

# Analiza trošenja pokretnih dijelova homogenizatora za miješanje smjese u Tvornici stočne hrane Vitalka u Osijeku

---

Janješić, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:184690>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-21**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Filip Janješić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**ANALIZA TROŠENJA POKRETNIH DIJELOVA HOMOGENIZATORA ZA  
MIJEŠANJE SMJESE U TVORNICI STOČNE HRANE VITALKA U OSIJEKU**

**Diplomski rad**

Osijek, 2019.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Filip Janješić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**ANALIZA TROŠENJA POKRETNIH DIJELOVA HOMOGENIZATORA ZA  
MIJEŠANJE SMJESE U TVORNICI STOČNE HRANE VITALKA U OSIJEKU**

**Diplomski rad**

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Filip Janješić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**ANALIZA TROŠENJA POKRETNIH DIJELOVA HOMOGENIZATORA ZA  
MIJEŠANJE SMJESE U TVORNICI STOČNE HRANE VITALKA U OSIJEKU**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član



Osijek, 2019.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
2.1. Povijest istraživanja trenja i trošenja .....	2
2.2. Trenje .....	4
2.2.1. Vrste trenja .....	5
2.3. Trošenje .....	6
2.3.1. Abrazija .....	7
2.3.2. Adhezija.....	8
2.3.3. Umor površine .....	10
2.3.4. Tribokorozija .....	11
2.4. Ostali oblici trošenja .....	12
2.4.1. Erozijska.....	12
2.4.2. Korozija .....	13
2.4.3. Kavitacija.....	14
3. MATERIJAL I METODE.....	15
3.1. Tvornica stočne hrane „Vitalka“ .....	15
3.2. Tehnološki proces proizvodnje stočne hrane .....	17
3.3. Homogenizator DPSD 6.23 .....	18
3.4. Utvrđivanje stvarnog oblika trošenja .....	24
4. REZULTATI.....	25
5. RASPRAVA .....	29
5.1. Trošenje na mjestu spoja nosača i lopatica .....	29
5.2. Trošenje na vršnim rubovima lopatica.....	29
5.3. Trošenje na bočnim rubovima lopatica.....	30
6. ZAKLJUČAK .....	31
7. POPIS LITERATURE .....	32
8. SAŽETAK.....	35
9. SUMMARY .....	36
10. POPIS SLIKA .....	37

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

## 1. UVOD

Proizvodnja stočne hrane jedan je od najvažnijih segmenata stočarske proizvodnje, budući da se kvalitetna i ekonomski uspješna proizvodnja stoke može ostvariti isključivo uz primjenu kvalitetne stočne hrane. U proizvodnji stočne hrane primjenjuje se različita oprema koja ima specifičnu namjenu: procesiranje i obradu ulaznih sirovina za proizvodnju stočne hrane do željenog sastava i oblika u kome će hrana biti konzumirana u procesu uzgoja životinja (krava, svinja, peradi, itd.). Procesiranje i obrada sirovina nužni su kako bi se osigurala veća učinkovitost ishrane (veća proizvodnost mesa, mlijeka ili jaja) te kako bi se na taj način smanjili troškovi proizvodnje.

Jedan od bitnih postupaka u procesu proizvodnje stočne hrane je miješanje mljevene zrnate biljne mase (kukuruz, ječma, zobi, suncokreta, itd.) sa melasom i uljem od koje se hrana proizvodi. Miješanje se izvodi u homogenizatorima različitih konstrukcija i radnih svojstava. Uloga homogenizatora je proizvodnja mješavine dvaju ili više tekućina, kao što je ovdje slučaj, gdje se nalazi smjesa mljevene zrnate biljne mase, melase i ulja. Dobivena mješavina se transportira u silo ćelije gdje se čuva i skladišti do daljnjeg transporta.

Osnovni problem koji se pojavljuje u eksploataciji homogenizatora trošenje je materijala radnih elemenata, koje se odražava na učinkovitosti miješanja. Neispravnost stroja i neredovito održavanje također mogu štetno djelovati na kvalitetu hrane, koja je postavljena kao osnovni parametar proizvodnje. Zastoji u radu zbog mogućih kvarova mogu uzrokovati velike gubitke. Svi strojevi i dijelovi stroja imaju određeni vijek trajanja za koji su konstruirani, a s obzirom da su lopatice u direktnom kontaktu i najviše se troše na njih se posvećuje dodatna pozornost. Ozbiljan problem predstavlja jače trošenje, koje uključuje odnošenje većih čestica, uključujući i komade metala s trošene površine.

Cilj ovog rada istražiti je trošenje lopatica homogenizatora DPSD 6.23 koje su u direktnom kontaktu sa smjesom i melasom koju miješaju. Istraživanje će obuhvatiti prikupljanje literaturnih podataka o tribologiji i trošenju lopatica abrazijom koja je najveći uzročnik trošenja. Usporedbom novih lopatica i korištenih lopatica koje su pred mijenjanjem istraživat će se koliko je smjesa i melasa utjecala na njih i koliko su dugo bile korištene. Istraživanje je odrađeno u tvornica stočne hrane „Vitalka“.

## 2. PREGLED LITERATURE

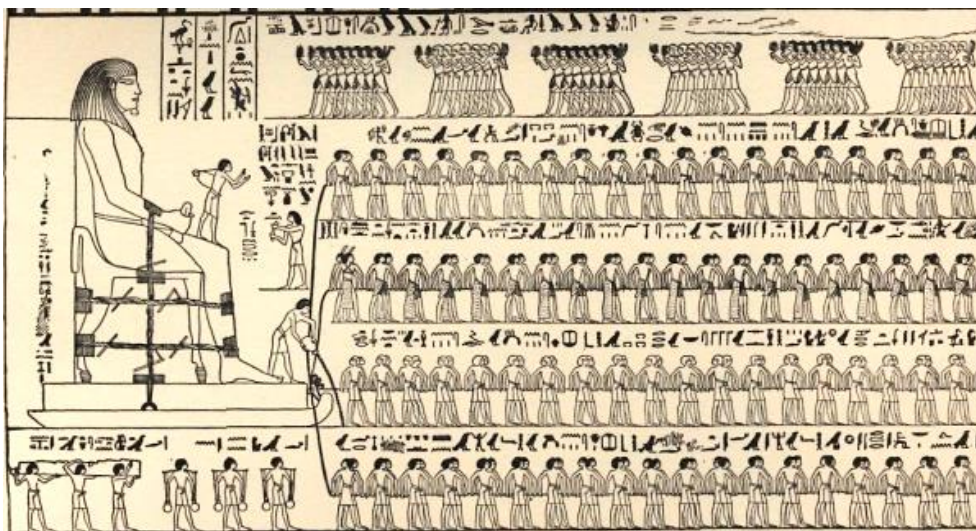
### 2.1. Povijest istraživanja trenja i trošenja

Naziv tribologija dolazi od grčkog *τριβος* (tribos) što znači trenje, trošenje i slično (Zgaga, 1975.). Prema Ivušiću (1998.), tribologija je znanost i tehnika o površinama koje su u dodiru i relativnom gibanju te o pojavama koje pritom nastaju. Pojam tribologije prvi put je službeno naznačen 1966. godine u izvještaju Radne Grupe Ministarstva prosvjete i znanosti Ujedinjenog Kraljevstva, koju je vodio Peter Jost. Njegov izvještaj navodi da smanjenje troškova nastalih uslijed trenja i trošenja u Velikoj Britaniji može iznositi i do 515 milijuna funti, što je tada bilo oko 1% britanskog bruto nacionalnog proizvoda. Nakon ove prekretnice krenulo je osnivanje triboloških centara, potaknuta je mreža obrazovanja triboloških znanstvenika te je potaknuta izdavačka djelatnost s velikim brojem stručnih časopisa.

Jednostavnije i razumljivije bi se moglo reći da je tribologija znanstveno stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja i trošenja (Grilec i sur., 2017.).

Tribologija uključuje tri ključne teme: trenje, trošenje i podmazivanje. Trenje je otpornost na relativno kretanje, a trošenje je gubitak materijala zbog tog kretanja, a podmazivanje je upotreba tekućine kako bi se smanjilo trenje i trošenje. Polje je nužno interdisciplinarno i koristi vještine iz strojarstva, znanosti o materijalima i inženjeringu, kemije i kemijskog inženjerstva te još mnogo toga (<http://faculty.ucmerced.edu/amartini/tribology.shtml>).

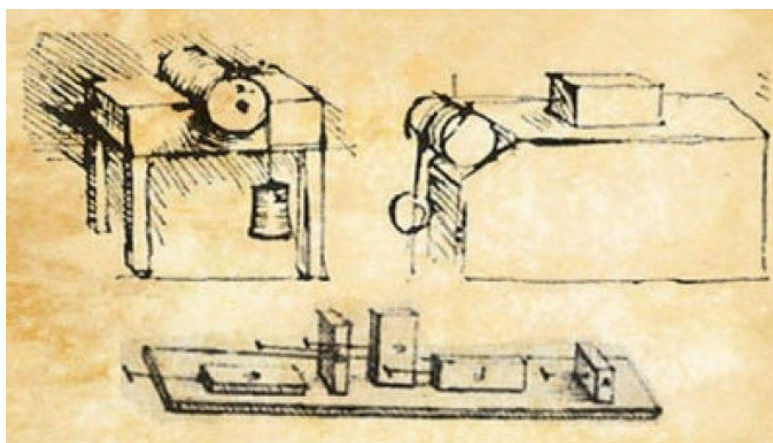
Prve tribološke aktivnosti datiraju iz drevnih vremena, poput primjera prikazanog na slici 1.



Slika 1. Primjer tribologije u drevnom Egiptu – vučenje kolosalnog kipa na saonicama  
(Izvor : <https://egyptianhistorypodcast.com/2014/11/19/episode-39-the-wealth-of-asia>)

Dio tribologije koji se bavi njezinim povijesnim aspektom naziva se arheotribologija. Njezina je zadaća istraživanje triboloških svojstava arheoloških artefakata, uključujući prevlake, klizne površine itd., kao i istraživanje drevnih tehnologija korištenih za njihovo dobivanje (Nosonovsky, 2007.).

Prvim tribologom-znanstvenikom smatra se čuveni Leonardo da Vinci (1452. – 1519.). Između ostalog proučavao je fenomen trenja. Na slici 2. prikazane su skice kojima opisuje pokuse koje je provodio (Grilec i sur., 2017.).



