

# Analiza tragova trošenja tribo para zub - zubna udloga

---

**Stanić, Mihael**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:900893>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-16**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Mihael Stanić**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc.dr. sc. Suzana Jakovljević

Student:

Mihael Stanić

Zagreb, 2015.

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

Izrazio bih zahvalu mentorici, doc. dr. sc. Suzani Jakovljević na neumornoj podršci i strpljenju te pomoći u prikupljanju potrebnih materijala.

Mihael Stanić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datu: 25-02-2015	Prilog
Klasa: 602-04/15-6/3	
Ur.broj: 15-1703-15-66	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mihael Stanić** Mat. br.: 0035175746

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza tragova trošenja tribo para zub – zubna udloga**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of wear tracks of tribo – pair tooth – dental splint**

Opis zadatka:

Bruksizam je dnevna ili noćna parafunkcijska aktivnost koja za posljedicu ima prekomjerno trošenje tvrdih zubnih tkiva, što je sve češći problem suvremenog čovjeka. Tribologija kao interdisciplinarna znanost omogućuje da se njenim metodama i tehnikama pokuša riješiti problem bruksizma.

U ovom radu potrebno je:


- 1) Objasniti bruksizam.
- 2) Opisati tribološke mehanizme trošenja zubnih površina.
- 3) Analizirati tragove trošenja tribo para zub – zubna udloga pretražnim elektronskim mikroskopom.


Zadatak zadan:  
25. studenog 2014.

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

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

Zadatak zadao:

  
Doc.dr.sc, Suzana Jakovljević

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Zoran Kunica

# Sadržaj

POPIS SLIKA .....	6
POPIS TABLICA.....	7
1. UVOD .....	8
2. TRIBOLOGIJA .....	11
2.1. Tribologija polimera.....	12
3. MEHANIZMI TROŠENJA.....	13
3.1. Adhezija .....	13
3.2. Abrazija .....	14
3.3. Erozija .....	15
3.4. Korozija.....	16
3.5. Kavitacija .....	16
4. TRIBOLOŠKI MEHANIZMI TROŠENJA ZUBNIH POVRŠINA.....	17
5. UREĐAJ ZA ISPITIVANJE.....	23
6. UZORCI.....	25
7. ANALIZA SNIMAKA ELEKTRONSKOG MIKROSKOPA .....	28
8. ZAKLJUČAK .....	34
9. LITERATURA.....	35

**POPIS SLIKA**

- Slika 1. Zubi osobe koja pati od bruksizma [6]
- Slika 2. Uznapredovali stadij bruksizma [7]
- Slika 3. Zubna nagrizna udlaga [9]
- Slika 4. Pacijent s gornjom nagriznom udlagom [8]
- Slika 5. Adhezijsko trošenje [11]
- Slika 6. Abrazijsko trošenje [11]
- Slika 7. Abrazija između dva tijela [11]
- Slika 8. Abrazija između tri tijela [11]
- Slika 9. Erozijsko trošenje [11]
- Slika 10. Brusne fasete na očnjacima kod 25-godišnje žene [2]
- Slika 11. Površina zuba [2]
- Slika 12. Rana faza abrazijskog trošenja [2]
- Slika 13. Kasna faza abrazijskoga trošenja [2]
- Slika 14. Erozijska ili korozivna trošenja zuba [2]
- Slika 15. Abfrakcijsko trošenje [13]
- Slika 16. Keramički most [13]
- Slika 17. Skening elektronski mikroskop [14]
- Slika 18. Uzorak materijal zubne udlage
- Slika 19. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 491 puta
- Slika 20. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 500 puta
- Slika 21. Svjetlosno polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 500 puta
- Slika 22. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 7.098 pri pojačanju 100 puta
- Slika 23. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 7,098 pri pojačanju 510 puta
- Slika 24. Svjetlosno polimerizarni PMMA pri pH 7,098 pri pojačanju 502 puta
- Slika 25. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 502 puta
- Slika 26. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 500 puta
- Slika 27. Svjetlosno polimerizarni PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 100 puta

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Svojstva uzorka pri pH 4,934

Tablica 2. Svojstva uzorka pri pH 7,098

Tablica 3. Svojstva uzorka pri pH 8,878



## 1. UVOD

### 1.1. Bruksizam

Škripanje i stiskanje zuba vjerojatno postoji otkad je i čovjeka. U bibliji imamo nekoliko potvrda o tome u Starom (Knjiga o Jobu: „Gnjev njegov rastrže me, ne navidi me, škrguće zubima na mene...", Psalam 112:10...) i u Novom Zavjetu ( Matej 8:12: „...jer će biti plač u škrgut zuba...", prisbodoba o iscjeljenju siromašnog duhom u Lukinom Evanđelju...) . Osim toga , mnoge kulture kroz povijest povezuju patnju, fizičku bol, „ludilo" i opsjednutost sa škripanjem zuba [1]. Termin bruksizam potječe od starogrčke riječi „brychein" što znači škrgut zuba. U znanstvenoj literaturi izraz bruksizam Marie i Pitkiewitz upotrebljavaju prvi put 1907. godine [2].

Bruksizam je nesvrhovita i prekomjerna aktivnost žvačnih mišića, a uzrokuje kretnje stiskanja i/ ili škripanja zuba [3]. Bruksizam je dnevna ili noćna parafunkcijska aktivnost koja za posljedicu ima prekomjerno trošenje tvrdih zubnih tkiva, ali nije povezana sa bilo kojim normalnim funkcijama kao što je pričanje ili žvakanje hrane. Uobičajno se odvija tijekom rane faze spavanja, obično u REM fazi sna [5].



**Slika 1. Zubi osobe koja pati od bruksizma [6]**

Bruksizam je raširen problem te pogađa od 8 do 31 % opće populacije. Bruksizam je najčešći u adolescentskoj dobi. Starenjem postaje sve rjeđi. 20% ljudi stiće zubima danju, a 10% je onih koji imaju iste simptome noću [4]. Bruksizam može nastati u bilo kojoj životnoj dobi, a djeca tijekom mješovite denticije vrlo često prolaze tu fazu [1].

Postoje dvije glavne vrste bruksizma: vrsta koja se pojavljuje tijekom spavanja te ona koja se pojavljuje u budnom stanju. Oštećenje zuba može biti vrlo slično u oba slučaja, ali simptomi

noćnog bruksizma su uobičajno gori neposredno nakon buđenja nego tijekom ostatka dana, a simptomi dnevnog bruksizma uopće ne trebaju biti primjetni tijekom buđenja ali se pogoršavaju tijekom dana.

Iako se je u prošlosti smatralo da je osnovni uzrok bruksizma nepodudarnost gornjeg i donjeg zubnog luka, prema novijim istraživanjima osnovne uzroke pojave bruksizma treba tražiti u psihološkim stanjima poput stresa, anksioznosti i napetosti. Uobičajno nastaje kombinacijom nekoliko etioloških faktora, kao što su stresne situacije, nepravilna okluzija odnosno nagnuti ili rotirani zubi. Mnogobrojne tvari, kao na primjer amfetamini, amfetaminima slične tvari, nikotin i alkohol mogu biti etiološka podloga za razvoj bruksizma, što se posebice objašnjava djelovanjem preko dopaminskog sustava. Poremećaj ponašanja i afektivni psihološki čimbenici, od kojih je najviše izražena anksioznost, mogu zajedno s emocionalnim stresom pod utjecajem psihosocijalnih čimbenika, uzrokovati bruksističnu aktivnost [5].

Posljedice bruksizma su promjena izgleda lica zbog promjena na zubima, smanjivanje vertikalne dimenzije, socijalna nelagoda zbog zvukova koje bolesnici proizvode te klinički uočena hipertrofija mastikatornih mišića. Hipertrofija mastikatornih mišića znači nenormalno povećanje mišića koji sudjeluju pri žvakanju. Kod osoba s bruksizmom česte su glavobolje, bol u licu i čeljustima [1].



**Slika 2. Uznapredovali stadij bruksizma [7]**

Dijagnoza bruksizma može se postaviti inspekcijom usne šupljine gdje se kod osobe sa dobrom oralnom higijenom mogu primjetiti pukotine, odlomljene krune zuba, gingivitis itd.

