

# Trošenje utovarne lopate utovarivača

---

**Ravlić, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni 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:235:649131>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Dario Ravlić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Dario Ravlić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj završni rad pod nazivom „Trošenje utovarne lopate utovarivača“ izradio samostalno koristeći se znanjem stečenim tijekom studija te koristeći navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici dr.sc. Suzani Jakovljević na brojnim korisnim savjetima te na njezinom sveopćem trudu, pristupačnosti i zalaganju pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem i asistentu Danijelu Pustičkom i laborantu Ivanu Vovku koji su mi pomagali oko eksperimentalnog dijela.

Zahvaljujem firmi „IGM šljunčara Trstenik d.d.“ što su mi ustupili potrebni uzorak utovarne lopate kako bi mogao na njemu provesti ispitivanja.

Naposljetku zahvalio bi se i svojim roditeljima, sestri, curi kao i svim prijateljima na velikoj pruženoj podršci.

Dario Ravlić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

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



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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dario Ravlić**

JMBAG: **0035218412**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Trošenje utovarne lopate utovarivača**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Wear of buckets**

Opis zadatka:

Utovarivač je samohodni radni stroj koji pomoću ugrađene utovarne lopate utovaruje rastresiti materijal (šljunak, pijesak, kamen) u transportna sredstva. Upotreba utovarivača je vrlo raširena te osim ovog osnovnog zadatka utovarivači se koriste i za iskop i za prijenos (transport) materijala, ravnanje terena, skladištenje materijala te razne komunalne djelatnosti (čišćenje snijega, zatrpavanje jama i dr.).

Prilikom rada lopate utovarivača dolazi do trošenja površine radnog dijela utovarne lopate na mjestu dodira s radnim materijalom.

U radu je potrebno:

- 1) definirati materijale od kojih se izrađuju lopate utovarivača,
- 2) analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kontaktu utovarne lopate i radnog materijala,
- 3) na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala lopate utovarivača,
- 4) analizirati rezultate i dati zaključak.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK .....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD .....	1
2. UTOVARIVAČI .....	2
2.1. Vrste utovarivača .....	2
2.1.1. Utovarni rovokopači .....	2
2.1.2. Buldožderi .....	3
2.1.3. Mini utovarivači .....	3
2.1.4. Utovarivači na kotačima .....	4
3. UTOVARNA LOPATA UTOVARIVAČA .....	5
3.1. Utovarna lopata za lake materijale .....	5
3.2. Utovarna lopata opće namjene .....	6
3.3. Višenamjenska utovarna lopata 4 u 1 .....	7
3.4. Utovarna lopata za kamen .....	8
3.5. Materijali koji se koriste za utovarne lopate utovarivača .....	9
3.5.1. Hardox čelik .....	9
3.5.2. Čelik S355J2 + N .....	10
4. TROŠENJE UTOVARNE LOPATE .....	11
4.1. Trošenje .....	11
4.1.1. Abrazija .....	11
4.1.2. Adhezija .....	12
4.1.3. Umor površine .....	13
4.1.4. Tribokorozija .....	14
4.1.5. Mehanizmi trošenja utovarne lopate .....	14
5. EKSPERIMENTALNI DIO .....	15
5.1. Uzorak .....	15
5.2. Rezanje uzorka .....	17
5.3. Priprema i analiza mikrostrukture .....	17
5.4. Mjerenje tvrdoće .....	19
6. ZAKLJUČAK .....	21
LITERATURA .....	22
PRILOZI .....	24

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Komatsu P&H L-2350 – najveći utovarivač na svijetu [2].....	1
Slika 2. Utovarni rovokopač [5].....	2
Slika 3. Buldožder sa gusjenicama[7] .....	3
Slika 4. Mini utovarivač [8].....	4
Slika 5. Utovarivač na kotačima[10].....	4
Slika 6. Utovarna lopata za lake materijale[13] .....	6
Slika 7. Utovarna lopata opće namjene[15].....	6
Slika 8. Zatvoreni položaj višenamjenske utovarne lopate 4 u 1[17].....	7
Slika 9. Otvoreni položaj višenamjenske utovarne lopate 4 u 1[18].....	7
Slika 10. Utovarna lopata za kamen[20].....	8
Slika 11. Utovarna lopata za kamen sa kostur strukturom[21] .....	8
Slika 12. Jedinični događaj abrazije[28].....	11
Slika 13. Jedinični događaj adhezije[28] .....	12
Slika 14. Jedinični događaj umora površine[28].....	13
Slika 15. Jedinični događaj tribokorozije[28].....	14
Slika 16. Utovarivač Hyundai HL770-9A sa utovarnom lopatom opće namjene.....	15
Slika 17. Potrošeni nož utovarne lopate na kojem su provedena ispitivanja .....	16
Slika 18. Desni vrh noža utovarne lopate .....	16
Slika 19. Odrezani uzorak utovarne lopate.....	17
Slika 20. Mikrostruktura utovarne lopate, povećanje 500x .....	18
Slika 21. Mikrostruktura utovarne lopate, povećanje 1000x .....	19
Slika 22. Vickersova metoda [31] .....	19

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Kemijski sastav Hardox čelika .....	9
Tablica 2. Kemijski sastav čelika S355J2 + N.....	10
Tablica 3. Tijek ispitivanja uzorka .....	15
Tablica 4. Rezultati mjerenja tvrdoće.....	20



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
HB	-	Tvrdoća po Brinellu
$F_N$	N	Normalna sila
$F_t$	N	Tangencijalna sila
$v$	m/s	Brzina
HV	-	Tvrdoća po Vickersu
$F$	N	Sila
$A$	mm <sup>2</sup>	Ploština utisnutog plašta piramide
$d_1$	mm	Dijagonala 1
$d_2$	mm	Dijagonala 2

## **SAŽETAK**

Utovarivač je samohodni radni stroj koji pomoću ugrađene utovarne lopate utovara rastresiti materijal (šljunak, pijesak, kamen) u transportna sredstva. Jedan od najvažnijih dijelova utovarivača je utovarna lopata. U početnom dijelu rada je opisana opća podjela utovarivača i utovarnih lopata, a nakon toga su opisani mehanizmi trošenja. Naposljetku je opisana priprema i analiza uzorka utovarne lopate s ciljem utvrđivanja materijala od kojeg je napravljena.