Slika 2. Skice Leonardovih pokusa s trenjem (Izvor: <http://www.tribonet.org/wp-content/uploads/2016/02/Leonardo-da-Vinci-678x381.jpg>)

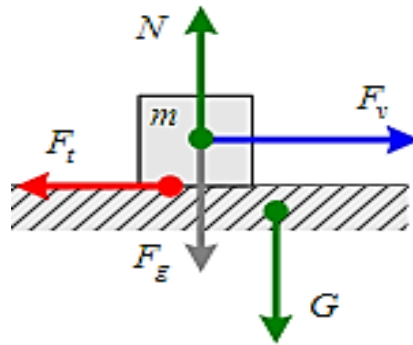
Leonardo Da Vinci bio je jedan od prvih znanstvenika koji su sustavno proučavali trenje. Njegov rad na trenju nastao je u studijama o rotacijskoj otpornosti osovina i mehanici vijčanih navoja, a usredotočio se na sve vrste trenja i objasnio razliku između trenja klizanja i kotrljanja. Francuski fizičar Guillaume Amontons 1699. godine ponovno je otkrio pravila trenja nakon što je proučavao suha klizanja između dvije ravne površine (Đurkić, 2018.).

Postavio je tri zakona koji su primjenjivi samo na suho trenje:

1. sila trenja izravno je proporcionalna primijenjenom opterećenju
2. sila trenja ne ovisi o vidnom području dodira
3. kinetičko trenje neovisno je o brzini klizanja.

Grafički prikaz Amontsovih zakona prikazan je na slici 3.





Slika 3. Amontonsovi zakoni (Izvor: <http://stem.ba/images/slika-1.png>)

Navedeni pojmovi na slici 3. su:

- $N$  – normalna sila
- $m$  – masa objekta
- $G$  – težina tijela
- $F_t$  – sila trenja
- $F_g$  – sila teža
- $F_v$  – vučna sila

Charles-Augustin Coulomb (1736.-1806.) predložio je da je otpor trenja kotača koji se kotrljaju ili cilindra proporcionalan opterećenju  $P$  i obrnuto proporcionalan promjeru kotača. Coulombov opis trenja kotrljanja u cijelosti je zanemario materijalnu usklađenost. Prvi pouzdani test trenja izveo je Charles Hatchett, koristeći jednostavan uređaj kako bi izračunao trošenje na zlatnim novčićima (<http://www.centallubrication.com/history-tribology/index.php>).

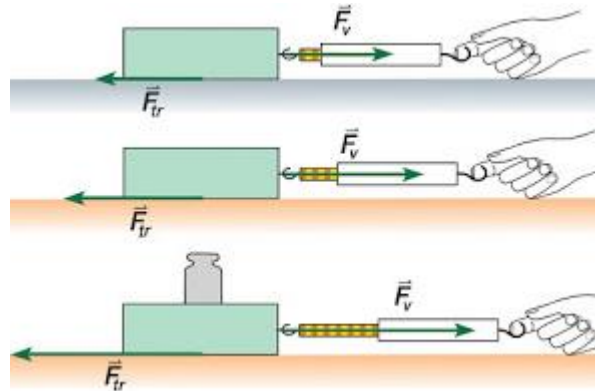
## 2.2. Trenje

Za ostvarivanje relativnog gibanja između dodirnih ploha treba savladati silu trenja (riječ trenje dolazi od glagola trti, trljati; engleski izraz friction ima podrijetlo u latinskoj imenici *fricare* (trljanje) (Grilec i Ivušić, 2010.).

Prema definiciji trenje je sila ili otpor koja se suprotstavlja relativnu kretanju krutih tijela u dodiru. Djeluje paralelno s dodirnim površinama, a smjer joj je suprotan smjeru relativnog kretanja ([http://sim.riteh.hr/raui/\\_1h\\_glagol/Ispit2016\\_1H\\_primjer.pdf](http://sim.riteh.hr/raui/_1h_glagol/Ispit2016_1H_primjer.pdf)).

Grilec i sur. (2017.) navode da je trenje sila koja djeluje tangencijalno na granicu između dva tijela, kada se pod djelovanjem vanjske sile, jedno tijelo kreće ili ima tendenciju relativnog kretanja u odnosu prema površini drugog tijela.

Prema Nacionalnoj enciklopediji (2013.), trenje je sila otpora što ga gibanju tijela pruža površina po kojoj se tijelo giba ili sredstvo kroz koje se giba, još jednostavnija definicija bi bila da je trenje otpor kretanju jednog tijela prema drugom.



Slika 4. Primjer trenja

(Izvor: <http://3.bp.blogspot.com/-TvMpaK5uztU/T9yVUkm-6gI/AAAAAAAAAWA/ybPpZqJozp8/s320/Trenje.jpg>)

### 2.2.1. Vrste trenja

Razlikuju se sljedeće vrste trenja prema agregatnom stanju tijela u kontaktu:

- trenje među površinama (tzv. vanjsko trenje)
- trenje među dijelovima fluida, odnosno između krutog tijela i fluida (tekućinsko trenje ili viskoznost).

Vanjsko trenje se prema podmazivanju može podijeliti na :

- suho trenje
- trenje uz podmazivanje.

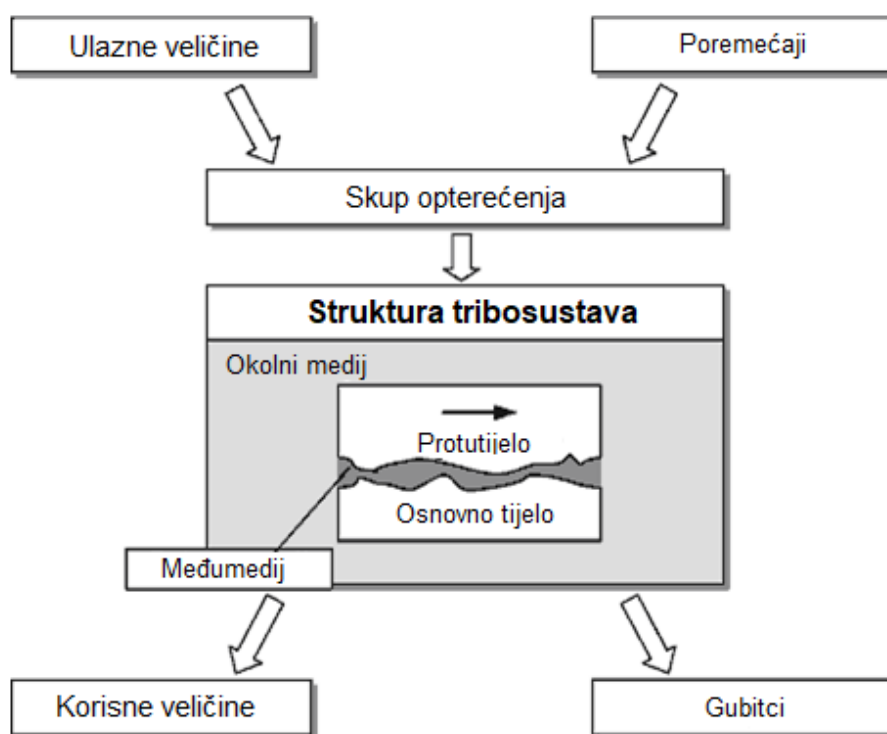
Prilikom pokretanja tijela razlikuje se:

- trenje mirovanja (statičko trenje, trenje pokretanja) – najveća sila trenja koja prisiljava tijelo da još miruje
- trenje kretanja (kinetičko, dinamičko trenje) – silu koju je potrebno savladati da bi se održalo stanje relativnog kretanja.

### 2.3. Trošenje

Trošenje je postupak gubitka materijala s površine krutog tijela zbog dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama.

Procesi trošenja odvijaju se u okviru sustava koji se nazivaju tribosustavi, a to su svi oni kod kojih postoji relativno gibanje između pojedinih dijelova. Shema strukture jednostavnog tribosustava prikazana je na slici 5.



Slika 5. Struktura tribosustava

(Izvor: [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/5/7/1/5\\_7\\_1\\_2.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/5/7/1/5_7_1_2.htm))

Postoje različiti oblici trošenja, kao posljedica raznovrsnosti uvjeta kontakata (stanje površine, način i brzina relativnog gibanja, temperatura, itd.), tako da otpornost trošenju ne predstavlja jedinstveno svojstvo već naziv za skupinu svojstava (Ivušić, 2002.).

Premda postoji neizbrojivo velik broj primjera trošenja, većina je autora suglasna da su samo četiri osnovna mehanizma trošenja (Czichos, 1978.).

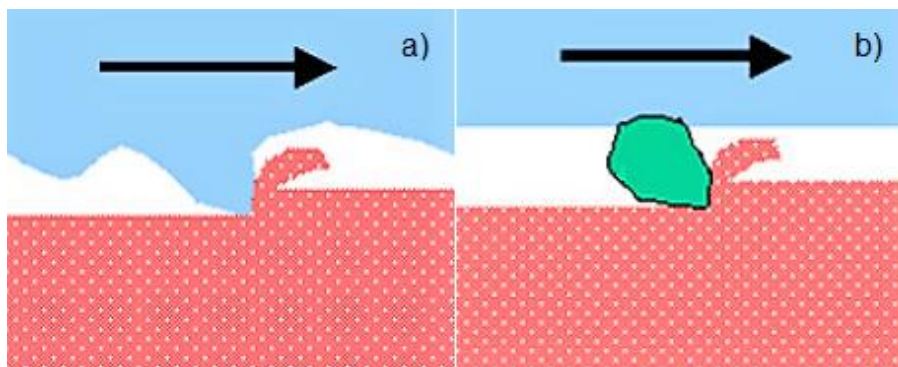
1. abrazija
2. adhezija
3. umor površine
4. tribokorozija.

Osim procesa trošenja koji nastaju kao posljedica osnovnih mehanizama trošenja, postoje i srodni oblici trošenja materijala:

- erozija
- korozija
- kavitacija.

### 2.3.1. Abrazija

Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama. Može se opisati kao mikro-rezanje abrazivom nedefinirane geometrije oštrice, s dvije faze jediničnog događaja. Postoje dvije vrste situacija u kojima može doći do abrazivnog trošenja. Abrazija gdje su dva tijela u kontaktu i abrazija gdje su tri tijela u kontaktu (Grilec i sur., 2017.).