Liječenje bruksizma je kompleksno. Postoje dva osnovna načina u terapiji bruksizma a to su kontrola stresa te izravne terapijske metode koje se primjenjuju na stomatognati sustav kao što su nagrizne udlage [2].

Nagrizne udlage su i dijagnostičko i terapijsko sredstvo u terapiji. Dvije najčešće upotrebljavane udlage su: stabilizirajuća udlaga i protruzijska udlaga. Način njihove izrade vrlo je sličan, a razlikuje ih okluzalno programiran položaj donje čeljusti. Cilj stabilizacijske udlage je kao što joj i ime govori stabilizacija cjelokupnog žvačnog sustava. Nagrizna udlaga trebala bi biti iz mekanog materijala, no ne gumastog, koji bi mogao provocirati stiskanje ili pojačano žvakanje. Minimalno povećanje vertikalne dimenzije okluzije poništiti će prerane dodire i promijeniti patološke engrame. Uz to usporedo ide i terapija psihičkih uzročnika, antistres program i slično. Prema istraživanju kojim se ističe da 80-90% ispitanika nakon terapije udlagom doživljava poboljšanje simptoma, premda je u samo 50% slučajeva doista i zabilježeno da su se smanjile vrijednosti žvačnih sila. Negativne strane udlage su što ne zaustavlja noćni bruksizam već modificiranjem parafunkcijskih aktivnosti i/ili mijenjajem distribucije traume mastikatornog sustava često djeluje tako da se simptomi smanje ali se nakon prestanka terapije pogoršaju [9].



**Slika 3. Zubna nagrizna udlaga**



**Slika 4. Pacijent s gornjom nagrizznom udlagom [8]**

Osnovni su gubici tvrdih zubnih tkiva abrazija, atricija i erozija. Atricija je postupno i pravilno trošenje tvrdog zubnog tkiva zbog direktnog dodira zuba sa zubom. Ponekad je teško razlikovati atriciju i abraziju, jer njihovi klinički znakovi su slični. Abrazija je trošenje zuba zbog neke nefiziološke stvari u ustima, na primjer protetskog rada, ili je, pak, mogu uvjetovati loše navike te profesionalni razlozi i abrazijsko sredstvo u ustima. Atricija je isključivo trošenje zubnih tkiva tijekom normalne funkcije i parafunkcije žvačnog sustava bez utjecaja abrazivnog sredstva. Djelovanje kemijskih ili elektrolitskih procesa u ustima završava destrukcijom tvrdih zubnih tkiva, što nazivamo erozijom. S obzirom na to da je trošenje zuba očekivani fiziološki proces, teško je procijeniti stanje i koji je od tih procesa znatnije pridonio patološkom trošenju zuba. [2]

## **2. TRIBOLOGIJA**

Tribologija (od grčkog τριβος "(ja) trljam") je znanost o površinama u dodiru, relativnom gibanju i o pratećim aktivnostima. Jednostavnije i razumljivije bi se moglo reći da je tribologija znanstveno – stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja, trošenja i podmazivanja. Proučavanje tribologije, najčešće, ima primjenu u dizajnim ležajevima, ali koristi se u skoro svakom aspektu moderne tehnologije. Svaki proizvod, kod kojeg jedan materijal klizi ili se trlja o drugi, je obuhvaćen složenim tribološkim međudjelovanjima, bilo da je površina podmazana ili nepodmazana.

Tribologija opisuje tribološka svojstva koja obuhvaćaju otpor gibanju (koji se može izraziti kao faktor trenja, trošenje materijala, trljanje i sl.) Šira definicija opisuje tribologiju kao znanost i tehniku o površinama koje su u dodiru i relativnom gibanju, kao i o popratnim aktivnostima koje trebaju sniziti troškove koji nastaju kao posljedica trenja i trošenja. Trenje predstavlja otpor gibanju do kojeg dolazi uvijek kada jedno čvrsto tijelo dodiruje drugo čvrsto tijelo. Trošenje predstavlja oštećenje površine ili odstranjenje materijala s jedne ili s obje strane dviju čvrstih površina koje su u dodiru tijekom gibanja [10].

## 2.1 Tribologija polimera

Tribologija polimera u mnogočemu se razlikuje od tribologije metala i keramike. Razlika u ponašanju polimera u tribološkim uvjetima posljedica je različitosti kemijske i fizikalne strukture ali i površinskih karakteristika. Dodavanjem različitih dodataka moguće je značajno mijenjati svojstva polimernih materijala što ih čini vrlo zanimljivim materijalima za proizvodnju različitih elemenata u tribosustavima. Polimeri, koji su općenito neotporni, niže krutosti i čvrstoće, pokazuju nisko trenje zbog nižih interakcija, ali i visoko trošenje u usporedbi s keramikom i metalima. U interpretaciji triboloških svojstava polimera ne mogu se izravno primijeniti znanja iz tribologije metala, zbog specifičnih strukturnih karakteristika polimera. Na primjer na mehanička svojstva polimera izravno utječu zapletaji lanaca. Čimbenici koji utječu na tribološka svojstva polimera su struktura i položaj makromolekula na površini, multifaznost, stupanj kristalastosti, vrsta polimera (homopolimeri, blok-kopolimeri itd.), sastav polimernih mješavina, orijentiranje lanaca postignuto tijekom prerade (ekstrudiranje i sl.), molekularna struktura (linearna, razgranata ili umrežena), kao i raspodjela molekularnih masa, jer kratki lanci imaju tendenciju preferiranog smještanja na površini. Kontakt polimer/ne-polimer često je prisutan u raznim tipovima strojeva i uređaja. Trenje koje se javlja prilikom klizanja dva materijala ovisi o njihovim adhezivnim i mehaničkim svojstvima. Mehaničke i adhezivne interakcije lokalizirane su u vrlo tankom površinskom sloju polimera i u velikoj mjeri ovise o hrapavosti tijela s kojim je polimer u kontaktu. Koeficijent trenja je obično visok pri malim hrapavostima jer tada do izražaja dolazi adhezija. S porastom hrapavosti faktor trenja se smanjuje, no do određene granice, nakon koje se opet povećava zbog jačanja normalne komponente trenja. Slična ovisnost odnosi se i na brzinu trošenja materijala [2].

### 3. MEHANIZMI TROŠENJA

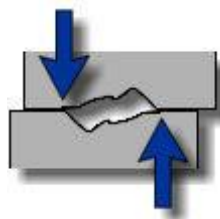
Kad god se površine kreću jedna po drugoj, dolazi do pojave trošenja - oštećenja na jednoj ili obje površine koje najčešće podrazumijeva i progresivan gubitak materijala.

U većini slučajeva, trošenje je štetno; uzrokuje povećanu zračnost između pomičnih komponenti, neželjenu slobodu kretanja, gubitak preciznosti, često vibracije, povećano mehaničko opterećenje i još brže trošenje, te ponekad i zamor materijala. Gubitak relativno male količine materijala može biti dovoljan uzrok zatajenja rada velikih i kompleksnih strojeva. Ipak, ponekad su (kao kod trenja) velika trošenja poželjna - npr. brušenje, mljevenje i poliranje koriste pojavu trenja za brzo odstranjivanje materijala u kontroliranim uvjetima, a niska razina trenja ponekad je i poželjna kod nekih procesa uhodavanja mehanizma.

Trošenje se može podijeliti na trošenje klizanja, koje se javlja bez prisustva tvrdih čestica, i abrazijsko trošenje, koje se zbiva uz njihovo prisustvo. U određenim uvjetima trošenje klizanjem može proizvesti krhotine koje uzrokuju daljnje abrazijsko trošenje. Upravo zbog toga se treba imati na umu da granica između različitih vrsta trošenja često ne može biti jednoznačno određena.

#### 3.1 Adhezija

Adhezijsko trošenje nastaje kao posljedica djelovanja međumolekularnih sila u točkama dodira tijela, a manifestira se kroz „preraspodjelu“ materijala s jedne na suprotnu površinu.

