

# Trošenje gitarističkih trzalica

---

**Brenko, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:235:503277>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-20**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Luka Brenko**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Tatjana Haramina, dipl.ing.

Student:

Luka Brenko

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se mentorici prof. dr.sc. Tatjani Haramini na pomoći, savjetima, utrošenom vremenu te svim uputama dobivenim tokom izrade ovog završnog rada.

Zahvaljujem se dr. sc. Danielu Pugaru, neposrednom voditelju ovog završnog rada, na pomoći pri osmišljavanju i provedbi rada te na svim savjetima tokom pisanja koje je nesebično podijelio sa mnom.

Zahvaljujem se dr. sc. Krešimiru Grilecu na izdvojenom vremenu za konzultacije oko mehanizama trošenja.

Zahvaljujem se tehničkom suradniku Božidaru Bušetinčanu na pomoći oko provedbe eksperimentalnog dijela i vađenju akumulatora iz vlastitog vozila kako bi pokrenuli elektromotor u laboratoriju.

Zahvaljujem se tehničkoj suradnici Mireli Petranović na pomoći oko provedbe eksperimentalnog dijela rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima Sanji i Davoru, Nini, svim prijateljima, kolegama i svim prekrasnim ljudima koji su bili tu za vrijeme mog preddiplomskog studija. Od sveg Vam srca hvala!

Luka Brenko



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Brenko** JMBAG: **0035222261**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Trošenje gitarističkih trzalica**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Wear of guitar picks**

Opis zadatka:

Trzalica je mali plosnati alat koji se koristi za trzanje ili udaranje po gudačkom instrumentu. Trzalica za gitare najčešće je tanki komad plastike ili nekog drugog materijala u obliku šiljate suze ili trokuta. Trzanjem trzalice po gitarskim žicama dolazi do istrošenosti njenih rubova. Praćenjem promjene mase trzalica prije i poslije trzanja moguće je utvrditi otpornost različitih materijala na trošenje trzalica.

U ovom radu potrebno je:

- Opisati gitarističke trzalice, te navesti materijale od kojih se trzalice izrađuju
- Opisati trošenje gitarističkih trzalica
- Usporediti trošenje trzalica izrađenih od različitih materijala
- Navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Tatjana Haramina

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
2. TRZALICE.....	2
2.1. Povijest trzalica .....	2
2.2. Vrste trzalica .....	2
2.2.1. Tamburaške trzalice .....	2
2.2.2. Bas trzalice.....	3
2.2.3. Gitarističke trzalice .....	3
2.2.3.1. Držanje gitarističkih trzalica .....	4
2.2.3.2. Tehnike korištenja gitarističkih trzalica.....	4
2.2.3.3. Oblici gitarističkih trzalica.....	5
2.2.3.4. Standardne gitarističke trzalice .....	5
2.2.3.5. Palčane gitarističke trzalice.....	6
2.2.3.6. Nestandardne gitarističke trzalice .....	7
2.2.3.7. Debljine gitarističkih trzalica.....	8
2.2.3.8. Zahtjevi za izradu gitarističkih trzalica.....	8
3. MATERIJALI GITARISTIČKIH TRZALICA.....	9
3.1. Polimerni materijali.....	9
3.1.1. Plastomeri .....	9
3.1.1.1. Amorfní plastomeri.....	9
3.1.1.1.1. Polietierimid (PEI).....	11
3.1.1.1.2. Polikarbonat (PC) .....	11
3.1.1.2. Kristalasti plastomeri .....	12
3.1.1.2.1. Poliamidi (PA).....	14
3.1.1.2.2. Polioksimetilen (POM).....	15
3.1.1.2.3. Polietilen (PE).....	16
3.1.1.3. Kopoliesteri.....	17
3.1.1.3.1. Tritan .....	17
3.2. Životinjski materijali.....	18
3.3. Drveni materijali .....	18
3.4. Staklo .....	19
3.5. Metali .....	19

---

4. TROŠENJE TRZALICA .....	20
4.1. Abrazija.....	20
4.2. Adhezija .....	21
4.3. Umor površine.....	22
4.4. Tribokorozija.....	23
4.5. Mehanizmi trošenja gitarističkih trzalica.....	23
5. EKSPERIMENTALNI DIO .....	25
5.1. Izbor uzoraka.....	25
5.2. Materijali.....	25
5.3. Mjerenje tvrdoće .....	26
5.4. Ispitivanje otpornosti trošenja.....	29
6. REZULTATI MJERENJA .....	33
6.1. Rezultati mjerenja tvrdoće .....	33
6.2. Promjena mase uslijed trošenja.....	35
6.3. Usporedba tvrdoće i trošenja trzalica.....	38
6.4. Omjer cijene i trošenja trzalica .....	39
ZAKLJUČAK .....	40
LITERATURA.....	41
PRILOZI.....	43

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Tamburaške trzalice [2].....	2
Slika 2.	Bas trzalice [3].....	3
Slika 3.	Držanje gitarističke trzalice [5] .....	4
Slika 4.	Standardne gitarističke trzalice [6].....	5
Slika 5.	Palčane trzalice [6] .....	6
Slika 6.	Držanje palčane trzalice [7].....	6
Slika 7.	Nestandardne gitarističke trzalice [6].....	7
Slika 8.	Nestandardna gitaristička trzalica [8].....	7
Slika 9.	Makromolekulna struktura amorfnih plastomera [12] .....	10
Slika 10.	Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava amorfnih plastomera [11].....	10
Slika 11.	Trzalica izrađena od polikarbonata [17].....	12
Slika 12.	Makromolekulna struktura kristalastih plastomera [12] .....	13
Slika 13.	Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava kristalastih plastomera [11].....	14
Slika 14.	Trzalica od UHMWPE [24] .....	16
Slika 15.	Trzalica životinjskog podrijetla [19] .....	18
Slika 16.	Drvena trzalica [28].....	18
Slika 17.	Staklena trzalica [29].....	19
Slika 18.	Metalna trzalica [31] .....	19
Slika 19.	Jedinični događaj abrazije [32].....	20
Slika 20.	Jedinični događaj adhezije [32] .....	21
Slika 21.	Jedinični događaj umora površine [32] .....	22
Slika 22.	Jedinični događaj tribokorozije [32].....	23
Slika 23.	Istrošene gitarističke trzalice [33,34] .....	24
Slika 24.	Ispitni uzorci odabrani za analizu.....	25
Slika 25.	Tvrdomjer Zwick 3106.....	27
Slika 26.	Mjerna skala na tvrdomjeru Zwick 3106 .....	27
Slika 27.	Uzorci postavljeni na postolje tvrdomjera Zwick 3106 .....	28
Slika 28.	Uzorak trzalice nakon mjerenja tvrdoće.....	28
Slika 29.	Vaga Nimbus NBL 214i.....	29
Slika 30.	Uređaj za ispitivanje trošenja .....	30
Slika 31.	Gitara postavljena i učvršćena u napravi za ispitivanje trošenja.....	30
Slika 32.	Brojčanik na napravi za ispitivanje trošenja.....	31
Slika 33.	Prikaz krajnje točke pomaka naprave za ispitivanje trošenja iz tlocrta.....	31
Slika 34.	Trzalica postavljena u čeljusti .....	32
Slika 35.	Grafički prikaz tvrdoća 5 različitih uzoraka trzalica; podaci su reprezentativni za rezultate ponovljenih mjerenja (n=10) i izraženi su kao srednja vrijednost.....	34
Slika 36.	Čestice trošenja trzalice .....	35
Slika 37.	Promjena mase 5 različitih vrsta trzalica nakon provedenog ispitivanja trošenja; podaci su reprezentativni za rezultate ponovljenih pokusa (n=5) i izraženi su kao srednja vrijednost .....	37
Slika 38.	Uzorci trzalica nakon provedenog ispitivanja trošenja .....	37
Slika 39.	Usporedba srednjih vrijednosti tvrdoće i promjene mase svih 5 različitih ispitnih uzoraka .....	38
Slika 40.	Usporedba cijene i srednje vrijednosti promjene mase za svih 5 različitih ispitnih uzoraka .....	39



---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Debljine trzalica .....	8
Tablica 2. Osnovna svojstva polieterimida [14].....	11
Tablica 3. Osnovna svojstva polikarbonata [15].....	12
Tablica 4. Osnovna svojstva poliamida [18].....	15
Tablica 5. Osnovna svojstva polioksimetilena [22] .....	15
Tablica 6. Osnovna svojstva Tritana [27] .....	17
Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće.....	33
Tablica 8. Promjena mase prvog uzorka .....	36
Tablica 9. Promjena mase drugog uzorka .....	36
Tablica 10. Promjena mase trećeg uzorka.....	36
Tablica 11. Promjena mase četvrtog uzorka .....	36
Tablica 12. Promjena mase petog uzorka.....	37

---

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
D	mm	Promjer kuglice
F	N	Opterećenje
$F_n$	N	Normalna komponenta sile
$F_t$	N	Tangencijalna komponenta sile
H	$N/mm^2$	Tvrdoća
h	mm	Dubina prodiranja kuglice
m	g	Masa
$T_m$	K	Talište

---

**SAŽETAK**

Trzalica je predmet s kojim glazbenik trza žice po instrumentu. Zabranom izlova kornjača iz oceana, smanjuje se količina njihova oklopa koji je bio glavna sirovina za proizvodnju trzalica. Iz tog razloga, glazbena industrija okreće se proizvodnji gitarističkih trzalica od polimernih materijala. Polimerni materijali skloni su trošenju te je upravo taj problem obuhvaćen u ovome radu. U radu su opisane različite vrste trzalica prema instrumentima za koje se koriste te su detaljno opisane gitarističke trzalice te njihova primjena, kao i materijali od kojih se izrađuju; od biomaterijala preko polimernih materijala pa sve do metalnih materijala i stakla. Detaljno su opisani mehanizmi trošenja te konkretan mehanizam trošenja gitarističkih trzalica. U eksperimentalnom dijelu rada izmjerena je tvrdoća 5 različitih uzoraka trzalica te su ti isti uzorci kasnije ispitani na otpornost ka trošenju. Dobiveni rezultati su međusobno uspoređeni te su na kraju navedeni pripadajući zaključci.

Ključne riječi: gitarističke trzalice, trošenje gitarističkih trzalica, gitara

---

**SUMMARY**

A pick is a tool used by a musician to twitch the strings on the instrument. By banning the hunting of turtles from the ocean, the amount of their shell, which was the main raw material for the production of picks, is reduced. Consequently, the music industry is turning towards the production of guitar picks from polymer materials. Polymer materials are prone to wear and this problem is covered in this paper. The paper deals with different types of picks used with various instruments. Special attention is given to the guitar picks and their application, as well as to the materials picks are made: from biomaterials through polymeric materials all the way to the metal materials and glass. The wear mechanisms in general, and especially the wear mechanism of guitar picks are described in details. In the experimental part of work, the hardness of 5 different pick samples was measured in the lab. The same samples were also tested on wear resistance. The results obtained were compared to each other and at the end the corresponding conclusions were stated.

