina u transportnoj poziciji [mm]	2800
Učinkovitost [ha/h]	5,5
Potrebna snaga [kW]	18
Masa [kg]	560
Brzina vrtnje kardanskog vratila [ $\text{min}^{-1}$ ]	540



Na slici 36 prikazana je shema dijelova navedenog okretača sijena s označenim oštećenim stožnikom koji se nalazi unutar glavne konstrukcije i pogoni jedan rotor čija je shema prikazan na slici 37. Pogonski stožnik je na shemi sa slike 36 označen pozicijom 4, a gonjeni stožnik je na shemi sa slike 37 također označen pozicijom 4.



Slika 36. Shema dijelova okretača sijena sa označenim stožnikom [28]



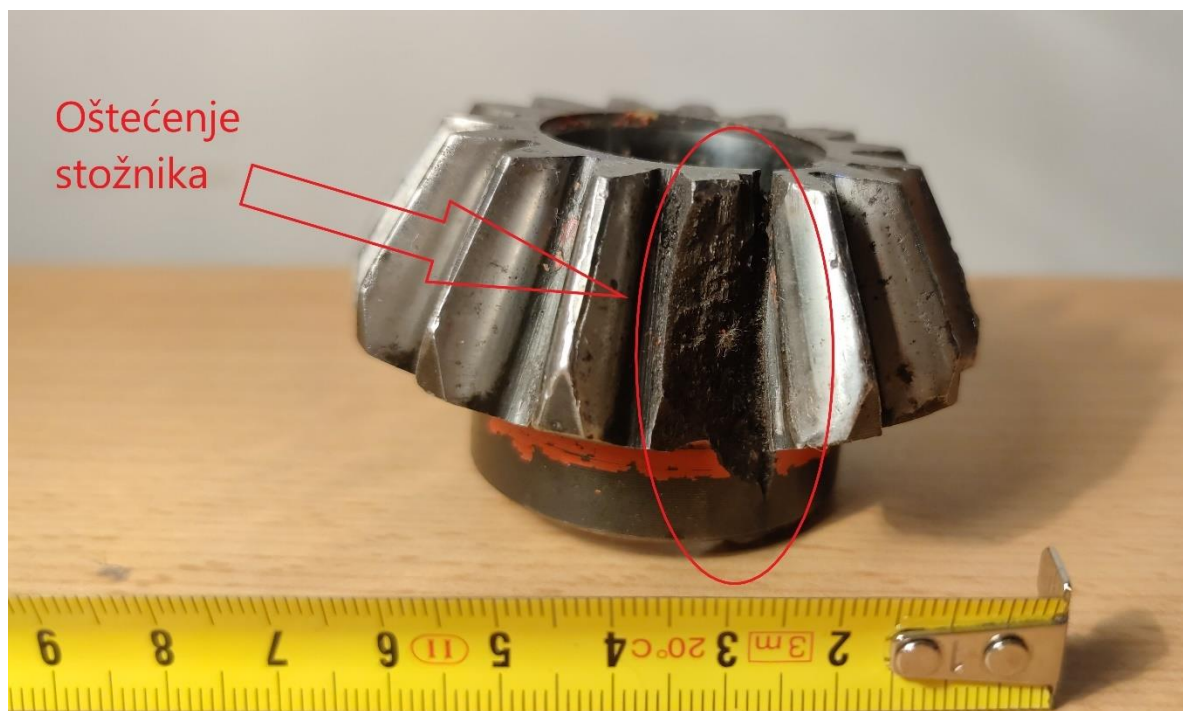
Slika 37. Shema dijelova jednog rotora okretača sijena [28]

### 5.1. Vizualni pregled uzorka

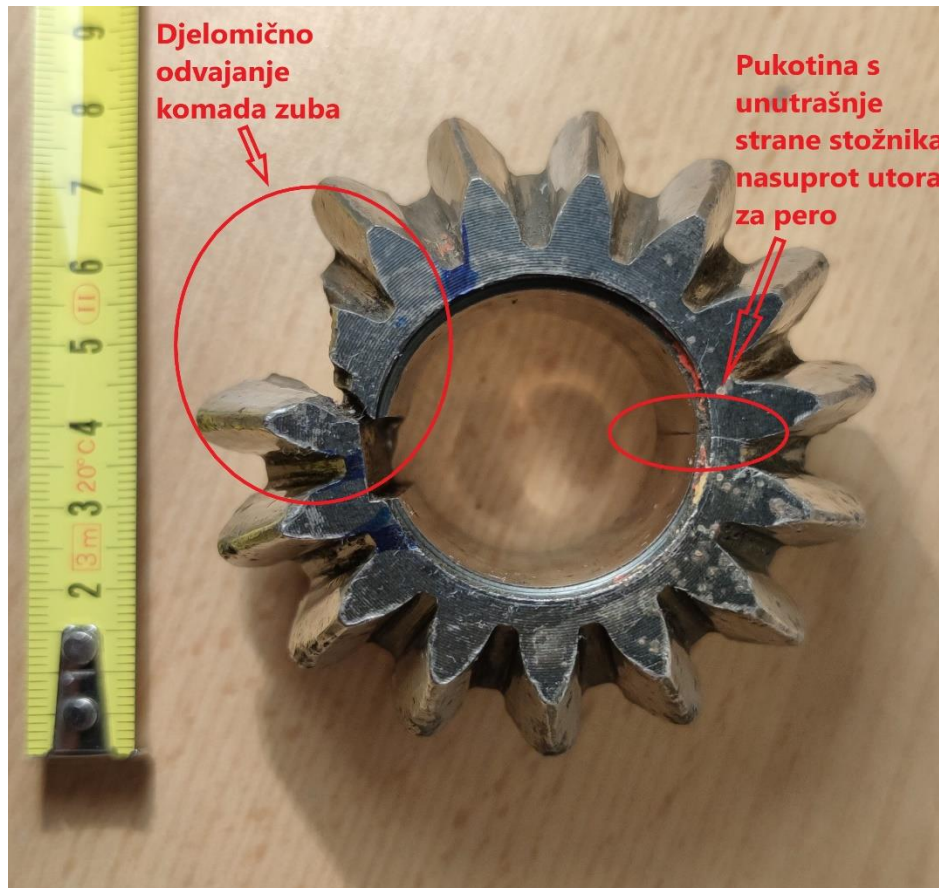
Tijekom rada okretača sijena došlo je do oštećenja stožnika, tj. do djelomičnog odvajanja komada zuba. Vizualnim pregledom su uočeni tragovi trošenja (*pitting*) na cijelom obodu stožnika vidljivi na slici 38. Uočena je i pukotina s unutrašnje strane utora za pero koja je uslijed trošenja potpuno propagirala po cijeloj visini stožnika, bez potpunog odvajanja, što je vidljivo na slikama 39 i 40.