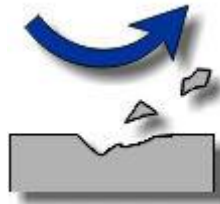


**Slika 5. Adhezijsko trošenje [11]**

To često dovodi do puknuća i hladnog zavarivanja radnih dijelova. Adhezijsko trošenje se reducira korištenjem različitih materijala i tvrdih površina otpornih na ovu vrstu trošenja.

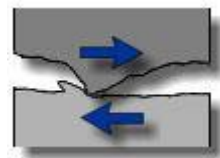
### 3.2 Abrazija

To je najučestalije trošenje u industriji. Nastaje kao posljedica prodiranja vrhova tvrdog materijala u površinske slojeve mekšeg uz brazdanje pri uzajamnom gibanju tijela.



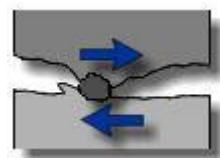
**Slika 6. Abrazijsko trošenje [11]**

Abrazivno sredstvo može biti proizvod tipa: ugljen, cement, kamen, staklo, keramika i sl. Trošenje se stoga javlja prilikom kopanja rudače, drobljenja, izvlačenja i otpremanja. Strojni dijelovi su tada izloženi visokim napreznanjima i tzv. abraziji između dva tijela (Two-Body Abrasion). Borba protiv ove vrste trošenja zahtijeva vrlo tvrde, guste i otporne materijale za površinsku zaštitu.



**Slika 7. Abrazija između dva tijela [11]**

Abrazija između tri tijela javlja se kod uređaja kao što su pumpe ili ventili kada se abrazivno sredstvo zaglavi između površina u trenju (pr. ležajevi). I ovdje se zbog visokih napreznanja moraju koristiti čvrsti i otporni materijali.



**Slika 8. Abrazija između tri tijela [11]**

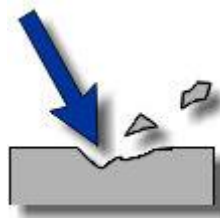
Osnovna razlika između ove dvije vrste abrazijskog trošenja je u tome što abrazija između dva tijela nastaje isključivo zbog tvrdih izbočina na površinama u dodiru, dok se kod abrazije između tri tijela radi o dvije površine između kojih se tvrde abrazivne čestice slobodno kreću i uzrokuju oštećenja.

Neki od načini smanjenja abrazijskog trošenja su:

- Izbor parova materijala otpornih na abrazijsko trošenje
- Odgovarajuća obrada površinskih slojeva
- Razdvajanje površina slojem fluida- maziva.

### 3.3 Erozijska

Ova vrsta trošenja nastaje uslijed djelovanja djelića fluida (sa ili bez krutih čestica nošenih fluidom) koji velikim brzinama udaraju o površinu tijela.



**Slika 9. Erozijsko trošenje [11]**

Jačina erozije najvećim dijelom ovisi o brzini i kutu udara čestica, te njihovoj tvrdoći. Postoje dva osnovna oblika erozije:

- Erozija tupoga kuta- gdje se većina energije troši na deformaciju površine. Zaštita od ove vrste trošenja zahtijeva elastični zaštitni sloj, najčešće elastomer.
- Erozija oštrog kuta- proces koji je slični abraziji i rezanju. Kako bi se smanjila stopa trošenja, potrebna je velika tvrdoća same površine.

Neki od načini smanjenja erozijskog trošenja su:

- Eliminacija krutih čestica iz fluida
- Promjena kuta udara fluida o površinu
- Smanjenje relativne brzine fluida



- Izbor pogodnog materijala
- Dodatne izmjene površine materijala u cilju poboljšanja njegovih karakteristika.

### 3.4 Korozija

Javlja se u slučajevima kada se pojavi adhezijsko ili abrazijsko trošenje u kombinaciji s korozivnim okruženjem. Stopa gubitka materijala može biti veoma visoka. Uzrok tomu leži u činjenici da se premazi za zaštitu od korozije lako odstranjuju trošenjem ostavljajući tako nezaštićen metal koji brzo korodira. Stabilni sloj oksida koji bi priječio napredovanje korozije se gubi uslijed adhezijskog/abrazijskog trošenja.

Sama korozija je elektrolitički proces koji uključuje izmjenu elektrona i iona. Može se pojaviti između različitih metala ili između različitih dijelova istog metala ili slitine gdje postoji razlika elektrokemijskog potencijala. Razlika nastaje i zbog prisustva oksida, različitih nečistoća, faza slitine. Za koroziju je potreban i provodljivi elektrolit (vlaga, slana voda, i sl.) za uspostavljanje električnog kruga.

### 3.5. Kavitacija

Kavitacijsko trošenje je ustvari podvrsta korozijskog 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 implozija mjehurića pare dešava u blizini čvrste stijenke, dolazi do njenog oštećenja. Sama pojava popraćena je vibracijama i bukom. Djelovanje kemijskih ili elektrolitskih procesa u ustima završava destrukcijom tvrdih zubnih tkiva, što nazivamo erozijom [11].

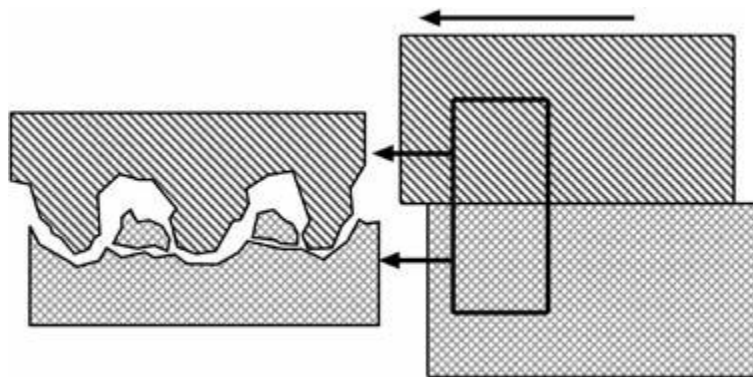
#### 4. TRIBOLOŠKI MEHANIZMI TROŠENJA ZUBNIH POVRŠINA

Gubitak i prekomjerno trošenje tvrdih zubnih tkiva trajan je problem suvremenog čovjeka u gotovo svim dobnim skupinama. Proces se događa kontinuirano i polako tijekom života i sastavni je dio procesa starenja. Kod nekih je ljudi trošenje jače izraženo te može uzrokovati oštećenja oblika, funkcije i vitalnosti zuba. Fizikalno-mehanička i kemijska djelovanja koja uzrokuju gubitak fiziološke morfologije zubnih ploha i njihova pojavnost te značenje, danas su drugačija nego prije. U paleontološkim nalazima pračovjeka, primjerice, očit je izrazit gubitak tvrdih zubnih tkiva, što se tumači njihovim prehranbenim navikama, ponašanjem i načinom života. Tijekom prvog posjeta stomatolog ne može pacijentu ustvrditi pravi uzrok i tijek nastanka trošenja zuba, te uočenu pojavu naziva „trošenje zuba“. U kliničkom radu čest su problem diferencijalno- dijagnostičke procjene moguće važnosti jednoga ili više spomenutih procesa trošenja zuba. S obzirom na to da je trošenje zuba očekivani fiziološki proces, teško je procijeniti stanje i koji je od tih procesa znatnije pridonio patološkom trošenju zuba. Trošenje je progresivni gubitak materijala s radnih površina tijela zbog dinamičkog kontakta s drugim tijelom ili fluidom. Tribologija je interdisciplinarna znanost o trenju, trošenju i podmazivanju. Ona razlikuje pojedine mehanizme trošenja zubnih tkiva u ustima na ultrastrukturnoj razini. Na makroskopskoj razini promatranja uzročnika prekomjernog trošenja zuba, razlikuju se loša oralna navika i ijetrogeni uzročnik. Najčešći je klinički oblik trošenja zuba kod ekscurzijskih kretnji brusna faseta. Zbog trošenja vrhova očnjaka tijekom okluzijevođene očnjacima, nastaju dodatni laterotruzijski (radni) i/ili mediotruzijski (ravnotežni i hiperbalansni) dodiri [12].