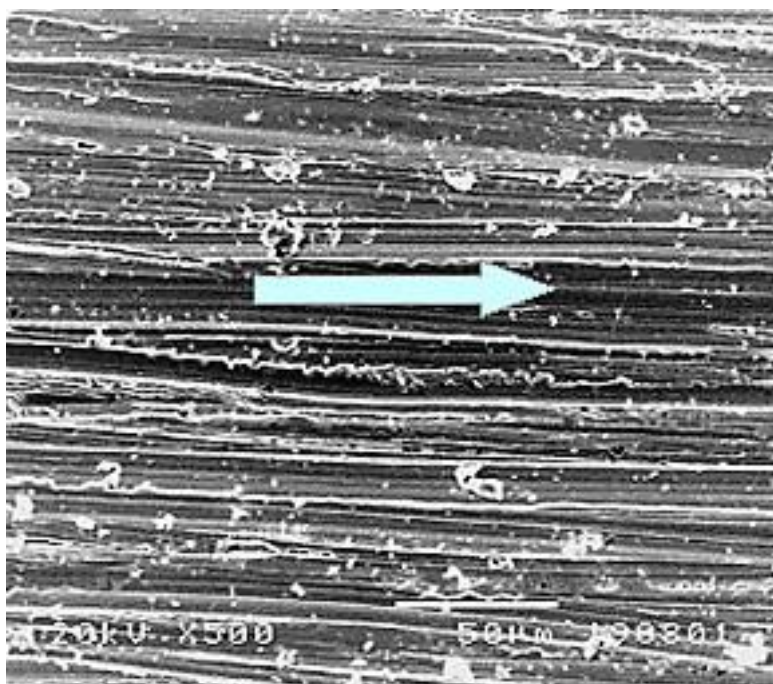


Slika 6. Abrazija u dodiru dvaju tijela (a) i triju tijela (b) (Izvor: [http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_and\\_wear\\_mechanism.htm](http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_and_wear_mechanism.htm))

Prvi oblik abrazije sastoji se od dvaju funkcionalnih dijelova: abrazivnog tijela i abrazivnog protutijela. Razlog zašto dolazi do mikro-rezanja površine je hrapavost površine abrazivnog dijela kao i abrazivnog protutijela.

Drugi oblik abrazije sastoji se od dvaju funkcionalnih dijelova: abrazivnog tijela i abrazivnog protutijela te međutijela (čestice) koja se giba slobodno između dvaju funkcionalnih dijelova i djeluje abrazijski. Prema Grilecu i sur. (2017.), ova vrsta abrazije znatno je manje štetna nego u slučaju abrazije dvaju tijela. Razlog tomu je što čestice abrazije samo oko 10% vremena provedu u odnošenju materijala dok se ostatak vremena kotrljaju u slobodnom međuprostoru.

Abrazijsko trošenje najčešći je mehanizam trošenja. Na otpornost na trošenje osim samog materijala značajno utječu vrsta abraziva i naknadne obrade na materijalu. Najotporniji je materijal na abrazijsko trošenje bijeli lijev podvrgnut toplinskim i površinskim obradama. Pravilnim odabirom materijala otpornost na abrazijsko trošenje može se povećati nekoliko puta (Božić, 2013.).



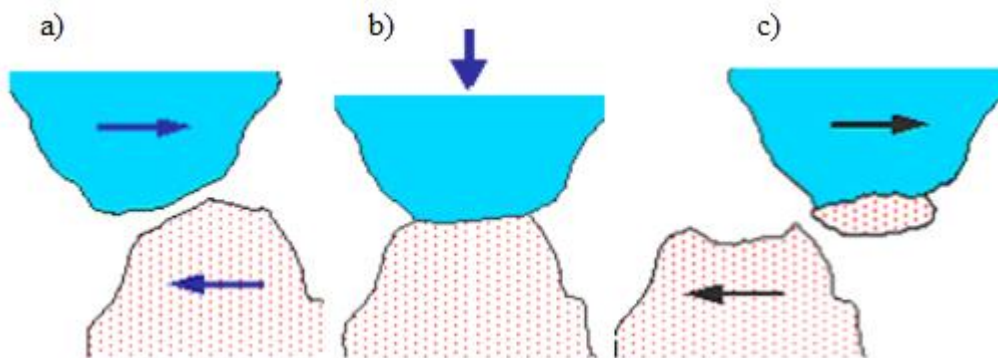
Slika 7. Primjer abrazijskog trošenja (Izvor: [http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_and\\_wear\\_mechanism.htm](http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_and_wear_mechanism.htm))

### 2.3.2. Adhezija

Adhezivno trošenje odnosi se na vrstu habanja koja se stvara klizanjem jedne čvrste površine duž druge površine. Kada su dvije površine opterećene jedna drugom, cijelo kontaktno opterećenje prenosi se samo na vrlo mali dio područja kontaktnih točaka. Stvarni kontaktni tlak iznad neravnosti vrlo je visok, što dovodi do zavarivanja između njih. Ako jedna od površina klizi uz drugu, zavareni spoj može se slomiti. Kako se klizanje nastavlja, svježi spojevi će se oblikovati i puknuti zaredom. Vjerojatnost trošenja adhezijom može se smanjiti primjenom maziva ili primjenom tvrdog sloja s niskim koeficijentom trenja (<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/adhesive-wear>).

Prema Ivušiću (2002.), jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze, kao što je prikazano na slici 8:

- a) nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina
- b) raskidanje adhezijskog spoja. Čestica trošenja ostaje spontano „nalijepljena“ na jednom članku kliznog para
- c) otkidanje čestice (eventualno). Oblik čestica trošenja ovisi o uvjetima, a u glavnom je lističast.



Slika 8. Adhezijsko trošenje (Izvor: [http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_and\\_wear\\_mechanism.htm](http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_and_wear_mechanism.htm))

Čestice iščupane površine ostaju privremeno ili trajno „nalijepljene“ odnosno navarene na drugu kliznu površinu. Izgled površine s koje su iščupane čestice i čestice spontano navarene na suprotnu površinu prikazani su na slici 9.



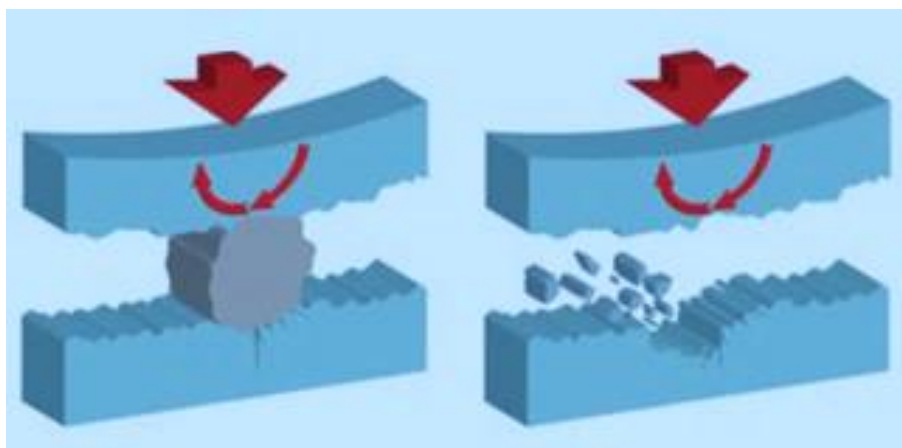
Slika 9. Primjer adhezijskog trošenja (Izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/SevereAdh\\_Web.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/SevereAdh_Web.jpg))



### 2.3.3. Umor površine

Umor površine tip je trošenja, gdje zbog određenog broja cikličkih promjena dolazi do stvaranja krhotina. Proces zamora u metalima može izazvati stvaranje površinskih i podzemnih pukotina, koji nakon kritičnog broja ciklusa rezultira ozbiljnim oštećenjem, kao što su veliki fragmenti koji napuštaju površinu (<http://www.tribonet.org/wiki/fatigue-wear/>). Prema Grilecu i sur. (2017.), jednoličan događaj umora površine se događa u tri faze, kao što se vidi na primjeru koji je pokazan na slici 10.

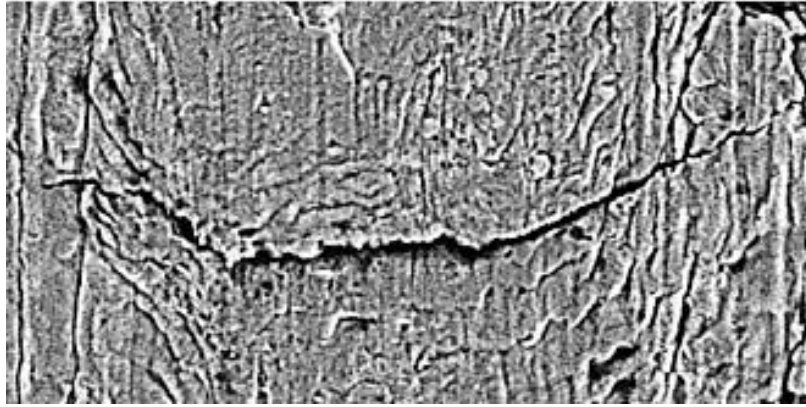
- stvaranje mikropukotine, redovito ispod površine
- napredovanje mikropukotine
- ispadanje čestice trošenja, obično oblika pločica ili iverka.



Slika 10. Umor površine (Izvor: <http://www.acmecmservices.com/wear-particle-analysis.html>)

Razlikuju se dva tipa mehanizma trošenja umorom površine: umor visokog i niskog ciklusa. Pri umoru površine visokog ciklusa, broj ciklusa prije kvara je visok, tako da je vijek komponente relativno dug. Pukotine u ovom slučaju nastaju zbog postojećih mikrodefekata u materijalu, blizu kojih lokalni stres može premašiti vrijednost iskorištenja, iako je nominalno makroskopski kontakt u elastičnom režimu.

Pri umoru površine niskog ciklusa, broj ciklusa prije kvara je nizak, tako da komponenta brzo propadne. U ovom slučaju inducira se plastičnost svakog ciklusa, a čestica trošenja se generira tijekom akumuliranih ciklusa. U prvim ciklusima ne nastaju ostatci trošenja, već se stvaraju samo plitki utori uslijed plastične deformacije. Nakon kritičnog broja ciklusa, plastična deformacija prelazi kritičnu vrijednost i dolazi do loma materijala (<http://www.tribonet.org/wiki/fatigue-wear/>). Trošena površina izgleda kao na slici 11.



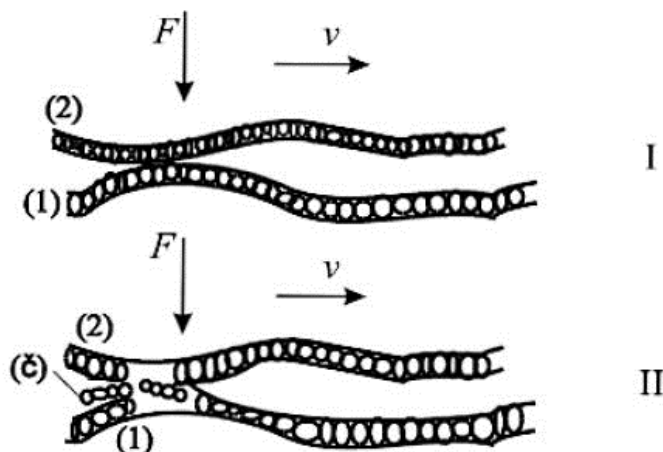
Slika 11. Primjer umora površine (Izvor: <http://www.tribonet.org/wiki/rolling-contact-fatigue/>)

#### 2.3.4. Tribokorozija

Ivušić (1998.) navodi da je tribokorozija ili tribokemijsko trošenje mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolinom.

Jedinični događaj tribokorozije prikazan je u dvije faze, na slici 12.:

1. faza I – stvaranje (ili obnavljanje) sloja produkta korozije
2. faza II – mjestimično razaranje sloja produkata korozije.