Key words: guitar picks, wear of guitar picks, guitar

## 1. UVOD

Glazbenici koriste trzalice već stotinama godina kako bi svirali trzalačke instrumente. U samim počecima korištenja trzalice su se izrađivale od biomaterijala odnosno od perja, kostiju i rogova raznih životinja. Kako je istrebljivanje i ubijanje životinja postalo neprihvatljivo, glazbena industrija se okrenula proizvodnji gitarističkih trzalica od polimernih materijala čiji je procvat bio 70-tih godina prošlog stoljeća. Prve polimerne gitarističke trzalice bile su izrađene od celuloida koji je imao mnoge prednosti naspram biomaterijala poput dostupnosti, cijene, tvrdoće, duktilnosti itd. S razvojem materijala, tehnologija i proizvodnih postupaka pojavljivalo se sve više proizvođača s različitim idejama izrađivanja polimernih gitarističkih trzalica. Danas se trzalice proizvode od mnogo različitih polimernih materijala: polietilena, poliamida, polieterimida, polioksimetilena itd. Polimerni materijali skloni su trošenju pa se tako i polimerne gitarističke trzalice cikličkom i trajnom uporabom troše, odnosno dolazi do zaobljenja rubova te mikropukotina (intruzija i ekstruzija). Neke trzalice se troše brže, a neke sporije, što ovisi o vrsti samog polimera od kojeg je trzalica izrađena. Kod sviranja gitare, najzastupljeniji mehanizam trošenja trzalice je umor površine. Svakom proizvođaču trzalica cilj je privući kupca svojim jedinstvenim zvukom kojeg njegova trzalica može proizvesti, što se postiže prvenstveno uporabom drugačijeg materijala te sekundarno oblikom, uz što pristupačniju cijenu i uz što manje trošenje same trzalice.

## 2. TRZALICE

Trzalice su predmet s kojima se trzaju žice na pojedinim žičanim instrumentima (gitara, mandolina, čembalo, lira, bas gitara i sl.) kako bi proizveli ton. Glavne karakteristike trzalica su debljina, veličina, oblik, materijal te cijena.

### 2.1. Povijest trzalica

Prve trzalice datiraju od starogrčkog doba no trzalicu koriste i druge izvaneuropske glazbene kulture poput Japana, Irana i ostalih. U srednjem vijeku ljudi su izrađivali trzalice od raznih biomaterijala poput ptičjih pera, drva, slonovače itd. Arapske civilizacije su u to vrijeme izrađivale trzalice od orlovi pandža. Danas se trzalice u jako velikom postotku izrađuju samo od polimernih materijala [1].

### 2.2. Vrste trzalica

Različiti žičani instrumenti zahtjevaju različite oblike, debljine, veličine te svojstva materijala za trzalice. U ovom radu napravljena je podjela trzalica prema instrumentima za koje se koriste.

#### 2.2.1. Tamburaške trzalice

Tamburaške trzalice kako i samo ime govori koriste se za sviranje tamburaških instrumenata poput basprima, lutnje, prima, kontre itd. Najčešće se izrađuju od kostiju i rogova, ali danas se sve više teži proizvodnji od polimernih materijala. Tamburaške trzalice se izrađuju od tvrdih materijala nego gitarističke trzalice. Na slici 1 prva trzalica je napravljena od bijelog kraljevog roga dok je donja trzalica napravljena od polimernog materijala.



Slika 1. Tamburaške trzalice [2]

### 2.2.2. Bas trzalice

Trzalice za bas gitaru manje su od tamburaških ali su veće od gitarističkih iako ni to nije uvijek pravilo s obzirom da svakom instrumentalistu može pasati drugačiji oblik. Bas trzalice su veće od gitarističkih zbog većeg promjera žica na bas gitarama te su u pravilu i deblje od gitarističkih. Na slici 2 prikazani su razni tipovi bas trzalica. Materijali za izradu bas trzalica uglavnom su polimeri a ponekad i staklo i drvo.



Slika 2. Bas trzalice [3]

### 2.2.3. Gitarističke trzalice

Gitarističke trzalice generalno su manje od tamburaških i bas trzalica dok su prema svojstvima i materijalima veoma slične bas trzalicama. Trzalice se najviše koriste za sviranje popularne i jazz glazbe dok se klasična glazba svira prstima, pri čemu ljudski nokat služi kao trzalica. Gitarističke trzalice se izrađuju od kostiju, rogova, stakla te različitih polimernih materijala u različitim debljinama, bojama, oblicima. Svaki instrumentalista ima svoj način na koji koristi i drži trzalicu što mu omogućuje postizanje željenog zvuka te postizanje određene brzine pri sviranju.

### 2.2.3.1. Držanje gitarističkih trzalice

Trzalice se najčešće drže s dva prsta, palcem i kažiprstom te se svira sa šiljastim krajem okrenutim prema žicama kao što je prikazano na slici 3. Neki glazbenici trzalicu drže drugačije, kako zbog drugačijeg prihvata (palac i srednji prst) tako zbog korištenja zaobljene strane trzalice umjesto šiljastog kraja. Svaki glazbenik ima svoj osobni razlog zašto trzalicu drži na određeni način, a neki od njih su: bolji i čvršći zvuk, veća brzina trzanja žica itd. [4] .



Slika 3. Držanje gitarističke trzalice [5]

### 2.2.3.2. Tehnike korištenja gitarističkih trzalice

Tehnike trzanja mogu se podijeliti u dvije glavne grupe: alternativno trzanje (engl. *alternate picking*) i ekonomično trzanje (engl. *economy picking*). Alternativno trzanje je tehnika kada gitarista obavezno trza žicu gore pa dolje, neovisno bila to ista žica ili mijenja žice. Ekonomično trzanje je tehnika kada gitarist koristi trzanje na način da koristi najkraću udaljenost između svake žice. Na primjer, kod alternativnog trzanja, gitarista treba odsvirati prvo ton na 1. žici pa drugi ton na 3. žici. U tom slučaju prvo će na 1. žici trznuti prema dolje, a na 3. žici prema gore ili obrnuto, na 1. žici prema gore, a na 3. žici prema dolje. Bitno je samo da se trzanje izmjenjuje gore/dolje. Kod ekonomičnog trzanja na istom primjeru, gitarista bi 1. žicu trznuo prema dolje, dok bi 3. žicu trznuo prema gore jer je kraća udaljenost od prve žice do treće s tim pomakom. Kada bi trznuo 3. žicu prema dolje, morao bi preći preko 3. žice bez da ju trzne, a s tim radi veći pomak trzalice odnosno ruke bar za promjer debljine žice. Kod ove metode trzanja moguće



je postići veću brzinu trzanja nego kod alternativnog trzanja zbog tehnike kojoj je primarno smanjiti bespotrebni put pri trzanju.

### 2.2.3.3. Oblici gitarističkih trzalica

Trzalice se proizvode u različitim oblicima. Oblik ovisi o debljini žica pojedinog instrumenta, stilu glazbe, osobnim preferencama instrumentalista itd. U ovom radu napravljena je podjela trzalica na standardne, palčane te nestandardne gitarističke trzalice.

### 2.2.3.4. Standardne gitarističke trzalice

Standardne trzalice su jedne od najkorištenijih u svijetu moderne glazbe (engl. pop, jazz, r'n roll, funk). Njihov izgled podsjeća na suzu. Razlika u modelima standardnih trzalica je u njihovim rubovima [6]. Neke trzalice imaju okrugle rubove što rezultira mutnijim te manje definiranim tonom, dok neke imaju šiljate rubove što rezultira svjetlijim i fokusiranijim tonom. Oblici standardnih trzalica prikazani su na slici 4. Izbor oblika standardne gitarističke trzalice ponajviše ovisi o osobnom izboru glazbenika.



Slika 4. Standardne gitarističke trzalice [6]

### 2.2.3.5. Palčane gitarističke trzalice

Palčane trzalice (engl. *Thumbpick*) su trzalice koje se stavljaju na vrh palca. Takva vrsta trzalica zapravo predstavlja ljudski nokat i omogućuje lakše sviranje pojedinih žica. Ponajviše ih koriste country gitaristi ili bendžo instrumentalisti. Na slici 5 prikazane su različite palčane trzalice.



Slika 5. Palčane trzalice [6]



Slika 6. Držanje palčane trzalice [7]

### 2.2.3.6. Nestandardne gitarističke trzalice

Ovakav oblik trzalica najčešće proizlazi iz neke posebne serije te su većinski i kolekcionarskog karaktera. Ovakve trzalice su ne standardnih oblika i dimenzija. Na slici 6 prikazan je ugravirani portret na trzalici (slika 6, lijevo), dok je na slici 6 desno posebna serija trzalice proizvođača Dunlop.



Slika 7. Nestandardne gitarističke trzalice [6]



Slika 8. Nestandardna gitaristička trzalica [8]

### 2.2.3.7. Debljine gitarističkih trzalica

S različitom debljinom trzalica kao i s oblikom, glazbenici postižu različitu boju tona. Generalno se može kazati kako deblje trzalice proizvode tamniji zvuk dok tanje trzalice proizvode svjetliji zvuk. Izbor debljine trzalice također ovisi o osobnim preferencama glazbenika, žanru te korištenoj tehnici sviranja. Većina proizvođača ispisuje debljinu na trzalicu dok neki proizvođači koriste sustave tekstualnih oznaka. Približne vrijednosti za raspon debljina prikazane su u tablici 1.

**Tablica 1. Debljine trzalica**

<b>Tekstualni opis</b>	<b>Debljina [mm]</b>	<b>Tekstualna oznaka</b>
Jako tanka	$\leq 0.44$	"Extra Light"
Tanka	0.45–0.69	"T"/"Thin"/"L"/"Light"
Srednja	0.70–0.84	"M"/"Medium"
Tvrda	0.85–1.49	"H"/"Heavy"
Jako tvrda	$\geq 1.50$	"XH"/"Extra Heavy"

### 2.2.3.8. Zahtjevi za izradu gitarističkih trzalica

Zahtjevi prema proizvođačima od strane instrumentalista su postizanje što specifičnijeg zvuka primjenom različitih materijala kao i postizanje željene savitljivosti same trzalice, koja se najčešće postiže odabirom odgovarajuće debljine. Uz to, jedan od zahtjeva je i što manje trošenje trzalica pri sviranju odnosno trzanju žica. Osim toga, jedan od također važnijih faktora za kupnju same trzalice je i cijena iste za koju je poželjno da bude što je manje moguća.

### 3. MATERIJALI GITARISTIČKIH TRZALICA

Trzalice se izrađuju od različitih materijala, prirodnih i umjetnih, a najzastupljeniji su polimeri. U nastavku su opisani osnovni materijali od kojih se izrađuju trzalice.

#### 3.1. Polimerni materijali

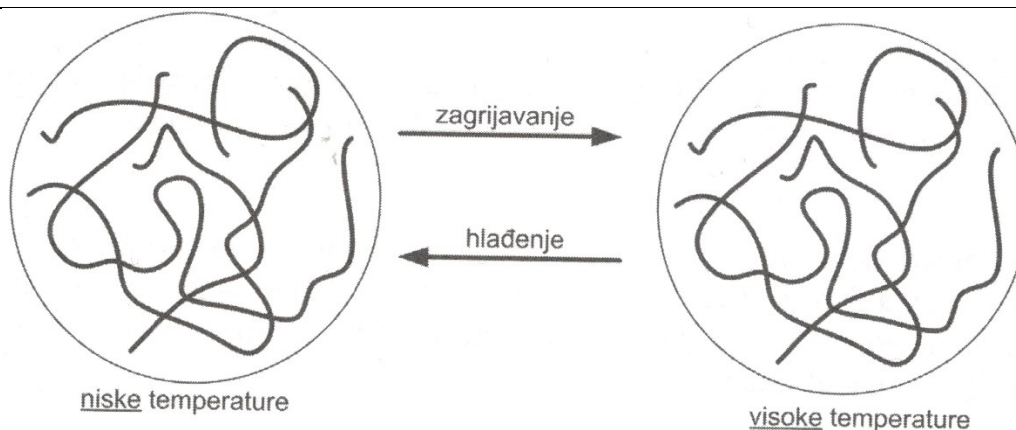
Polimerne trzalice stekle su veliku popularnost 70-tih godina prošlog stoljeća, kada je zabranjen izlov Atlantske kljunaste kornjače čiji se oklop koristio kao materijal za izradu trzalica [9]. Polimerne trzalice posjeduju najbolji omjer cijene i kvalitete, veoma su lagane te se proizvode u različitim dimenzijama, različitih oblika i debljina. Najzastupljenija skupa polimera za izradu trzalica su plastomeri.