Slika 38. Tragovi trošenja (*pitting*) na cijelom obodu stožnika

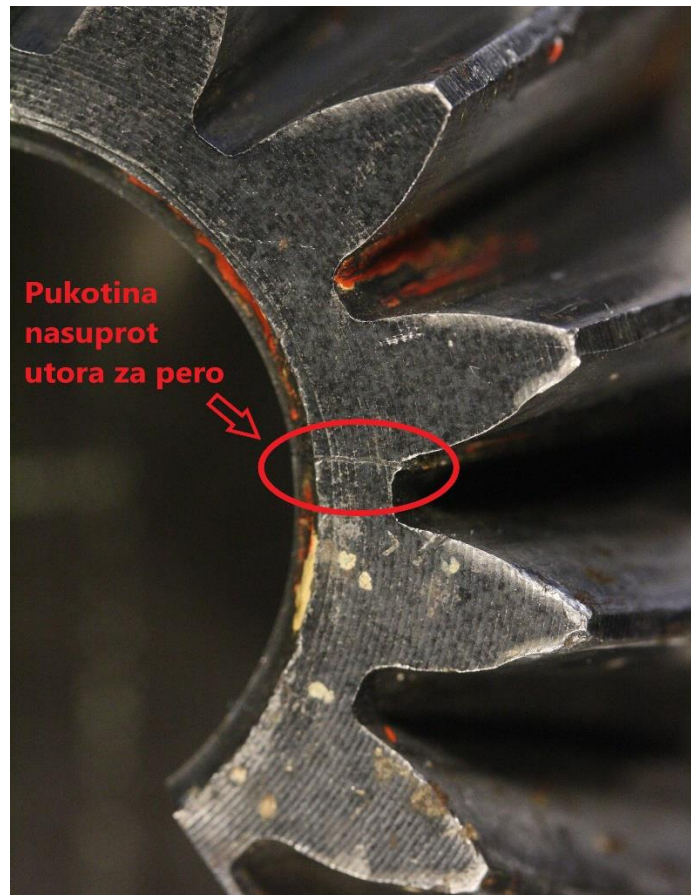


Slika 39. Oštećeni stožnik

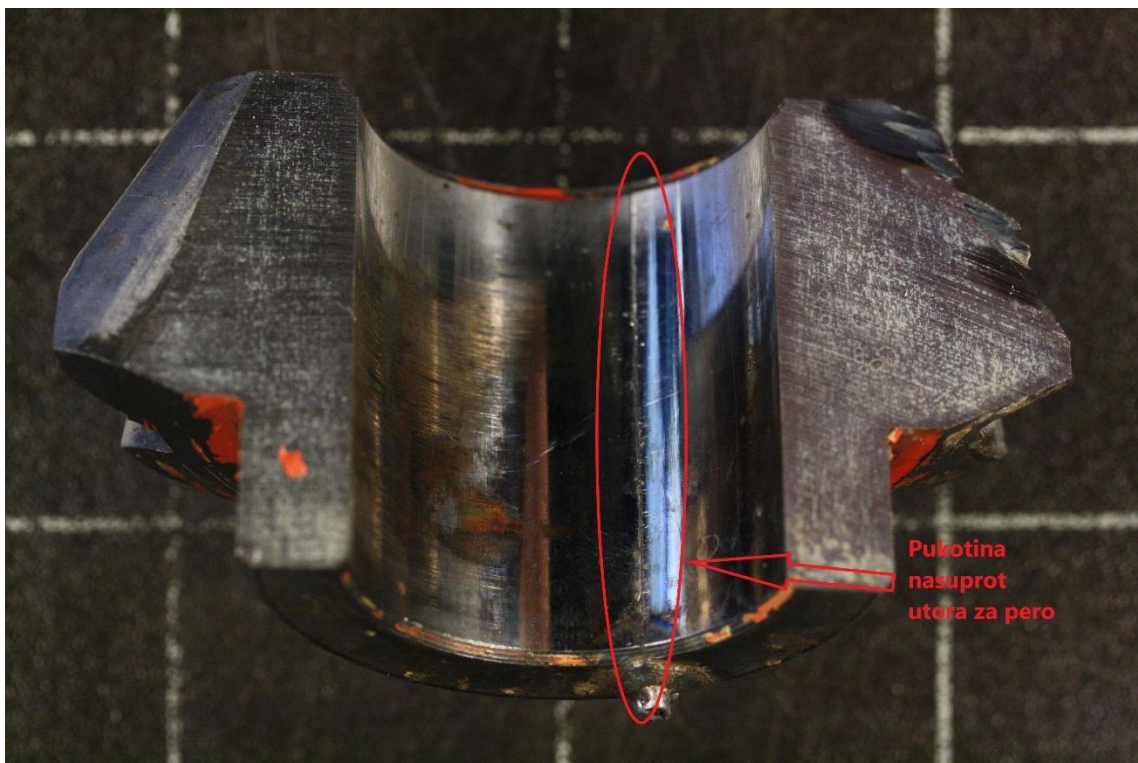


Slika 40. Oštećeni stožnik-odozgo

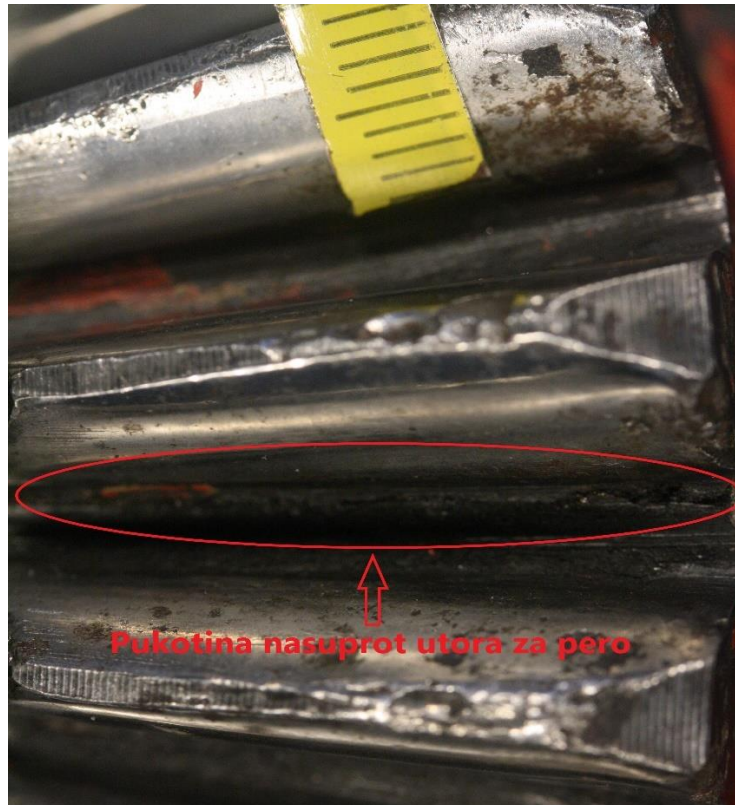
Na unutrašnjoj strani stožnika je došlo do nastanka pukotine nasuprot utora za pero. Na slikama 41, 42 i 43 prikazana je pukotina odozgo, s unutrašnje i vanjske strane, te je vidljivo kako je i ta pukotina, kao i ona na desnoj strani utora za pero propagirala po cijeloj visini stožnika.