Slika 12. Jedinični događaj tribokorozije (Izvor: Ivušić, 1998.)

Izgled površina izloženih tribokoroziji ovisi o intenzivnosti odnošenja stvorenih čestica trošenja. Pri maloj intenzivnosti na površini se pojavljuju proizvodi korozije, a kod veće intenzivnosti odnošenja površina je naizgled polirana. Čestice su trošenja praškastog oblika, uglavnom oksidne. Tribokorozija se ubraja u osnovne mehanizme trošenja, ali to je ipak



kombinacija između kemijskih reakcija na površini triboelementa i jednog od osnovnih elemenata trošenja tj. abrazije, adhezije ili umora površine.



Slika 13. Trošenje tibokorozijom (Izvor: [https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/facilities/360/nCATS\\_facility/tribocorrosion.page](https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/facilities/360/nCATS_facility/tribocorrosion.page))

## 2.4. Ostali oblici trošenja

Osim procesa trošenja koji nastaju kao posljedica osnovnih mehanizama trošenja, postoje i srodni oblici trošenja materijala: erozija, korozija i kavitacija.

### 2.4.1. Erozijska

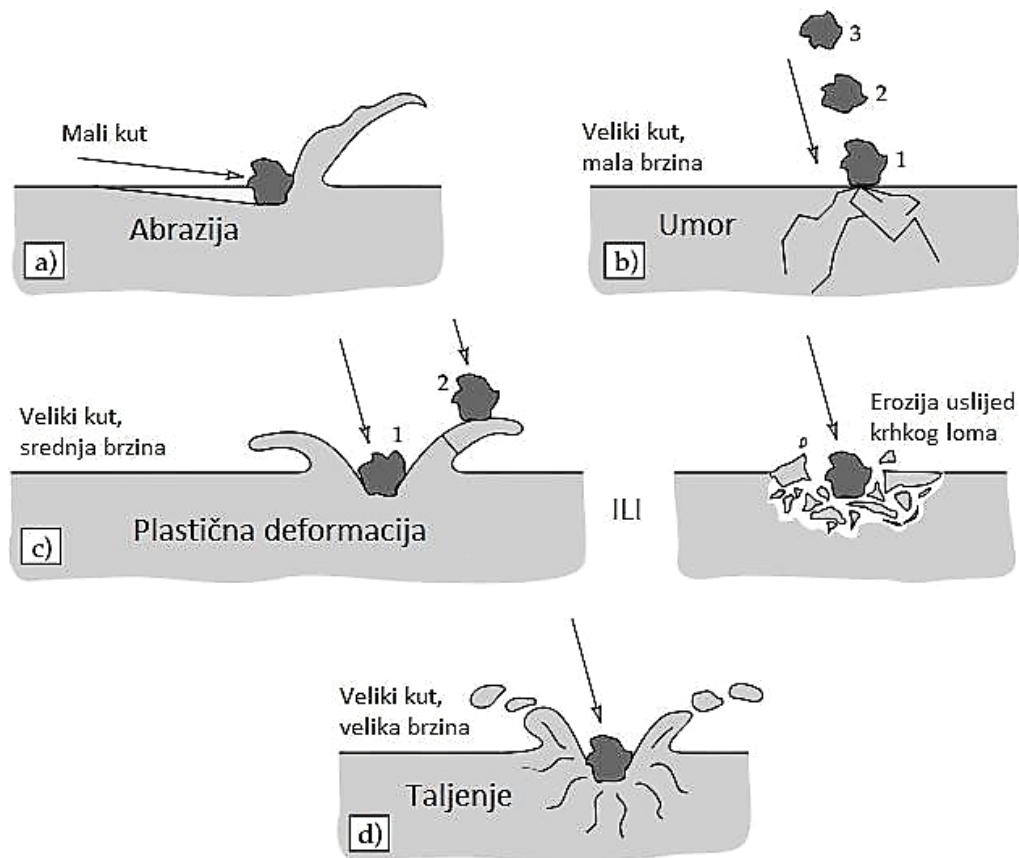
Erozijska česticama je gubitak materijala s površine krutog tijela zbog relativnog gibanja fluida u kojem se nalaze krute čestice. Ako je to strujanje pod malim kutem u odnosu na površinu (do  $30^\circ$ ), tada se radi o abrazivnoj eroziji (Ivušić, 1998.).

Proces erozije i erozijsko trošenje ovise o kutu i brzini udara čestice, te relativnoj tvrdoći materijala i čestice (<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/erosive-wear>).

Na slici 14. prikazana je erozija pri različitim brzinama i kutovima udara čestice, te mogući mehanizmi trošenja površine izložene eroziji. Pri tome su mogući sljedeći slučajevi:

- a) abrazija pri malim kutovima,
- b) umor površine pri malim brzinama i velikim kutovima,
- c) višestruka plastična deformacija ili krhki lom pri srednjim brzinama, velikim kutovima,

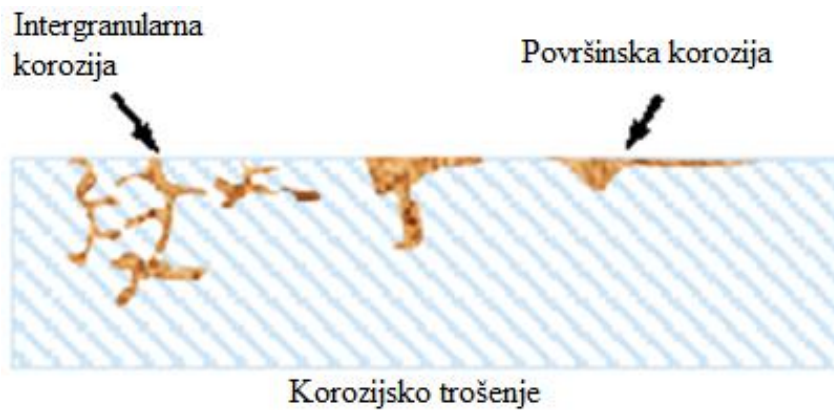
d) taljenje površine uslijed velikih brzina udara (Zoričić, 2014.).



Slika 14. Erozijska pri različitim brzinama i kutovima udara čestice (Izvor: Zoričić, 2014.)

#### 2.4.2. Korozija

Korozijsko trošenje događa se kada dođe do gubitka ili degradacije materijala uslijed kemijskih reakcija s površinom dijela i okoline. Okruženja uključuju vlagu, slanu vodu, lužine, kiselinu itd. Korozija može biti jednolična na površini ili intergranularna (korozija izvršena kroz granice zrna). Korozija se može ostvariti kao jamica na površini ili podlozi kada se penetracija dogodi u teškim tekućim okolinama. Važno je uzeti u obzir materijale i površinske tretmane kako bi se izbjeglo korozijsko trošenje (<https://www.jgs-nitriding.com/index.php/2014-09-09-14-47-03/methods-of-surface-failure/24-corrosive-wear>).



Slika 15. Intergranularna korozija i površinska korozija (Izvor: [https://www.jgs-nitriding.com/images/Content\\_Images/Corrosive\\_Wear.png](https://www.jgs-nitriding.com/images/Content_Images/Corrosive_Wear.png))

### 2.4.3. Kavitacija

Kavitacija uključuje oštećenje površine materijala, uronjenog u tekućinu, zbog udara mjehurića isparene tekućine u površinu. Kavitacijsko trošenje je, ustvari, podvrsta tribokorozijskog trošenja. Javlja se kada se tlak u tekućini snizi na vrijednost tlaka isparavanja te dolazi do pojave mjehurića pare. Oni bivaju nošeni u područje višeg tlaka gdje implodiraju (vraćaju se u kapljevitu fazu). Ako se implouzija mjehurića pare događa u blizini čvrste stijenke, dolazi do njenog oštećenja. Sama pojava popraćena je vibracijama i bukom (Žnidarec, 2010.).



Slika 16. Shema kavitacijskog trošenja (Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation#/media/File:Cavitation\\_bubble\\_implosion.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation#/media/File:Cavitation_bubble_implosion.png))

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Tvornica stočne hrane „Vitalka“

Tvornica stočne hrane „Vitalka“, prikazana slikom 17, nalazi se u Osječko-baranjskoj županiji, na području grada Osijeka, površine 98.200 m<sup>2</sup>.



Slika 17. Tvornica stočne hrane „Vitalka“

(Izvor: <https://www.agroportal.hr/vijesti/30453>)

U asortimanu proizvoda nalaze se potpune i dopunske krmne smjese za svinje, prasad, perad, goveda i ostale vrste životinja (kunići, ovce, koze, divljač...) u peletiranoj ili brašnastoj formi, prilagođene uzrastu životinje i proizvodnoj namjeni.



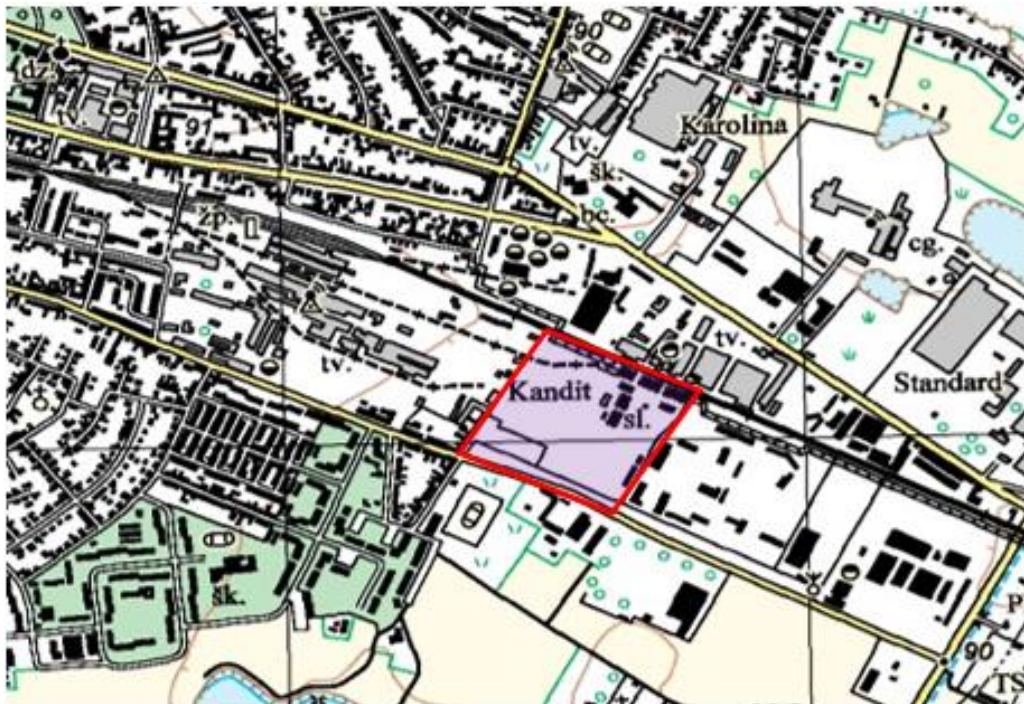
Slika 18. Proizvodi Tvornice stočne hrane „Vitalka“

(Izvor: <https://www.agroportal.hr/vijesti/30453>)



Krmne smjese pakiraju se u tri vrste komercijalnih pakovina: 40 kg, 25 kg i 10 kg, a kupcima se dostavljaju kamionima s rampom ili cisternama, ukoliko se radi o robi u rasutom stanju. Vrhunski proizvodi tvornice stočne hrane „Vitalka”, rezultat su najsuvremenije tehnologije, ali i implementiranog truda i znanja stručnjaka koji sudjeluju u svim fazama zatvorenog proizvodnog ciklusa: od plodne slavonske ravnice, preko stočne hrane, sve do gotovih proizvoda – mesa, mlijeka i konzumnih jaja.