##### 3.1.1. *Plastomeri*

Plastomeri su vrsta polimera građena od linearnih ili granatih makromolekula, velike molekulske mase, a prema potrošnji spadaju u najzastupljeniju skupina polimernih materijala [10,11]. S obzirom na različita područja primjene te preradbena svojstva, plastomeri se najčešće razlikuju po stupnju uređenosti strukture, a glavna podjela je na amorfne i kristalaste. Plastomeri zagrijavanjem do temperature mekšanja ili taljenja ne mijenjaju kemijsku strukturu pa je njihova preradba samo proces povratne promjene agregatnog stanja. Pri tim temperaturama mogu se oblikovati, a uzastopno zagrijavanje i hlađenje može se ponavljati bez promjene osnovnih svojstva [10].

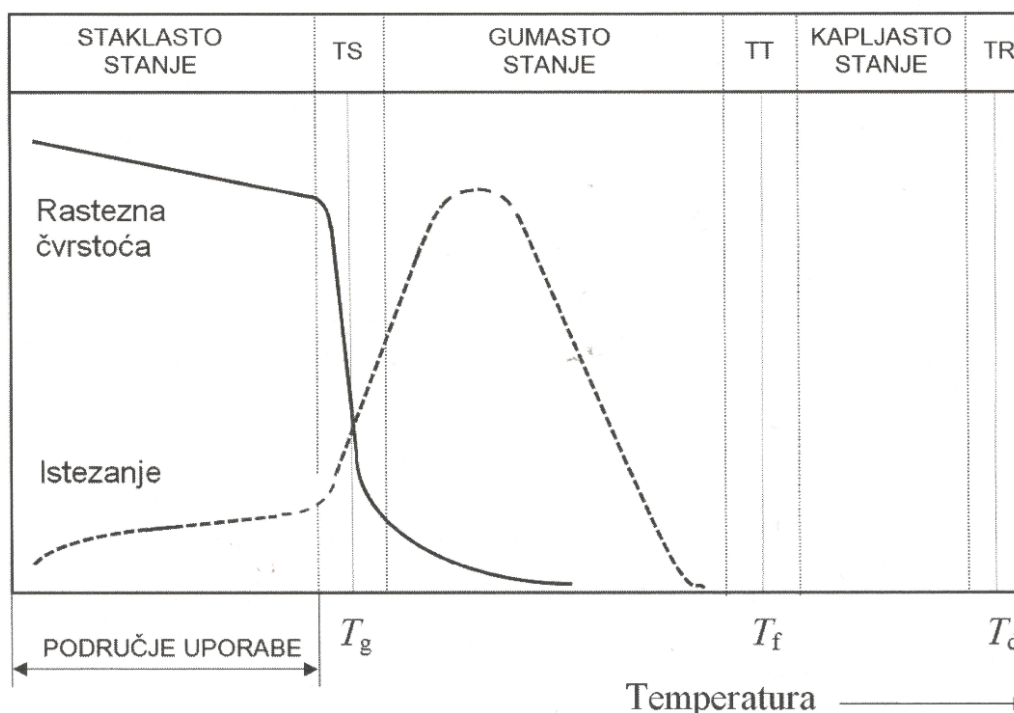
##### 3.1.1.1. *Amorfni plastomeri*

Amorfni plastomeri čine polovicu komercijalno dostupnih plastomera. Kod amorfnih plastomera polimerni lanci pri niskim i visokim temperaturama uvijek imaju sličan raspored kao što se može vidjeti na slici 9.



Slika 9. Makromolekulna struktura amorfnih plastomera [12]

Amorfni plastomeri su u nemodificiranom obliku prozirni i pokazuju karakteristična mehanička svojstva u ovisnosti o temperaturi (slika 10) [11]. Pri niskim temperaturama amorfni plastomeri su u čvrstom stanju i nema zapaženijeg gibanja molekula dok s porastom temperature prelaze u kapljevito stanje uz stalna molekularna kretanja [12].



Slika 10. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava amorfnih plastomera [11]

Zbog pada mehaničkih svojstava amorfnih plastomera pri temperaturama većima od temperature staklišta, njihova primjena ograničena je samo za područje staklastog stanja.



U području uporabe su krhki, vrlo malo deformabilni te slabe kemijske postojanosti [12]. Najčešći korišteni amorfni plastomeri za izradu trzalica su polietereimid i polikarbonat.

#### 3.1.1.1.1. Polietereimid (PEI)

Polietereimid je vrsta amorfnog polimera prozirno jantarne boje, predstavljena 1982. godine od strane kompanije „General Electric“ pod tržišnim imenom „Ultem“. Ovaj polimer se često koristi kao zamjena za metal u različitim primjenama zbog vrlo velike čvrstoće, a dodatna prednost mu je i vrlo mala masa [13]. Otporan je na puzanje i na visoke temperature, ima dobru dimenzijska stabilnost i dobru kemijsku postojanost, otporan je na UV zračenje te pogodan za kontakt s hranom [13]. Najčešće se koristi u medicini za izradu medicinskih uređaja, stomatoloških uređaja, za konektore i kućišta u elektronskoj industriji, farove u automobilskoj industriji, ležajeve, zdjele za korištenje u mikrovalnoj pećnici itd. [13].

Trgovački nazivi koji proizvođači trzalica koriste za ovaj materijal su „Ultex“ i „Ultem“. U tablici 2 prikazana su osnovna svojstva polietereimida.

**Tablica 2. Osnovna svojstva polietereimida [14]**

<b>Polietereimid</b>	
Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]	1,27
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	6000
Tvrdoća [N/mm <sup>2</sup> ]	125-220

Trzalice izrađene od polietereimida veoma su omiljene među jer slove kao jedne od najizdržljivijih uz najmanje trošenje.

#### 3.1.1.1.2. Polikarbonat (PC)

Polikarbonat je poliester ugljične kiseline i dihidroksi spojeva čiju je prvu sintezu proveo E. Einhorn 1900. godine dok je njegova tehnička proizvodnja krenula 1965. godine u Njemačkoj [10]. Polikarbonati je amorfni materijal visokog sjaja, bezbojan i proziran te visoke toplinske postojanosti (upotreba i do 120 °C) [10]. Polikarbonat se industrijski proizvodi od Bisfenola

(BPA) za kojeg se tek kasnije saznalo da loše utječe na ljudski organizam. Polikarbonat se primjenjuje u autoindustriji, elektrotehnici, sigurnosnoj tehnici, proizvodnji sportske opreme te u obliku ploča za ostakljivanje [10]. U tablici 3 prikazana su osnovna svojstva polikarbonata.

**Tablica 3. Osnovna svojstva polikarbonata [15]**

<b>Polikarbonat</b>	
Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]	1,2
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2360
Tvrdoća [N/mm <sup>2</sup> ]	114

Trgovački naziv za trzalice izrađene od polikarbonata je Lexan. Trzalice ovakvog tipa karakterizira visoki sjaj, niska tvrdoća ali stoga i niska otpornost na trošenje. Najdeblje trzalice proizvode se upravo od polikarbonata uz dodatne premaze radi postizanja većeg trenja između prstiju svirača i same trzalice. Lexan je otporniji na udarni rad loma od stakla [16].



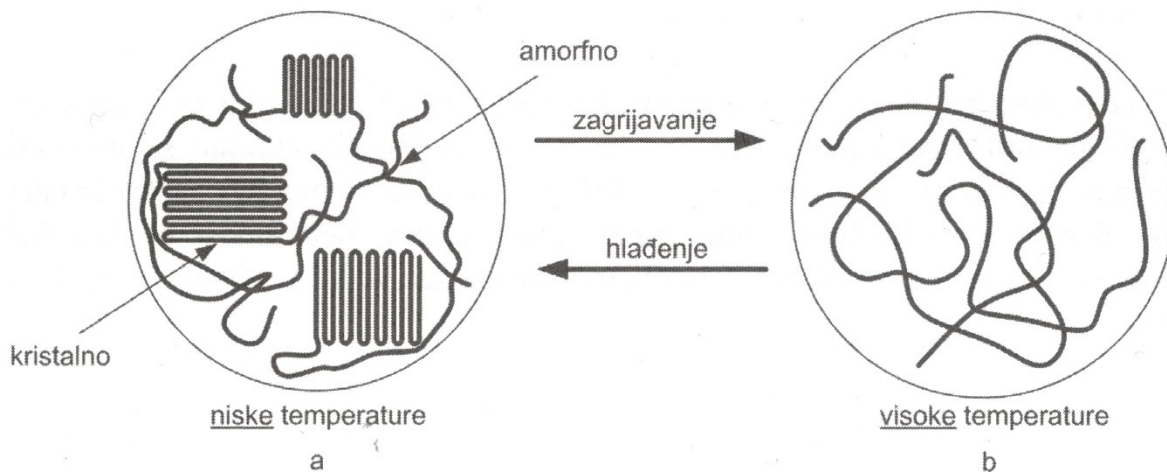
**Slika 11. Trzalica izrađena od polikarbonata [17]**

### 3.1.1.2. Kristalasti plastomeri

Kristalasti plastomeri su vrsta plastomera koji osim kristalne faze sadrže i amorfnu fazu. Udio kristalne faze izražava se stupnjem kristalnosti. Najčešće su mutni i neprozirni zbog loma svjetlosti na granicama kristalita [11]. Pri povišenim temperaturama, iznad tališta kristala  $T_m$ ,

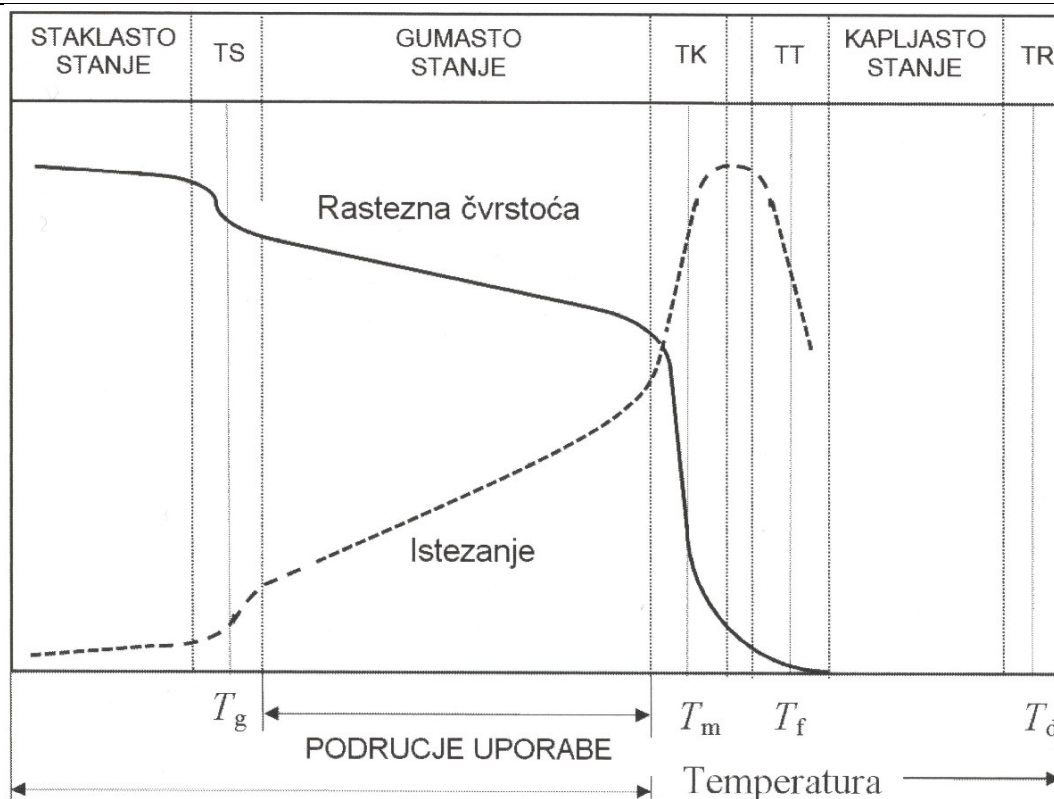


kristalasti plastomeri prelaze u kapljevito stanje gdje je konformacija molekula slučajna odnosno ne razlikuje se od one amorfni plastomera pa je iznad tališta makromolekulna struktura amorfna (slika 12 a) [12]. Hlađenjem iz amorfne faze makromolekulni lanci ili njihovi dijelovi kristaliziraju pa je izgled njihove strukture nalik prikazanoj na slici 12 b [12].