Slika 41. Pukotina nasuprot utora za pero-odozgo

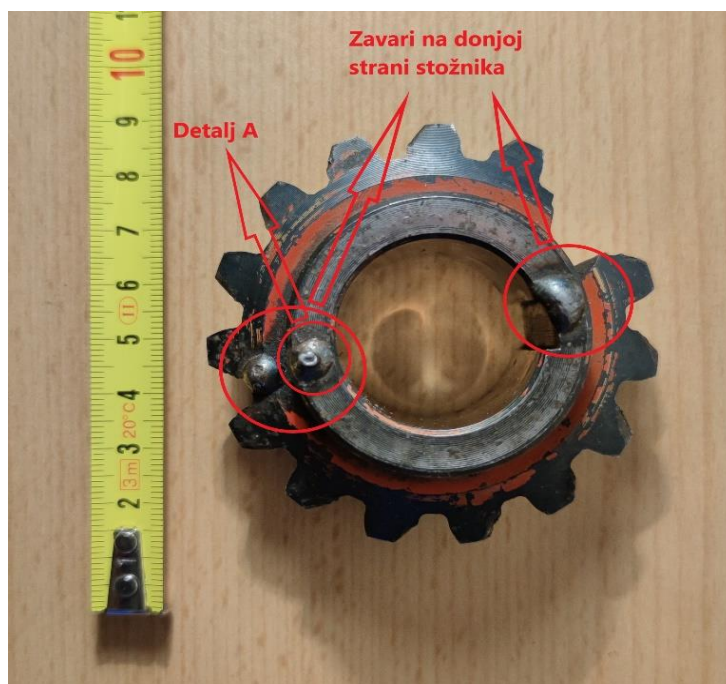


Slika 42. Pukotina nasuprot utora za pero-unutrašnja strana



Slika 43. Pukotina nasuprot utora za pero-vanjska strana

Daljnijim proučavanjem stožnika je zamijećeno da su se nastale pukotine pokušale popraviti od strane vlasnika stroja zavarivanjem na mjestima gdje je bilo vidljivo izbijanje pukotine na površinu. Zavari na donjoj strani stožnika su prikazani na slikama 44 i 45.



Slika 44. Zavari na donjoj strani stožnika

Na slici 45 prikazan je detalj zavora na donjoj strani stožnika na kraju pukotine nasuprot utora za pero.

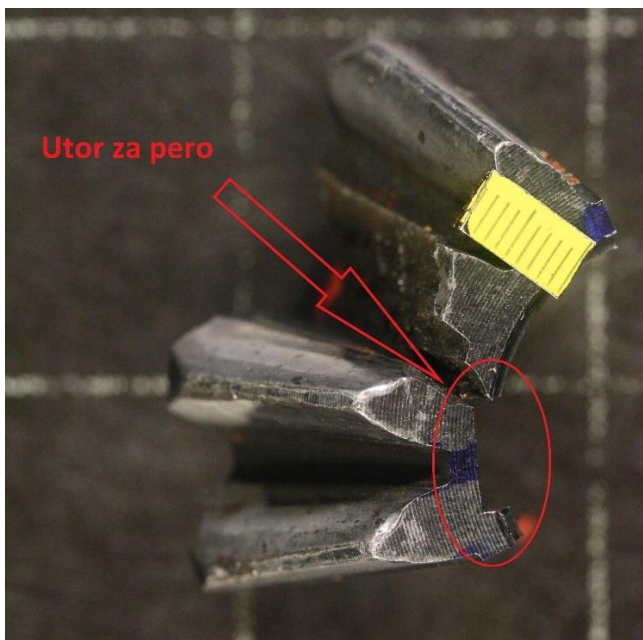


**Slika 45. Zavar na kraju pukotine nasuprot utora za pero**

Nakon bilježenja početnog stanja stožnika prije primjene razornih metoda u svrhu ispitivanja, stožnik je prerezan na tri dijela, te je dio u kojem je bilo oštećenje izdvojen. Stožnik je rezan uz vodeno hlađenje i podmazivanje u Laboratoriju za metalografiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, na rezalici proizvođača *Mecatome*, model T260. Za daljnje izdvajanje uzoraka korišten je dio na kojem se nalazi pukotina i utor za pero. Na slici 46 prikazani su dijelovi stožnika dobiveni rezanjem, a na slikama 47, 48 i 49 je izdvojeni dio sa pukotinom i utorom za pero.



Slika 46. Izrezani dijelovi oštećenog stožnika

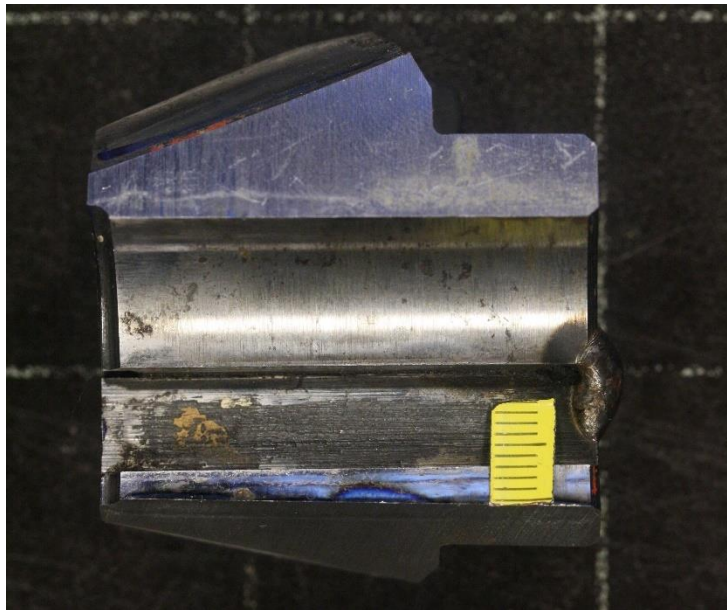


Slika 47. Izrezani dio s pukotinom i utorom za pero-odozgo



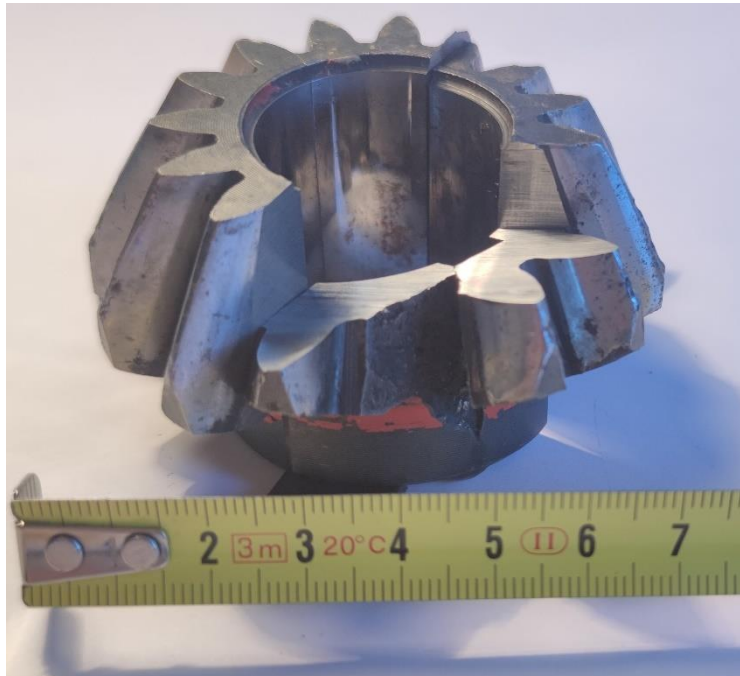
Slika 48. Izrezani dio s pukotinom i utorom za pero-vanjska strana





**Slika 49. Prikaz unutrašnjeg dijela stožnika-utor za pero**

Iz izdvojenog dijela stožnika su izrezani dijelovi na kojima će biti provedena ispitivanja. Na slici 50 su prikazani preostali dijelovi stožnika, posloženi na svoje originalne pozicije.