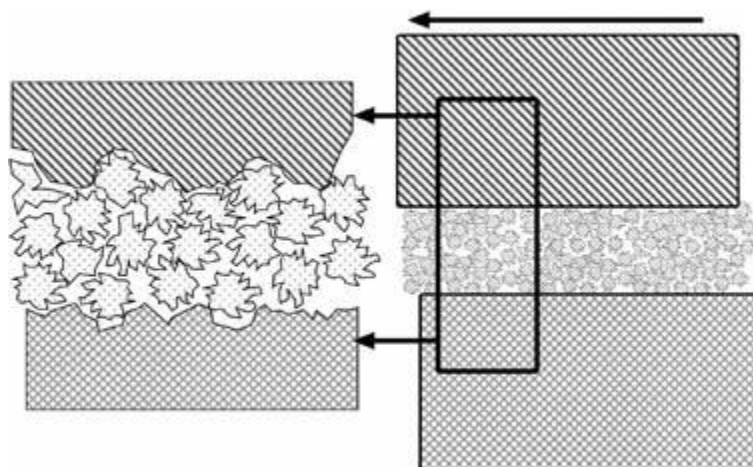
Slika 10. Brusne fasete na očnjacima kod 25-godišnje žene [2]

Trošenje zubnih površina uz prisutnost posrednika, tj. abrazijskog sredstva među antagonističkim zubnim ploham, događa se tijekom kretnji mandibule. Učinak ovisi o veličini abrazijskih čestica, njihovoj količini i tvrdoći te o tvrdoći zubnih površina. Takva vrsta trošenja zuba najčešće nastaje žvakanjem hrane različite tvrdoće [12].



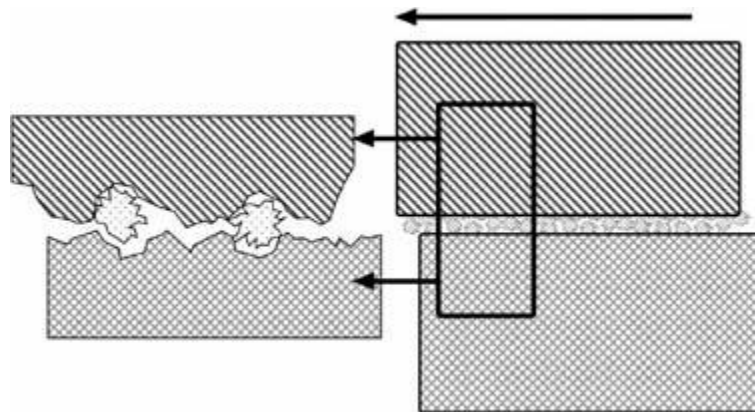
Slika 11. Površina zuba [2]

Tijekom početne faze abrazijskog trošenja zuba abrazivne čestice pod žvačnim tlakom stvaraju inicijalna oštećenja zubnih poha. Trošenje je izraženije ako je jedna površina mekša od površine antagonističkog zuba. Ipak, razlikuju se pojedine faze abrazijskoga trošenja zuba. Početna oštećenja zbog djelovanja abrazijskih čestica hrane očituju se u jedva zamjetljivim neravninama na zubnim ploham.



Slika 12. Rana faza abrazijskog trošenja [2]

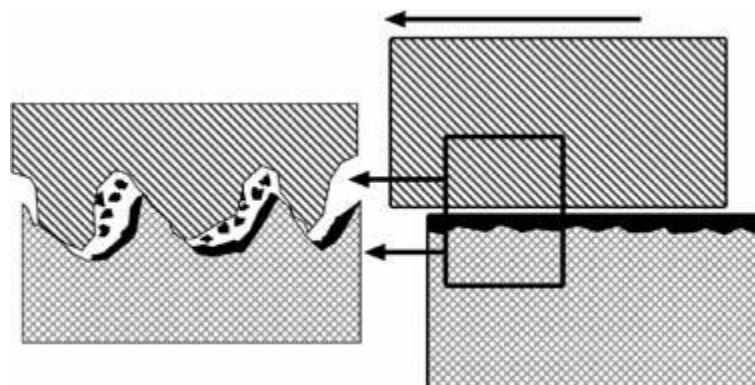
Daljnijim napredovanjem produbljuju se već nastale hrapavosti zubnih ploha . Više će se trošiti manjevrda zubna ploha. Taj oblik trošenja jasno se klinički može identificirati, jer istrošene zubne plohe nisu nikada u dodiru tijekom ekskurijskih kretnji. Učinak mastikacijskoga trošenja ovisit će o vrsti prehrane, to jest o grubosti sastojaka živežnih namirnica.



**Slika 13. Kasna faza abrazijskog trošenja [2]**

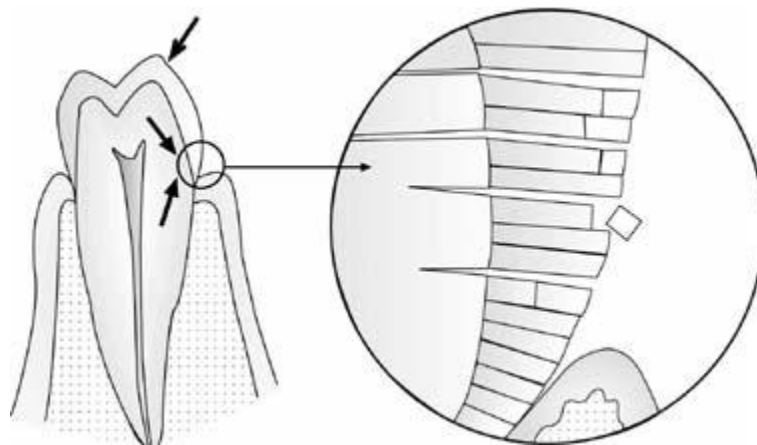
Klinički uvijek moraju biti istrošene antagonističke okluzijske plohe i/ili incizalni bridovi zuba, jer ako je antagonistička strana intaktna, tada je u pitanju erozijsko trošenje.

Korozijsko trošenje ili erozija je nekarijesno trošenje zubnih ploha zbog djelovanja kiseloga medija u ustima. Tijek se objašnjava pomicanjem oštećenih čestica zubne površine koje izlažu intaktne dijelove. Erozija ili korozijsko trošenje događa se na površinama izloženima korozijskom sredstvu, a nisu u okluzijskom dodiru. Međusobni dodiri zubnih ploha dovode do lakšeg trošenja ploha već oštećenih korozijom. Korozijsko će sredstvo djelovati na dublje slojeve zuba koji su zbog trošenja postali površinski [2].



**Slika 14. Erozijsko ili korozijsko trošenje zuba [2]**

Abfrakcija je lomljenje caklinskih prizama uzrokovano stresnim učinkom okluzijskoga opterećenja koje se koncentrira na dijelu uz rubove kruna zuba daljnjim djelovanjem erozijskoga sredstva, što završava širenjem erozijom oštećene cakline, najčešće na vratnom dijelu vestibularnih ploha te okluzijskim ploham zuba. Abfrakcija (stresna lezija) su lomovi dijelova zubnih kruna, a uvjetovana je stresnim učinkom okluzijskoga opterećenja funkcijske ili parafunkcijske sile koja se koncentrira na dijelu uz rubove kruna. Abfrakcija se objašnjava međudjelovanjem okluzijskih sila koje stvaraju fleksiju zuba u aksijalnom i paraaksijalnom smjeru. Oštećenja su češća kod bruksizma i nisu karijesne etiologije. Destruktivno djelovanje na zube bit će pojačano erozijskim i abrazijskim djelovanjem.