**Slika 12. Makromolekulna struktura kristalastih plastomera [12]**

Područje upotrebe kristalastih plastomera koji imaju temperaturu staklišta ispod sobne temperature uglavnom je ograničeno na gumasto stanje odnosno na područje staklastog prijelaza i tališta kristalita u kojem su amorfna područja već omekšana dok su kristalna još uvijek ukrućena [11]. U tom području primjene kristalasti plastomer ponaša se žilavo i čvrsto. Kristalasti plastomeri sa temperaturama staklišta iznad sobnih temperatura mogu se primjenjivati i u području između staklastog prijelaza i područja taljenja kristalita ali je njihovo područje prošireno i na staklasto stanje gdje takvi plastomeri pokazuju povišenu čvrstoću i krutost (slika 13) [11].



Slika 13. Temperaturna ovisnost mehaničkih svojstava kristalastih plastomera [11]

Najčešće korišteni kristalasti plastomeri za izradu trzalica su poliamidi, polioksimetilen i polietilen.

#### 3.1.1.2.1. Poliamidi (PA)

Poliamidi su vrsta kristalastog plastomera građena od makromolekula naizmjeničnog poretka ugljikovodičnih i funkcionalnih amida. Imaju visoko talište, postojani su na otapala te dobro apsorbiraju vodu [10]. Poliamidi se prema vrsti ugljikovodičnog segmenta dijele na dvije glavne skupine, odnosno na alifatske i aromatske poliamide. Alifatski poliamidi označavaju se prema broju ugljikovih atoma monomerne jedinice [10]. Poliamid 66 je vrsta alifatskog poliamida proizvedenog u Americi 1938. godine pod trgovačkim nazivom „Nylon“ što je i danas genetski naziv za sve poliamide [10]. Aromatski poliamidi u glavnim lancima makromolekule sadrže aromatske strukture što znatno povećava njihovu krutost u usporedbi s alifatskim poliamidima [10]. Najpoznatiji aromatski poliamid poznatiji je pod trgovačkim nazivom „Kevlar“. U tablici 4 navedena su osnovna svojstva poliamidna koji se koristi za proizvodnju gitarističkih trzalica.

**Tablica 4. Osnovna svojstva poliamida [18]**

<b>Poliamidi ("Nylon")</b>	
Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]	1,15
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2950
Tvrdoća [N/mm <sup>2</sup> ]	139

Jedan od najprimjenjivanijih materijala u proizvodnji polimernih trzalica je poliamid. Ima veoma visoku savitljivost pa je pogodan za sviranje određenih glazbenih stilova. Neki proizvođači dodaju premaz na samu trzalicu kako bi povećali trenje, s obzirom da je poliamid dosta gladak. Od poliamida se proizvode najtanje gitarističke trzalice. Velika mana trzalica izrađenih od poliamida je brzo trošenje [19].

#### 3.1.1.2.2. *Polioksimetilen (POM)*

Polioksimetilen poznati još i kao acetal/poliformaldehid vrsta je plastomera koji se dobiva polimerizacijom formaldehida kao sirovine. Ponajviše se koristi za izradu dijelova koji zahtijevaju visoku tvrdoću i izvrsnu dimenzijsku stabilnost. Najčešća boja je bijela zbog visokog udjela kristalaste faze u strukturi, ali se može proizvoditi i u drugim bojama [20]. Polioksimetilen karakterizira ponajviše visoka čvrstoća, tvrdoća te krutost. Ovaj materijal se ponajviše koristi za proizvodnju zupčanika, naočala, ležajeva, ručki za noževe [21].

**Tablica 5. Osnovna svojstva polioksimetilena [22]**

<b>Polioksimetilen</b>	
Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]	1,41
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	3150
Tvrdoća [N/mm <sup>2</sup> ]	93

Delrin je trgovačko ime koje trgovci gitarističkih trzalica koriste za polioksimetilen. Delrin je puno tvrdi od celuloida ali nešto mekši od Ultema/Ultexta. Delrin trzalice dolaze bez premaza

odnosno s mat površinom, ali i sa premazom odnosno sa sjajnom površinom [16]. Proizvođač Dunlop za svoje proizvode napravljene od polioksimetilena koristi i naziv „Tortex“.

### 3.1.1.2.3. Polietilen (PE)

Polietilen je vrsta kristalastog plastomera, građen od hidrokarbonskih lanaca te je jedan od najprimjenjivanih polimera današnjice [23]. Svojstva polietilena ovise molekularnoj masi te o gustoći. Povećanjem gustoće povećava se modul elastičnosti, krutost, tvrdoća i kemijska postojanost dok žilavost pada [23]. Polietilen ultra visoke molekularne mase (UHMWPE) vrsta je polietilena od kojeg se proizvode trzalice visoke tvrdoće i niske fleksibilnosti. Velika prednost trzalice izrađene od ovog materijala je svojstvo samo podmazivanja čime se smanjuje trenje između žica i same trzalice [16]. Na slici 14 prikazana je trzalica proizvedena od UHMWPE materijala. Trzalice od ovog materijala spadaju u najskuplji segment polimernih trzalica.



**Slika 14. Trzalica od UHMWPE [24]**

3.1.1.3. *Kopoliesteri*

Kopoliesteri su vrsta elastomera nastali modificiranjem poliestera koji sadrži esterske skupine u temeljnim makromolekulnim segmentima [10]. Kopoliesteri su kombinacija dikiselina i diola te različitim vrstama esterifikacija postizemo različita svojstva materijala, različitu otpornost na trošenje, različita tališta itd. Pri kemijskom djelovanju zadržavaju svoju tvrdoću i druga mehanička svojstva. Kopoliesteri se koriste u medicinskoj ambalaži, kućnim aparatima, dječjim igračkama, sportskoj opremi, olovkama itd [25].

3.1.1.3.1. *Tritan*

Tritan je vrsta kopoliestera razvijena 2007. godine od strane „Eastman Chemical Company-a“ Tritan je proziran materijal bez boje i mirisa, kemijski postojan, visoke žilavosti te otporan na udarce. Često se koristi kao zamjena za polikarbonat i druge vrste polimera u primjenama gdje je sigurnost važna, budući da ne sadrži bisfenol A (BPA) te je siguran za kontakt s hranom. Tritan se koristi u raznim proizvodima, uključujući između ostalog, posude za hranu i piće, sportske boce i proizvode za bebe. Osim toga, Tritan je otporan na niske i visoke temperature, kao i na UV svjetlo, što ga čini prikladnim za upotrebu na otvorenom [26]. U tablici 6 prikazana su osnovna svojstva Tritana.

**Tablica 6. Osnovna svojstva Tritana [27]**

<b>Tritan</b>	
Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]	1,19
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	1460
Tvrdoća [N/mm <sup>2</sup> ]	112

### 3.2. Životinjski materijali

Životinjske kosti, kljove, oklopi i koža najstariji su materijali za izradu trzalica koje poznajemo. Generalno, danas je uporaba tih materijala za izradu trzalica jako smanjena, dok se za neke instrumente i posebne namjene i dalje koriste. Cijena ovakvih trzalica veća je nego polimernih. Trzalica napravljena od životinjske kosti prikazana je na slici 15.



Slika 15. Trzalica životinjskog podrijetla [19]

### 3.3. Drveni materijali

Drvene trzalice najčešće se izrađuju od afričkog crnog drva, zebranog drva, tikovine ružinovog drva i mnogih drugih [28]. Ovu vrsta trzalica krase jedan od najboljih zvukova (najtopliji, najbogatiji ton), koji niti jedna druga trzalica ne može proizvesti. Trzalice od drveta puno su tvrđe od ostalih što može rezultirati oštećenjem žica na instrumentu. Veća tvrdoća drvenih trzalica znači i puno manje trošenje od npr. polimernih [28]. Na slici 16 prikaza je drvena trzalica napravljena od tikovine.



Slika 16. Drvena trzalica [28]

### 3.4. Staklo

Trzalice izrađene od stakla tvrđe su od metalnih i polimernih pa se stoga i manje troše. Također staklo se može polirati, brusiti, oblikovati. Sve navedene obrade kao i veličina trzalice itekako utječu na gotovi proizvod, odnosno na ton zbog čega svaka staklena trzalica proizvodi drugačiji ton. Trzalice od ovakvog materijala su i deblje od ostalih s obzirom da nije moguće napraviti trzalicu tanju od 2-3 mm [29]. Također cijena im je jako visoka u odnosu na polimerne. Na slici 17 prikazana je staklena trzalica kompanije „Silica Sound“ koja proizvodi staklene trzalice. Kod njih je moguće dogovoriti i motive koji će biti na samoj trzalici.



Slika 17. Staklena trzalica [29]

### 3.5. Metali

Metalne trzalice izrađuju se od raznih metala i legura poput bronce, mjedi, bakra, srebra i nehrđajućih čelika [19]. Ovakve trzalice proizvode svijetli i zvonki ton [19]. Imaju puno veću masu od polimernih te uzrokuju veliko trošenje žica pri sviranju. Metalne trzalice daju najposebniji zvuk od svih ostalih materijala. Cijena im je puno veća naspram polimernih trzalica [30]. Na slici 18 prikazana je trzalica od nehrđajućeg čelika.



Slika 18. Metalna trzalica [31]

## 4. TROŠENJE TRZALICA

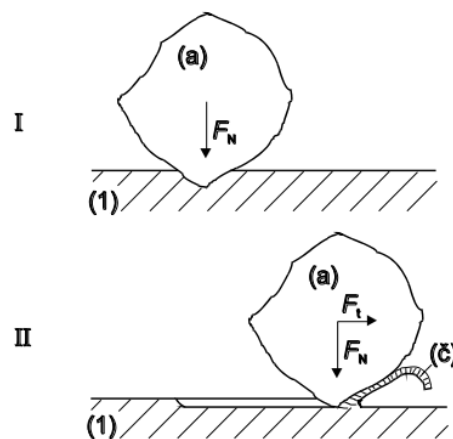
Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama [32]. Trošenje se može podijeliti u četiri osnovna mehanizma:

- abrazija
- adhezija
- umor površine
- tribokorozija

Kod svih mehanizama isto je to da svako od njih uključuje proces nastajanja pukotina i proces napredovanja pukotina.

### 4.1. Abrazija

Abrazija je vrsta trošenje koja se temelji na istiskivanju materijala koje je uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama. Može se opisati i kao mikrorezanje abrazivom nedefinirane geometrijske oštrice, s dvije faze jediničnog događaja (slika 19.) [32].