Lokacija se nalazi sjeverno od državne ceste D2, u istočnom dijelu Osijeka (Jug 2), kao što je prikazano na slici 2.



Slika 19. Lokacija tvornice

(Izvor: <http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/>)

Tvornica stočne hrane „Vitalka“ jedna je od najsuvremenijih tvornica hrane za životinje u regiji. Proizvodni proces u cijelosti je automatiziran i računalno nadziran. Velika važnost pridaje se kontroli sirovina i gotovih proizvoda te sljedivosti. Sirovinsku osnovu proizvodnje čine ratarske kulture uzgojene na površinama „Žito grupe“. Kapacitet miješanja iznosi 20 t/h, dok je godišnja proizvodnja 100.000 tona smjese za hranidbu svinja, goveda, peradi, divljači i riba.

### 3.2. Tehnološki proces proizvodnje stočne hrane

Tehnološki proces proizvodnje stočne hrane, prikazan shemom na slici 20., uključuje:

- ulaz i čišćenje
- proporcionalno doziranje i vaganje
- brušenje hrane
- miješanje
- higijenzacija i peletiranje
- obrada peleta
- pakiranje i paletiranje
- pomoćni elementi
- transport i aspiracija.



Slika 20. Shema modularnog postrojenja za proizvodnju stočne hrane (Multi Feed)

(Izvor: <https://www.buhlergroup.com/global/en/industry-solutions/feed/animal-feed/multi-feed.htm>)

Bühler postrojenja za mljevenje stočne hrane modularnog su dizajna i mogu biti idealno prilagođena zahtjevima hrane za širok raspon životinjskih vrsta. Bühler posjeduje duboko procesno znanje i inovativne strojeve potrebne da osiguraju svojim klijentima visoku kvalitetu stočne hrane i sigurnu prehranu uz najveću učinkovitost. Tehnologija na kojoj se nalaze postrojenja za preradu stočne hrane u Bühleru i kvalitetno stručno znanje naših inženjera jamče proizvodnju hrane za životinje koja udovoljava najstrožim higijenskim zahtjevima, a ublažava kontaminaciju.

Jedan od modula Multi Feed postrojenja je modul za miješanje, prikazan slikom 21., u okviru kojega se primjenjuje oprema čiji su osnovni predstavnici: brzi mješač Speedmix DFML (1), homogenizator DPSD (2) i sustav za mjerenje i regulaciju vlage DCMA (3).



Slika 21. Modul za miješanje stočne hrane Multi Feed postrojenja

(Izvor: <https://www.buhlergroup.com/global/en/industry-solutions/feed/animal-feed/multi-feed.htm>)

### 3.3. Homogenizator DPSD 6.23

Homogenizator DPSD, prikazan slikom 22., posebno je dizajniran kao oprema za obradu hrane za životinje, ali se također primjenjuje u industriji biomase. Koristi se za homogeno miješanje pare i tekućina u suhe materijale. U industriji mljevene hrane takvi materijali uključuju masti, melase, vodu, ulja, itd. Dodavanje tekućine je moguće do 10 % sadržaja.



Slika 22. Homogenizator DPSD

(Izvor: <https://www.buhlergroup.com/global/en/products/homogenizer-dpsd.htm>)

Homogenizator DPSD može se fleksibilno postaviti tamo gdje je najpovoljniji za određeni mlin za hranu. Na primjer, ugradnja homogenizatora ispred glavne miješalice omogućuje intenzivno uključivanje tekućine, dodavanje do tri tekućine u isto vrijeme i manji rizik kontaminacije.

Velika kontrolna vrata osiguravaju lako čišćenje i održavanje homogenizatora. Žlica za miješanje ohlađenog lijevanog željeza rezultira dugim vijekom trajanja. Homogenizator DPSD standardno dolazi s detektorom brzine okretaja vratila i sigurnosnim krajnjim prekidačima kako bi se osigurala maksimalna radna sigurnost. Homogenizator DPSD dostupan je u dvjema verzijama kapaciteta od 60 ili 120 m<sup>3</sup>/h. „Vitalka“ posjeduje homogenizator DPSD-6.23 kapaciteta 60 m<sup>3</sup>/h, prikazan slikom slika 23. Protok homogenizatora je 25 – 30 t/h, ovisno o vrsti smjese, tj. recepturi.



Slika 23. Homogenizator DPSD-6.23 (Fotografija: Janješić, 2019.)

Homogenizator, koji je predmet istraživanja, proizvod je njemačke firme Bühler, tipa DPSD-6.23. Homogenizator se nalazi ispod glavne miješalice koja istovremeno usitnjava i miješa žitarice s dodacima, kao što su kiseline, enzimi i aminokiseline. Nakon toga se smjesa transportira u homogenizator gdje se miješa, ovisno o recepturi, s melasom i/ili uljem koje se nalazi pored homogenizatora radi lakše distribucije. Nakon homogenizatora izmiješana smjesa odlazi u skladišne silo ćelije.

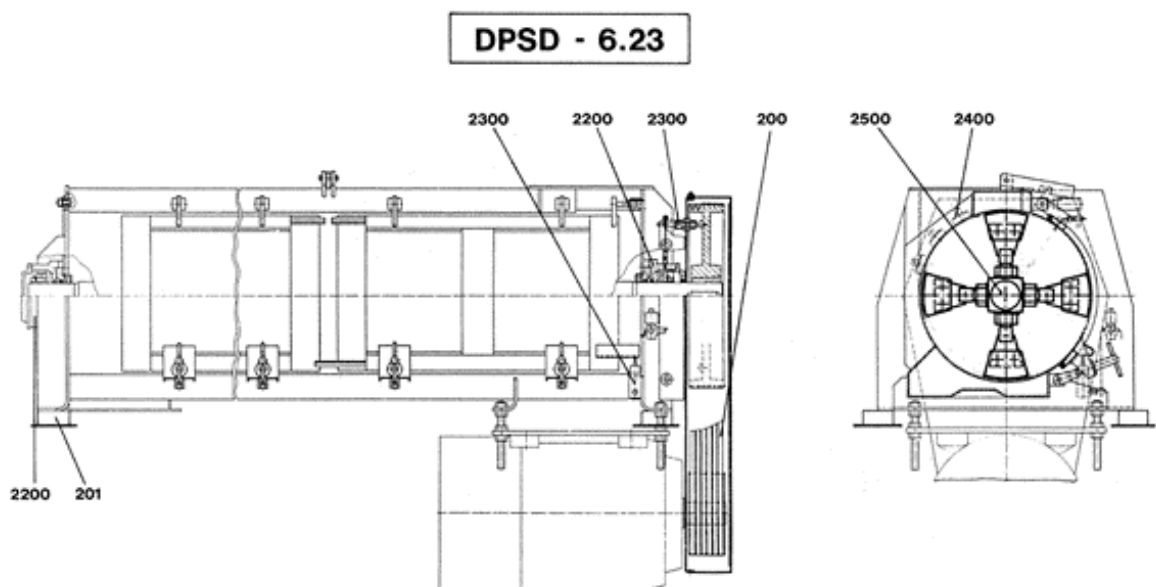
Slika 24. prikazuje uzorke gotovih smjesa koje se miješaju u homogenizatoru.



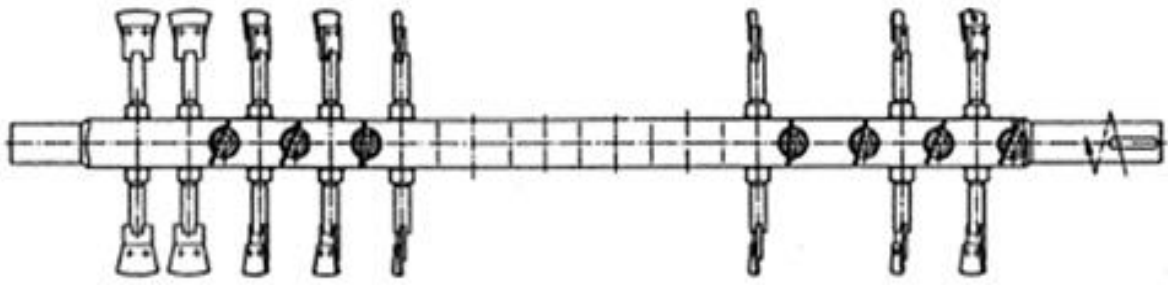


Slika 24. Uzorci gotovih smjesa (Fotografija: Janješić, 2019.)

Sheme na slikama 25. i 26. prikazuju presjek homogenizatora te unutrašnji položaj lopatica koje miješaju i potiskuju smjesu od ulaznog do izlaznog otvora homogenizatora. Kutovi zakrenutosti lopatica su različiti, planski postavljene tako da se smjesa savršeno izmiješa i sporo potiskuje kroz homogenizator, da ne bi bilo gustih ili neizmiješanih dijelova. Na ulazu je najgušći raspored, a na kraju su okrenute za 90° da lakše potisnu smjesu u izlazni otvor.



Slika 25. Shema presjeka homogenizatora (Izvor: Bühler, 1998.)



Slika 26. Shema radnih dijelova homogenizatora (Izvor: Bühler, 1998.)

Dostava smjese, melase i ulja do homogenizatora obavlja se cjevovodima koji su provedeni kroz cijelu tvornicu. Riječ je o sustavu cijevi za prijevoz robe koja je najčešće u tekućem i plinovitom stanju. Na slikama 27. i 28. prikazane su cijevi kojima se dovodi smjesa i ulje. Slika 27. prikazuje cijev koja dovodi izmiješani kruti sastav smjese iz glavne miješalice koja se nalazi na katu iznad homogenizatora. Postavljena je tako da se smanje troškovi transporta i iskoristi sila teža za puno ekonomičniji transport.



Slika 27. Cijev za dovod krutog sastava smjese do homogenizatora  
(Fotografija: Janješić, 2019.)

Na slici 28. prikazane su cijevi koje dovode ulje i melasu do homogenizatora, u kome se miješaju sa smjesom iz glavne miješalice. Vođenje procesa je kompjutorski vođen, kako bi se ulje dodalo u točno određenom omjeru, ovisno o recepturi smjese koja se priprema.