Ključne riječi: utovarivač, utovarna lopata, trošenje

## **SUMMARY**

A loader is a self-propelled work machine that uses a built-in loader bucket to load materials (gravel, sand, stone) into transporting vehicles. One of the most important parts of a loader is the loader's bucket. In the initial part of work are described the general division of loaders and loader buckets, followed by description of wear mechanisms. Finally, the preparation and analysis of a loader's bucket sample is described in order to determine the material from which it is made.

Key words: loader, loader bucket, wear

## 1. UVOD

Povijest utovarivača kreće početkom 1920-ih, kada su ljudi krenuli stavljati utovarne lopate na traktore kako bi lakše prenosili i utovarali rastresite materijale. Engleska kompanija „E. Boydell“ 1930-ih konstruirala je prvi mali utovarivač koji je zapravo bio obični traktor samo što je imao tvornički ugrađenu utovarnu lopatu. Današnji utovarivači su građeni kao integrirane jedinice kako bi se osigurala ispravna ravnoteža i snaga za iskopavanja. Prve verzije utovarivača koji su bili sastavljeni od traktora su radili na principu kabela što znači da su imali mali motor koji je služio za namotavanje kabela i na tom principu dizao i spuštao utovarnu lopatu. Problem takvog rada je nemogućnost kopanja jer nije moguće razviti dovoljno veliku silu prema tlu (okomito na tlo). Taj problem je riješen pojavom hidrauličnih sistema, koji su donijeli povećanje snage i omogućili primjenu većeg pritiska utovarnom lopatom u smjeru tla i to je omogućilo kopanje. Prvi utovarivač koji nije temeljen na traktoru sa hidrauličnim sistemom napravila je 1953. godine tvrtka Caterpillar koja i danas proizvodi jako dobre utovarivače. Idući veliki napredak se dogodio pojavom hidrostatskog pogonskog sustava. Ukratko to je vrsta prijenosa koja se često koristi na strojevima s velikim opterećenjem, a radi na principu da hidrostatski prijenosi koriste pritisak ulja iz hidraulične pumpe da bi pogonili hidrauličke motore. Danas ima puno vrsta utovarivača i građevinski radovi bez njih su praktički nezamislivi. Dokaz ogromnog napretka je najveći utovarivač na svijetu je Komatsu P&H L-2350 koji se nalazi u Texasu (SAD), a teži 72.5 tona, visok je 6.7 metara, dok njegova utovarna lopata ima kapacitet od 40.5 m<sup>3</sup> (slika 1).[1]



Slika 1. Komatsu P&H L-2350 – najveći utovarivač na svijetu [2]

## 2. UTOVARIVAČI

Samohodni strojevi koji se koriste u poljoprivredi i građevinskoj industriji za utovar rastresitih materijala, iskope, pomicanje krhotina, trupaca ili nečeg sličnog nazivaju se utovarivači. Ovisno o poslu koji strojevi obavljaju te na koji način ga obavljaju dodjeljuju im se različiti nazivi. Generalno se dijele na četiri glavne vrste, a to su utovarni rovokopači, buldožeri, mini utovarivači i utovarivači na kotačima. Treba napomenuti da postoji još podjela i vrsta utovarivača kao što su podjele prema masi, podjele po načinu kretanja i podjele po mjestu motora. Glavni dijelovi utovarivača su motor (najčešće dizelski), hidrauličke komponente, komponente prijenosa, priključci i kotači ili gusjenice ovisno o vrsti. Postoji više vrsta priključaka, a neki od najčešćih su utovarne lopate, vilice, spojnice, grablje, metle, svrdla, itd.[3]

### 2.1. Vrste utovarivača

#### 2.1.1. Utovarni rovokopači

Utovarni rovokopači ili kombinirke su vrlo popularni jer su višenamjenski utovarivači. Osnovna struktura rovokopača je traktor tako da se baš kao i poljoprivredni traktori lako kreće po svim vrstama neravnih terena. Imaju snažne dizelske motore i velike, robusne gume. Sprijeda se nalazi utovarna lopata, a na stražnjem dijelu se nalazi „ruka“ na čijem kraju je utovarna žlica. Ta dva naizgled slična nastavka služe vrlo različitoj svrsi. Prednja utovarna lopata se koristi za podizanje i nošenje većih količina materijala ili za poravnavanje površina. Stražnja „ruka“ sa utovarnom žlicom je glavni alat rovokopača i koristi se najčešće za kopanje zemlje i podizanje teških tereta.[4]



Slika 2. Utovarni rovokopač [5]

### 2.1.2. *Buldožderi*

Buldožderi su utovarivači jednostavnog dizajna koji se sastoji od kabine, kotača ili gusjenica i široke lopate sa ravnim nožem koja se može zamijeniti sa utovarnom lopatom, ali to se rjeđe viđa. Osnovna namjena je čišćenje i ravnanje terena i zato imaju široku lopatu sa ravnim nožem. Zbog njihove kompaktnosti mogu se koristiti i na terenu s kosinama, a koriste se i za rušenje objekata. [6]



Slika 3. Buldožder sa gusjenicama[7]