**Slika 15. Abfrakcijsko trošenje [13]**

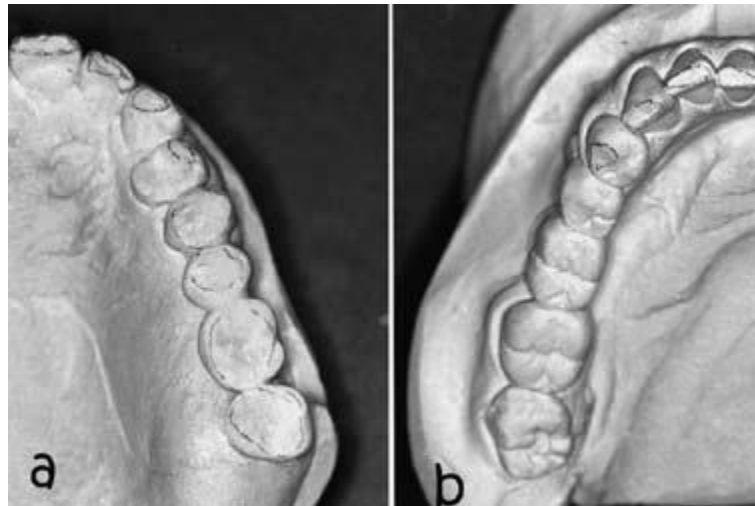
Trošenje zuba nije samo tribološki gledano kompleksna patološka promjena nekarijesnog podrijetla. U znanstvenoj literaturi postoje razlike u važnosti pojedinih kliničkih osobitosti trošenja koje uzrokuju trošenje zuba. U Sjevernoj Americi češće se spominje atricija, a u Europi erozija. Ipak postoji jedinstven model prema kojem se objašnjava etiopatogeneza trošenja zuba kao multifaktorijska pojava. Etiopatogeneza je uzrok i mehanizam razvoja neke bolesti. Zdravstveno stanje i bolesti probavnoga sustava su jedan od čimbenika u mehanizmima trošenja zuba. Kod psihičkih bolesnika, primjerice, uočeno je trošenje zuba, što se objašnjava češćim oralnim parafunkcijama. Djeca s posebnim potrebama (na primjer Downovim sindromom) pokazuju znatno više znakova trošenja zuba zbog atricije i erozije. Erozijsku eroziju zuba uzrokuju bolesti probavnog sustava koje dovode do destabilizacije želučanoga soka (na primjer bulimija nervosa), jer oralni medij postaje sve kiselijji, što uzrokuje nekarijesnu demineralizaciju cakline. Endogeno uzrokovana erozija može biti posljedica patološki promijenjene funkcije slinovnica i sastava sline.

Trošenje zuba tijekom provedbe zubne higijene zubnom četkicom ovisit će o njezinoj tvrdoći, sastojcima zubne paste i osobito o tehnici četkanja zuba. Dugotrajno četkanje u vodoravnom smjeru uzrokovat će uzure na vestibularnim ploham zuba .

Iako su prehrabene navike smanjile mastikacijsko trošenje zuba, danas prevladava mekša i manje konzistentna hrana, a različite kemijske egzogene tvari sve češće uzrokuju zakiseljavanje oralnoga medija i nastanak erozije, kao što su žestoka pića, vitamin C i sl. Prehrabene navike i ovisnosti (gazirana pića, limunski napici, alkoholna pića) i način njihova konzumiranja - srkanje na slamčicu te njihovo duže zadržavanje u ustima - izravan su uzročnik erozije cakline.

Nepravilne oralne navike i ponašanja također mogu uzrokovati atipična trošenja zubnih ploha i cijelih zuba. Kod primitivnih se naroda radi ukrašavanja tijela strugalo i preoblikovalo zube, posebice sjekutiće . Loše navike, kao na primjer grickanje noktiju, pušenje lule ili stalno držanje drugih predmeta u ustima, uzrokuju specifične oblike trošenja zuba . Vrste poslova tijekom kojih se radni predmeti drže zubima stvaraju specifična oštećenja cakline. Dentalna erozija uzrokovana specifičnim radom u industriji povijesno je važna. Izloženost industrijskim elektrolitičkim procesima, primjerice u tvornici automobilskih akumulatora, može zbog onečišćenoga zraka uvjetovati dentalne erozije slične onima potaknutima prehrabnim navikama. Bolja zaštita na radu pridonosi smanjenju trošenja zuba.

Restauracijski materijali također imaju određena, često neodgovarajuća fizikalna svojstva, posebice tvrdoću. Materijali mekši od zubne cakline znatnije će se trošiti, dok će caklina antagonističkih zuba biti intaktna. Ako je restauracijski materijal veće tvrdoće od cakline (na primjer keramički mostovi i krunice te keramički protezni zubi), trošit će se isključivo antagonističke zubne plohe [13].



**Slika 16. Keramički most u donjoj čeljusti (b) uzrokovao je trošenje okluzijskih ploha antagonističkih zuba u gornjoj čeljusti (a) kod 42-godišnje pacijentice [13]**

## 5. UREĐAJ ZA ISPITIVANJE

Uzorci su se ispitivali u laboratoriju za tribologiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, na skenirajućem elektronskom mikroskopu.

Elektronski mikroskop izumljen 1932. u Njemačkoj, a širu je biološku namjenu stekao tijekom ranih pedesetih, s Georgeom Paladeom, Fritiofom Sjøstrandom, i Keithom Porterom kao nekima od njegovih prvih najistaknutijih korisnika. Mjesto vidljive svjetlosti i optičkih leća, elektronski mikroskop koristi zraku elektrona, koju usmjerava fokusirajući elektromagnetsko polje. Iz razloga što je valna duljina elektrona znatno kraća od one fotona vidljive svjetlosti, granica razlučivosti elektronskog mikroskopa je puno manja od one svjetlosnog mikroskopa: oko 0,1 – 0,2 nm elektronskog mikroskopa u usporedbi s oko 200 – 350 nm kod svjetlosnog mikroskopa. Međutim, za biološke uzorke stvarna granica razlučivosti obično nije niža od 2 nm ili je viša, zbog problema s pripremom preparata i kontrastom. Elektronski mikroskop ima oko 100 puta veću moć razlučivanja od svjetlosnog mikroskopa. Za posljedicu je i iskoristivo povećanje također veće: do 100 000 puta elektronskog mikroskopa, u usporedbi s 1000 do 1500 puta kod svjetlosnog mikroskopa. Na taj je način, promatrajući ju elektronskim umjesto svjetlosnim mikroskopom, moguće zapaziti mnogo više detalja u građi stanice. Elektronske mikroskope nalazimo u dva osnovna oblika: transmisijski elektronski mikroskop (TEM) i skenirajući elektronski mikroskop (SEM). Transmisijski i skenirajući elektronski mikroskopi su slični po tome što oba primjenjuju zraku elektrona, no za stvaranje slike koriste posve različite mehanizme. Kao što samo ime govori, TEM sliku oblikuje pomoću elektrona koji se odašilju kroz preparat. SEM, pak, skenira površinu preparata te sliku oblikuje otkrivajući elektrone koji se odbijaju od vanjske površine preparata. Skenirajuća elektronska mikroskopija je neobična tehnika zbog dojma dubine koji se stječe promatranjem prikazanih bioloških struktura. U ovom ispitivanju uzoraka je bio korišten SEM Tescan Vega serije 516mm.





Slika 17. Skening elektronski mikroskop [14]

## 6. UZORCI

Uzorci su preuzeti iz Laboratorija za tribologiju na Fakultetu Strojарstva i Brodogradnje od prijašnjeg ispitivanja gubitka mase pri odabranaj pH vrijednosti ( pH 7.098, pH 4.934 te pH 8.878) . Odabran je materijali za udlagu koji se najčešće koristi-PMMA. Uspoređivati će se hladno polimerizirajući akrilat, svjetlosno polimerizirajući akrilat, te toplo polimerizirajući akrilat. Supstitucijski materijal zuba je  $Al_2O_3$ . Aluminij oksidna keramika je odabrana iz razloga što njena svojstva odgovaraju svojstvima zuba. Uzorci su se neparivali u EMITECH uređaju za ispitivanje elektronskim uređajem Svaki tip materijala će se promatrati SEM-om pri različitim povećavanjima mikroskopa. Odabrani su reprezentivni uzorci kojima je kriterij bio maksimalan gubitak mase pri ispitivanju kliznoga trošenja.



**Slika 18. Uzorak materijal zubne udlage**

Uzorci su bili ispitani u međumediju. Pojedine osobe imaju različite pH vrijednosti slina, stoga je bilo odlučeno ispitati uzorke u različitim pH vrijednostima. Prva otopina je bila pH neutralna, odnosno 7,098, bez ikakvih dodataka-čista umjetna slina.