Slika 19. Jedinični događaj abrazije [32]

Jedinični događaj kod abrazije:

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

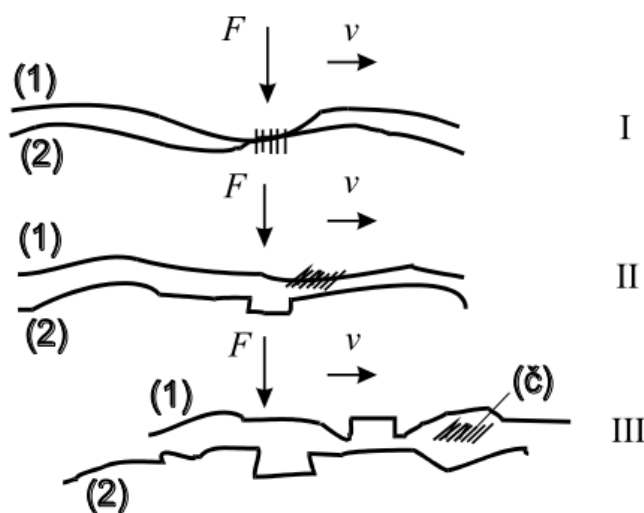


- II faza – istiskivanje materijala u obliku čestica trošenja (č) pod utjecajem tangencijalne komponente opterećenja  $F_t$

Kod klizne vrste trošenja (trzalica po žicama) stupanj opasnosti od abrazije je nizak. Ako dođe do napuknuća žice i instrumentalista dalje nastavi svirati po takvoj žici, abrazija postaje jako izražena.

#### 4.2. Adhezija

Adhezija je vrsta trošenja koju karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju [32]. Jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze kako je prikazano na slici 20.



Slika 20. Jedinični događaj adhezije [32]

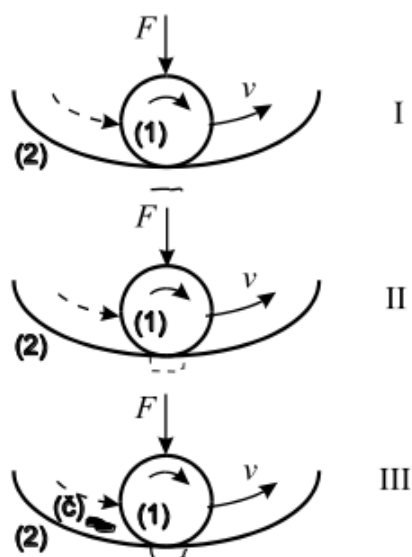
- I faza – Nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina
- II faza – Raskidanje adhezijskog spoja. Čestica trošenja ostaje nalijepljena na jednom članu kliznog para
- III faza – Potencijalno otkidanje čestice. Oblik čestice trošenja ovisi o uvjetima, dok je u većini slučajeva listićast

Čestice iščupane s jedne površine ostaju privremeno ili trajno „nalijepljene“ odnosno navarene na drugu kliznu površinu.

Mogućnost adhezivnog mehanizma kod kliznog trošenja je jako velika stoga postoje tablice o sklonosti stvaranja mikrozavarenih spojeva kliznog para i jakosti uspostavljenih adhezijski veza. Osnovni kriterij za ocjenu otpornosti na adhezijsko trošenje materijala tribopara je njihova tribološka kompatibilnost. Za realni klizni par tribološka kompatibilnost može se utvrditi samo pokusima ili procijeniti na osnovi zabilježenih prethodnih rezultata ispitivanja [32].

### 4.3. Umor površine

Umor površine je mehanizam trošenja kod kojeg dolazi do odvajanja čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprežanja [32]. Jedinični događaj prikazan je na slici 21.



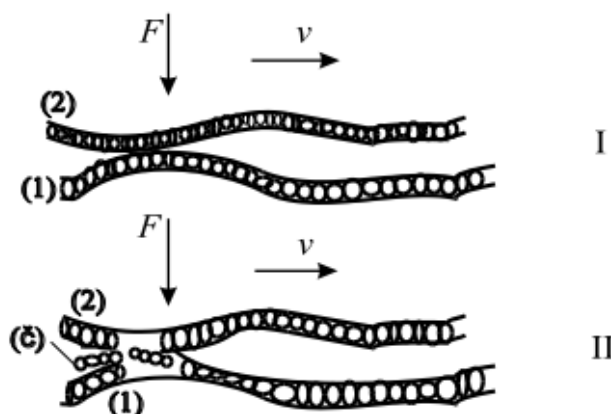
Slika 21. Jedinični događaj umora površine [32]

- I faza – Stvaranje mikropukotine, redovito ispod površine
- II faza – Napredovanje mikropukotine
- III faza – Ispadanje čestice trošenja, obično oblika pločice ili iverka

U prvoj fazi nastaje pukotina i to redovito ispod površine jer je na tom mjestu smično naprežanje najveće. U drugoj fazi dolazi do širenja pukotine prema površini te sitne kuglaste čestice izlaze iz pukotine. U trećoj fazi dolazi do izlaska krupnih čestica iz pukotine oblika ivera što na površini ostavlja oštećenja u obliku rupica. Stupanj opasnosti kod kliznog trošenja za ovaj mehanizam je srednji.

#### 4.4. Tribokorozija

Tribokorozija je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem [32]. Jedinični događaj tribokorozije s dvije faze prikazan je na slici 22.



Slika 22. Jedinični događaj tribokorozije [32]

- I faza - Stvaranje sloja produkata korozije
- II faza – mjestimično razaranje sloja produkata korozije

Kemijska pasivnost materijala u određenom mediju je najvažniji čimbenik otpornosti na tribokoroziju. Za klizni tip trošenja trzalica, stupanj opasnosti od tribokorozije je najniži od sva 4 tipova mehanizama trošenja [32].

#### 4.5. Mehanizmi trošenja gitarističkih trzalica

Trošenje gitarističkih trzalica može se primijetiti kao smanjenje njezine debljine i/ili oštine tijekom vremena zbog cikličke upotrebe. Najutjecajniji mehanizam trošenja trzalica u realnim sviračkim uvjetima je umor površine. Oštećenja odnosno istrošenost trzalice može utjecati na ton i osjećaj pri sviranju. Postoji nekoliko čimbenika koji mogu pridonijeti trošenju gitarističkih trzalica uključujući vrstu materijala od kojeg je napravljena, stil sviranja te učestalost i intenzitet korištenja. Trzalice izrađene od tvrdih materijala poput metala ili kostiju obično imaju dulji vijek trajanja u usporedbi s onima izrađenih od polimernih materijala. Kako bi smanjili trošenje

trzalice neki svirači često rotiraju svoje trzalice, koriste trzalice debljih dimenzija ili koriste kvalitetnije trzalice izrađene od izdržljivih materijala. Utjecajni faktori na trošenje gitarističkih trzalica je također i sami hvat odnosno čvrsto držanje trzalice što može uzrokovati njeno brže trošenje. Svaki umjetnik za sebe koristi najprihvatljiviju debljinu žica na instrumentu, ali s većom debljinom žica dolazi i do većeg trošenja same trzalice. Također svaki proizvođač ima neku svoju viziju i metodu kako proizvodi žice. Neki proizvođači proizvode žice s oklopom (engl. *coated strings*) dok neki ne. Žice s oklopom su otpornije na koroziju odnosno na ljudski znoj te žica ostaje zaštićenija na utjecaj znoja, ali i na trošenje trzalicom. Kada se taj sloj istroši povećava se abrazijski mehanizam trošenja te se trzalica počinje više trošiti. Svaka gitaristička trzalica će se s vremenom istrošiti i trebat će ju zamijeniti, čak i uz pravilnu njegu žica i instrumenta. Učestalost zamjene ovisit će o individualnim navikama svakog umjetnika i vrsti trzalice koja se koristi. U eksperimentalnom dijelu ovog rada trzalice će biti ispitane na klizno trošenje kod kojeg je najzastupljeniji adhezijski mehanizam trošenja. Na slici 23 se mogu vidjeti dvije istrošene trzalice.



Slika 23. Istrošene gitarističke trzalice [33,34]

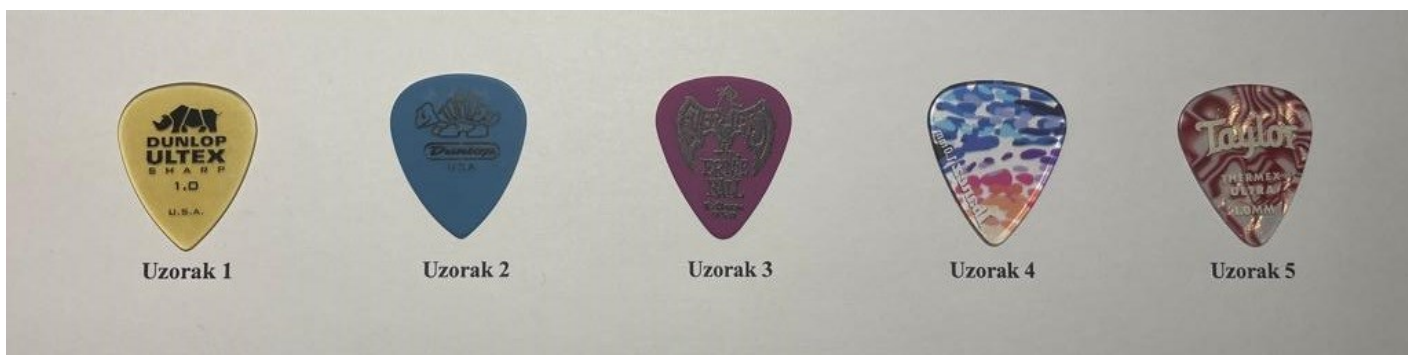
## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada izmjerena je tvrdoća te je provedeno ispitivanje otpornosti na trošenje gitarističkih trzalica izrađenih od 4 različitih materijala. Cilj ispitivanja je utvrditi hoće li trzalica s najvećom tvrdoćom imati ujedno i najmanje trošenje, usporediti trzalice međusobno te napraviti analizu cijene u ovisnosti o trošenju i tvrdoći.

### 5.1. Izbor uzoraka

Za analizu je odabrano 5 različitih trzalica, debljine 1 mm, od četiri različita proizvođača (slika 24).

- Uzorak 1: Dunlop Ultex
- Uzorak 2: Dunlop Tortex
- Uzorak 3: Ernie Ball Everlast
- Uzorak 4: Ibanez PCP14H-C1 Kaleido
- Uzorak 5: Taylor Premium Darktone 351 Thermex



Slika 24. Ispitni uzorci odabrani za analizu

### 5.2. Materijali

Materijali od kojih su napravljeni uzorci su za dva uzorka isti dok se za druga tri razlikuju. Podaci o točnom materijalu trzalica i njegovom sastavu nažalost nisu dostupni na internetu te proizvođači iste ne žele otkriti niti za znanstvene svrhe, ali za 4 od 5 uzoraka poznat je polimerni materijal koji se nalazi u najvećem udjelu. Uzorak 1 većinski je napravljen od polieterimida,

ispitni uzorci 2 i 3 od polioksimetilena, uzorak 4 je od tritana dok je za uzorak 5 poznato samo da je napravljen od plastomera [35,36,37].