**Slika 50. Preostali dijelovi stožnika na originalnim pozicijama**

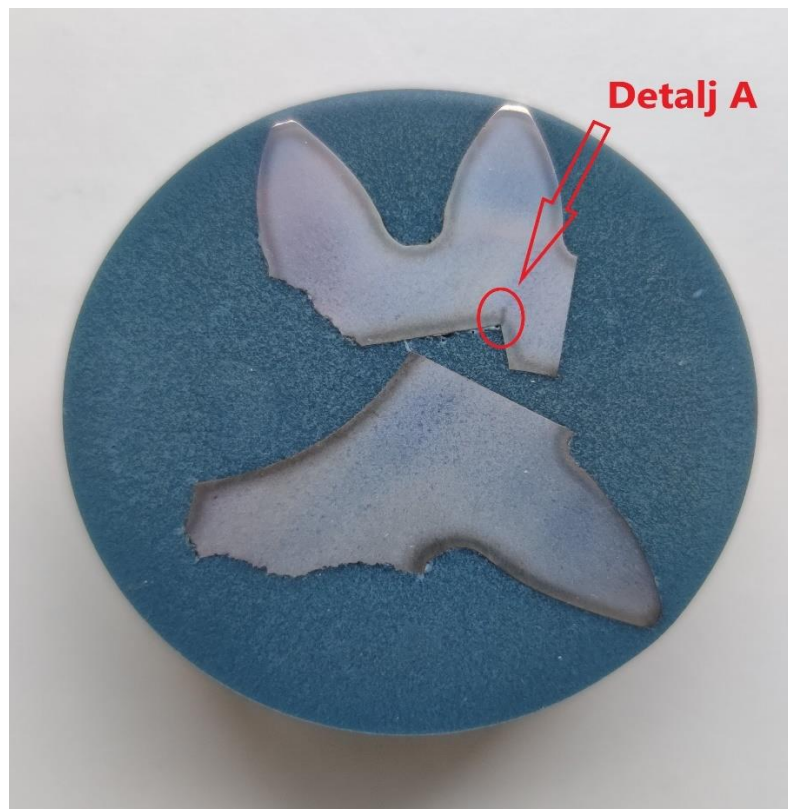
Nakon izrezivanja, uzorak je stavljen u kalup i zaliven polimernom masom. Pripremljeni uzorak je brušen i poliran na uređaju *Mecatech 250* u Laboratoriju za metalografiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje prema parametrima iz tablica 5 i 6. Nakon brušenja i poliranja uzorka, provedeno je i nagrizanje u 3% otopini nitala. Na slici 51 prikazan je uzorak nakon nagrizanja.

**Tablica 5. Parametri brušenja**

Postupak	Brzina vrtnje	Granulacija brusnog papira
Brušenje	300 min <sup>-1</sup>	120
		320
		600
		1200
		2400
		4000

**Tablica 6. Parametri poliranja**

Postupak	Brzina vrtnje	Sredstvo za poliranje
Poliranje	150 min <sup>-1</sup>	polirna tkanina + lubrikant
		dijamantna pasta (3 μm)
		dijamantna pasta + lubrikant (0,03 μm)



**Slika 51. Uzorak nakon nagrizanja s označenim detaljem**

## **5.2. Analiza mikrostrukture svjetlosnim mikroskopom**

Nakon nagrizanja je promatrana mikrostruktura jezgre i ruba uzorka na svjetlosnom mikroskopu *Olympus GX51*. Na slici 51 detalj A predstavlja pukotinu koja je uočena na suprotnoj strani utora za pero prilikom pregleda površine.



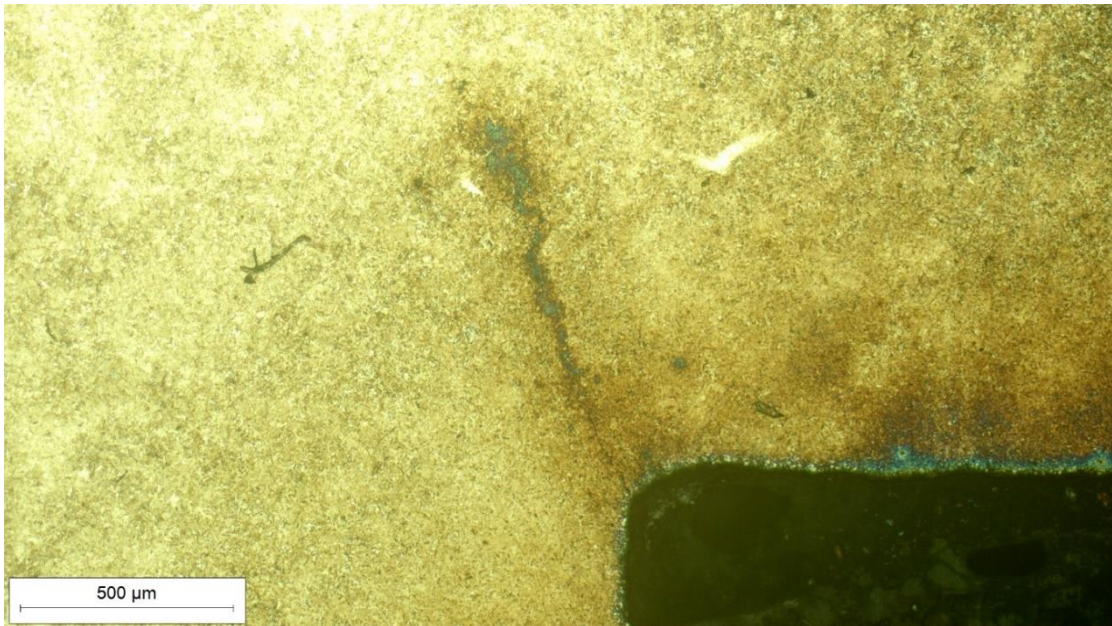
**Slika 52. Mikrostruktura u jezgri stožnika-500x povećanje**

Na slici 52 prikazana je mikrostruktura u jezgri stožnika i zaključuje se da se radi o martenzitnoj strukturi.