Slika 28. Cijevi za dovod tekućeg sastava smjese do homogenizatora  
(Fotografija: Janješić, 2019.)

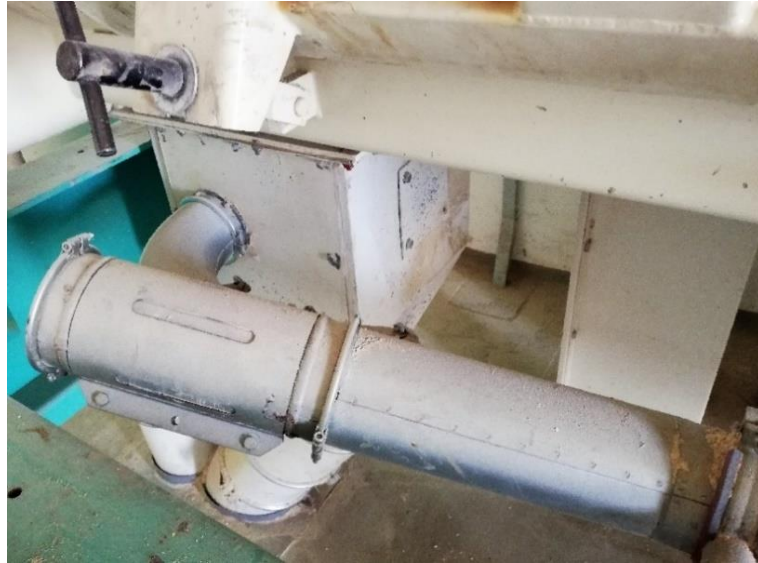
Kotao s uljem nalazi se pored homogenizatora zbog jednostavnije distribucije i lakše kontrole i punjenja, što je vidljivo na slici 29.



Slika 29. Kotao s uljem (Fotografija: Janješić, 2019.)

Na izlaznom dijelu je prostor koji zaprima određenu količinu smjese, prikazano slikom 30., a služi za provjeru uzorka, kako se ne bi morao gasiti cijeli stroj samo za provjeru smjese.





Slika 30. Prostor za uzimanje uzoraka smjese (Fotografija: Janješić, 2019.)

Istraživanje je rađeno na lopaticama homogenizatora koje su najviše izložene trošenju. Brzina vrtnje rotora s lopaticama tijekom eksploatacije je u rasponu od 700 do 750 o/min. Slika 31. prikazuje razliku između novih lopatica i lopatica koje su bile u eksploataciji. Istrošene lopatice ne idu na popravak nego se šalju proizvođaču, a nove se naručuju i postavljaju u homogenizator. Lopatice se mijenjaju u prosjeku jedanput godišnje.



Slika 31. Lopatice homogenizatora (Fotografija: Janješić, 2019.)

### 3.4. Utvrđivanje stvarnog oblika trošenja

Grilec i sur. (2017.) ističu da se stvarni oblici (slučajevi) trošenja, koji nastaju u uvjetima eksploatacije, sastoje od dva ili više osnovnih mehanizama trošenja i pritom djeluju istodobno ili u vremenskom slijedu, ovisno o vrsti tribosustava, relativnom gibanju i radnim uvjetima.

Svaki stvarni oblik trošenja moguće je detaljnije razraditi prema sličnosti strukture (elemenata) tribosustava i vrsti dodira te načinu opterećenja i obliku relativnog gibanja.

Njemački standard DIN 50320, kao i smjernice za analizu oštećenja uzrokovanih mehaničkim naprezanjima VDI 3822, primjenjuju složenu klasifikaciju koja obuhvaća većinu poznatih oblika trošenja i razrađuje ih na način da utvrđuje razinu značajnosti pojedinih osnovnih mehanizama trošenja u ukupnom procesu trošenja. Na slici 32. prikazan je izvadak iz tablice cjelokupne razrade procesa trošenja, prema DIN 50320 i VDI 3822, koji je najbliži obliku trošenja pokretnih dijelova uređaja za mljevenje i miješanje smjese.

Struktura sustava	Tribološko naprezanje		Primjeri iz prakse	Vrsta trošenja		Mehanizam trošenja			
						● uglavnom prevladava    ○ manje značajno			
						Adhezija	Abrazija	Umor površine	Tribokorozija
Kruto tijelo - Kruto tijelo i čestice	Valjanje		Strojevi za usitnjavanje i mlinovi, puževi ekstrudera	Abrazijsko-tri tijela	ABRAZIJA		●	●	○
	Udaranje		Strojevi za usitnjavanje i mlinovi				●		○

Slika 32. Razrada procesa trošenja krutog tijela česticama (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

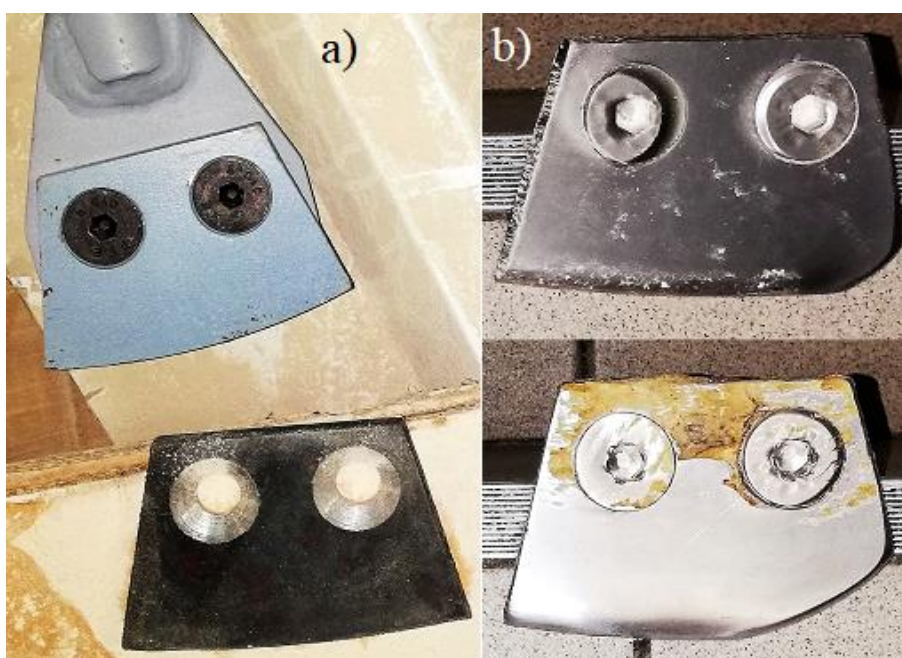
Iz prikazane slike vidi se da u trošenju krutog tijela česticama dominira mehanizam abrazije, pri čemu se, zbog udarnog djelovanja čestica, može se pojaviti mehanizam umora površine. Također, ukoliko se proces odvija u korozivnim uvjetima (vlaga i sl.), može se pojaviti i tribokorozija materijala, ali je njezin značaj u istraživanom obliku trošenja puno manji.

Analiza stvarnog procesa trošenja pokretnih dijelova homogenizatora obuhvatit će vizualni pregled tragova nastalih oblika trošenja te utvrđivanje mehanizama, na temelju primjene prethodno prikazane razrade, i procesa koji su ih uzrokovali. U svrhu bolje razlučivosti tragova trošenja koristit će se stereozoom lupa s digitalnom kamerom Olympus SZX12 + Digital microscope camera LC10.

## 4. REZULTATI

Kao što je prethodno naznačeno, od pokretnih dijelova homogenizatora najintenzivnije trošenje uočeno je na lopaticama za miješanje smjese. Razina trošenja lopatica vidljiva je u usporedbi novih i istrošenih lopatica, kao što je to prikazano primjerom na slici 33.

Kao što je prethodno navedeno, istrošene lopatice ne popravljaju se nego se vraćaju proizvođaču, a u homogenizator se postavljaju nove. Uobičajena učestalost izmjene lopatica je prosječno jedanput godišnje, ukoliko se ne dogode neplanirani događaji koji takvu učestalost mogu skratiti.



Slika 33. Lopatice homogenizatora, nove (a) i iskorištene (b) (Fotografija: Janješić, 2019.)

Trošenje lopatica uzrokovano je smjesom koja se proizvodi i koja u svom sastavu sadrži čestice samljevenih žitarica i dodatke, kao što je opisano u poglavlju 3.2. Tijekom proizvodnog procesa radne površine lopatica su u neposrednom kontaktu sa česticama, pri čemu između njih postoji gibanje velikom brzinom. Budući da se u sastavu smjese nalaze različite tekuće komponente (melasa, ulja, ...) dolazi do stvaranja nakupina stvrdnute strukture koja djeluje abrazivno i dodatno utječe na povećanje intenziteta trošenja lopatica homogenizatora. Primjer takve stvrdnute strukture smjese prikazan je na slici 34.





Slika 34. Primjer stvrdnute strukture smjese (Fotografija: Janješić, 2019.)

Pregledom svih lopatica uočeno je da najintenzivnije trošenje nastaje na lopaticama koje su na ulaznom i izlaznom otvoru homogenizatora, kao što je označeno na slici 35.



Slika 35. Otvoreni radni prostor homogenizatora (Fotografija: Janješić, 2019.)

Slika 36. prikazuje lopatice na ulaznom otvoru homogenizatora, kroz koji u radni prostor ulaze smjesa i melasa.



Slika 36. Lopatice na ulaznom otvoru homogenizatora (Fotografija: Janješić, 2019.)