### 2.1.3. *Mini utovarivači*

Mini utovarivači se kreću pomoću četiri kotača i imaju jedinstven sustav mobilnosti, jer su sposobni kretati se unutar vlastitog radijusa. To je moguće zbog njihovog dizajna i mogućnosti kočenja i zaključavanja para kotača s jedne strane dok kotači s druge strane se mogu slobodno kretati. Zbog njihovih malih dimenzija mogu raditi u iznimno uskim mjestima pa čak i unutar zgrade (zasipati temelje). Idealni su i za uređenje dvorišta i okućnica manjih površina također zbog svoje mobilnosti. [6]



**Slika 4. Mini utovarivač [8]**

#### ***2.1.4. Utovarivači na kotačima***

Utovarivači na kotačima su svestrani i imaju veliki utovarni kapacitet. Koriste se za razne poslove kao što su: izgradnja cesta, priprema gradilišta, kopanje, nošenje teških tereta, premještanje materijala... Dije se na četiri vrste po veličini, a to su kompaktni, mali, srednji i veliki. Kako raste veličina utovarivača raste i veličina utovarne lopate koja se nalazi isključivo naprijed kao završetak „ruke“. Mogućnosti kretanja ruke su samo gore i dolje.[9]



**Slika 5. Utovarivač na kotačima[10]**

### 3. UTOVARNA LOPATA UTOVARIVAČA

Utovarne lopate se koriste na nizu strojeva, od bagera na gusjenicama, bagera na kotačima i utovarivača na gusjenicama i utovarivača na kotačima do rovokopača, i tako dalje. Dije se na četiri osnovne vrste, a to su:

- Utovarna lopata za lagane materijale
- Utovarna lopata opće namjene
- Višenamjenska utovarna lopata 4 u 1
- Utovarna lopata za kamen

Sve navedene vrste se dodatno dijele s obzirom na konfiguraciju klinova i spojnice, odnosno način ugradnje na ruku utovarivača. Odabir odgovarajuće utovarne lopate se određuje prema veličini stroja i prema primarnom materijalu za koji će se koristiti. Odluka o izboru se donosi na temelju materijala najveće gustoće, kao i na temelju abrazivnosti materijala. Također treba uzeti u obzir i veličinu utovarne lopate s obzirom na težinu materijala i na veličinu kamiona odnosno njegovog utovarnog prostora.[11]

#### 3.1. Utovarna lopata za lake materijale

Utovarna lopata za lake materijale je odlična za premještanje materijala kao što su drvo, suha zemlja ili čak otpad. Ove utovarne lopate daju najveći mogući kapacitet i volumen zbog njihove manje težine. Dno utovarne lopate za lake materijale je znatno duže, a stranice su veće nego kod ostalih utovarnih lopata, što uvelike ubrzava rad. Unutar utovarne lopate nema armaturnih ploča koje bi ometale kretanje materijala pri utovaru i pražnjenju, a stranice se otvaraju prema naprijed pod blagim kutom što jamči lako i potpuno pražnjenje svih vrsta materijala. Često imaju rupice na vrhovima (slika 6.) kako bi vozač mogao bolje vidjeti što utovara.[12]





**Slika 6. Utovarna lopata za lake materijale[13]**

### **3.2.Utovarna lopata opće namjene**

Utovarna lopata opće namjene je odličan izbor kada se radi sa raznim vrstama materijala u različitim uvjetima. Strukturno su čvršće i izdržljivije nego utovarne lopate za lake materijale. Mogu se koristiti za premještanje materijala kao što su pijesak, šljunak i ostali rastresiti materijali. Fleksibilnost i opća namjena su joj glavne prednosti u raznim poslovima kao i bolja otpornost na abrazijsko trošenje ( u usporedbi sa utovarnom lopatom za lake materijale), loša strana joj je manji utovarni kapacitet nego utovarna lopata za lake materijale. [14]



**Slika 7. Utovarna lopata opće namjene[15]**

### 3.3. Višenamjenska utovarna lopata 4 u 1

Ova vrsta utovarne lopate je u mogućnosti obavljati nekoliko funkcija. Njezin dizajn joj omogućava da odvoji donji dio i stranice od stražnjeg dijela. Ima dva moguća položaja zatvoreni i otvoreni, ali moguće ju je koristiti i poput hvataljki s djelomičnim otvaranjem i zatvaranjem. U zatvorenom položaju (slika 8.) služi za utovar rastresitih materijala i lakših materijala s dodatnom prednosti što je u mogućnosti da se djelomično otvori tijekom vožnje i pomalo rasipa materijal po određenom području. U otvorenom položaju (slika 9.) može imati funkciju buldoždera, odnosno može se gurati materijal stražnjim dijelom utovarne lopate. Također može imati i ulogu hvataljki prikupljajući materijal s kojim se ne može rukovati ostalim vrstama utovarnih lopata. Nedostaci ovakvih utovarnih lopata je visoka cijena, skuplje održavanje i najveći nedostatak je njihova težina. Zbog te dodatne težine značajno se smanjuje moguća težina materijala, odnosno nosivost. [16]



Slika 8. Zatvoreni položaj višenamjenske utovarne lopate 4 u 1 [17]



Slika 9. Otvoreni položaj višenamjenske utovarne lopate 4 u 1 [18]

### 3.4. Utovarna lopata za kamen

Utovarnih lopata za kamen ima više varijanti, ali osnovna namjena je svima ista, a to je rukovanje kamenom i ostalim teškim i tvrdim materijalima. Utovarna lopata je opremljena čvrstim „usnama“ za zaštitu od urezivanja, a često ima i zube za kamen koji pružaju dodatnu zaštitu „usnama“ utovarne lopate. Ovakve vrste utovarnih lopata najčešće se koriste u kamenolomima. Postoji i vrsta koja ima takozvanu „kostur strukturu“ utovarne lopate (slika 11.) i ona je odlična za klasifikaciju, odnosno razdvajanje neželjenog sitnog materijala od krupnog što ujedno i smanjuje težinu tereta.[19]