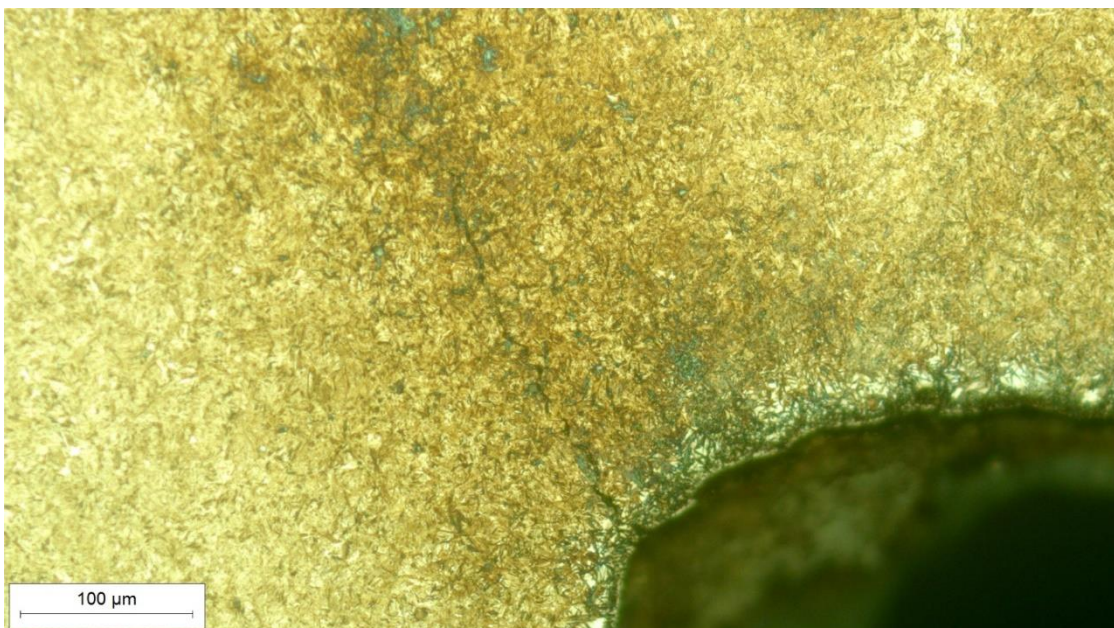
**Slika 53. Mikrostruktura na rubu zuba-500x povećanje**

Na slici 53 prikazana je također martenzitna mikrostruktura na rubu zuba stožnika.



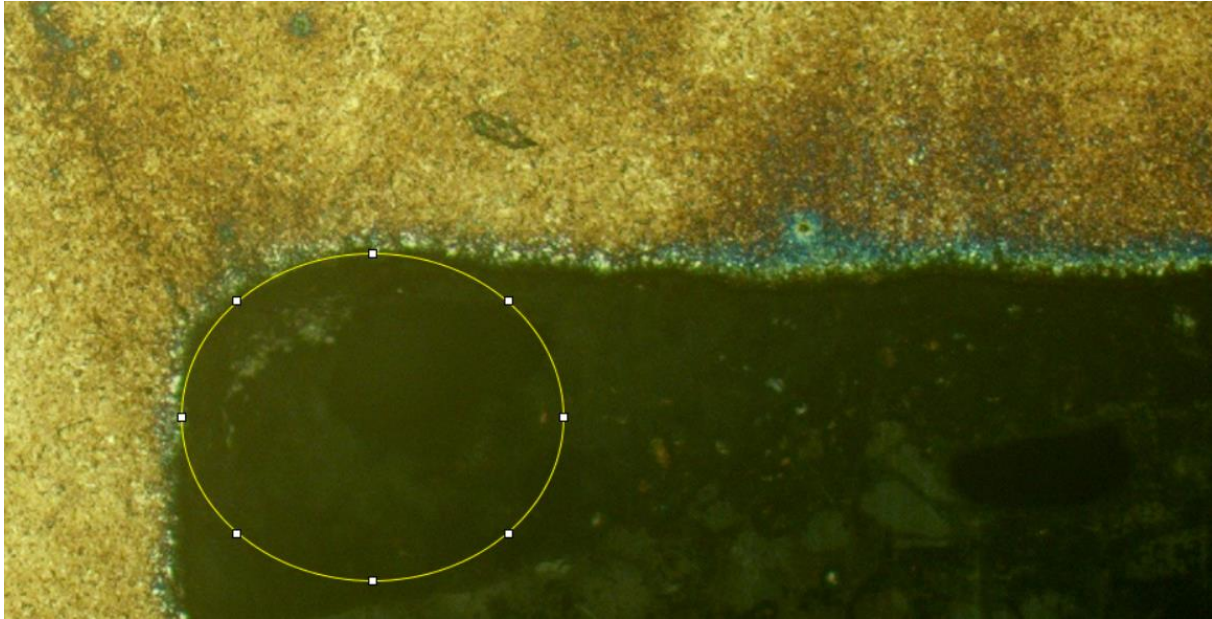
**Slika 54. Pukotina na uzorku**

Proučavanjem detalja A vidljiv je početak pukotine na rubu utora za pero koja propagira u unutrašnjost ali se zaustavlja na određenoj dubini unutar stožnika. Na slici 55 je dan uvećan prikaz početka pukotine.



**Slika 55. Uvećan prikaz pukotine**

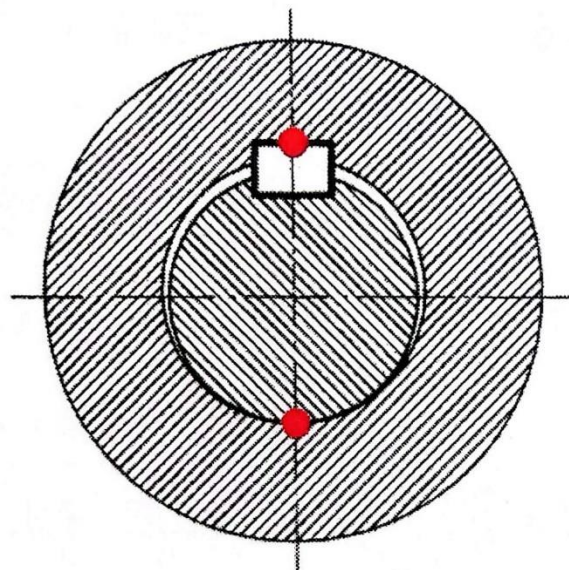
Pretpostavlja se da je radijus u korijenu utora za pero premalen, te da je to uzrok nastanka pukotina. Radijus utora za pero je izmjeren koristeći programski paket *ImageJ* upisivajući kružnicu u zaobljeni rub utora. Mjerenjem je dobivena vrijednost radijusa od 0,185 mm. Način mjerenja radijusa pomoću programskog paketa prikazan je na slici 56.



**Slika 56. Mjerenje radijusa pomoću programskog paketa *ImageJ***

Norma BS 4235-1:1972 (ISO/R773) (prilog I) propisuje dimenzije utora za pero i samog pera, te je prema njoj minimalan radijus brida korijena utora za pero na promatranom stožniku 0,25 mm. Prema [17] potrebno je zaobliti rubove korijena utora za pero u glavini i vratilu kako bi se smanjilo zarezno djelovanje što u ovom slučaju nije napravljeno. Izmjereni radijus je premali, te takav predstavlja koncentrador naprezanja i uzrok puknuća.