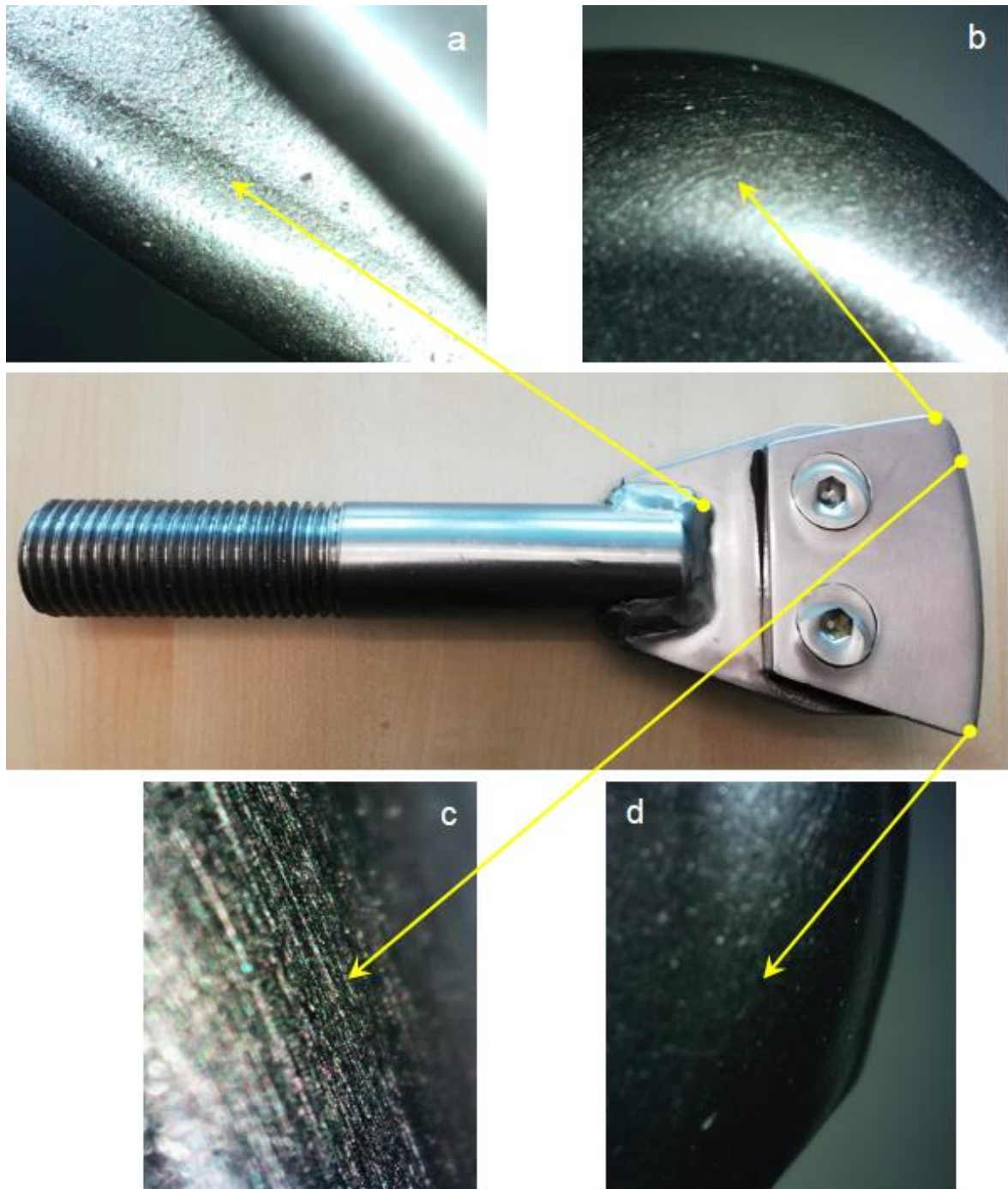
Slika 37. prikazuje lopatice na izlaznom otvoru homogenizatora, koje su zakrenute za  $90^\circ$  u odnosu na susjedni skup lopatica, kao što je vidljivo i iz sheme na slici 26. Njihova zadaća je potiskivanje smjese u izlazni otvor za daljnji transport i skladištenje.



Slika 37. Lopatice na izlaznom otvoru homogenizatora (Fotografija: Janješić, 2019.)

Analizom istrošenih lopatica utvrđeni su tragovi trošenja koji su prikazani na slici 38.





Slika 38. Prikaz oblika trošenja na lopaticama homogenizatora  
(Fotografija: Janješić, 2019.)

Lopaticice i nosači troše se na svojoj cjelokupnoj površini, a posebno se ističu:

- na mjestu spoja nosača i lopatica – sitne pukotine i neravna površina (a),
- na vršnim rubovima lopatica – najviše odnesenog materijala, zaglađenje površina s vrlo sitnim točkastim pukotinama i sitnim ogrebotinama (b i d),
- na bočnim rubovima lopatica – brojne naglašene ogrebotine i brazde uzduž ruba (c).

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Trošenje na mjestu spoja nosača i lopatica

Trošenje nije vidljivo samo na lopaticama koje miješaju smjesu, već i na nosačima lopatica, kao što je prikazano na slici 38.a. Nosači također sudjeluju u procesu miješanja, iako ne koliko i lopatice. Na mjestu zavarenog spoja nosača i lopatice nastali tragovi trošenja, izraženi brojnim uočljivim pukotinama i uslijed toga neravnom površinom, ukazuju na mehanizam erozije česticama koji na materijal djeluje u obliku umora površine pri malim brzinama i velikim kutovima udara čestica u površinu. Riječ je o eroziji koja je naznačena kao slučaj b) na slici 14. (poglavlje 2.4.1.), pri kojoj čestice smjese kontinuirano udaraju relativno malom brzinom pod približno okomitim kutom u površinu zavarenog spoja. Kontinuirani rad i učestalost udaraca uzrokuje umor površine visokog ciklusa, kao što je navedeno u poglavlju 2.3.3., pri čemu intenzitet trošenja nije visok. Vijek trajanja komponente (nosača lopatice) relativno je dug, pa se isti jako rijetko mijenjaju i traju duže od lopatica. Zbog toga se nekakve konkretne mjere zaštite od takvog oblika trošenja rijetko primjenjuju. Ukoliko se primjenjuju, tada se uglavnom provode u obliku prevlačenja trošene površine materijalima koji su otporniji trošenju (navarene ili nataljene metalne prevlake i sl.)

### 5.2. Trošenje na vršnim rubovima lopatica

Najizraženije trošenje utvrđeno je na vršnim rubovima lopatica homogenizatora, prikazanim na slici 38.b i 38.d, jer tamo su udarci mljevene zrnate biljne mase najintenzivniji i pod različitim kutovima. Vidljivi su tragovi dva oblika erozije, prepoznatljiva kao slučajevi a) i b) na slici 14. (poglavlje 2.4.1.):

- a) udarna erozija (pri velikim kutovima udara čestica u trošenu površinu) – proces koji mehanizmom umora površine stvara brojne sitne točkaste pukotine,
- b) abrazivna erozija (pri malim kutovima udara čestica u trošenu površinu) – proces koji mehanizmom abrazije stvara brojne sitne ogrebotine.

Budući da je na vršnim rubovima najveća brzina gibanja lopatice (obodna brzina kružnog gibanja lopatice), u istom području je i najveća energija udara abrazivskih čestica koja uzrokuje i najveće trošenje. Tomu pridonosi i prisutnost oba navedena mehanizma trošenja. Neke od mjera zaštite od navedenog trošenja su:

- izbor pogodnog abrazijski otpornog materijala za izradu lopatica homogenizatora.
- poboljšanja abrazijske otpornosti površine lopatica primjenom triboloških prevlaka.

### **5.3. Trošenje na bočnim rubovima lopatica**

Bočni rubovi lopatica homogenizatora tijekom miješanja smjese izloženi su trošenju intenzivnim udarom abrazijskih čestica iz mljevene zrnate mase pod vrlo malim kutovima (klizanju uzduž rubova). Takav proces rezultira mehanizmom abrazije koja odnosi materijal s površine lopatica u obliku brojnih naglašenih ogrebotina, pruga i brazdi uzduž ruba i paralelno s njim, kao što je vidljivo na slici 38c. Riječ je obliku trošenja koji je naznačen kao slučaj a) na slici 14. (poglavlje 2.4.1.), a na isto ukazuje i Ivušić (1998.). Trošenje lopatica ovim oblikom relativno je intenzivno, ali ne kao na vršnim rubovima lopatica.

Mjere zaštite od navedenog oblika trošenja su, kao i u prethodnom poglavlju 5.2., primjena abrazijski otpornih materijala za izradu lopatica homogenizatora ili triboloških prevlaka na njihovim radnim površinama. Riječ je o klasičnim postupcima zaštite radnih dijelova strojeva od abrazije.

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je analizirati mehanizme, oblike i uzroke trošenja lopatica homogenizatora DPSD – 6.23 koji služi za miješanje mljevene biljne mase s melasom i ostalim aditivima ovisno o recepturi. Istraživanje je obuhvatilo prikupljanje literaturnih podataka o trošenju koje nastaje na lopaticama u dodiru biljne mase s melasom i ostalim aditivima. Također, istraživanje je prikupilo i podatke o mehanizmima trošenja. Analizom je utvrđeno da je najčešći oblik trošenja navedenih dijelova abrazijsko trošenje, koje nastaje zbog kontakta površina lopatica i nosača sa zrnatom i mljevenom masom biomaterijala. Također, pokazalo se da je u procesu miješanja prisutno i trošenje, poput umora materijala i erozije čestica. Svaki od tih oblika trošenja objašnjen je kroz opis specifičnih tragova trošenja i čimbenika koji ih uzrokuju. U okviru provedene analize opisane su i mjere ispravnog održavanja, kako bi se smanjilo trošenje lopatica.

Ukazano je da se trošenje materijala radnih dijelova homogenizatora ne može izbjeći, kao i da se na trajnost određenog dijela može značajno utjecati kvalitetnim održavanjem te osiguranjem normalnih uvjeta eksploatacije homogenizatora. Primijećeno je da trošenje ovisi o kojem dijelu lopatica je riječ kao i o položaju lopatica; ne troše se sve lopatice jednako. Također, jedna lopatica troši se na određenim dijelovima različitim intenzitetom. Redovni pregledi i čišćenje cijeloga homogenizatora te korištenje materijala otpornijeg na abrazijsko trošenje može utjecati na dugotrajnost lopatica.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Božić, A. (2013.): Usporedba otpornosti na abrazijsko trošenje različitih materijala. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.
2. Bühler (1998.): Betriebsanleitung „Homogenisator“ DPSD-6.23
3. Czichos, H. (1978.): Tribology – a system approach to the science and technology of friction, lubrication and wear. Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York. <https://epdf.tips/queue/tribology-a-systems-approach-to-the-science-and-technology-of-friction-lubricati.html> (15.04.2019.)
4. Đurkić, A (2018.): Analiza trošenja kotrljajućih ležaja trakastog transportera za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje tvornice ulja Čepin. Diplomski rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
5. Grilec, K.; Ivušić, V. (2010.): Tribologija, Autorizirana predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb. <https://www.scribd.com/doc/237106449/Tribologija> (15.04.2019.)
6. Grilec, K.; Jakovljević, S.; Marić, G. (2017.): Tribologija u strojarstvu, Udžbenik, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
7. Heshmat, H. (2010.): Tribology of interface layers
8. Ivušić, V. (1998.): Tribologija. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb.
9. Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“ (2013.): Opća nacionalna enciklopedija, Proleksis. <http://proleksis.lzmk.hr/49180/> (17.04.2019.)
10. Nosonovsky, M. (2007.): Oil as a lubricant in the ancient middle east, Tribology online 2(2). 44-49. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/trol/2/2/2\\_2\\_44/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/trol/2/2/2_2_44/_pdf) (15.04.2019.)
11. Vuković, G. (2009.): Erozijsko trošenje izotermički poboljšanog te naknadno sačmarenog nodularnog lijeva. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.
12. Wisniak, J.; Hatchett, C. (2015.): The discoverer of niobium. Educación Química 26, 346-355. <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.004> (17.04.2019.)
13. Zgaga, R. (1975.): Tribologija, nova znanstvena disciplina u znanosti i tehnici. Strojarstvo XVII (5). 193 – 195.
14. Zoričić, M. (2014.): Otpornost čelika X155CrVMo12-1 na abrazivnu eroziju česticama. Završni rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.
15. Žnidarec, T. (2009.): Utjecaj mikrostrukture na tribomehanička svojstva čelika. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.