Druga otopina je pH=4,934, tj. „kisela“ što je postignuto dodavanjem HCl 0,1mol (klorovodična kiselina). Odabrana je klorovodična kiselina zato jer je ona glavni

sastojak želučane kiseline. Treća otopina je pH=8,878, tj. „lužnata“ dobivena je dodavanjem NaOH 0,25mol (natrijev hidroksid).

Svojstva reprezentativnih uzoraka prikazana su u slijedećim tablicama gdje se prikazuje glavna podijela na tip međumedijske te su u njima prikazane početne mase uzoraka  $m_1$ , masa uzorka nakon ispitivanja  $m_2$  te njihova razlika:

**Tablica 1. Svojstva uzorka pri pH 4,934**

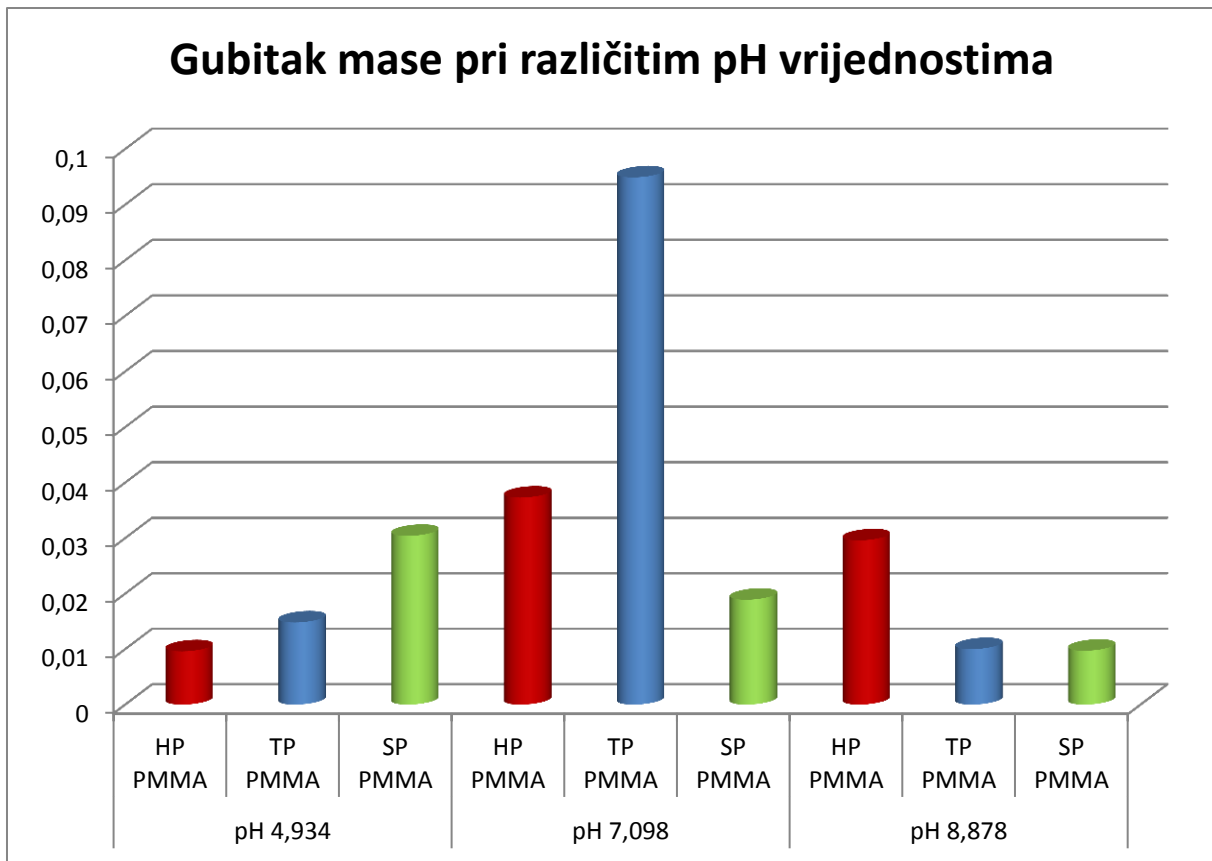
Materijal	$m_1$	$m_2$	Razlika $m_1-m_2$
Hladno polimerizirani PMMA	8,8351	8,8255	0,0096
Toplo polimerizirani PMMA	7,5556	7,5408	0,0148
Svjetlosno polimerizirani PMMA	6,2059	6,1755	0,0304

**Tablica 2. Svojstva uzorka pri pH 7,098**

Materijal	$m_1$	$m_2$	Razlika $m_1-m_2$
Hladno polimerizirani PMMA	8,0473	8,8255	0,0373
Toplo polimerizirani PMMA	8,2107	8,1158	0,0949
Svjetlosno polimerizirani PMMA	8,9198	8,9009	0,0189

**Tablica 3. Svojstva uzorka pri pH 8,878**

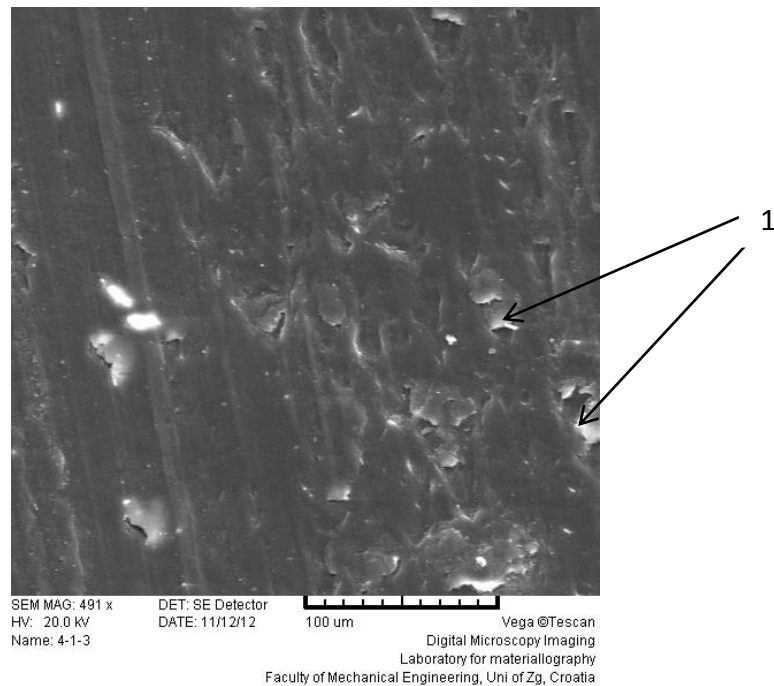
Materijal	$m_1$	$m_2$	Razlika $m_1-m_2$
Hladno polimerizirani PMMA	6,9802	6,9506	0,0296
Toplo polimerizirani PMMA	8,185	8,175	0,01
Svjetlosno polimerizirani PMMA	6,5606	6,5509	0,0097



**Grafički prikaz gubitka mase uzoraka po različitim multimedijima**

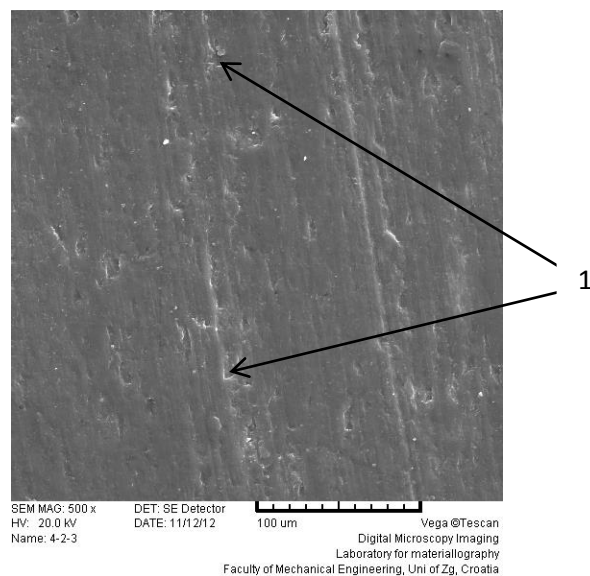
## 7. ANALIZA SNIMAKA ELEKTORNSKOG MIKROSKOPA

Pri povećanju od približno 500 puta na hladnom polimeriziranom PMMA uočeni su tragovi trošenja u obliku udubljenja (1).