Pukotina nasuprot utora za pero nastala je zbog toga što spajanjem vratila i glavine perom dolazi do dodira u dvije točke, tj. vratilo i stožnik se na jednoj strani dodiruju preko pera, dok na suprotnoj strani dolazi do neposrednog dodira. Na slici 57 prikazan je dodir u dvije točke vratila i glavine pri spajanju s perom.[17]



**Slika 57. Dodir u dvije točke vratila i glavine [17]**

### 5.3. Analiza kemijskog sastava

Analiza kemijskog sastava uzorka provedena je u Laboratoriju za analizu metala Fakulteta strojarstva i brodogradnje postupkom optičke emisijske spektrometrije na uređaju GDS 850, Leco. U tablici 7 su prikazani rezultati kvantitativne kemijske analize.

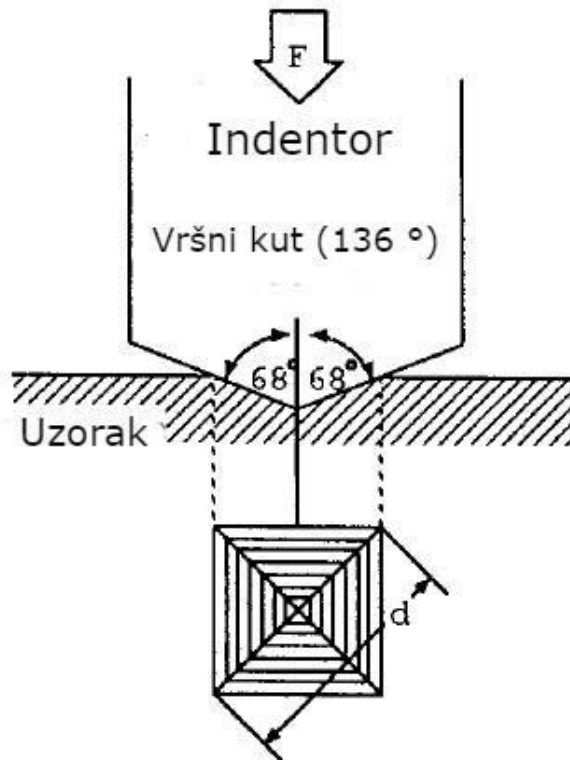
**Tablica 7. Kemijski sastav uzorka**

Uzorak	%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe
Stožnik	0,25	0,26	1,13	0,015	0,025	1,06	0,06	0,17	0,19	ostatak

Na temelju rezultata analize utvrđeno je da je stožnik izrađen od čelika za cementiranje EN 25MnCr5.

### 5.4. Mjerenje tvrdoće

Tvrdoća se prilikom konvencionalnog ispitivanja definira kao omjer primijenjene sile na indenter i veličine površine između indentora i ispitivanog uzorka. Veličina kontaktnog područja će se razlikovati od metode do metode zbog različitih oblika indentora i zbog samog načina na koji je ono definirano. U radu je provedena metoda ispitivanja tvrdoće prema Vickersu gdje je indenter u obliku piramide vršnog kuta  $68^\circ$  s kvadratnom bazom. Na slici 58 prikazan je oblik indentora i kontaktne površine kod Vickers metode mjerenja tvrdoće.[29]



**Slika 58. Oblik indentora i kontaktne površine kod Vickers metode[29]**

Tvrdoća uzorka je izmjerena u Laboratoriju za toplinsku obradbu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje koristeći uređaj *Wilson-Wolpert Tukon®2100B*.

Tvrdoća je mjerena u dva niza od ruba prema sredini zuba stožnika koristeći opterećenje od 9,8 N (HV1). U prvom nizu je bilo 12 mjerenja, a u drugom nizu 10. U tablici 8 su prikazani rezultati prvog niza mjerenja, a u tablici 9 drugog niza mjerenja tvrdoće.



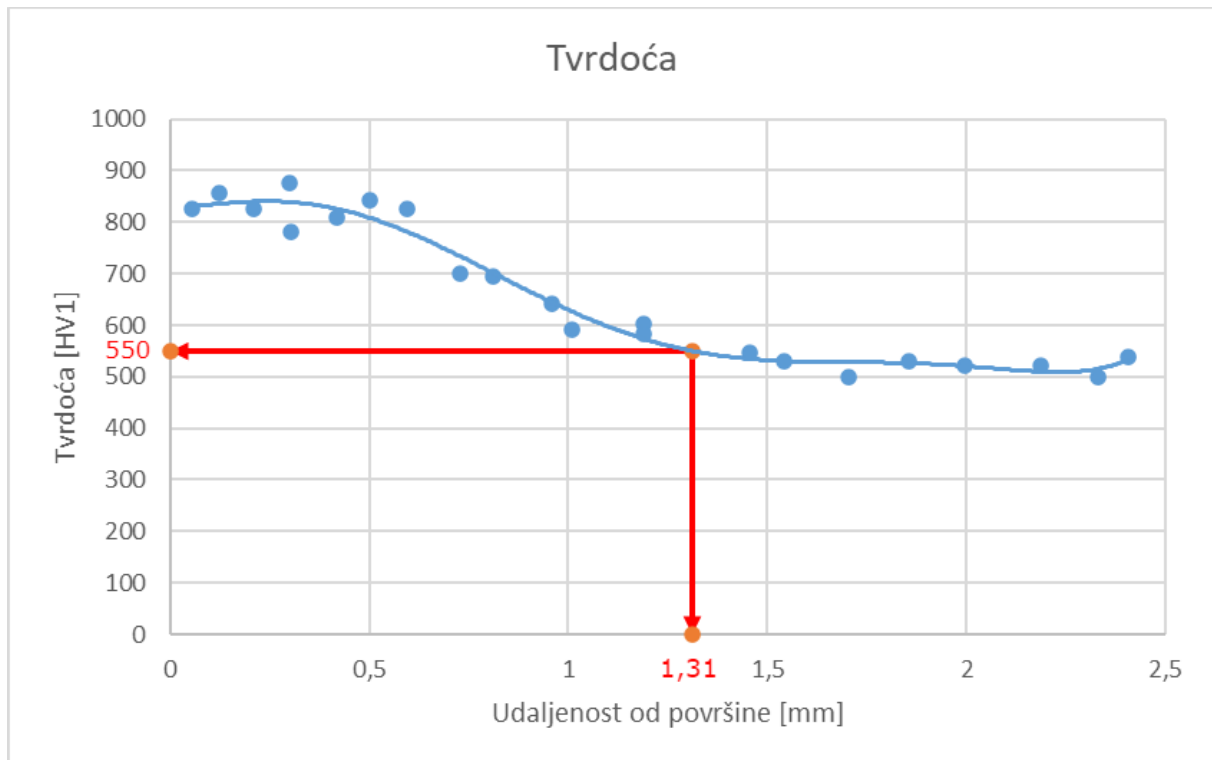
**Tablica 8. Rezultati prvog niza mjerenja tvrdoće**

<b>Udaljenost od površine [mm]</b>	<b>Tvrdoća [HV1]</b>
0,055	826
0,210	826
0,302	781
0,420	810
0,595	826
0,810	694
1,010	592
1,190	602
1,455	547
1,705	500
1,995	523
2,330	500

**Tablica 9. Rezultati drugog niza mjerenja tvrdoće**

<b>Udaljenost od površine [mm]</b>	<b>Tvrdoća [HV1]</b>
0,125	858
0,300	875
0,500	842
0,730	701
0,960	643
1,190	583
1,540	531
1,855	531
2,185	523
2,405	539

Na slici 59 prikazan je graf ovisnosti tvrdoće o udaljenosti od površine.