Slika 9. Utovarna lopata za kamen[20]



Slika 10. Utovarna lopata za kamen sa kostur struktururom[21]

### 3.5. Materijali koji se koriste za utovarne lopate utovarivača

Utovarne lopate utovarivača moraju imati i visoku čvrstoću i određenu otpornost na abraziju i stoga se većinom izrađuju od niskolegiranih čelika ( maseni udio niti jednog legirnog elementa nije viši od 5%).[22]

#### 3.5.1. Hardox čelik

Hardox je niskolegirani konstrukcijski čelik martenzitne mikrostrukture. Postoji više vrsta Hardox čelika, ali za izradu utovarnih lopata se koriste Hardox 400, Hardox 450, Hardox 500, Hardox 550 i Hardox 600. Nabrojane vrste se razlikuju po sastavu kao što se može vidjeti u Tablici 1.[23]

Tablica 1. Kemijski sastav Hardox čelika [23]

Čelik	%C (max)	%Si (max)	%Mn (max)	%P (max)	%S (max)	%Cr (max)	%Ni (max)	%Mo (max)	%B (max)	%Fe (max)
Hardox 400	0.32	0.70	1.60	0.025	0.010	2.50	1.50	0.60	0.004	ostatak
Hardox 450	0.26	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.50	0.60	0.005	ostatak
Hardox 500	0.30	0.40	1.30	0.020	0.010	2.20	2.0	0.40	0.005	ostatak
Hardox 550	0.44	0.50	1.30	0.020	0.010	1.40	1.40	0.60	0.004	ostatak
Hardox 600	0.47	0.70	1.5	0.015	0.010	1.20	2.50	0.70	0.005	ostatak

U ovim čelicima legirni elementi bor (B), niobij (Nb), titanij (Ti) značajno smanjuju vrijednost ekvivalentnog sadržja ugljika ( $C_{ekv}$ ) pritom poboljšavajući mehanička svojstva. Dodavanjem bora (B) u vrlo maloj količini (otopljenog u čvrstoj otopini), rezultira značajnim pomakom početne i krajnje krivulje prijelaza austenita prema duljem vremenu. Legirni element niobij (Nb) se veže u stabilne nitride, karbonitride i karbide, smanjujući na taj način rast zrna austenita na temperaturi kaljenja čelika. Količina fosfora (P) je ograničena na manje od 0.0015 % ( $P < 0.015$ ), a sumpora (S) na manje od 0.005 % ( $S < 0.005\%$ ), kao i modifikacija nemetalnih uključaka i to sve rezultira smanjenjem temperature nulte duktilnosti i beznačajnom anizotropijom plastičnih svojstava lima.[24]

Broj uz naziv Hardox, na primjer Hardox 400, označava nominalnu tvrdoću od 400 HB. Opća svojstva Hardox čelika su otpornost na abrazijsko trošenje, visoka tvrdoća, visoka žilavost i odlična zavarljivost. Dobra zavarljivost je jako bitna jer se često potroši samo prednji dio utovarne lopate, takozvani nož, pa se reže samo taj dio i zavari novi, a ostatak utovarne lopate ostaje stari i tako se uštedi novac. Glavni nedostatak Hardox-a je niska otpornost na koroziju što ograničava njegovu primjenu u agresivnim okruženjima.[25]

### 3.5.2. Čelik S355J2 + N

„S355J2 + N“ je niskolegirani konstrukcijski čelik koji se ponekad koristi u kombinaciji s Hardox čelikom za izradu utovarnih lopata.[26] Preciznije koristi se za izradu školjke utovarne lopate jer pruža visoku čvrstoću uz manju težinu usporedno sa Hardoxom. Ne koristi se za izradu čitave utovarne lopate zbog nedovoljno visoke tvrdoće. Jedna od prednosti ovog čelika je i odlična zavarljivost i ima odlična svojstva pri hladnom oblikovanju. Ploče od ovog materijala se koriste u raznim primjenama kao što su brodogradnja, elektrane, naftne i plinske platforme, prijenosni tornjevi. Takvu široku primjenu imaju zbog izvrsnih svojstava, a to su odlična čvrstoća, dobra tvrdoća, dobra otpornost na opću i jamičastu koroziju, pucanje i izdržljivost.[27]

**Tablica 2. Kemijski sastav čelika S355J2 + N[27]**

Čelik	%C (max)	%Si (max)	%Mn (max)	%P (max)	%S (max)	%Fe (max)
S355J2 + N	0.22	0.55	1.6	0.035	0.035	ostatak

## 4. TROŠENJE UTOVARNE LOPATE

### 4.1. Trošenje [28]

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama.

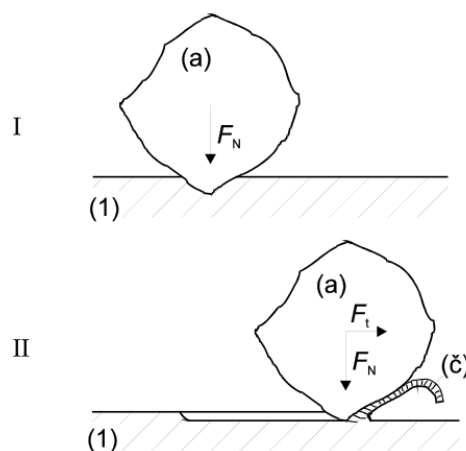
Četiri osnovna mehanizma trošenja su:

- abrazija
- adhezija
- umor površine
- tribokorozija

Mehanizmi trošenja opisuju se jediničnim događajima. Jedinični događaj je slijed zbivanja koji dovodi do odvajanja jedne čestice trošenja s trošene površine. On uvijek uključuje proces nastajanja pukotina i proces napredovanja pukotina.