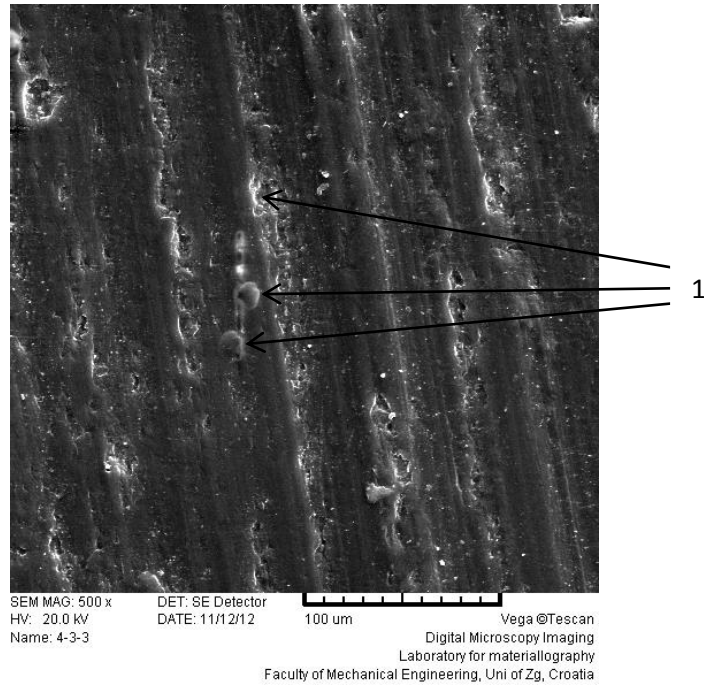
**Slika 19. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 491 puta**

U usporedbi sa snimkom hladno polimeriziranog PMMA, toplo polimerizirani PMMA isto pokazuje udubljenja (1) kao oblik trošenja ali prilično umanjene.



**Slika 20. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 500 puta**

Tragovi trošenja kod svjetlosno polimeriziranog PMMA su veći od hladnog te toplo polimeriziranog, te su također u obliku udubljenja (1) ali puno vidljivije i koncentriranije.



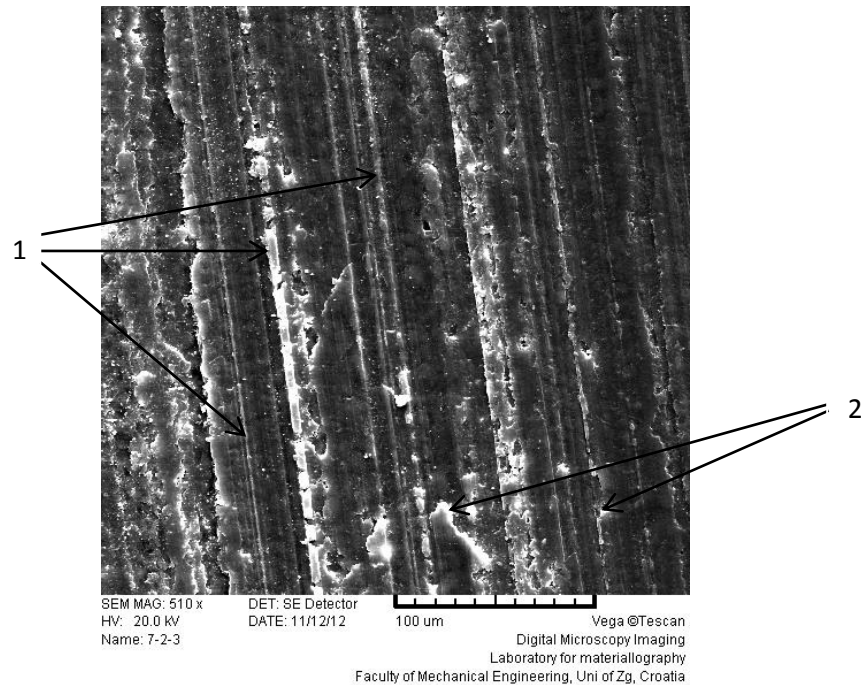
**Slika 21. Svjetlosno polimerizarni PMMA pri pH 4.934 pri pojačanju 500 puta**

Tragovi trošenja PMMA pri PH.7098 kod povećanja od 100 puta su iskazani u obliku žlijeba (1) kao posljedica kliznog trošenja.



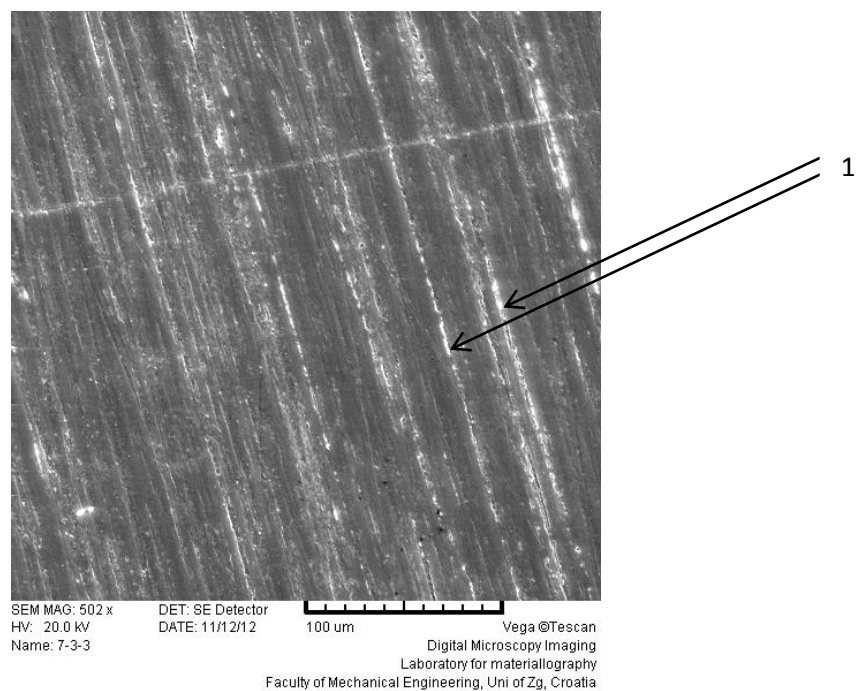
**Slika 22. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 7.098 pri pojačanju 100 puta**

Na svaki tri povećanja kod toplo polimeriziranih PMMA se ukazuju jasni tragovi trošenja u obliku brazdi (1), kao što je vidljivo na slici 31. Na maksimalnom povećanju vidljive su i udubine (2).



**Slika 23. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 7,098 pri pojačanju 510 puta**

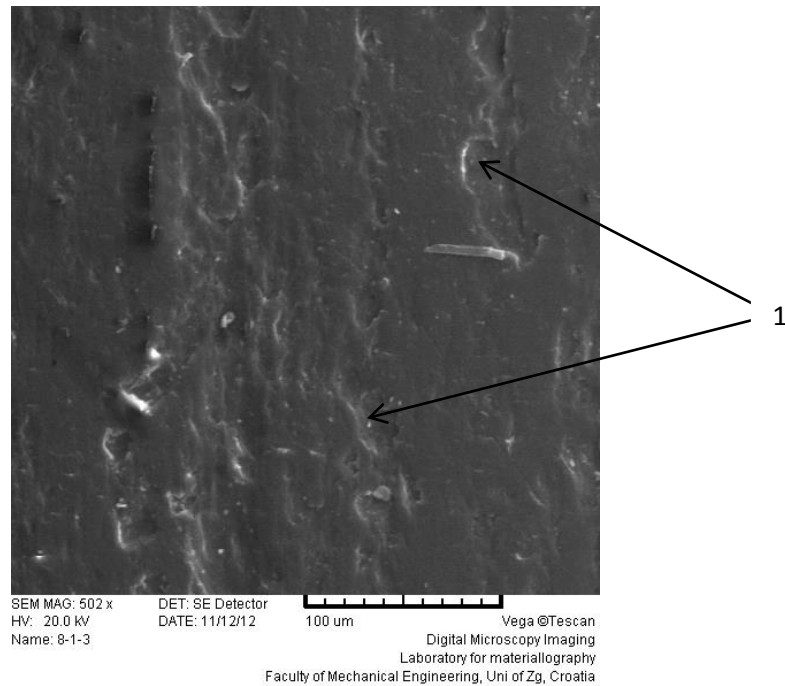
Na svim pojačanjima mikroskopa uočene su brazde (1) kao tragovi kliznoga trošenja.