### 5.3. Mjerenje tvrdoće

Otpornost materijala prema prodiranju nekog drugog znatno tvrđeg tijela naziva se tvrdoća. Tvrdoća je jedno od najosnovnijih mehaničkih svojstava svakog materijala. Mjerenje tvrdoće trzalica provedeno je na tvrdomjeru Zwick 3106, metodom utiskivanja kuglice (slika 25). Tvrdomjer ne mjeri direktno tvrdoću već mjeri dubinu prodiranja kuglice u ispitni uzorak (slika 26), a naknadnim proračunom dobivano tvrdoću. Dubine utiskivanja kuglice očitane su nakon 30 sekundi na skali tvrdomjera. Ispitivanje je provedeno prema normi EN ISO 2039-1, s kuglicom promjera 5 mm, uz opterećenja od 20 i 36,5 kP. Provedeno je 10 mjerenja tvrdoće za svaki uzorak. Prema normi minimalna debljina uzorka mora biti 4 mm kako ne bih došlo do pogreške pri mjerenju, odnosno utjecaja tvrdoće podloge na mjerni rezultat. S obzirom da su uzorci debljine samo 1 mm, za mjerenje tvrdoće četiri su trzalice posložene jedna na drugu kako bi se zadovoljio uvjet minimalne debljine uzorka (slika 27). Na slici 28 prikazan je uzorak trzalice nakon mjerenja tvrdoće.

Nakon provedenog mjerenja, vrijednosti tvrdoće izračunate su prema izrazu:

$$H = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h_k} \quad (1.1)$$

pri čemu je:

H - tvrdoća [N/mm<sup>2</sup>]

F – sila opterećenja [N]

D – promjer kuglice [mm]

h – dubina prodiranja kuglice [mm]

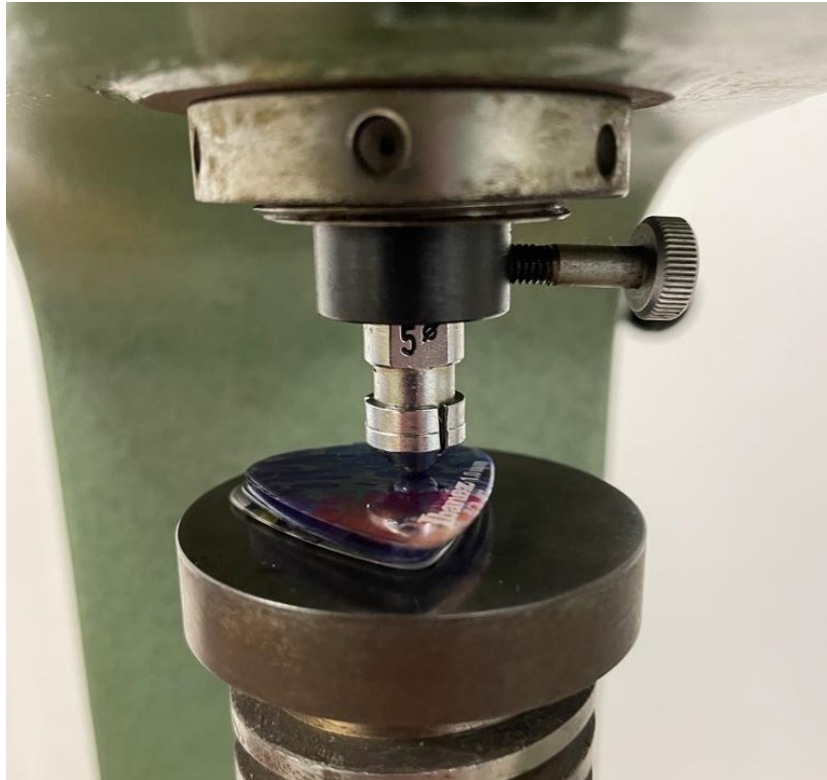


Slika 25. Tvrdomjer Zwick 3106



Slika 26. Mjerna skala na tvrdomjeru Zwick 3106





**Slika 27.** Uzorci postavljeni na postolje tvrdomjera Zwick 3106



**Slika 28.** Uzorak trzalice nakon mjerenja tvrdoće



#### 5.4. Ispitivanje otpornosti trošenja

S obzirom da je trošenje uzoraka vrednovano preko promjene njihove mase, prije provedbe samog trošenja izmjerena je početna masa uzoraka. Vaganje uzoraka obavljeno je u Laboratoriju za polimere i kompozite na vagi Nimbus NBL 214i proizvođača Adam Equipment (slika 29). Kapacitet vage je 210 g, a očitavanje 0,0001 g. Vaganje uzoraka provedeno je prije i poslije ispitivanja trošenja kako bih se preko promjene mase mogla utvrditi otpornost na trošenje pojedinih uzoraka.



Slika 29. Vaga Nimbus NBL 214i

Ispitivanje trošenja provedeno je u Laboratoriju za tribologiju na improviziranom uređaju kojeg je napravio kolega Andrija Tkalec još 2011. godine za potrebe svog diplomskog rada. Uređaj se sastoji od elektromotora (12V/DC), kardana (pretvorba kružnog gibanja u pravocrtno), prihvatnog dijela za uzorak, kadice za ispitivanje trošenja u nekom mediju te brojčanika (slika 30). Pošto u radu nije ispitivano trošenje u nekom mediju, kadica je uklonjena s naprave.



**Slika 30. Uređaj za ispitivanje trošenja**

Gitara je postavljena u napravu i učvršćena pomoću stiropora i drugih predmeta (knjiga, utega itd.), kako ne bih došlo do njenog pomicanja tijekom ispitivanja (slika 31).



**Slika 31. Gitara postavljena i učvršćena u napravi za ispitivanje trošenja**

Sva ispitivanja provedena su na istom mjestu na gitari s konstantnom frekvencijom od 0.2143 Hz. Na slici 32 prikazan je brojčanik koji se nalazi u sklopu naprave. Njegova zadaća je da broji koliko puta je ispitni uzorak prešao preko svih 6 žica (slika 33). Brojčanik broji pomak samo u



jednom smjeru stoga je konačni broj na brojačniku u ovom eksperimentu potrebno pomnožiti s 2 kako bi dobili stvarni broj prelazaka trzalice preko svih 6 žica.



Slika 32. Brojačnik na napravi za ispitivanje trošenja



Slika 33. Prikaz krajnje točke pomaka naprave za ispitivanje trošenja iz tlocrta

Za ispitivanje su korištene žice „Ernie Ball Regular Slinky 10-46“. Trzalica je postavljena u čeljusti, a udaljenost između donjeg ruba trzalice i donjeg dijela čeljusti bila je konstantna kod svih ispitivanja i iznosila je 10 mm (slika 34).



**Slika 34. Trzalica postavljena u čeljusti**

## 6. REZULTATI MJERENJA

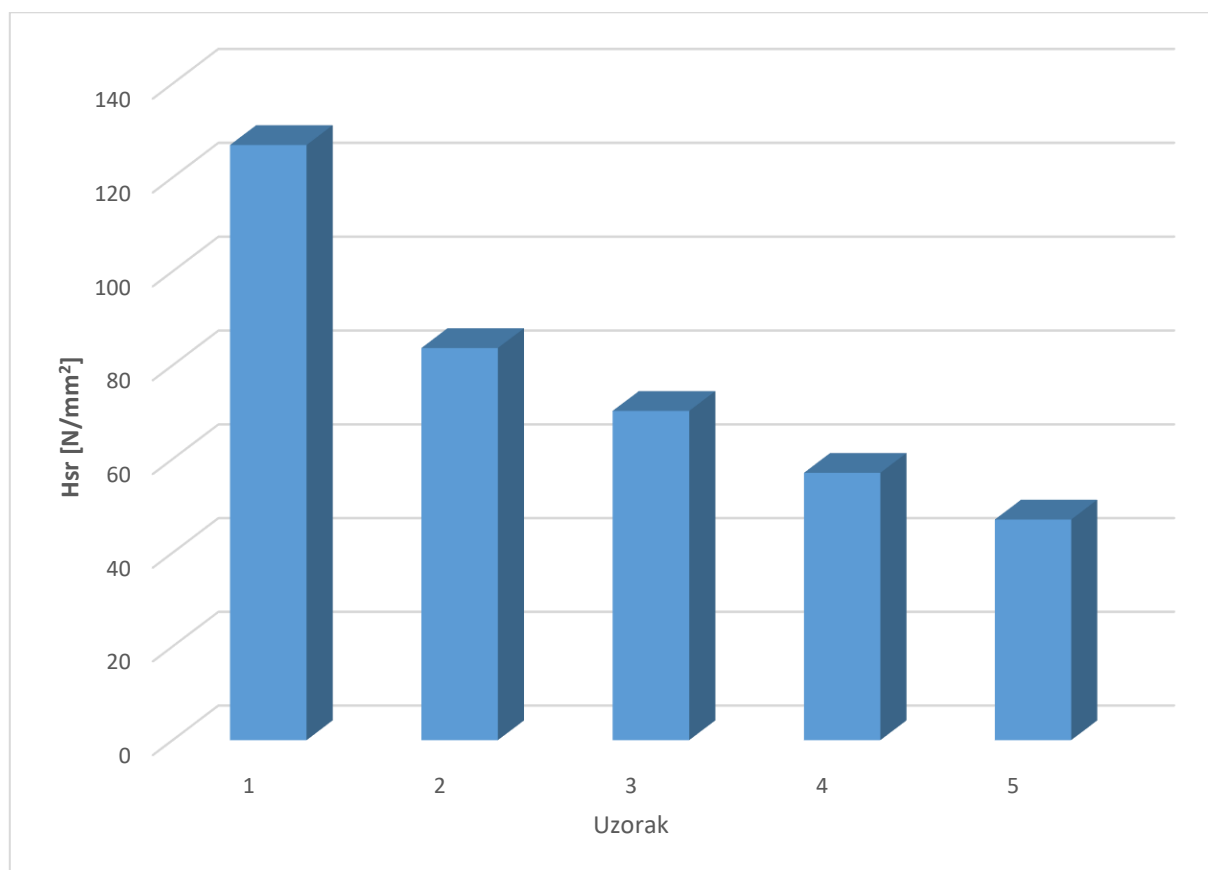
### 6.1. Rezultati mjerenja tvrdoće

U tablici 7 navedene su dubine prodiranja kuglice očitane 30 sekundi nakon početka mjerenja, kao i izračunate tvrdoće prema izrazu (1.1). Na slici 35 grafički je prikaz tvrdoća za svih 5 uzoraka. Za svaki uzorak provedeno je po 10 mjerenja tvrdoće, te je u konačnici izračunata srednja vrijednost tvrdoće.

Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće

Uzorak:	Mjerenje:	h[mm]	H [N/mm <sup>2</sup> ]	H <sub>sr</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1.	0,178	128,018	126,925
	2.	0,180	126,595	
	3.	0,175	130,212	
	4.	0,175	130,212	
	5.	0,193	118,068	
	6.	0,184	123,843	
	7.	0,182	125,204	
	8.	0,178	128,018	
	9.	0,172	132,484	
	10.	0,180	126,595	
2	1.	0,174	71,760	83,664
	2.	0,169	73,883	
	3.	0,153	81,609	
	4.	0,244	93,390	
	5.	0,286	79,675	
	6.	0,29	78,576	
	7.	0,246	92,631	
	8.	0,265	85,989	
	9.	0,25	91,149	
	10.	0,259	87,981	
3	1.	0,32	71,210	70,269
	2.	0,335	68,021	
	3.	0,325	70,114	
	4.	0,312	73,036	
	5.	0,345	66,050	
	6.	0,355	64,189	
	7.	0,305	74,712	
	8.	0,306	74,468	
	9.	0,311	73,271	
	10.	0,337	67,618	

4	1.	0,218	57,276	57,056
	2.	0,2	62,431	
	3.	0,205	60,908	
	4.	0,222	56,244	
	5.	0,231	54,053	
	6.	0,252	49,548	
	7.	0,208	60,030	
	8.	0,225	55,494	
	9.	0,215	58,075	
	10.	0,221	56,499	
5	1.	0,28	44,594	47,085
	2.	0,269	46,417	
	3.	0,267	46,765	
	4.	0,261	47,840	
	5.	0,273	45,737	
	6.	0,258	48,396	
	7.	0,264	47,296	
	8.	0,264	47,296	
	9.	0,251	49,746	
	10.	0,267	46,765	



**Slika 35. Grafički prikaz tvrdoća 5 različitih uzoraka trzalica; podaci su reprezentativni za rezultate ponovljenih mjerenja (n=10) i izraženi su kao srednja vrijednost**

## 6.2. Promjena mase uslijed trošenja

Radi što veće točnosti rezultata, kod ispitivanja trošenja, za svaku vrstu trzalice ispitana su po 5 identična ispitna uzorka (5 uzoraka trzalica od istog proizvođača). Masa svih ispitnih uzoraka izmjerena je prije i nakon ispitivanja trošenja. Svih 25 trzalica prošlo je 1000 puta u jednu stranu i 1000 puta u drugu stranu, što je ukupno 2000 prelazaka preko svih 6 žica na gitari. Uzorak koji pokazuje najveću promjenu mase ima najmanju otpornost na trošenje i obrnuto.