#### 4.1.1. Abrazija [28]

Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama. Može se opisati kao mikrorezanje abrazivom nedefinirane geometrije oštrice, s dvije faze jediničnog događaja (slika 12.).



Slika 11. Jedinični događaj abrazije[28]

Jedinični događaj abrazije sastoji se od dvije faze:

I faza - prodiranje abraziva (a) u površinu materijala (1) pod utjecajem normalne komponente opterećenja  $F_N$ .

II faza - istiskivanje materijala u obliku čestica trošenja (č) pod utjecajem tangencijalne komponente opterećenja  $F_t$ .

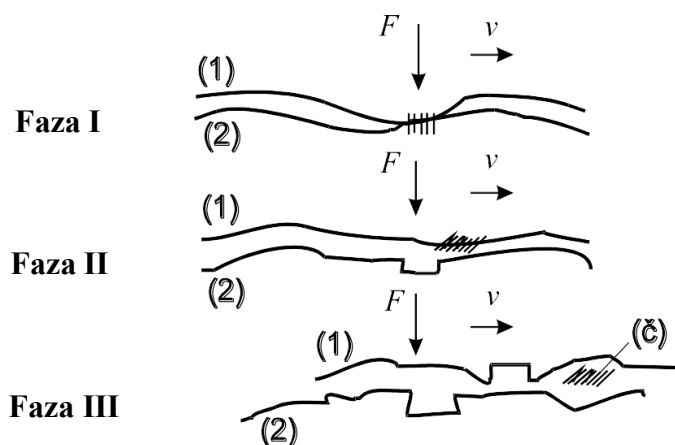
#### 4.1.2. Adhezija [28]

Adhezijsko trošenje karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza. Jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze (slika 13.) :

Faza I - Nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina

Faza II - Raskidanje adhezijskog spoja. Čestica trošenja ostaje spontano “nalijepljena” na jednom članu kliznog para.

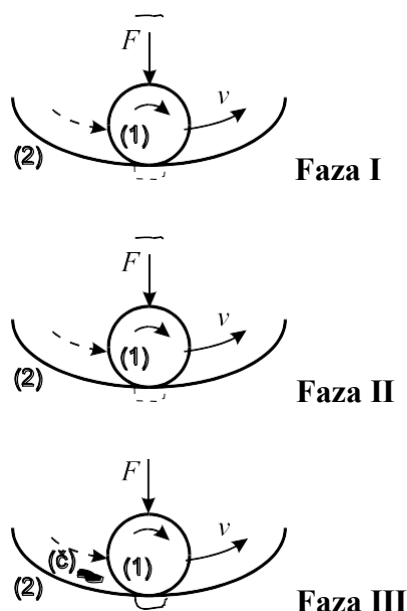
Faza III - Otkidanje čestice (eventualno). Oblik čestica trošenja ovisi o uvjetima, a uglavnom je listićast.



Slika 12. Jedinični događaj adhezije[28]

### 4.1.3. Umor površine [28]

Umor površine je odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprezanja. Jedinični događaj umora površine prikazan je na slici 14. s tri faze.



Slika 13. Jedinični događaj umora površine[28]

Faza I - Stvaranje mikropukotine, redovito ispod površine

Faza II - Napredovanje mikropukotine

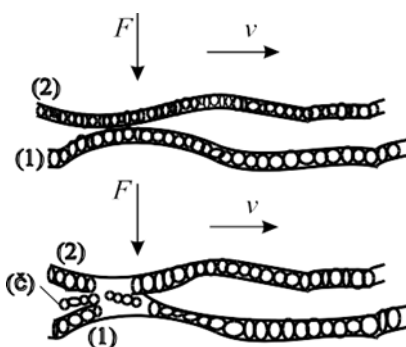
Faza III - Ispadanje čestice trošenja, obično oblika pločice ili iverka

U prvoj fazi nastaje podpovršinska pukotina jer je najveće smično naprezanje kod koncentriranog dodira (tzv: Hertz-ovo naprezanje) uvijek ispod same površine. Ovo je tzv. Faza inkubacije jer praktički nema nikakvog odvajanja čestica. U drugoj fazi podpovršinska pukotina izbija na površinu. Od toga trenutka iz pukotine redovito izlaze sitne kuglaste čestice. U trećoj fazi jediničnog događaja umora površine dolazi do ispadanja krupne čestice oblika ivera, što na površini ostavlja oštećenje oblika rupice. Zato se ovaj oblik trošenja uobičajeno naziva pitting (rupičenje).



#### 4.1.4. Tribokorozija [28]

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem. Jedinični događaj tribokorozije s dvije faze prikazuje slika 15.



Slika 14. Jedinični događaj tribokorozije[28]

I faza - stvaranje (ili obnavljanje) sloja produkata korozije

II faza - mjestimično razaranje sloja produkata korozije

#### 4.1.5. Mehanizmi trošenja utovarne lopate

Utovarne lopate podvrgnute su nekim od najzahtjevnijih razina abrazije i korozije zbog njihove grubog radnog okruženja. Utovar se odvija u nekoliko koraka: prodiranje u materijal, lomljenje, hvatanje i podizanje materijala. Tijekom tih operacija utovarna lopata podliježe velikom abrazijskom trošenju i udarnom opterećenju. Najveći problem predstavljaju materijali kao što su kamen, granit, kvarc... Kvarc je materijal koji uzrokuje najviše abrazijskog trošenja na utovarnoj lopati, shodno tome što je veći udio kvarca to je veće odnosno brže trošenje lopate. Također pri utovaru materijala kao što su zemlja, gnojivo i sl. dolazi do „naljepljivanja“ i do stvrdnuća istih i tu se javlja adhezijsko trošenje.[29] Hardox čelik ima visoku otpornost na trošenje, ali nisku otpornost na koroziju i to ograničava uporabu utovarnih lopata u agresivnom okruženju te često dolazi do pojave korozije na utovarnim lopatama.[25]