**Slika 24. Svjetlosno polimerizarni PMMA pri pH 7,098 pri pojačanju 502 puta**

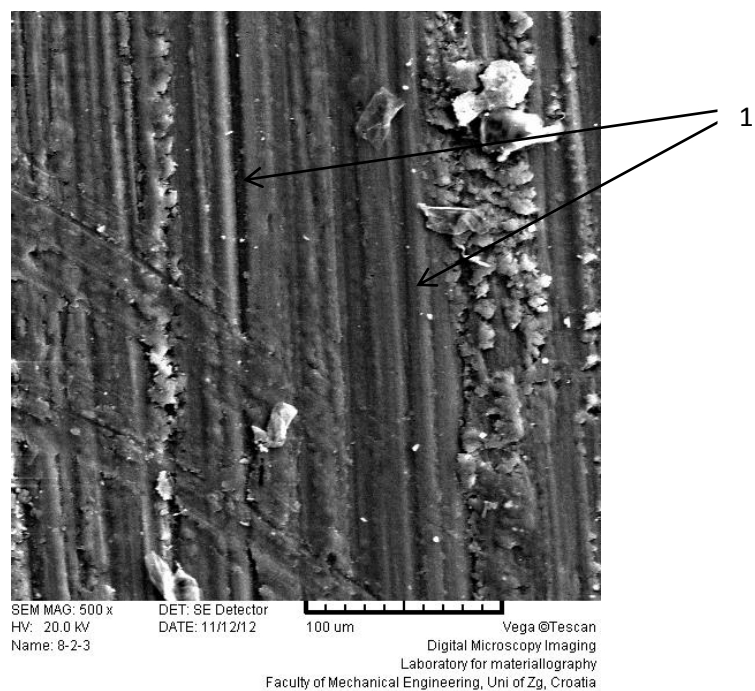


Pri povećanju od 500 puta na snimci hladno polimeriziranog PMMA pri pH vrijednosti primjećuju su tragovi trošenja u obliku udubljenja (1).



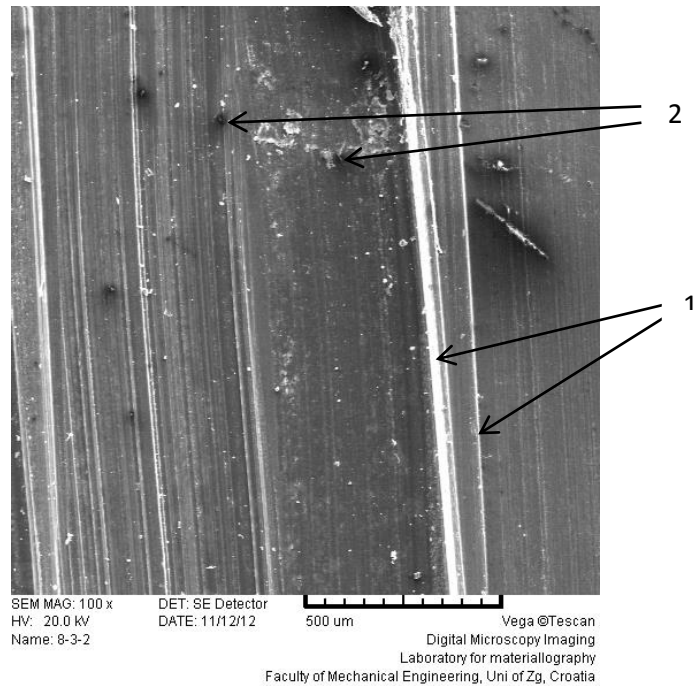
**Slika 25. Hladno polimerizarni PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 502 puta**

Prije pojačanju mikroskopa kod toplo polimeriziranog PMMA pri pH 8,878 uočavaju se tragovi klizno trošenja u obliku žlijebova (1), sličnoga oblika kao i kod uzorka u pH 7.



**Slika 26. Toplo polimerizarni PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 500 puta**

Svjetlosno polimerizirani PMMA pri povećanju od 100 puta pokazuje jasne znakove kliznog trošenja u obliku žlijebova (1) sa mjestimičnim pitingom (2).



**Slika 27. Svjetlosno polimerizirani PMMA pri pH 8,878 pri pojačanju 100 puta**

## 8. ZAKLJUČAK

Bruksizam je nesvrhovita i prekomjerna aktivnost žvačnih mišića, a uzrokuje kretnje stiskanja i/ ili škripanja zuba . Bruksizam je dnevna ili noćna parafunkcijska aktivnost koja za posljedicu ima prekomjerno trošenje tvrdih zubnih tkiva. Tribologija kao indterdisciplinarna znanost omogućuje da se njenim metoda i tehnikama pokuša riješiti problemi i posljedice bruksizma. Uzorci su ispitivani u laboratoriju za tribologiju na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, na skening elektronskom mikroskopu. Odabran je materijal za udlagu koji se najčešće koristi-PMMA. Uspoređivao se je hladno polimerizirajući akrilat, svjetlosno polimerizirajući akrilat, te toplo polimerizirajući akrilat. Odabrani su reprezentivni uzorci kojima je kriterij bio maksimalan gubitak mase pri ispitivanju kliznoga trošenja. Uzorci su ispitani u međumediju. Analiza trošenja uzoraka pokazala je da su u slučaju PMMA pri pH 4.939 trošenja u obliku udubljenja, te da su najizraženija i najkoncetriranja kod svjetlosno polimeriziranih PMMA, a najmanje uočljivija kod toplo polimeriziranih. Kod ispitivanja PMMA pri pH vrijednosti 7.098 pretežito su vidljiva oštećenja u obliku brazdi s mjestimičnom pojavom udubljenja te su najizraženije kod toplo polimeriziranih. Dok je pri pH vrijednosti 8.978 također vidljivo klizno trošenje u obliku udubljenja brazdi i pitinga, ipak je slabije izraženo nego kod pH vrijednosti 7.098. U pH 7 vrijednosti, na uzorcima tople metode polimerziranje primjetila su se najveća oštećenja, što odgovora također najvećom izgubljenom masom koja je prijašnje izmjerena te je prikazana u grafičkog prikazu. U tome prednjači toplinsko polimerizirani PMMA koji ima daleko najveći gubitak mase.

## 9. LITERATURA

- [1] Basić , V; Mehunić, K.: Bruksizam – neriješen stomatološki problem, Acta Stomat Croat Vol. 38, br 1. 2004.
- [2] Andrija Tkalec. : Analiza trošenja kliznog tribo para zub – zubna udloga, 2004.
- [3] <http://www.hrcak.srce.hr/file/28409>
- [4] Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L, Paesani D, Lobbezoo F: Epidemiology of bruxism in adults: a systematic review of the literature, 2013.
- [5] <http://www.sonda.sfzg.hr/wp-content/uploads/2013/01/Etiologija-i-terapija-bruksizma.com>
- [6] <http://www.zubari.rs>
- [7] <http://www.pinehurstdentist.com>
- [8] <http://www.hrcak.srce.hr/file/12420>
- [9] <http://www.gnato.sfzg.hr>
- [10] Vera Kovačević, Domagoj Vrsaljko, Witold Brostow, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, 2009.
- [11] [http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/vrst\\_tros\\_hr](http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/vrst_tros_hr)
- [12] [www.business.highbeam.com/435982/article-1G1-175629155/clinical-and-tribological-view-tooth-wear](http://www.business.highbeam.com/435982/article-1G1-175629155/clinical-and-tribological-view-tooth-wear) klinicki-triboloski
- [13] <http://www.hrcak.srce.hr/file/28409>
- [14] <http://www.roilbilad.wordpress.com>