Promjena mase izračunata je po izrazu:

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (1.2)$$

gdje je:

$\Delta m$  – promjena mase [g]

$m_1$  – masa prije ispitivanja trošenja [g]

$m_2$  – masa nakon ispitivanja trošenja [g]

Na slici 36 vide se čestice trošenja trzalice.



Slika 36. Čestice trošenja trzalice

U tablicama od 8 do 12 prikazane su mase uzoraka svih trzalica prije i nakon ispitivanja trošenja, promjena mase za svaki uzorak pojedinačno te srednja vrijednost promjene mase za svaku od 5 različitih vrsta trzalica.

Tablica 8. Promjena mase prvog uzorka

	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 3	Ispitivanje 4	Ispitivanje 5
$m_1$ [g]	0,6081	0,6384	0,6078	0,6283	0,6358
$m_2$ [g]	0,6074	0,6374	0,6068	0,6269	0,6341
$\Delta m$ [g]	0,0007	0,0010	0,0010	0,0014	0,0017
$\Delta m_{sr}$ [g]	<b>0,0012</b>				

Tablica 9. Promjena mase drugog uzorka

	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 3	Ispitivanje 4	Ispitivanje 5
$m_1$ [g]	0,7840	0,7878	0,7809	0,7795	0,7707
$m_2$ [g]	0,7832	0,7871	0,7803	0,7791	0,7698
$\Delta m$ [g]	0,0008	0,0007	0,0006	0,0004	0,0009
$\Delta m_{sr}$ [g]	<b>0,0007</b>				

Tablica 10. Promjena mase trećeg uzorka

	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 3	Ispitivanje 4	Ispitivanje 5
$m_1$ [g]	0,7931	0,7940	0,7781	0,7897	0,7785
$m_2$ [g]	0,7919	0,7935	0,7775	0,7890	0,7777
$\Delta m$ [g]	0,0012	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008
$\Delta m_{sr}$ [g]	<b>0,0008</b>				

Tablica 11. Promjena mase četvrtog uzorka

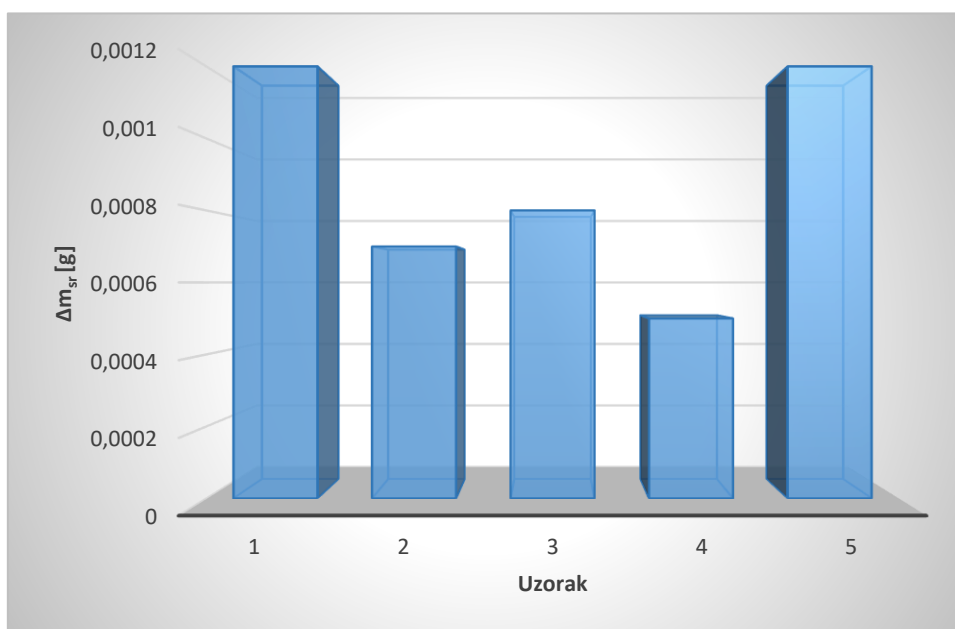
	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 3	Ispitivanje 4	Ispitivanje 5
$m_1$ [g]	0,6506	0,6222	0,6505	0,6503	0,6455
$m_2$ [g]	0,6499	0,6217	0,6503	0,6499	0,6449
$\Delta m$ [g]	0,0007	0,0005	0,0002	0,0004	0,0006
$\Delta m_{sr}$ [g]	<b>0,0005</b>				



Tablica 12. Promjena mase petog uzorka

	Ispitivanje 1	Ispitivanje 2	Ispitivanje 3	Ispitivanje 4	Ispitivanje 5
$m_1$ [g]	0,6466	0,6161	0,6355	0,6207	0,6337
$m_2$ [g]	0,6452	0,6153	0,6344	0,6194	0,6323
$\Delta m$ [g]	0,0014	0,0008	0,0011	0,0013	0,0014
$\Delta m_{sr}$ [g]	<b>0,0012</b>				

Grafički prikaz srednjih vrijednosti promjene mase za svih 5 ispitnih uzoraka prikazan je na slici 37.



Slika 37. Promjena mase 5 različitih vrsta trzalica nakon provedenog ispitivanja trošenja; podaci su reprezentativni za rezultate ponovljenih pokusa ( $n=5$ ) i izraženi su kao srednja vrijednost

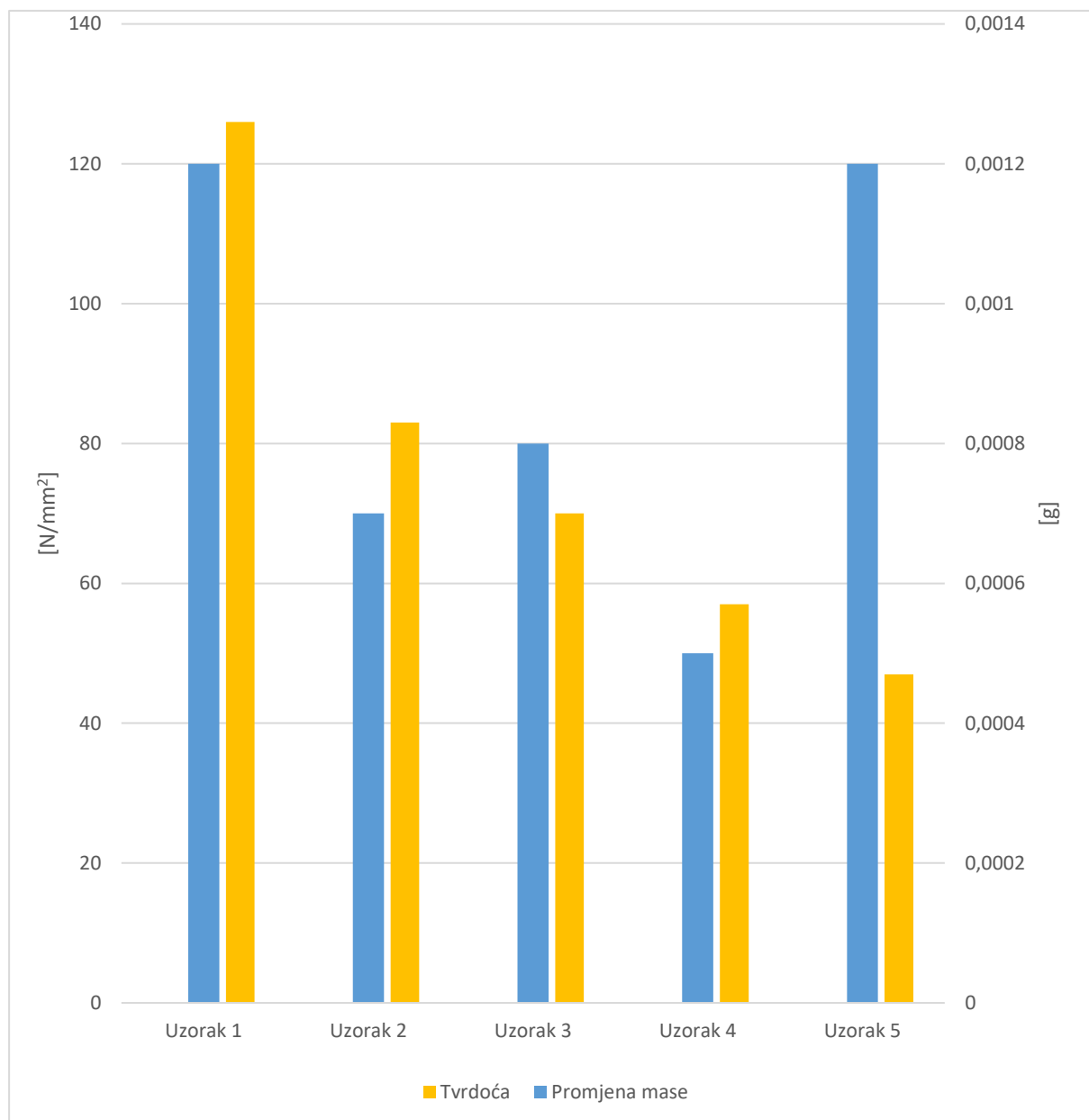
Na slici 38 prikazani su uzorci nakon provedenog ispitivanja trošenja.



Slika 38. Uzorci trzalica nakon provedenog ispitivanja trošenja

### 6.3. Usporedba tvrdoće i trošenja trzalica

Na slici 39 prikazana je usporedba srednjih vrijednosti tvrdoća i srednjih vrijednosti promjena mase za svaki ispitni uzorak.