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu provedena su ispitivanja mikrostrukture i tvrdoće materijala utovarne lopate. Sva ispitivanja su provedena u laboratorijima unutar Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Tablica 3. Tijek ispitivanja uzorka

	Koraci ispitivanja
1.	Rezanje uzorka
2.	Priprema i analiza mikrostrukture
3.	Mjerenje tvrdoće
4.	Karakterizacija uzorka

### 5.1.Uzorak

Uzorak na kojem su provedena ispitivanja je dio noža utovarne lopate utovarivača. Vrsta utovarne lopate je utovarna lopata opće namjene utovarnog kapaciteta 4.2 m<sup>3</sup>, nalazi se na utovarivaču sa kotačima marke Hyundai HL770-9A. Koristi se za potrebe utovara šljunka veličine zrna 0-63 mm, frakcije veličine zrna 0-32 i mješavina navedenog.



Slika 15. Utovarivač Hyundai HL770-9A sa utovarnom lopatom opće namjene sa nepotrošenim nožem



**Slika 16. Potrošeni nož utovarne lopate na kojem su provedena ispitivanja**



**Slika 17. Desni vrh noža utovarne lopate**

Na slici 17. i slici 18. jasno se vidi potrošenost materijala nakon par godina rada. Nož više nema ravan rub jer su se neki dijelovi odlomili dok su se neki stanjili i počeli uvijati. Sve navedeno otežava proces utovara materijala i tako usporava cijeli proces rada utovarne lopate. Da bi se ovakva situacija popravila mijenja se cijela utovarna lopata ili samo nož utovarne lopate (slika 17.), kao u ovom slučaju. Nož se najbrže troši jer je dio utovarne lopate koji je najčešće u kontaktu s abrazivnim materijalom i zato što ima tanak vrh (najtanji dio utovarne lopate) pa se shodno tome najbrže potroši do kritične debljine kada puca ili se uvija.



## 5.2. Rezanje uzorka

Nož je prvo uklonjen s utovarne lopate plinskim rezanjem i zatim je dodatno izrezan kako bi bio moguć transport do Laboratorija za toplinsku obradu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. U navedenom laboratoriju je izrezan reprezentativni uzorak iz sredine donešenog komada noža i pri tome hlađen vodom kako ne bi došlo do promjene strukture materijala na mjestu rezanja.

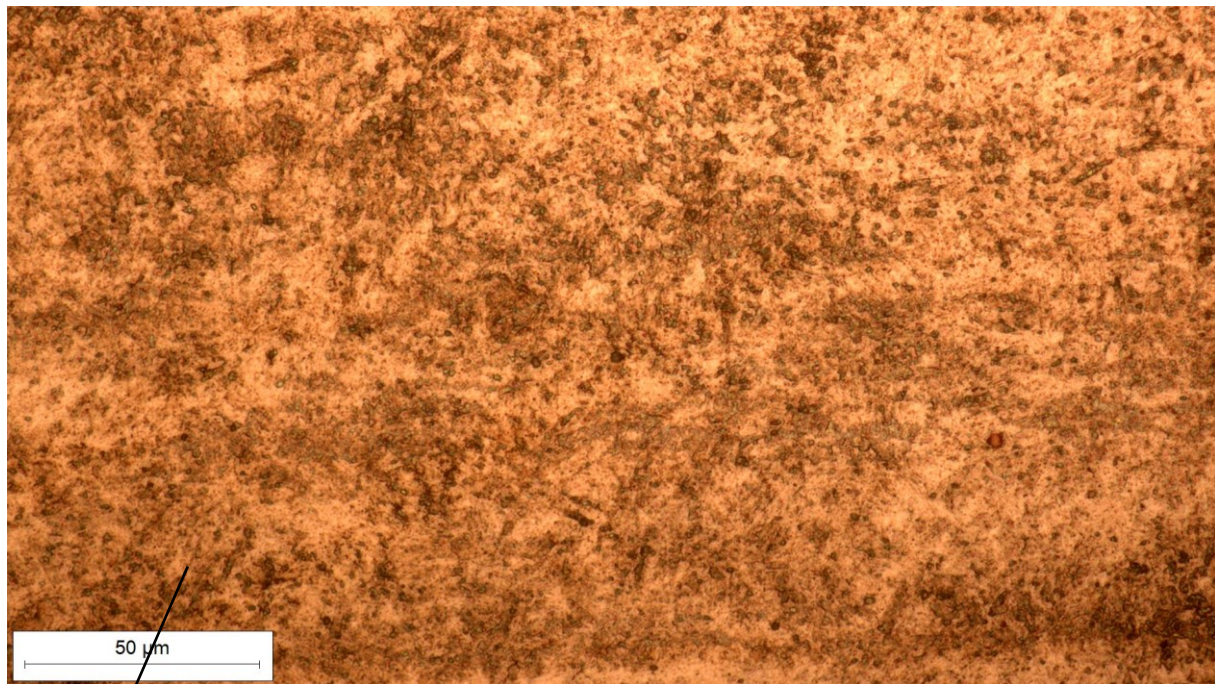


Slika 18. Odrezani uzorak utovarne lopate

## 5.3. Priprema i analiza mikrostrukture

Prije mikroskopske analize potrebno je pripremiti uzorak za analizu. Prvi korak je bilo brušenje uzorka koje se provodi radi uklanjanja sloja oksida, sloja prljavštine te sloja adsorbiranih plinova. Uklanjanje tih slojeva je bitno jer mogu utjecati na izgled mikrostrukture uzorka. Brušenje je obavljeno na uređaju PRESI Minitech 233 pri brzini okretaja ploče 300 okr/min, a za hlađenje i podmazivanje je korištena voda. Prilikom brušenja korišteni su redom slijedeći brusni papiri: P320, P600, P1200, P2400, P4000. Nakon brušenja je potrebno provesti postupak poliranja kako bi se dobila površina bez brazdi i oštećenja. Za poliranje uzorka korišten je stroj Struers DAP-V pri brzini okretaja 150 okr/min.