**Slika 59. Vrijednosti tvrdoće na različitim udaljenostima od površine**

Iz grafa na slici 59 je vidljivo da efektivna dubina cementiranja na kojoj se postiže tvrdoća 550 HV1 (definirana prema DIN EN ISO 2639) iznosi 1,31 mm.

Prema analizi mikrostrukture (slike 52 i 53) i rezultatima mjerenja tvrdoće (tablice 8 i 9) zaključuje se da je u jezgri stožnika prisutna niskouglična martenzitna struktura tvrdoće do 500 HV1, a na rubu zuba visokouglična martenzitna struktura tvrdoće do 875 HV1.

## 6. Zaključak

Na temelju svih provedenih analiza u sklopu rada (vizualne analize promatranog oštećenog dijela, analize mikrostrukture svjetlosnim mikroskopom, analize kemijskog sastava uzorka, te ispitivanja tvrdoće uzorka) zaključuje se sljedeće:

- Vizualnim pregledom oštećenja utvrđena je prisutnost pukotine po cijeloj visini stožnika koja je izazvala djelomično odvajanje komada zuba istog. Također su vidljivi tragovi trošenja (pittinga) po cijelom obodu stožnika koji su najvjerojatnije nastali uslijed manjka podmazivanja.
- Inicijalni kvar se pokušao ranije otkloniti od strane vlasnika okretača sijena zavarivanjem vidljivih oštećenja na površini stožnika, ali je time samo oslabljena struktura uvođenjem dodatnih toplinskih, a zatim i zaostalih naprezanja.
- Nastanak pukotine u korijenu utora za pero i njena propagacija kroz cijeli stožnik uzrokovala je djelomični lom zuba. U drugom kraju utora za pero je također došlo do nastanka pukotine koja je proučavana, te je mjerenjem radijusa korijena utora za pero na strani koja je ostala utvrđeno da je radijus manji nego što bi prema normi trebao biti, uzrokujući tako nastanak koncentracije naprezanja.
- Zbog pojave dodira u dvije točke koji nastaje pri spajanju vratila i stožnika perom, došlo je do nastanka pukotine i na suprotnoj strani stožnika koja je također propagirala po cijeloj visini stožnika.
- Analizom kemijskog sastava i mikrostrukture zaključuje se da je materijal stožnika čelik za cementiranje EN 25MnCr5. Analizom mikrostrukture i mjerenjem tvrdoće zaključeno je da je rubu zuba prisutna visokouglična martenzitna mikrostruktura tvrdoće do 875 HV1, a u jezgri niskouglična martenzitna mikrostruktura tvrdoće do 500 HV1. Efektivna dubina cementiranja na kojoj se postiže 550 HV1 iznosi 1,31 mm.
- Nastanak pukotine koja prodire duž cijele visine stožnika uzrokujući odvajanje dijela zuba je bilo moguće spriječiti boljom obradom ruba unutar utora za pero izbjegavajući premale radijuse kao potencijalne koncentratore naprezanja.
- Trošenje (pitting) po cijelom obodu stožnika je moglo biti reducirano češćom primjenom maziva.

## 7. LITERATURA

- [1] Domaćinović M. Hranidba domaćih životinja. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku; 2006.
- [2] Hay stacking [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://www.hippopx.com/hr/hay-forage-balls-boots-pre-bale-of-hay-stacking-448511>
- [3] Domaćinović M, Đidara M, Solić D, Špreanda M. Dobra proizvođačka praksa u animalnoj proizvodnji. Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku; 2019.
- [4] Stjepanović M, Štafa Z, Bukvić G. Trave za proizvodnju krme i sjemena. Zagreb: Hrvatska mljekarska udruga Zagreb; 2008.
- [5] Ručna košnja trave [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://bs.pastureone.com/5978-how-to-mow-the-grass-hand-oblique.html>
- [6] Ručna kosa [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://poljoprivredna-oprema.hr/hr/detalji/univerzalna-oprema-za-farme-radni-alati/sklopiva-kosa-wettschliff-163>
- [7] Zimmer R, Košutić S, Zimmer D. Poljoprivredna tehnika u ratarstvu. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku; 2009.
- [8] Filetin T, Kovačićek F, Indof J. Svojstva i primjena materijala. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu; 2013.
- [9] Bočna kosa [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://www.njuskalo.hr/oprema-sjetva-zetva-berba/bocna-kosa-imt-533-imt-539-oglas-31341897>
- [10] Bočna kosa [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://www.index.hr/oglas/bocna-kosa-gramip-dubrava-za-imt-533-539/oid/1812166>
- [11] Kosilice [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: <https://qdoc.tips/kosilice-pdf-free.html>
- [12] Vidić M. Proizvodnja i spremanje sijena. Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek; 2020.
- [13] Zvezdaste grablje sunce Agromehanika Boljevac [Internet]. (pristupljeno: 06/26/2022). Dostupno na: [http://www.agrocoop.ba/images/proizvodi/mehanizacija/sijeno\\_sjenaza/zvezdaste\\_grablje\\_sunce\\_agromehanika.pdf](http://www.agrocoop.ba/images/proizvodi/mehanizacija/sijeno_sjenaza/zvezdaste_grablje_sunce_agromehanika.pdf)
- [14] Dundović D. Tehnika spremanja sjenaže na farmi tovne junadi Simental-commerce d.o.o. Osijek: Poljoprivredni fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2015.
- [15] Massey Ferguson balirka za male bale MF 1840 [Internet]. (pristupljeno: 06/28/2022). Dostupno na: <https://www.agroklub.com/poljoprivredni-oglasnik/oglas/massey-ferguson-balirka-za-male-bale-mf-1840/46714/>
- [16] Rolo prese Metal Fach Z562 [Internet]. (pristupljeno: 06/28/2022). Dostupno na: [http://www.agrocoop.ba/images/proizvodi/mehanizacija/sijeno\\_sjenaza/rolo\\_prese\\_metal\\_fach.pdf](http://www.agrocoop.ba/images/proizvodi/mehanizacija/sijeno_sjenaza/rolo_prese_metal_fach.pdf)
- [17] Decker KH. Elementi strojeva. Zagreb: Golden marketing-Tehnička knjiga; 2006.
- [18] Oberšmit E. Ozubljenja i zupčanici. Zagreb: SNL; 1982.
- [19] Machineseker Hrvatska [Internet]. (pristupljeno: 05/10/2022). Dostupno na: <https://www.machineseker.hr/nottmeyer-33+lochabstand/i-1798973>
- [20] Jelaska D. Cilindrični zupčanici, uputstva za proračun. FESB; 2003.
- [21] Mehanička svojstva čelika [Internet]. (pristupljeno: 05/15/2022). Dostupno na: [21] [https://elemstroj.fsb.hr/pdf/pmf/osnove\\_strojarstva/meh\\_svojstva\\_celika.pdf](https://elemstroj.fsb.hr/pdf/pmf/osnove_strojarstva/meh_svojstva_celika.pdf)
- [22] Prilog označavanju čeličnih lijevova po europskim standardima [Internet]. (pristupljeno: 05/15/2022). Dostupno na: [22]

- [https://www.researchgate.net/publication/316856024\\_Prilog\\_oznacavanju\\_zeljeznih\\_ljevova\\_po\\_europskim\\_standardima\\_The\\_Contribution\\_to\\_the\\_Disignation\\_of\\_Cast\\_Iron\\_by\\_European\\_Standards](https://www.researchgate.net/publication/316856024_Prilog_oznacavanju_zeljeznih_ljevova_po_europskim_standardima_The_Contribution_to_the_Disignation_of_Cast_Iron_by_European_Standards)
- [23] Lukša F. Oštećenja zupčanika. 2003.
- [24] Basan R, Franulović M, Lengauer M, Križan B. Oštećenje bokova zuba zupčanika uzrokovana kotrljajno-klizno-kontaktним zamorom materijala. Rijeka; 2010.
- [25] Mackin TJ, Anderson N, Aguilar S, Beemiller G, Copsey B, Draper D, et al. Fatigue failure of a star–ratchet gear. *Engineering Failure Analysis*. 2013 Sep;32:334–47. doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.03.009
- [26] Aslantaş K, Taşgetiren S. A study of spur gear pitting formation and life prediction. *Wear*. 2004 Dec;257(11):1167–75. doi: 10.1016/j.wear.2004.08.005
- [27] KRONE KW 5.50 / 4 x 7 T [Internet]. (pristupljeno: 06/15/2022). Dostupno na: <https://www.manualslib.com/manual/1791305/Krone-Kw-5-50-4-X-7-T.html#manual>
- [28] Messick's [Internet]. (pristupljeno: 06/15/2022). Dostupno na: <https://www.messicks.com/kr/95975>
- [29] Sugimoto T, Kawaguchi T. Development of an automatic Vickers hardness testing system using image processing technology. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 1997;44(5):696–702. doi: 10.1109/41.633474

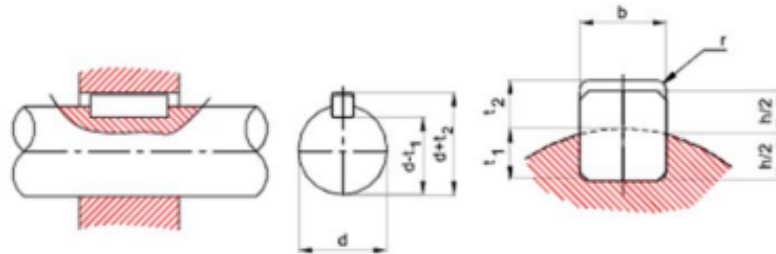
## **PRILOZI**

- I. Dimenzije utora za pero prema BS 4235-1:1972 (ISO/R773)
- II. Kemijska analiza uzorka

## Prilog I – Dimenzije utora za pero prema BS 4235-1:1972 (ISO/R773)

### KeyWay /Key Dimensions

keyways /keys dimension in accordance with BS 4235-1:1972: Specification for metric keys and keyways - Parallel and taper keys



Nominal Dia d		Key b x h width x thck		KeyWay										
				Width b					Depth				Radius r	
Over	Incl	Nom	Tolerance Class				Shaft t <sub>1</sub>		Hub t <sub>2</sub>		Max	min		
			Free	Normal	Close/Int	-	-	-	-					
			Shaft H9	Hub D10	Shaft N9	Hub Js9	Shaft/Hub P9	Nom	Tol	Nom	Tol			
6	8	2x2	2						1,2		1,0		0,16	0,08
8	10	3x3	3	+0,025 0	+0,06 +0,02	-0,004 -0,029	+0,012 -0,012	-0,006 -0,031	1,8		1,4		0,16	0,08
10	12	4x4	4	+0,03 0	+0,078 +0,030	0 -0,030	+0,015 -0,015	-0,012 -0,042	2,5	+0,1 0	1,8	+0,1 0	0,16	0,008
12	17	5x5	5						3,0		2,3		0,25	0,16
17	22	6x6	6						3,5		2,8		0,25	0,16
22	30	8x7	8	+0,036 0	+0,098 +0,040	0 -0,036	+0,018 -0,018	-0,015 -0,051	4,0	+0,2 0	3,3	+0,2 0	0,25	0,16
30	38	10x8	10	+0,0430	+0,12 +0,050	0 -0,043	+0,021 -0,021	-0,018 -0,061	5,0	+0,2 0	3,3	+0,2 0	0,40	0,25
38	44	12x8	12						5,5		3,8		0,40	0,25
44	50	14x9	14						6,0		4,3		0,40	0,25
50	58	16x10	16						7,0		4,4		0,40	0,25
58	65	18x11	18						7,5		4,9		0,60	0,40
65	75	20x12	20	+0,052 0	+0,149 +0,065	0 -0,052	+0,026 -0,026	-0,022 -0,074	9,0	+0,2 0	5,4	+0,2 0	0,60	0,40
75	85	22x14	22						9,0		5,4		0,60	0,40
85	95	25x14	25						9,0		5,4		0,60	0,40
95	110	28x16	28						10,0		6,4		0,60	0,40
110	130	32x18	32	+0,062 0	+0,18 +0,080	0 -0,062	+0,031 -0,031	-0,026 -0,088	11,0	+0,3 0	7,4	+0,3 0	0,6	0,4
130	150	36x20	36						12,0		8,4		1,0	0,7
150	170	40x22	40						13,0		9,4		1,0	0,7
170	200	45x25	45						15,0		10,4		1,0	0,7
200	230	50x28	50						17,0		11,4		1,0	0,7
230	260	56x32	56	+0,074 0	+0,220 0,100	0 -0,074	+0,037 -0,037	-0,032 -0,106	20,0	+0,3 0	12,4	+0,3 0	1,6	1,2
260	290	63x32	63						20,0		12,4		1,6	1,2
290	330	70x36	70						22,0		14,4		1,6	1,2
330	380	80x40	80						25,0		15,4		2,5	2,0
380	440	90x45	90						28,0		17,4		2,5	2,0
440	500	100x50	100	0	0,120	-0,087	-0,043	-0,124	31,0		19,5		2,5	2,0

## Prilog II – Kemijska analiza uzorka

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

11/22

Zagreb, 18.05.2022.

**PREDMET:** Kemijska analiza uzorka

U Laboratoriju za analizu metala Fakulteta strojarstva i brodogradnje napravljena je kvantitativna kemijska analiza dostavljenog uzorka. Na temelju dobivenih rezultata dostavljamo Vam sljedeće:

### IZVJEŠĆE

**METODA ODREĐIVANJA:**

- optička emisijska spektrometrija

**INSTRUMENT:**

- optički emisijski spektrometar GDS 850 A, LECO

Oznaka uzorka	%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe
NU	0,25	0,26	1,13	0,015	0,025	1,06	0,06	0,17	0,19	ostatak

Voditeljica laboratorija:

Martina Kocijan, mag.ing.cheming.



Rezultati ispitivanja odnose se samo na ispitane uzorke.

Umnožavanje izvješća dozvoljeno je samo u cijelosti.

Djelomično umnožavanje izvješća dozvoljeno je samo uz pismeno odobrenje Laboratorija.

1