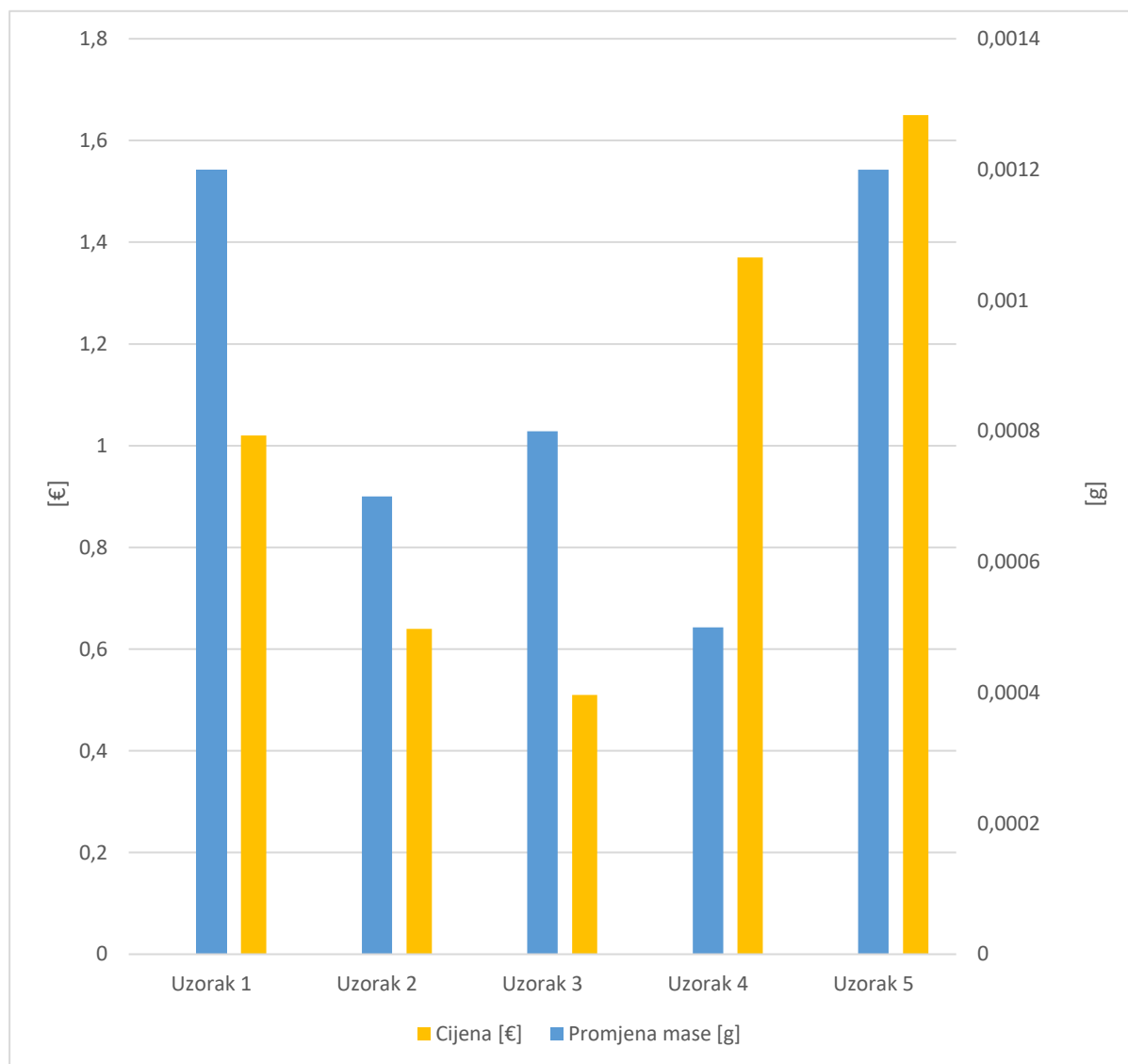
**Slika 39. Usporedba srednjih vrijednosti tvrdoće i promjene mase svih 5 različitih ispitnih uzoraka**

Kod prvog ispitnog uzorka stvarna tvrdoća odgovara onoj teoretskoj dok je za sve ostale uzorke stvarna tvrdoća manja od teoretske. Promjena mase najveća je kod prvog i petog ispitnog uzorka. Iz toga se da zaključiti da je trošenje najtvrdjeg i najmekšeg ispitnog uzorka jednako. Drugi i treći ispitni uzorak većinski su napravljeni od iste polimerne mase što se može vidjeti i

po eksperimentalno dobivenim vrijednostima tvrdoće i po vrijednostima promjene mase koje su vrlo slične; mekši ima veće trošenje dok tvrdi ima manje trošenje. Četvrti ispitni uzorak s relativno niskom tvrdoćom naspram ostalih uzoraka ima najmanje trošenje.

#### 6.4. Omjer cijene i trošenja trzalica

Na slici 40 prikazana je usporedba cijene svih 5 vrsta trzalica i srednje vrijednosti promjene njihove mase.



**Slika 40. Usporedba cijene i srednje vrijednosti promjene mase za svih 5 različitih ispitnih uzoraka**

Razlika u cijeni prvog i petog ispitnog uzorka jednake promjene mase iznosi 61,8%. Četvrti uzorak ima najmanju promjenu mase ali ima i drugu najvišu cijenu od odabranih ispitnih uzoraka. Drugi i treći uzorak sličnih svojstava imaju i slične prodajne cijene. Najbolji omjer trošenja i prodajne cijene imaju drugi i treći ispitni uzorak.

---

**ZAKLJUČAK**

Iz prikazanih rezultata dobivenih u eksperimentalnom dijelu rada mjerenjem tvrdoće te promjene mase ispitnih uzoraka može se zaključiti da uzorak s najvećom tvrdoćom nema nužno i najmanje trošenje dok uzorak sa najmanjom tvrdoćom, prema očekivanjima pokazuje najveće trošenje. Usporedbom cijene i trošenja vidljivo je da ispitni uzorak koji ima najveću promjenu mase, odnosno najveće trošenje, ima i najveću prodajnu cijenu, što dokazuje da cijena nije uvijek garancija najbolje kvalitete, tj. najmanjeg trošenja u ovom slučaju. Dobar omjer male promjene mase odnosno malog trošenja te niske cijene teško je postići u realnim uvjetima. Jedan od glavnih utjecajnih faktora na rezultate promjene mase je nanošenje zaštitne prevlake na same ispitne uzorke od strane proizvođača. Takve prevlake vrlo vjerojatno smanjuju trenje odnosno trošenje.

Kako bi se mogli donijeti točniji i precizniji zaključci o razlozima najvećeg gubitka mase kod najtvrdjeg uzorka, potrebno je napraviti dodatna ispitivanja.

---

**LITERATURA**

- [1] Enciklopedija [Internet]. [citirano 30.11.2022.]. Dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=62564> .
- [2] Tamburaške trzalice. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.slavonijapapir.hr/glazbena-oprema/oprema-za-tambure/trzalice-za-tamburu>
- [3] Bass trzalice. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: [https://www.thomann.de/gb/dunlop\\_bass\\_pick\\_variety\\_pack.htm](https://www.thomann.de/gb/dunlop_bass_pick_variety_pack.htm) .
- [4] Wikipedia. [Internet]. [citirano 30.11.2022.]. Dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Guitar\\_pick](https://en.wikipedia.org/wiki/Guitar_pick) .
- [5] Držanje trzalice. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.guitarlessonsceleland.com/blog/picking-hand-technique> .
- [6] Vrste i oblici trzalica. [Internet]. [citirano 30.11.2022.]. Dostupno na: <https://fashion-hr.decorexpro.com/gitara/mediator/> .
- [7] Držanje palčane trzalice. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.fuelrocks.com/what-hand-do-you-pick-guitar-with/> .
- [8] Nestandardna gitaristička trzalica. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.heavyrepping.com/an-introduction-to-vintage-guitar-picks-joe-macey/> .
- [9] Povijest polimernih trzalica. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://guitargearfinder.com/guides/ultimate-guide-to-guitar-picks-materials-thicknesses-faq/> .
- [10] Janović Z. Polimerizacije i polimeri Zagreb: Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa; 1997.
- [11] Raos P, Šercer M. Teorijske osnove proizvodnje polimernih tvorevina Slavonski Brod/Zagreb: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku; 2010.
- [12] Rogić A, Čatić I, Godec D. Polimeri i polimerne tvorevine; Zagreb: Biblioteka polimerstvo; 2008.
- [13] Polieterimid. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: <https://www.thomasnet.com/insights/what-is-polyetherimide-pei/> .
- [14] Polieterimid - svojstva. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: <https://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=65baf7a4f90c4a54a6ace03e16b1125b> .
- [15] Polikarbonat svojstva. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=501acbb63cbc4f748faa7490884cdbea&ckck=1> .
- [16] Polimerne trzalice. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://guitarpickreviews.com/guitar-picks-guide/> .
- [17] Slika polikarbonatne trzalice. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.telefunken-elektroakustik.com/shop/guitar-picks/polycarbonate> .
- [18] Svojstva poliamida. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=8d78f3cfcb6f49d595896ce6ce6a2ef1&ckck=1> .

- [19] Gitarističke trzalice. [Internet]. [citirano 31.01.2023.]. Dostupno na: <https://hubguitar.com/recommended-products/complete-guide-to-guitar-picks> .
- [20] Delrin. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: [https://www.alro.com/divplastics/plasticsproduct\\_delrin150.aspx](https://www.alro.com/divplastics/plasticsproduct_delrin150.aspx) .
- [21] Delrin primjena. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: <https://xometry.eu/wp-content/uploads/2021/03/POM.pdf> .
- [22] Svojstva Polioksimetilena. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: [https://designerdata.nl/materials/plastics/thermo-plastics/polyoxymethylene-\(hom.\)](https://designerdata.nl/materials/plastics/thermo-plastics/polyoxymethylene-(hom.)) .
- [23] Polietilen. [Internet]. [citirano 06.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=49145> .
- [24] UHMWPE trzalice. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.plectrum.ch/product/the-original-anvil-green> .
- [25] Kopoliesteri. [Internet]. [citirano 17.02.2023.]. Dostupno na: <https://hmn.wiki/hr/Copolyester> .
- [26] Tritan. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: [https://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=5556d52dcf384decb6de23286fb74ac9](https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=5556d52dcf384decb6de23286fb74ac9) .
- [27] Tritan svojstva. [Internet]. [citirano 22.01.2023.]. Dostupno na: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewje6tDhidz8AhWulosKHUlaDP4QFnoECDEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ne xeoplastics.com%2Ftypes%2Fplastics-database-datasheet%3Fid%3D139640%26product%3DTritan%25E2%2584%25A2%26grade%3DMP100&us> .
- [28] Drvene trzalice. [Internet]. [citirano 31.01.2023.]. Dostupno na: <https://guitarpickzone.com/wooden-guitar-picks/> .
- [29] Staklene trzalice. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.silicasound.com/glass-guitar-picks> .
- [30] Materijali trzalica. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://makingmusicmag.com/guitar-picks/> .
- [31] Metalna trzalica. [Internet]. [citirano 01.02.2023.]. Dostupno na: <https://www.stringsandbeyond.com/dunlop-picks-46rf38-38mm.html> .
- [32] Grilec K, Jakovljević S. Tribologija; Autorizirana predavanja. 2015.
- [33] Istrošena trzalica 1. [Online]. [Internet]. [citirano 07.02.2023.]. Dostupno na: <https://indiepanda.net/do-guitar-picks-wear-out/> .
- [34] Istrošena trzalica 2. [Internet]. [citirano 07.02.2023.]. Dostupno na: [https://www.reddit.com/r/mildlyinteresting/comments/m3pweh/my\\_guitar\\_pick\\_is\\_more\\_worn\\_out\\_on\\_one\\_side\\_than/](https://www.reddit.com/r/mildlyinteresting/comments/m3pweh/my_guitar_pick_is_more_worn_out_on_one_side_than/) .
- [35] Materijali uzorka. [Internet]. [citirano 24.01.2023.]. Dostupno na: <https://guitarpickzone.com/tortex-vs-ultex-plectrums/> .
- [36] Materijali uzorka. [Internet]. [citirano 24.01.2023.]. Dostupno na: <https://www.ibanez.com/usa/products/detail/cc14h-c1.html> .
- [37] Materijali uzorka. [Internet]. [citirano 24.01.2023.]. Dostupno na: <https://www.taylorguitars.com/taylorware/picks/taylor-premium-351-thermex-ultra-guitar-picks-blue-swirl-6-pack> .

---

**PRILOZI**

1. CD-R disc