16. <http://3.bp.blogspot.com/-TvMpaK5uztU/T9yVUkm-6gI/AAAAAAAAAWA/ybPpZqJozp8/s320/Trenje.jpg> (14.06.2019.)
17. [http://emrtk.uni-miskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_and\\_wear\\_mechanism.htm](http://emrtk.uni-miskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_and_wear_mechanism.htm) (14.06.2019.)
18. [http://ethesis.nitrkl.ac.in/4192/1/Erosion\\_Wear\\_of\\_Materials.pdf](http://ethesis.nitrkl.ac.in/4192/1/Erosion_Wear_of_Materials.pdf) (14.06.2019.)
19. <http://faculty.ucmerced.edu/amartini/tribology.shtml> (14.06.2019.)
20. <http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/> (14.06.2019.)
21. [http://sim.riteh.hr/raui/\\_1h\\_glagol/Ispit2016\\_1H\\_primjer.pdf](http://sim.riteh.hr/raui/_1h_glagol/Ispit2016_1H_primjer.pdf) (14.06.2019.)
22. <http://stem.ba/images/slika-1.png> (14.06.2019.)
23. <http://www.acmecmservices.com/wear-particle-analysis.html> (14.06.2019.)
24. <http://www.centrlubrication.com/history-tribology/index.php> (14.06.2019.)
25. [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/5/7/1/5\\_7\\_1\\_2.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/5/7/1/5_7_1_2.htm) (14.06.2019.)
26. <http://www.tribonet.org/wiki/fatigue-wear/> (14.06.2019.)
27. <http://www.tribonet.org/wiki/rolling-contact-fatigue/> (14.06.2019.)
28. <http://www.tribonet.org/wp-content/uploads/2016/02/Leonardo-da-Vinci-678x381.jpg> (14.06.2019.)
29. <https://books.google.hr/books?id=MjAdBDZf7WkC&pg=PA568&lpg=PA568&dq=fatigue+wear+protection&source=bl&ots=exlZxAIsfS&sig=ACfU3U01Bx9GvIYXdQ2csQasr4TexTydZQ&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjJ3f7S7OPiAhXpA2MBHRpIC8AQ6AEwDnoECAkQAQ#v=onepage&q=fatigue%20wear%20protection&f=false> (14.06.2019.)
30. <https://egyptianhistorypodcast.com/2014/11/19/episode-39-the-wealth-of-asia> (14.06.2019.)
31. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation#/media/File:Cavitation\\_bubble\\_implosion.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation#/media/File:Cavitation_bubble_implosion.png) (14.06.2019.)
32. [https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/facilities/360/nCATS\\_facility/tribocorrosion.page](https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/facilities/360/nCATS_facility/tribocorrosion.page) (14.06.2019.)
33. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/SevereAdh\\_Web.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/SevereAdh_Web.jpg) (14.06.2019.)
34. <https://www.agroportal.hr/vijesti/30453> (14.06.2019.)
35. <https://www.buhlergroup.com/global/en/industry-solutions/feed/animal-feed/multi-feed.htm> (14.06.2019.)
36. <https://www.buhlergroup.com/global/en/products/homogenizer-dpsd.htm> (14.06.2019.)

37. [https://www.jgs-nitriding.com/images/Content\\_Images/Corrosive\\_Wear.png](https://www.jgs-nitriding.com/images/Content_Images/Corrosive_Wear.png)  
(14.06.2019.)
38. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/adhesive-wear> (14.06.2019.)
39. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/erosive-wear> (14.06.2019.)

## 8. SAŽETAK

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim tijelom, fluidom ili česticama. Ovaj rad bavi se analizom trošenja dijelova opreme za proizvodnju stočne hrane. Među najvažnijim predstavnicima takve opreme su homogenizatori za miješanje mljevene zrnate biljne mase s melasom. U radu su opisane karakteristike odabranog homogenizatora i uvjeti u kojima radi te mehanizmi trošenja kojima su izloženi njegovi pokretni radni dijelovi. Različiti oblici trošenja međusobno se miješaju, ali u svakom trošenju može se raspoznati najdominantniji oblik, koji je i uzrok najštetnijim posljedicama trošenja lopatica homogenizatora. Također je ukazano na moguće nastale štete te su predloženi načini smanjenja trošenja lopatica homogenizatora. U zaključku je ukazano na važnost redovitog servisno-preventivnog održavanja homogenizatora te svakodnevni pregled i kontrolu radnih elemenata izloženih trošenju.

**Ključne riječi:** trošenje, proizvodnja stočne hrane, homogenizator, lopatice, održavanje



## 9. SUMMARY

Wearing is the gradual loss of material from the surface of the solid body due to the dynamic contact with the other body, fluid or particles. This paper deals with the analysis of wear of parts of equipment for the production of animal feed. Among the most important representatives of such equipment are homogenizers for mixing the milled grain plant mass with molasses. The paper describes the characteristics of the selected homogenizer and the conditions in which it is used, and the mechanisms of wear to which its mobile working parts are exposed. Different forms of wear are mutually intermingled, but in each wear, it is possible to identify the most dominant form, which is also the cause of the most damaging effects on the blades of the homogenizer. It is also pointed out possible damage and proposed ways to reduce the wear of the blades of the homogenizer. The conclusion was drawn to the importance of regular service-preventive maintenance of the homogenizer and daily inspection and control of exposed work items.

**Key words:** wear, animal feed production, homogenizer, blades, maintenance

## 10. POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer tribologije u drevnom Egiptu – vučenje kolosalnog kipa na saonicama .....	2
Slika 2. Skice Leonardovih pokusa s trenjem .....	3
Slika 3. Amontonsovi zakoni .....	4
Slika 4. Primjer trenja.....	5
Slika 5. Struktura tribosustava.....	6
Slika 6. Abrazija u dodiru dvaju tijela (a) i triju tijela (b).....	7
Slika 7. Primjer abrazijskog trošenja.....	8
Slika 8. Adhezijsko trošenje .....	9
Slika 9. Primjer adhezijskog trošenja .....	9
Slika 10. Umor površine.....	10
Slika 11. Primjer umora površine .....	11
Slika 12. Jedinični događaj tribokorozije .....	11
Slika 13. Trošenje tibokorozijom .....	12
Slika 14. Erozijska pri različitim brzinama i kutovima udara čestice.....	13
Slika 15. Intergranularna korozija i površinska korozija.....	14
Slika 16. Shema kavitacijskog trošenja .....	14
Slika 17. Tvornica stočne hrane „Vitalka“ .....	15
Slika 18. Proizvodi Tvornice stočne hrane „Vitalka“ .....	15
Slika 19. Lokacija tvornice.....	16
Slika 20. Shema modularnog postrojenja za proizvodnju stočne hrane (Multi Feed).....	17
Slika 21. Modul za miješanje stočne hrane Multi Feed postrojenja.....	18
Slika 22. Homogenizator DPSD.....	18
Slika 23. Homogenizator DPSD-6.23 .....	19
Slika 24. Uzorci gotovih smjesa.....	20
Slika 25. Shema presjeka homogenizatora .....	20
Slika 26. Shema radnih dijelova homogenizatora .....	21
Slika 27. Cijev za dovod krutog sastava smjese do homogenizatora .....	21
Slika 28. Cijevi za dovod tekućeg sastava smjese do homogenizatora .....	22
Slika 29. Kotao s uljem .....	22
Slika 30. Prostor za uzimanje uzoraka smjese.....	23
Slika 31. Lopatice homogenizatora .....	23

Slika 32. Razrada procesa trošenja krutog tijela česticama.....	24
Slika 33. Lopatice homogenizatora, nove (a) i iskorištene (b).....	25
Slika 34. Primjer stvrdnute strukture smjese .....	26
Slika 35. Otvoreni radni prostor homogenizatora .....	26
Slika 36. Lopatice na ulaznom otvoru homogenizatora .....	27
Slika 37. Lopatice na izlaznom otvoru homogenizatora .....	27
Slika 38. Prikaz oblika trošenja na lopaticama homogenizatora .....	28

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij, Mehanizacija

Diplomski rad

Analiza trošenja pokretnih dijelova homogenizatora za miješanje smjese u tvornici stočne hrane „Vitalka“ u Osijeku

Filip Janješić

## Sažetak:

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim tijelom, fluidom ili česticama. Ovaj rad bavi se analizom trošenja dijelova opreme za proizvodnju stočne hrane. Među najvažnijim predstavnicima takve opreme su homogenizatori za miješanje mljevene zrnate biljne mase s melasom. U radu su opisane karakteristike odabranog homogenizatora i uvjeti u kojima radi te mehanizmi trošenja kojima su izloženi njegovi pokretni radni dijelovi. Različiti oblici trošenja međusobno se miješaju, ali u svakom trošenju može se raspoznati najdominantniji oblik, koji je i uzrok najštetnijim posljedicama trošenja lopatica homogenizatora. Također je ukazano na moguće nastale štete te su predloženi načini smanjenja trošenja lopatica homogenizatora. U zaključku je ukazano na važnost redovitog servisno-preventivnog održavanja homogenizatora te svakodnevni pregled i kontrolu radnih elemenata izloženih trošenju.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Goran Heffer

**Broj stranica:** 38

**Broj slika:** 38

**Broja tablica:** -

**Broj literaturnih navoda:** 39

**Broj priloga:** -

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** trošenje, proizvodnja stočne hrane, homogenizator, lopatice, održavanje

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

# BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Mechanization

Graduate thesis

Analysis of wear of moving parts of the mixer homogenizer in the animal feed factory  
Vitalka in Osijek

Filip Janješić

## Abstract:

Wearing is the gradual loss of material from the surface of the solid body due to the dynamic contact with the other body, fluid or particles. This paper deals with the analysis of wear of parts of equipment for the production of animal feed. Among the most important representatives of such equipment are homogenizers for mixing the milled grain plant mass with molasses. The paper describes the characteristics of the selected homogenizer and the conditions in which it is used, and the mechanisms of wear to which its mobile working parts are exposed. Different forms of wear are mutually intermingled, but in each wear, it is possible to identify the most dominant form, which is also the cause of the most damaging effects on the blades of the homogenizer. It is also pointed out possible damage and proposed ways to reduce the wear of the blades of the homogenizer. The conclusion was drawn to the importance of regular service-preventive maintenance of the homogenizer and daily inspection and control of exposed work items.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Goran Heffer

**Number of pages:** 38

**Number of figures:** 38

**Number of tables:** -

**Number of references:** 39

**Number of appendices:** -

**Original in:** Croatian

**Key words:** wear, animal feed production, homogenizer, blades, maintenance

**Thesis defended on date:**

## Reviewers:

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, president
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.