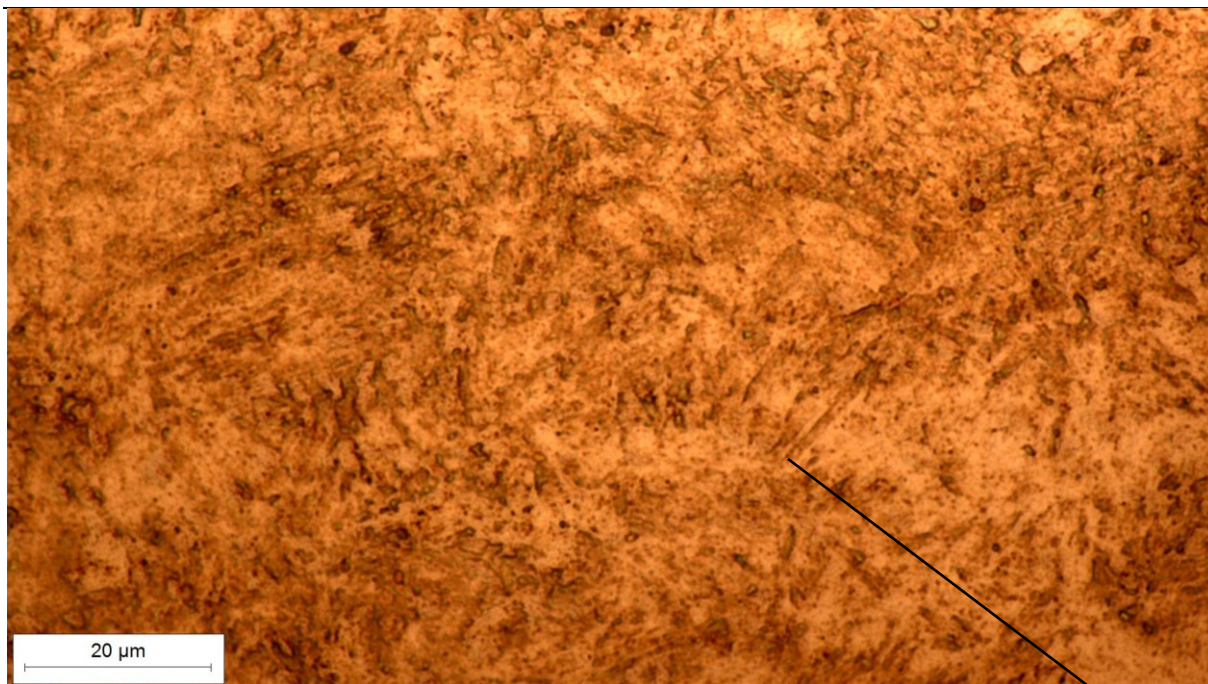
Tijekom poliranja korištena je dijamantna pasta 3  $\mu\text{m}$  kao abraziv te lubrikant 0.03  $\mu\text{m}$  za pomazivanje. Naposljetku potrebno je uzorak nagristi u otopini za nagrivanje kako bi se uklonio deformirani sloj i dobile reljefne površine. U ovom slučaju za nagrivanje je korišten 3% nital. Nakon pripreme uzorka provedena je analiza mikrostrukture svjetlosnim mikroskopom Olympus GX51.



Slika 19. Mikrostruktura utovarne lopate, povećanje 500x

Popušteni  
martenzit





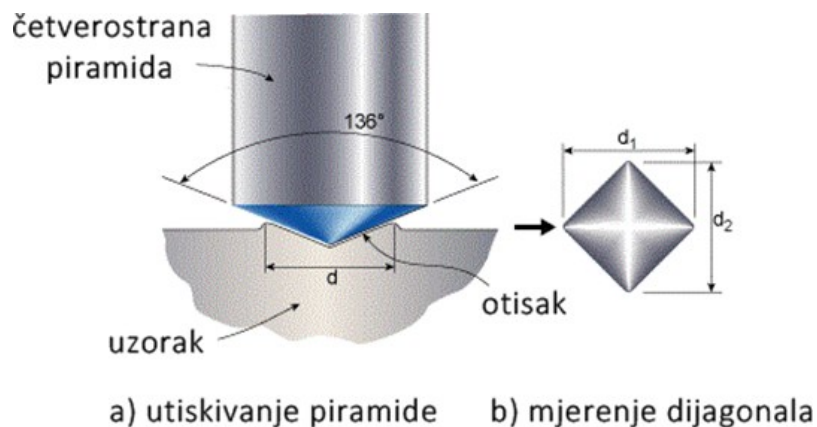
Slika 20. Mikrostruktura utovarne lopate, povećanje 1000x

Popušteni  
martenzit

Analizom slika 20 i 21 zaključuje se da je mikrostruktura uzorka popušteni martenzit.

#### 5.4. Mjerenje tvrdoće

Kako bi se utvrdilo o kojem Hardox čeliku je riječ provedeno je mjerenje tvrdoće. Tvrdoća je mjerena Vickersovom metodom na tvrdomjeru Indentec ZHV  $\mu$ -ST, tako što se u površinu ispitivanog materijala (slika 22.) utisnuo dijamantni šiljak u obliku četverostrane piramide, s vršnim kutom  $136^\circ$ , proizvoljnom silom  $F$ . Vickersova tvrdoća HV računa se iz sile  $F$  i ploštine utisnutog plašta piramide  $A$ , koja se određuje mjerenjem dijagonala  $d_1$  i  $d_2$ . [30]



Slika 21. Vickersova metoda [31]

Tvrdoća je mjerena po cijeloj dužini uzorka, a mjerenje je ponovljeno 10 puta s pritiskom silom od 9.807 N (HV1), te je za konačnu vrijednost uzeta srednja vrijednost dobivenih rezultata ( Tablica 4.).

**Tablica 4. Rezultati mjerenja tvrdoće**

<b>Broj mjerenja</b>	<b>HV1</b>
1	514
2	518
3	506
4	510
5	517
6	522
7	509
8	507
9	518
10	518
<b>Srednja vrijednost</b>	<b>514</b>

Ispitivanjem je utvrđeno da je srednja vrijednost tvrdoće uzorka 514HV1, što ulazi u raspon tvrdoće čelika Hardox-a 500.

Raspon prihvatljive tvrdoće Hardox-a 500 je od 500HV do 560HV.[23]

## **6. ZAKLJUČAK**

Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti slijedeće:

- Harodx čelik je niskolegirani konstrukcijski čelik visoke tvrdoće, vrlo dobre otpornosti na trošenje i dobre zavarljivosti te je zbog tih svojstava najkorišteniji čelik pri izradi utovarnih lopata za utovarivače
- Analizom mikrostrukture ustanovljeno je da se hardox sastoji od popuštenog martenzita
- Srednja vrijednost tvrdoće iznosi 514HV1 što ulazi u raspon prihvatljive tvrdoće čelika Hardox 500



## LITERATURA

- [1] <https://www.constructionequipmentguide.com/tracking-the-history-of-crawler-loaders-dozer/31126>, 09.12.2021.
- [2] [https://www.youtube.com/watch?v=Ut8e2OVx4RI&ab\\_channel=ExtremeWorld](https://www.youtube.com/watch?v=Ut8e2OVx4RI&ab_channel=ExtremeWorld), 09.12.2021.
- [3] <https://www.plantandequipment.com/blog/what-are-the-different-types-of-wheel-loaders>, 09.12.2021.
- [4] <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/backhoe-loader1.htm>, 13.12.2021.
- [5] <https://brigade-electronics.com/en-us/vehicles/backhoe-loader-safety-products/>, 13.12.2021.
- [6] [https://www.catrentalstore.com/en\\_US/blog/different-types-of-loaders.html](https://www.catrentalstore.com/en_US/blog/different-types-of-loaders.html), 13.12.2021.
- [7] <https://www.made-in-china.com/products/catlist/listsubcat/132/00/mic/Machinery.html>, 13.12.2021.
- [8] <https://www.liugong.com/en/Product/Machines/Skid-Steer-Loaders>, 13.12.2021.
- [9] <https://www.bigrentz.com/how-to-guides/type-loader-actually-need>, 14.12.2021.
- [10] <https://www.stokker.com/wheeled-loader-457ht-jcb/-735515419>, 14.12.2021.
- [11] <https://www.casece.com/northamerica/en-us/resources/articles/white-paper-anatomy-of-a-wheel-loader-bucket>, 14.12.2021.
- [12] <https://www.avanttecno.com/global/attachments/light-material-bucket>, 15.12.2021.
- [13] [https://www.cat.com/en\\_ID/products/new/attachments/buckets-loader/light-material-buckets.html](https://www.cat.com/en_ID/products/new/attachments/buckets-loader/light-material-buckets.html), 15.12.2021.
- [14] <https://www.trekkergroup.com/considerations-choosing-right-wheel-loader-bucket/>, 15.12.2021.
- [15] <https://www.volvoce.com/trinidad-tobago/en-us/paramount/attachments/wheel-loader-attachments/loader-buckets/general-purpose-standard-v2/>, 15.12.2021.
- [16] <https://blog.virnigmfg.com/blog/4-in-1-bucket>, 16.12.2021.
- [17] <https://www.albutt.com/product/4-in-1-buckets/>, 16.12.2021.
- [18] <https://www.strimech.co.uk/product/4-in-1-multi-purpose-bucket/>, 16.12.2021.

- 
- [19] <https://www.bobcat.com/attachments/bucket-rock/features>, 16.12.2021.
- [20] <https://galenattachments.com/rock-bucket-2/>, 16.12.2021.
- [21] <https://www.lameter.it/wheel-loader-attachments/skeleton-wheel-loader-bucket/>, 16.12.2021.
- [22] <http://info.texasfinaldrive.com/shop-talk-blog/materials-used-in-excavator-buckets>, 16.12.2021.
- [23] <https://www.ssab.com/products/brands/hardox>, 18.12.2021.
- [24] Dudziński W., Konat Ł., Pękalski G.: Structural and strength characteristics of wearresistant martensitic steels, Archives of Foundry Engineering, Volume 8 Issue 2/2008., 21-26
- [25] <http://www.rextonsteelalloys.com/hardox-blog-01.html>, 18.12.2021.
- [26] <https://davoncompany.com/product/universal-loader-buckets/>, 18.12.2021.
- [27] <https://www.hicplates.com/en-10025-s355j2-n-plates-supplier-stockist.html>, 18.12.2021.
- [28] Grilec, Jakovljević, Marić :Tribologija u strojarstvu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb 2017.
- [29] [https://www.researchgate.net/publication/320854661\\_Abrasive\\_wear\\_of\\_alloys\\_for\\_ground\\_engaging\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/320854661_Abrasive_wear_of_alloys_for_ground_engaging_tools), 05.01.2022.
- [30] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2009.
- [31] [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-principles-of-operation-of-Vickers-hardness-machine-a-and-Vickers-hardness\\_fig2\\_272349125](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-principles-of-operation-of-Vickers-hardness-machine-a-and-Vickers-hardness_fig2_272349125), 08.01.2022.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc