

# IZRADA ELEKTRIČNE GITARE NA CNC STROJU

---

**Martinović, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:401957>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ STROJARSTVA*

PETAR MARTINOVIĆ

**IZRADA ELEKTRIČNE GITARE NA CNC  
STROJU**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024. godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ STROJARSTVA


PETAR MARTINOVIĆ

**IZRADA ELEKTRIČNE GITARE NA CNC  
STROJU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Nikola Šimunić, prof. struč. stud

KARLOVAC, 2024. godina.

 <b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Karlovac University of Applied Sciences	Klasa: 602-07/___-01/___
	Ur.broj: 2133-61-04-___-01
<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	
	Datum:

* Ime i prezime	PETAR MARTINOVIĆ		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110618020		
JMBAG	0248076346		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> <b>X preddiplomski</b>	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ STROJARSTVO		
Godina upisa	2019.		
Datum podnošenja molbe	30.09.2024.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

* Naslov teme na hrvatskom: Izrada električne gitare na cnc stroju	
* Naslov teme na engleskom: Manufacturing of electric guitar on a cnc machine	
<p><b>Opis zadatka:</b></p> <p>Glazbenu gradnju čine zvukovi, a oni nastaju titranjem nekog tijela, koje tako postaje izvor zvuka. Od početka civilizacije ljudi su težili izradi „uređaja“ za proizvodnju zvuka zbog lakše komunikacije ili za zabavu, a jedno od njih je i električna gitara. Električna gitara žičano je trzalačko glazbalo koje za stvaranje zvuka koristi elektromagnetske pick-upove koji "prikupljaju" titranje žice i pretvaraju ih u signale koje šalju pojačalu.</p> <p>U završnom radu potrebno je za odabrani tip električne gitare izraditi 3d model na računalu u odgovarajućem programskom paketu te priložiti pripadajuću tehničku dokumentaciju. Potrebno je opisati postupke izrade, sa posebnim osvrtom na izradu prototipa električne gitare na cnc stroju. Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.</p>	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

**NAPOMENA: Obrazac je poželjno ispuniti elektronski. Ukoliko isti niste u mogućnosti ispuniti elektronski, podatke označene \* obvezno popuniti čitko velikim tiskanim slovima**

## IZJAVA

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

## ZAHVALA

Iskreno zahvaljujem svom mentoru, dr. sc. Nikola Šimunić, prof. struč. stud, na stručnom vodstvu, podršci i korisnim savjetima tijekom izrade ovog završnog rada. Zahvaljujem i svojoj obitelji na razumijevanju, kao i djevojci Mariji na njenom strpljenju i ohrabrenju.

Karlovac, 2024

PETAR MARTINOVIĆ

## **SAŽETAK**

U ovom radu opisan je postupak izrade gitare korištenjem CNC (Computer Numerical Control) tehnologije. U početku je prikazano programiranje CNC stroja za izradu tijela gitare, što uključuje stvaranje CAD (Computer-Aided Design) modela, odabir alata za obradu i generiranje G-koda putem CAM (Computer-Aided Manufacturing) softvera. Slijedi opis rezanja dijelova na CNC stroju, izbor i opis alata, završna obrada i postupak lakiranja tijela gitare. Na kraju je detaljno opisano sastavljanje komponenata gitare, postavljanje senzora i elektronike, postavljanje vratnih pragova i mosta te završni pregled gotovog instrumenta.

Ključne riječi: CNC tehnologija, izrada gitare, CAD, CAM, G-kod

## **SUMMARY: MANUFACTURING OF ELECTRIC GUITAR ON A CNC MACHINE**

This paper describes the process of constructing a guitar using CNC (Computer Numerical Control) technology. It begins with programming the CNC machine to create the guitar body, which involves developing a CAD (Computer-Aided Design) model, selecting appropriate machining tools, and generating G-code through CAM (Computer-Aided Manufacturing) software. Following this, the cutting of parts on the CNC machine is described, including tool selection and description, finishing processes, and the painting of the guitar body. Finally, the assembly of the guitar components is explained, installation of sensors and electronics, setting the frets and bridge, and the final inspection of the completed instrument.

Keywords: CNC technology, guitar construction, CAD, CAM, G-code

## Sadržaj

SAŽETAK.....	I
SUMMARY: MANUFACTURING OF ELECTRIC GUITAR ON A CNC MACHINE .....	II
POPIS SLIKA .....	V
POPIS OZNAKA .....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 Definicija zvuka .....	2
1.2 Povijest glazbala i izrada glazbala .....	3
1.3 Značaj drveta u izradi glazbala .....	7
1.3.1 Akustična svojstva drveta .....	8
1.4 Utjecaj obrade drveta na zvuk .....	8
2 GITARA .....	9
2.1 Općenito o gitari.....	9
2.2 Povijest gitare .....	14
2.2.1 Izrada glazbala kroz povijest .....	14
2.2.2 Električna gitara: spoj tradicije i inovacije .....	15
2.2.3 Suvremena izrada električne gitare .....	15
2.3 Materijali korišteni u izradi gitare.....	16
2.3.1 Drvo.....	16
2.3.2 Metali.....	17
2.3.3 Polimerni i kompozitni materijali .....	17
2.3.4 Elektronika (kod električnih gitara).....	18
3 ODABIR MATERIJALA ZA GITARSKO TIJELO .....	19
4 POSTUPAK IZRADE GITARE KORISTEĆI CNC TEHNOLOGIJU.....	21
4.1 Programiranje CNC stroja za izradu tijela gitare .....	21
4.1.1 Stvaranje CAD modela tijela gitare.....	21
4.1.2 Odabir alata za CNC obradu .....	23
4.1.3 Generiranje G-koda putem CAM softvera.....	26
4.1.4 Prednosti programiranja CNC stroja u izradi tijela gitare .....	27



---

4.2	Rezanje dijelova na CNC stroju za izradu tijela gitare .....	28
4.2.1	Tehnologija rezanja na CNC stroju.....	28
4.2.2	Prilagođavanje alata i opreme .....	28
4.2.3	Rezanje materijala i kvaliteta dijelovaMaterijal koji se najčešće koristi za tijelo gitare je drvo, s obzirom na svoje akustične i estetske karakteristike. CNC stroj koristi ove alate za precizno rezanje dijelova iz sirovih drvenih ploča. Važno je naglasiti da CNC stroj pruža izuzetnu točnost u rezanju, čime eliminira varijacije koje bi se mogle pojaviti pri ručnom rezanju. ...	29
4.2.4	Lakiranje tijela.....	30
4.2.5	Kontrola kvalitete i završna obrada.....	30
4.3	Sastavljanje komponenata na gitari izrađenoj na CNC stroju .....	31
4.3.1	Prilagodba senzora i elektronike.....	31
4.3.2	Postavljanje vratnih pragova i mosta .....	31
4.3.3	Pažljivo postavljanje svih komponenti .....	32
4.3.4	Kvalitetna kontrola i završni pregled .....	33
5	ZAKLJUČAK.....	34
	LITERATURA.....	35
	PRILOZI.....	36

## POPIS SLIKA

Slika 1 Dijagram elektromagnetnog polja: Interakcija električnih i magnetskih polja [12]	2
Slika 2 Flaute izrađene od kostiju: Primjer ranih glazbala iz pretpovijesnog doba [7].....	4
Slika 3 Renesansna lutnja: Primjer popularnog žičanog instrumenta iz renesansnog razdoblja [8] .....	5
Slika 4 Violina iz 17. stoljeća: Instrument s prepoznatljivim dizajnom i akustikom [9].....	5
Slika 5 Prva komercijalno uspješna električna gitara s čvrstim tijelom [10] .....	6
Slika 6 3D modeliranje gitare: CNC strojni putovi za izradu tijela gitare [izvorno autor]...7	
Slika 7 Tijelo gitare [izvorno autor].....	9
Slika 8 Vrat gitare [13] .....	10
Slika 9 Hvataljka i pragovi [14].....	10
Slika 10 Žice za gitaru [15] .....	11
Slika 11 Most gitare [15] .....	11
Slika 12 Glava Gitare [15].....	12
Slika 13 Akustična gitara [15] .....	12
Slika 14 Polu-akustična gitara [15] .....	13
Slika 15 Električna gitara [11] .....	13
Slika 16 Bass gitara [15].....	14
Slika 17 Priprema jasena za CNC obradu [izvorno autor] .....	20
Slika 18 3D model tijela gitare: Prva skica izrade od drva [izvorno autor] .....	21
Slika 19 Obrub gitare u CAD programu [izvorno autor] .....	22
Slika 20 Unutarnji plitki dijelovi u CAD programu [izvorno autor] .....	22
Slika 21 Svi unutarnji dijelovi u CAD programu [izvorno autor].....	22
Slika 22 Nacrt tijela električne gitare [izvorno autor] .....	23
Slika 23 Glodalo za izradu kontura te udubina [izvorno autor].....	24
Slika 24 V- glodalo za graviranje [izvorno autor].....	25
Slika 25 Profilno glodalo [izvorno autor] .....	26
Slika 26 Primjer G-koda [izvorno autor] .....	27
Slika 27 Precizna izrada gitare [izvorno autor].....	27
Slika 28 Ručna obrada teško obradivih područja tijela [izvorno autor].....	29
Slika 29 Drvo nakon CNC obrade [izvorno autor] .....	29

---

Slika 30 Prelakirano tijelo gitare [izvorno autor].....	30
Slika 31 Postavljanje mosta gitare [izvorno autor] .....	31
Slika 32 Ugradnja zaštitne ploče i pričvršćivanje vrata [izvorno autor] .....	32
Slika 33 Poledina gitare [izvorno autor] .....	33
Slika 34 Prednji dio gitare [izvorno autor] .....	33

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$D$	mm	promjer glodala
$\varphi$	°	vršni kut

## 1 UVOD

Tema ovog završnog rada je izrada električne gitare uz primjenu CNC tehnologije. CNC tehnologija, koja se široko koristi u industrijskoj proizvodnji, omogućuje visoku razinu preciznosti i efikasnosti u izradi raznih proizvoda, uključujući glazbene instrumente. U ovom radu bit će prikazan proces izrade električne gitare korištenjem CNC stroja.

Cilj rada je detaljno opisati postupak izrade električne gitare, od početnog dizajna i modeliranja, preko odabira materijala, pa sve do završne obrade instrumenta. Prikazano je kako CNC tehnologija može biti primijenjena u izradi glazbenih instrumenata, te ukazati na prednosti i izazove koji prate ovu vrstu proizvodnog procesa.

U fokusu rada je opis tehničkih koraka potrebnih za proizvodnju tijela gitare i sastavljanje komponenti instrumenta, a svi procesi su detaljno obrađeni kroz tri glavna segmenta: Izrada CAD modela i CNC programa, rezanje dijelova te montaža komponenti gitare.

Prvi segment obuhvaća postupak programiranja CNC stroja, koji uključuje stvaranje CAD modela tijela gitare, odabir prikladnih alata za obradu, generiranje G-koda putem CAM softvera i analizu prednosti CNC programiranja u kontekstu izrade tijela gitare. Ovi koraci omogućuju precizno definiranje oblika i dimenzija gitare te optimalno podešavanje alata, čime se postiže visoka kvaliteta obrade.

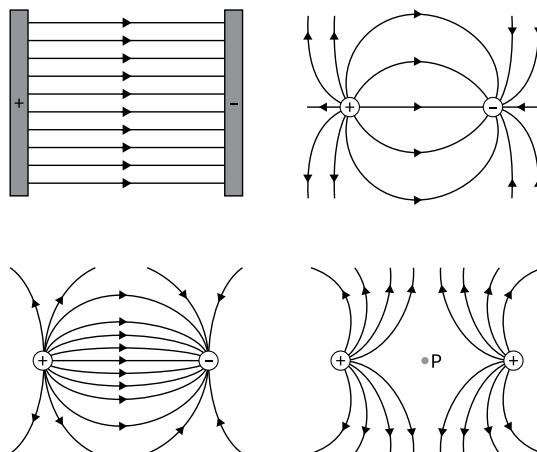
Drugi segment odnosi se na proces rezanja dijelova tijela gitare pomoću CNC tehnologije. U njemu se opisuje tehnologija rezanja, prilagodba alata i opreme, kontrola kvalitete izrezanih dijelova, te završna obrada, uključujući lakiranje tijela gitare koje osigurava dugotrajnost gitare.

Posljednji segment fokusira se na sastavljanje komponenata na gitari, što uključuje ugradnju senzora i elektronike, postavljanje vratnih pragova i mosta, te pažljivo spajanje svih komponenti uz završni pregled kvalitete.

Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled tehnološkog postupka izrade električne gitare pomoću CNC tehnologije.

## 1.1 Definicija zvuka

Zvuk je mehanički val koji nastaje kao rezultat vibracija, a u slučaju električne gitare, ove vibracije dolaze od žica koje se zatežu i trzaju. [1] Međutim, za razliku od akustičnih instrumenata, gdje se zvuk direktno pojačava putem rezonantnog tijela instrumenta, kod električne gitare ključnu ulogu igraju elektromagnetni fenomeni.



Slika 1 Dijagram elektromagnetnog polja: Interakcija električnih i magnetskih polja [12]

### Fizičke karakteristike zvuka kod električne gitare

1. Vibracija žica i stvaranje zvuka: Kada gitarist trzne žicu, ona vibrira, stvarajući valove različitih frekvencija. Ove vibracije prenose energiju kroz žicu, što proizvodi osnovni ton (fundamentalnu frekvenciju) i harmonike. Ton i karakter zvuka gitare ovise o debljini, napetosti i materijalu žica.
2. Elektromagnetna indukcija i senzori: Kod električne gitare, senzori (magnetski pretvornici) igraju ključnu ulogu u pretvorbi mehaničkih vibracija žica u električni signal. Senzori se sastoje od magneta omotanih žicom. Kada metalna žica vibrira iznad magneta, ona remeti magnetsko polje, inducirajući napon u zavojnici. Ovaj napon se dalje pretvara u električni signal koji predstavlja zvuk gitare.

3. Pojačavanje i modifikacija zvuka: Električni signal koji dolazi iz senzora je relativno slab, pa se šalje u pojačalo koje pojačava signal i pretvara ga natrag u zvuk putem zvučnika. Pojačalo također može modificirati zvuk dodavanjem efekata kao što su distorzija, reverb ili chorus, što značajno mijenja tonalitet i boju zvuka gitare.
4. Kontrola zvuka putem elektronike: Električna gitara obično ima kontrole za glasnoću i ton, što omogućava gitaristu da prilagodi izlazni zvuk. Promjena vrijednosti potencijometara može utjecati na frekvencijski spektar zvuka, naglašavajući ili prigušujući određene frekvencije, te tako oblikovati konačni zvuk.
5. Kombinacija različitih senzora: Mnoge električne gitare imaju više senzora na različitim pozicijama ispod žica, kao što su bridge (most) i neck (vrat). Svaki senzor hvata različite harmoničke komponente zbog svoje pozicije, što omogućava stvaranje različitih tonova. Na primjer, senzor bliže mostu pruža oštriji i svjetliji ton, dok senzor bliže vratu daje topliji i puniji zvuk.

### **Električna gitara i njena akustična interakcija**

Iako električna gitara koristi elektroniku za stvaranje zvuka, fizički materijali i konstrukcija gitare također utječu na zvuk. Tijelo gitare, vrat, materijali za hvataljku, pa čak i završna obrada mogu utjecati na rezonanciju i održavanje tonova. Električna gitara, dakle, kombinira akustičke i električne fenomene kako bi proizvela zvuk.

## **1.2 Povijest glazbala i izrada glazbala**

Glazbala su bila prisutna u ljudskoj povijesti od najranijih vremena, prateći razvoj kulture, tehnologije i društvenih potreba. Evolucija glazbala odražava napredak ljudske kreativnosti i tehnoloških dostignuća, pri čemu je svaki period povijesti donio nove materijale, tehnike i oblike.

- Rani razvoj glazbala

Prvi instrumenti potječu iz pretpovijesnog doba i bili su jednostavni objekti izrađeni od prirodnih materijala poput kostiju, školjki, drva i kamena. Primjeri uključuju udaraljke i jednostavne flaute izrađene od kostiju životinja. Ovi rani instrumenti korišteni su u ritualima, religijskim ceremonijama i društvenim okupljanjima.

Kako su se civilizacije razvijale, tako su se razvijala i glazbala. [6] U starom Egiptu, Mezopotamiji, Grčkoj i Rimu, korišteni su složeniji instrumenti poput harfi, lire, lutnji i puhačkih instrumenata. Ovi instrumenti bili su izrađeni od kombinacije drveta, metala i kože, a njihova izrada postala je složenija i specijaliziranija.



**Slika 2 Flaute izrađene od kostiju: Primjer ranih glazbala iz pretpovijesnog doba [7]**

- Srednji vijek i renesansa

Tijekom srednjeg vijeka, glazbala su se dalje razvijala u Europi, Aziji i Bliskom Istoku. Lutnje, violine, gajde i različite vrste flauta postale su popularne. Izrada glazbala postala je vještina koja se prenosila s generacije na generaciju, a svaki je regija razvila specifične stilove i tehnike izrade.

Renesansa (14.-17. stoljeće) donijela je procvat umjetnosti i znanosti, uključujući i glazbu. Glazbala su se dalje razvijala, a majstori su poboljšavali konstrukciju i akustiku instrumenata. Tijekom ovog razdoblja, klavir i violina počeli su dobivati prepoznatljive oblike koje poznajemo danas.





**Slika 3 Renesansna lutnja: Primjer popularnog žičanog instrumenta iz renesansnog razdoblja [8]**

- Barok i klasicizam

U baroknom razdoblju (17.-18. stoljeće), glazbala su postala sofisticiranija i tehnički zahtjevnija. Graditelji instrumenata, poput Stradivarija, Amatija i Guarnerija, stvorili su violine koje su i danas cijenjene zbog svoje iznimne kvalitete zvuka. Tijekom ovog perioda razvijeni su i instrumenti poput čembala i rane verzije klavira. Klasicizam je donio daljnje usavršavanje instrumenata, kao i proširenje orkestralne glazbe, što je potaknulo razvoj cijelih obitelji instrumenata, poput violina, violončela, klarineta i oboa. Izrada glazbala postala je preciznija, a novi materijali i alati omogućili su majstorima da postignu veću uniformnost i kvalitetu zvuka.



**Slika 4 Violina iz 17. stoljeća: Instrument s prepoznatljivim dizajnom i akustikom [9]**

- Industrijska revolucija i moderni period

Industrijska revolucija u 19. stoljeću donijela je masovnu proizvodnju, što je omogućilo širu dostupnost glazbala.

Uvođenje novih materijala, poput čelika i polimera, te novih alata, poput strojeva za obradu drveta, revolucioniralo je izradu instrumenata. Ovo razdoblje također je donijelo popularizaciju gitare u Španjolskoj, a moderni dizajn gitare uspostavio je Antonio de Torres, koji je standardizirao oblik i dimenzije instrumenta.

Početak 20. stoljeća pojavila se električna gitara, koja je označila značajan tehnološki napredak u izradi glazbala. Prva električna gitara s čvrstim tijelom, Gibson Les Paul, postala je temelj modernih rock, blues i jazz stilova. Ova inovacija otvorila je vrata novim načinima stvaranja i pojačavanja zvuka, što je u velikoj mjeri promijenilo glazbeni pejzaž.



**Slika 5 Prva komercijalno uspješna električna gitara s čvrstim tijelom [10]**

- Suvremena izrada glazbala

Danas se izrada glazbala kreće od tradicionalnih ručno izrađenih instrumenata do masovno proizvedenih modela.

Unatoč tehnološkim inovacijama, ručno izrađeni instrumenti i dalje su vrlo cijenjeni zbog svoje kvalitete, posebne pažnje prema detaljima i individualnog karaktera svakog instrumenta.

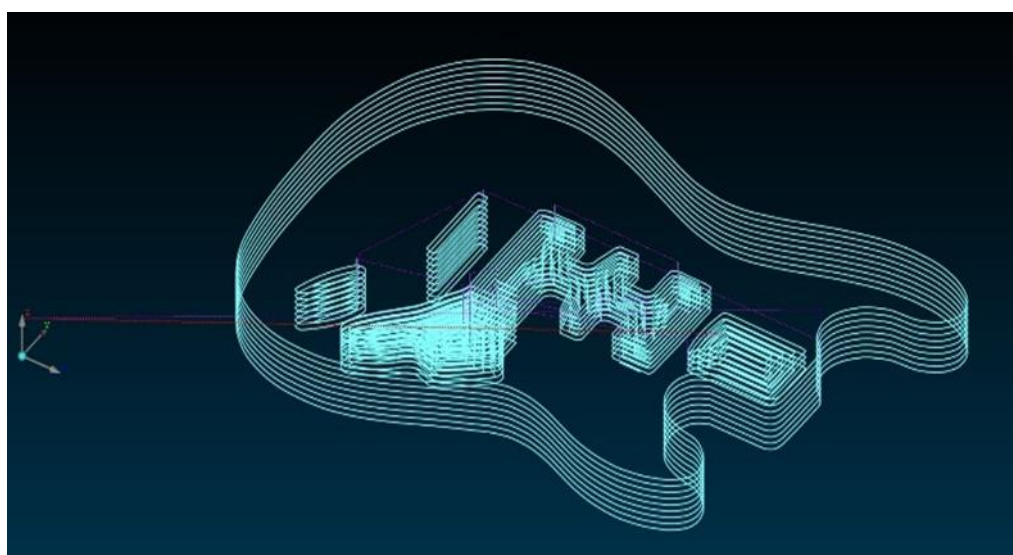
Moderni instrumenti koriste kombinaciju različitih materijala i tehnologija. [3] Na primjer, drvo se i dalje koristi zbog svojih izvrsnih akustičnih svojstava, dok su metali, polimeri i drugi sintetički materijali često korišteni za dijelove poput ključeva, mostova i elektronike.

Tehnologija poput računalno upravljanih strojeva (CNC) omogućuje izradu instrumenata s iznimnom preciznošću, dok softver za modeliranje pomaže u dizajniranju i simulaciji akustičkih svojstava prije nego što se instrument zapravo izradi. [4]

### 1.3 Značaj drveta u izradi glazbala

Drvo je jedan od najvažnijih materijala u izradi glazbala, a njegova uporaba seže tisućama godina unatrag. Od najranijih instrumenata do modernih remek-djela, drvo igra ključnu ulogu u oblikovanju tonaliteta, rezonancije i estetike glazbala.

Zbog svojih jedinstvenih akustičnih svojstava i obradivosti, drvo je nezamjenjiv materijal u izradi širokog spektra instrumenata, uključujući violine, gitare, klavire, harfe, i mnoga druga glazbala. [1]



Slika 6 3D modeliranje gitare: CNC strojni putovi za izradu tijela gitare  
[izvorno autor]

### 1.3.1 Akustična svojstva drveta

Drvo se odlikuje specifičnim akustičnim svojstvima koja ga čine pogodnim za izradu glazbala. [5] Ova svojstva uključuju:

1. Rezonancija: Drvo može pojačati vibracije koje stvaraju zvuk i tako pridonijeti jačini i kvaliteti tona. Na primjer, vrhunski akustični instrumenti koriste vrste drveta koje imaju visoku rezonantnost, što omogućava bogat i pun zvuk.
2. Tonalitet: Različite vrste drveta imaju različite tonalne karakteristike. Na primjer, mahagonij daje topliji i mekši zvuk, dok javor pruža svjetliji i oštiji ton. Odabir drveta ima izravan utjecaj na boju zvuka koji instrument proizvodi.
3. Održavanje zvuka (sustain): Određene vrste drveta pružaju dugotrajno održavanje zvuka, što je posebno važno za instrumente poput gitara. Drvo s dobrom sposobnošću održavanja vibracija omogućava bogatiji i trajniji ton. [3]

### 1.4 Utjecaj obrade drveta na zvuk

Obrada drveta također igra ključnu ulogu u konačnom zvuku instrumenta. Procesi poput sušenja, oblikovanja i završne obrade mogu značajno utjecati na akustična svojstva drveta. Tradicionalni procesi sušenja, poput prirodnog sušenja na zraku, često se preferiraju jer omogućuju drvu da postigne optimalne akustične karakteristike.

Završna obrada, uključujući lakiranje i poliranje, također može utjecati na zvuk instrumenta. Na primjer, predebeli slojevi laka mogu prigušiti rezonanciju drveta, dok pravilno nanesen tanki sloj omogućava drvu da slobodno vibrira.

#### Ekološki aspekti i održivost

Zbog sve veće potražnje za rijetkim vrstama drveta, poput palisandra i ebanovine, važnost održivog korištenja i zaštite šuma postala je ključna u izradi glazbala. Mnogi proizvođači danas koriste obnovljive izvore drveta i alternativne materijale kako bi smanjili utjecaj na okoliš, bez žrtvovanja kvalitete zvuka.

## 2 GITARA

Gitara je jedan od najprepoznatljivijih i najčešće korištenih žičanih instrumenata u svijetu. Zbog svoje svestranosti, gitara se koristi u različitim glazbenim žanrovima, uključujući klasičnu, flamenco, blues, rock, pop i jazz glazbu. Svojom jednostavnom konstrukcijom, gitara je postala omiljeni instrument među glazbenicima svih razina, od početnika do profesionalaca.

### 2.1 Općenito o gitari

#### Konstrukcija gitare

Gitara se sastoji od nekoliko osnovnih dijelova, od kojih svaki ima specifičnu funkciju u stvaranju zvuka :

1. Tijelo: Tijelo gitare služi kao rezonantna kutija koja pojačava zvuk nastao vibracijom žica. Tijelo može biti šuplje (kod akustičnih gitara) ili puno (kod električnih gitara). Oblik i veličina tijela igraju važnu ulogu u tonalitetu i glasnoći zvuka. [1]



Slika 7 Tijelo gitare [izvorno autor]

2. Vrat: Vrat gitare je dugačak, tanak dio instrumenta koji povezuje tijelo s glavom gitare. Na vratu se nalazi hvataljka ili pragovi, koji omogućuju gitaristu da pritisne žice na različitim točkama kako bi proizveo različite tonove.



**Slika 8 Vrat gitare [13]**

3. Pragovi na hvataljci: hvataljka je površina na vratu gitare na kojoj su postavljeni metalni pragovi. Pritisak žice između dva praga omogućuje promjenu visine tona. Broj pragova varira, ali većina modernih gitara ima između 19 i 24 praga. [1]



**Slika 9 Hvataljka i pragovi [14]**



4. **Žice:** Gitara obično ima šest žica, iako postoje varijante s manjim ili većim brojem žica. Žice su izrađene od različitih materijala, uključujući čelik, najlon ili kombinacije metala. Debljina i napetost žica također utječu na zvuk gitare.



Slika 10 Žice za gitaru [15]

5. **Most:** Most je dio gitare koji drži žice napetima iznad tijela. Kod akustičnih gitara, most također prenosi vibracije s žica na tijelo, dok kod električnih gitara on može uključivati mehanizme za finu prilagodbu tonova i podešavanje.



Slika 11 Most gitare [15]

6. Glava: Na glavi gitare nalaze se mašinicice za podešavanje žica (tuneri). Okretanjem tunera, gitarist podešava napetost žica, što mijenja visinu tonova koje žice proizvode.



Slika 12 Glava Gitare [15]

#### Različite vrste gitara

Postoji nekoliko glavnih vrsta gitara, od kojih svaka ima svoje karakteristike i primjenu:

1. Akustična gitara: Akustična gitara koristi šuplje tijelo za prirodno pojačavanje zvuka. Može biti klasična, s najlonskim žicama i širim vratom, ili akustična (folk), s čeličnim žicama i užim vratom. Akustične gitare su popularne zbog svoje svestranosti i sposobnosti da proizvode bogat, rezonantan ton bez potrebe za vanjskim pojačalom. [1]



Slika 13 Akustična gitara [15]



2. Električna gitara: Električna gitara koristi magnetske senzore za pretvorbu vibracija žica u električni signal koji se potom pojačava. Električne gitare imaju čvrsto tijelo, što smanjuje povratnu vezu i omogućava veću kontrolu nad zvukom. Ovaj tip gitare je ključan u rock, blues, jazz, i mnogim drugim modernim glazbenim stilovima.



Slika 14 Električna gitara [11]

3. Polu-akustična gitara: Polu-akustična gitara kombinira elemente akustične i električne gitare. Ima šuplje ili polu-šuplje tijelo, što joj daje topliji ton od električne gitare, ali također koristi senzore za pojačanje zvuka.



Slika 15 Polu-akustična gitara [15]

4. Bas gitara: Bas gitara je slična električnoj gitari, ali ima duži vrat i četiri, pet ili šest žica, koje su podešene za sviranje niskih tonova. [1] Bas gitara pruža osnovu ritma i harmonije u mnogim vrstama glazbe.



Slika 16 Bass gitara [15]

## 2.2 Povijest gitare

Gitaru kakvu danas poznajemo razvili su majstori izrade instrumenata u Španjolskoj tijekom 19. stoljeća. Antonio de Torres, jedan od najvažnijih graditelja gitara, zaslužan je za standardizaciju oblika i konstrukcije klasične gitare. Njegov rad postavio je temelje za modernu akustičnu gitaru, koja se danas koristi u klasičnoj, flamenco i popularnoj glazbi. [6]

Međutim, dolazak električne gitare u 20. stoljeću predstavljao je prekretnicu u povijesti glazbala. Dok je akustična gitara ovisila o rezonantnom tijelu za pojačavanje zvuka, električna gitara koristila je elektromagnetne senzore za pretvorbu vibracija žica u električni signal. Ovo je omogućilo gitaristima da pojačaju zvuk gitare daleko iznad onoga što je bilo moguće s akustičnim instrumentima, čime su stvoreni novi žanrovi glazbe poput rocka, bluesa i metala.

### 2.2.1 Izrada glazbala kroz povijest

Tradicionalna izrada glazbala bila je ručni posao, koji je zahtijevao visoku razinu vještine i poznavanje materijala. Majstori su ručno oblikovali drvo, metal i druge materijale kako bi stvorili instrumente s posebnim tonalitetom i estetikom. S vremenom, tehnološki napredak omogućio je precizniju i bržu izradu instrumenata.

U kontekstu električne gitare, izrada instrumenta uključuje kombinaciju tradicionalnih zanatskih tehnika i moderne tehnologije. Tijelo i vrat gitare često se izrađuju od različitih vrsta drva, od kojih svaka doprinosi specifičnim zvučnim karakteristikama. Na primjer, mahagonij se često koristi zbog svoje težine i toplog tona, dok javor pruža svjetliji, življi zvuk. [1]

### 2.2.2 Električna gitara: spoj tradicije i inovacije

Razvoj električne gitare započeo je u ranim 1930-im godinama, kada su inženjeri i glazbenici tražili načine da pojačaju zvuk akustičnih gitara. Jedan od prvih komercijalno uspješnih modela bio je Rickenbacker "Frying Pan", koji je koristio magnetske senzore za pretvorbu vibracija žica u električni signal.

Najveći napredak došao je s razvojem čvrstog tijela električne gitare, koje su eliminirale probleme povratne sprege koji su bili uobičajeni kod ranijih šupljih i polu-šupljih gitara. [6] Leo Fender i Les Paul bili su ključne osobe u ovom razvoju. Fender Telecaster (1950) i Gibson Les Paul (1952) postali su ikoni modernog dizajna električne gitare, definirajući zvukove rocka i bluesa.

### 2.2.3 Suvremena izrada električne gitare

Danas, izrada električnih gitara uključuje sofisticirane tehnike koje kombiniraju računalno vođenu preciznost (npr. CNC strojevi) s tradicionalnim ručnim radom. Električne komponente, poput senzora, elektronike i kontrola, ugrađuju se u tijelo gitare s velikom preciznošću, omogućujući prilagodbu i modifikaciju zvuka prema željama glazbenika.

Završna obrada, poput lakiranja i poliranja, također igra ključnu ulogu u estetici i zaštiti instrumenta, ali može utjecati i na zvuk.

## 2.3 Materijali korišteni u izradi gitare

Materijali korišteni u izradi gitare igraju ključnu ulogu u određivanju njezinih zvučnih karakteristika, trajnosti i estetskog izgleda. Izbor materijala za različite dijelove gitare pažljivo je promišljen kako bi se postigao željeni ton, rezonancija i stabilnost instrumenta. Ovdje ćemo detaljno razmotriti najvažnije materijale koji se koriste u izradi gitare.

### 2.3.1 Drvo

Drvo je najvažniji materijal u izradi gitare, a različite vrste drveta koriste se za različite dijelove instrumenta. Svaka vrsta drveta ima specifična akustična svojstva koja utječu na ton i rezonanciju gitare.

- Tijelo gitare:
  - Smreka: Često se koristi za gornju ploču akustičnih gitara zbog svoje lagane, ali čvrste strukture. Smreka pruža svijetli, rezonantan ton s izraženim visokim frekvencijama.
  - Cedro: Također popularan za gornje ploče, posebno kod klasičnih gitara. Cedro daje topliji i puniji ton, s naglašenim srednjim frekvencijama. [1]
  - Mahagonij: Koristi se za stražnju ploču i strane gitare. Mahagonij je gust i pruža topliji, tamniji ton s izraženijim srednjim frekvencijama.
  - Javor: Poznat po svojoj tvrdoći i svijetlom tonu, javor se često koristi za stražnju ploču i strane, osobito kod akustičnih i polu-akustičnih gitara. Njegova struktura pomaže u definiranju jasnog, artikuliranog zvuka.
- Vrat gitare:
  - Mahagonij: Čest izbor za vratove gitare zbog svoje stabilnosti i toplog tonaliteta. Mahagonij je dovoljno čvrst da izdrži napetost žica i pruža dobru rezonanciju.
  - Javor: Koristi se za vratove električnih gitara zbog svoje čvrstoće i oštrijeg tonaliteta. Javor također omogućuje glatku površinu za sviranje.
  - Palisandar (Rosewood): Često se koristi za hvataljku (fretboard) zbog svoje glatke teksture i bogatog, tamnog izgleda. Palisandar pruža toplinu i dubinu zvuka.

- Hvataljka (Fretboard):
  - Ebanovina: Tvrdo drvo koje se često koristi za pragove. Ebanovina je izuzetno gusta i izdržljiva, a pruža brz odgovor i artikuliran ton.
  - Palisandar (Rosewood): Osim za vratove, koristi se i za pragove zbog svoje glatke teksture i estetske privlačnosti.

### 2.3.2 Metali

Metali se koriste za dijelove gitare kao što su žice, pragovi, most i hardver.

- Žice:
  - Čelik i nikal: Najčešći materijali za žice na električnim gitarama. Čelične žice daju jasan i svijetli ton, dok žice s niklanom prevlakom pružaju topliji i mekši zvuk.
  - Bronca i mesing: Koriste se za žice akustičnih gitara, pri čemu brončane žice pružaju svjetliji, a mesingane topliji ton.
- Pragovi:
  - Niklana mjed: Najčešći materijal za izradu pragova. Niklovani pragovi su izdržljivi i otporni na trošenje, omogućujući dugotrajnu preciznost u sviranju.
- Most:
  - Mjed i čelik: Koriste se za mostove kod električnih gitara. Mjed pruža topliji ton, dok čelik daje svjetliji i oštiri zvuk.

### 2.3.3 Polimerni i kompozitni materijali

- Kobilica (Nut) i sedlo (saddle): Ovi dijelovi gitare, koji podupiru žice, često su izrađeni od polimera, grafita ili sintetičkih materijala. Bolji instrumenti mogu koristiti kosti, koje pružaju bolji ton i izdržljivost.
- Pickguard: Izrađen od polimera, pickguard štiti površinu gitare od ogrebotina koje nastaju tijekom sviranja. Obično se koristi kod električnih gitara i akustičnih gitara sa čeličnim žicama. [5]

#### 2.3.4 Elektronika (kod električnih gitara)

- **Senzori:** Magnetski senzori su srce električne gitare. Sastoje se od magneta omotanih žicom i pretvaraju vibracije žica u električni signal. Magnetski materijali poput alnico (aluminij, nikal, kobalt) i keramike određuju karakteristike tona.
- **Elektroničke komponente:** Kondenzatori, potenciometri i prekidači koriste se za podešavanje tona i glasnoće gitare, kao i za promjenu između različitih senzora.

### 3 ODABIR MATERIJALA ZA GITARSKO TIJELO

Odabir pravilnog materijala za izradu tijela gitare ima ključnu ulogu u definiranju njezinih zvučnih karakteristika, izgleda i trajnosti. Ovaj segment istraživanja usredotočuje se na proces odabira odgovarajućeg drveta za tijelo gitare te na objašnjenje razloga zbog kojih je taj odabir od vitalnog značaja.

Prvi korak u ovom procesu je pažljivo razmatranje različitih vrsta drva koje se koriste u izradi tijela gitare. Ovisno o preferencijama izvođača i žanru glazbe za koji je gitara namijenjena, može se koristiti mahagonij, jasen, orah, javor ili drugi materijali. Svako drvo ima svoje jedinstvene karakteristike u pogledu gustoće, gustoće zrna i akustičnih svojstava, što izravno utječe na zvuk gitare.

Razmatrajući različite vrste drva, bitno je uzeti u obzir kako će se odabrani materijal odraziti na tonalnost gitare. Na primjer, mahagonij se često koristi za tijelo gitara zbog svoje topline i dubine zvuka, dok jasen može pružiti svjetliji i svježiji ton. Oras i javor su također popularni izbori za različite stilove sviranja.

Nadalje, važno je razumjeti kako se različite vrste drva ponašaju tijekom procesa izrade i kako utječu na ukupnu estetiku gitare. Boja, tekstura i obrada drveta igraju ključnu ulogu u dizajnu gitare te mogu biti ključni faktori u odabiru materijala.

U ovom dijelu istraživanja razmotrit će se prednosti i ograničenja odabranih vrsta drva te kako njihove karakteristike utječu na kvalitetu gitare. Analizirat će se i praktični aspekti poput dostupnosti materijala i njihove ekonomske prihvatljivosti.

Kroz ovu analizu, cilj je pružiti sveobuhvatan pregled odabira drveta za tijelo gitare i osigurati da se odabere materijal koji najbolje odgovara glazbeničkim potrebama i željama, što je ključni korak u procesu izrade visokokvalitetnih električnih gitara.

U ovom koraku, odabrano je drvo jasen (engl. ash) kao materijal za izradu tijela gitare. Razlozi za ovaj odabir su pažljivo promišljeni i temelje se na svojstvima koja jasen nudi.

Jasen je često preferirani materijal za tijela gitara zbog svojih specifičnih karakteristika. Prvenstveno se ističe svojom izuzetnom gustoćom i čvrstoćom, što mu daje sposobnost reproduciranja bogatih i punih tonova. Ovo je osobito važno u kontekstu električnih gitara, gdje je kvalitetan zvuk od suštinskog značaja.

Osim toga, jasen ima odlične akustične svojstva i rezonancu, što može rezultirati živim i definiranim tonovima. Njegova svjetlija boja i privlačna tekstura često su poželjni estetski faktori u izradi gitara. [3]

Odabrani jasen omogućuje i fleksibilnost u oblikovanju tijela gitare i daje prostor za kreativne dizajnerske elemente. Ovaj materijal također ima dobru sposobnost prenošenja vibracija žica na senzore, što dodatno poboljšava zvuk gitare.



**Slika 17 Priprema jasena za CNC obradu [izvorno autor]**



## 4 POSTUPAK IZRADE GITARE KORISTEĆI CNC TEHNOLOGIJU

Izrada električne gitare koristeći CNC tehnologiju predstavlja sofisticirani proces koji kombinira digitalnu preciznost s tradicionalnim elementima dizajna. Ovaj postupak pruža niz prednosti, od točnosti izrade do konzistentnosti proizvoda. Evo detaljnog opisa koraka u procesu izrade gitare koristeći CNC tehnologiju:

### 4.1 Programiranje CNC stroja za izradu tijela gitare

U procesu izrade tijela gitare pomoću CNC tehnologije, prva faza odnosi se na pažljivo programiranje CNC stroja, ključnog alata u proizvodnom lancu. Ovaj proces integrira sofisticirane softverske alate kako bi se postigla visoka preciznost i efikasnost tijekom izrade tijela gitare.

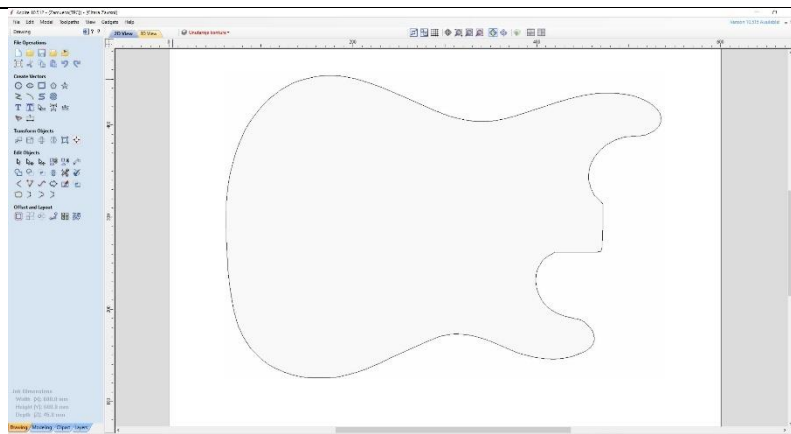
#### 4.1.1 Stvaranje CAD modela tijela gitare

Programiranje započinje stvaranjem digitalnog modela tijela gitare pomoću CAD (Computer-Aided Design) softvera. Ovaj model temeljit će se isključivo na tijelu gitare, s obzirom na kupljene komponente poput vrata, senzora i ostalih dijelova. Unutar CAD modela definiraju se parametri poput oblika, dimenzija, kontura, te detalja poput rezbara i drugih estetskih karakteristika.

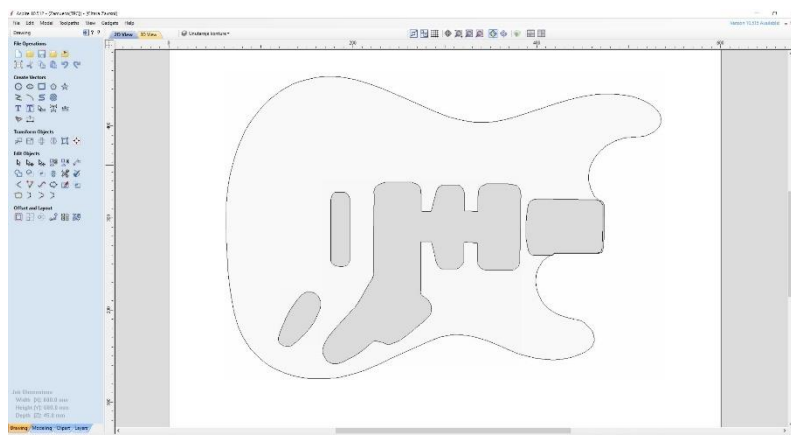
Preciznost u ovom koraku ključna je za postizanje konzistentnih rezultata, a programer pažljivo prilagođava svaki aspekt kako bi odražavao željeni dizajn tijela gitare.



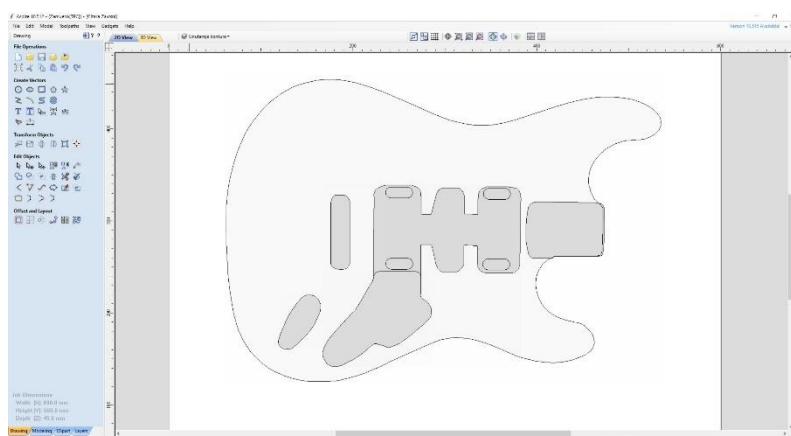
**Slika 18 3D model tijela gitare: Prva skica izrade od drva [izvorno autor]**



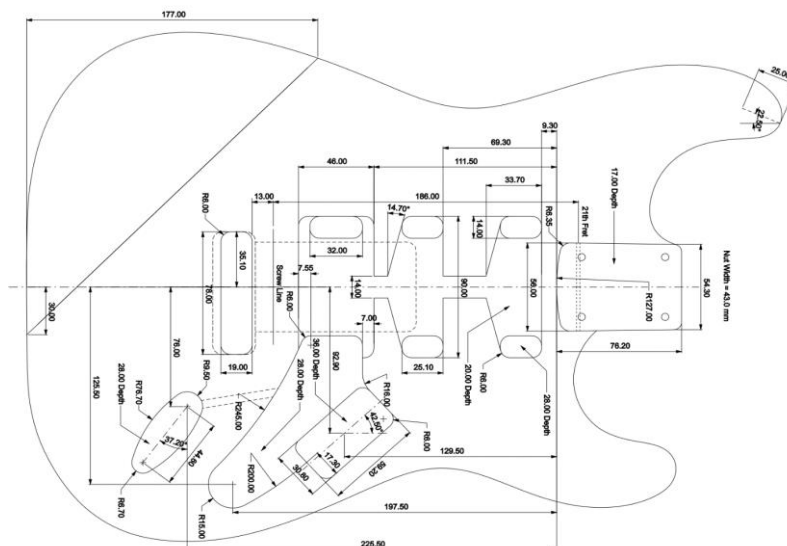
Slika 19 Obrub gitare u CAD programu [izvorno autor]



Slika 20 Unutarnji plitki dijelovi u CAD programu [izvorno autor]



Slika 21 Svi unutarnji dijelovi u CAD programu [izvorno autor]



Slika 22 Načrt tijela električne gitare [izvorno autor]

#### 4.1.2 Odabir alata za CNC obradu

Odabir odgovarajućih alata za CNC obradu predstavlja jedan od ključnih koraka u izradi električne gitare od jasena. Jasen kao materijal ima specifična svojstva poput tvrdoće, elastičnosti i izrazite rezonantnosti, što zahtijeva pažljivo planiranje pri izboru alata kako bi se postigla visoka preciznost i kvaliteta obrade. Pravilna selekcija alata ne samo da utječe na kvalitetu završne obrade površina, već i na efikasnost procesa te dugotrajnost samih alata.



**Slika 23 Glodalo za izradu kontura te udubina**  
[izvorno autor]

Korištenje glodala promjera  $D=12$  mm za izradu kontura i udubina na tijelu gitare od jasena odabrano je zbog nekoliko ključnih razloga. Prije svega, veći promjer glodala omogućuje bržu i učinkovitiju obradu većih površina, što je idealno za konture gitare koje zahtijevaju glatke i precizne prijelaze[5]. Osim toga, glodalo  $D=12$  mm pruža veću stabilnost tijekom obrade, smanjujući vibracije i povećavajući točnost završne obrade.

Karakteristike glodala korištenog za ovu namjenu uključuju:

- Materijal glodala: Izrađeno je od tvrdog karbidnog materijala koji osigurava dugotrajnost i otpornost na habanje, što je posebno važno pri obradi tvrdog drva poput jasena.
- Broj reznih rubova: Glodalo ima dva spiralna rezna ruba (zuba), što omogućuje glatko rezanje i učinkovito uklanjanje strugotine. To smanjuje mogućnost zagrijavanja i oštećenja materijala.
- Geometrija reznih rubova: Spiralna (helikalna) geometrija reznih rubova poboljšava kvalitetu obrađene površine i smanjuje opterećenje na alat, što rezultira duljim vijekom trajanja glodala.



**Slika 24 V- glodalo za graviranje [izvorno autor]**

Korištenje V-glodala s vršnim kutom od  $\varphi = 90^\circ$  i najvećim promjerom od  $D=16$  mm je pogodno za graviranje na tijelo gitare. Ovo glodalo ima dvije rezne oštrice, ali za razliku od prethodnog, nije spiralno. V-glodalo je idealno za precizne gravure i detaljne radove jer oblik njegove oštrice omogućuje stvaranje oštih i jasnih linija u materijalu[5].

Karakteristike korištenog V-glodala uključuju:

- Kut oštrice od 90 stupnjeva: Ovaj kut omogućuje stvaranje gravura s pravilnim V-profilom, što je posebno pogodno za isticanje detalja u logotipu i potpisu.
- Najveći promjer od  $D=16$  mm: Veći promjer osigurava stabilnost alata tijekom graviranja i omogućuje obradu većih područja bez gubitka preciznosti.
- Broj reznih rubova: Glodalo ima dvije rezne oštrice koje pružaju glatko i precizno rezanje, smanjujući mogućnost oštećenja finih detalja u gravuri.



**Slika 25** Profilno glodalo [izvorno autor]

Profilno glodalo s oblim stranicama je pogodno za obradu rubova. Ovo glodalo omogućuje stvaranje glatkih i estetski ugodnih poluobljih rubova, što poboljšava ergonomiju i ukupni dizajn instrumenta. Za razliku od prethodnih glodala koja su korištena na CNC stroju, ovo profilno glodalo se koristi u ručnom frezeru kako bi se postigla veća kontrola pri obradi rubova[5].

#### 4.1.3 Generiranje G-koda putem CAM softvera

Nakon završetka CAD modela, programer koristi CAM (Computer-Aided Manufacturing) softver za generiranje G-koda. G-kod predstavlja niz numeričkih naredbi koje CNC stroj interpretira tijekom procesa rezanja. Ovaj softver omogućuje programeru fino podešavanje postavki rezanja, brzina alata, te drugih parametara, čime se optimizira proces izrade.

Cilj ovog koraka je postići maksimalnu preciznost i efikasnost tijekom obrade materijala. Prilagođeni G-kod osigurava optimalno iskorištavanje resursa, minimizira otpad materijala i ubrzava proces proizvodnje.

```
T1M6
G17
G0Z30.000
G0X0.000Y0.000S18000M3
G0X411.897Y283.965Z5.000
G1Z-4.750F300.0
G1X413.770Y284.543F1000.0
X414.719Y284.774
X416.715Y285.172
X417.008Y285.217
X419.220Y285.455
X419.808Y285.490
X421.258Y285.533
X421.888Y285.536
X422.988Y285.571
X424.444Y285.582
X433.714Y285.551
X441.139Y285.560
X449.284Y285.602
```

**Slika 26 Primjer G-koda**  
**[izvorno autor]**

#### 4.1.4 Prednosti programiranja CNC stroja u izradi tijela gitare

Programiranje CNC stroja za izradu tijela gitare pruža niz značajnih prednosti. Prvo, digitalni model u CAD softveru omogućuje vrhunsku kontrolu nad svakim aspektom tijela gitare, uključujući dimenzije, oblik te sve estetske detalje. Ova preciznost osigurava dosljednost između proizvedenih tijela gitara, bez varijacija.

Generiranje optimiziranog G-koda putem CAM softvera dalje povećava učinkovitost proizvodnje. Prilagođeni parametri rezanja, brzine alata i ostali faktori minimiziraju pogreške u proizvodnji, smanjuju otpad materijala i ubrzavaju cikluse proizvodnje.

U konačnici, ovaj integrirani pristup CAD/CAM softvera i CNC stroja omogućuje proizvodnju tijela gitare s vrhunskom preciznošću i dosljednošću, postavljajući visoke standarde u industriji izrade glazbenih instrumenata.



**Slika 27 Precizna izrada gitare [izvorno autor]**

## 4.2 Rezanje dijelova na CNC stroju za izradu tijela gitare

Proces rezanja dijelova tijela gitare na CNC stroju predstavlja suptilan spoj preciznosti, tehnološke izvrsnosti i stručnosti u radu s CNC opremom. Ovaj segment uključuje pažljivo odabrane alate, kao što su rezači, bušilice i freze, koji se koriste s vrhunskom kontrolom kako bi se postigli dijelovi tijela gitare prema unaprijed definiranim specifikacijama.

### 4.2.1 Tehnologija rezanja na CNC stroju

Koristeći CAD/CAM modeliranje, već definiranu geometriju tijela gitare precizno prenosi na CNC stroj. U ovom kontekstu, programiranje CNC stroja uključuje odabir odgovarajućih alata za svaki korak procesa. Pravilno odabrani alati uključuju rezače za grubo oblikovanje, bušilice za izradu rupa, freze za finu obradu, te ostale specijalizirane instrumente ovisno o detaljima dizajna.

### 4.2.2 Prilagođavanje alata i opreme

U procesu rezanja, CNC programer pažljivo prilagođava parametre alata, uključujući brzinu rezanja, dubinu, i kut rezanja. Ovaj prilagođeni pristup osigurava optimalnu učinkovitost i kvalitetu obrade materijala. Kroz ovaj korak, programer može postići željeni oblik, dimenzije i teksture dijelova tijela gitare.



4.2.3 Rezanje materijala i kvaliteta dijelova Materijal koji se najčešće koristi za tijelo gitare je drvo, s obzirom na svoje akustične i estetske karakteristike. CNC stroj koristi ove alate za precizno rezanje dijelova iz sirovih drvenih ploča. Važno je naglasiti da CNC stroj pruža izuzetnu točnost u rezanju, čime eliminira varijacije koje bi se mogle pojaviti pri ručnom rezanju.



**Slika 28** Drvo nakon CNC obrade [izvorno autor]



**Slika 29** Ručna obrada teško obradivih područja tijela [izvorno autor]

#### 4.2.4 Lakiranje tijela

Lak pomaže u zaštiti drva od vlage i prljavštine, što je ključno za očuvanje zvuka i strukture gitare. Osim toga, to može drastično poboljšati izgled instrumenta. Različiti tipovi laka daju različite efekte, a mogu čak i utjecati na zvuk.



**Slika 30 Prelakirano tijelo gitare [izvorno autor]**

#### 4.2.5 Kontrola kvalitete i završna obrada

Nakon što su dijelovi izrezani, provodi se pažljiva kontrola kvalitete kako bi se osiguralo da zadovoljavaju najviše standarde. Dodatno, po potrebi se može provesti završna obrada dijelova kako bi se postigla željena površinska tekstura, glatkoća i estetski dojam.

U zaključku, proces rezanja dijelova na CNC stroju za izradu tijela gitare predstavlja sinonim za tehnološku izvrsnost, preciznost i konzistentnost. Ovaj segment u proizvodnom procesu osigurava da svaki komad tijela gitare ispunjava visoke standarde kvalitete.

### 4.3 Sastavljanje komponenata na gitari izrađenoj na CNC stroju

U procesu proizvodnje gitare nakon završene faze rezanja i oblikovanja dijelova, ključan korak je detaljno sastavljanje komponenata. Ova faza predstavlja spajanje raznih elemenata, uključujući senzore, elektroniku, vratne pragove, most i ostale dijelove, na tijelo gitare. Sve komponente postavljaju se s iznimnom preciznošću prema unaprijed definiranim specifikacijama kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i iznimna kvaliteta zvuka gitare.

#### 4.3.1 Prilagodba senzora i elektronike

Jedan od ključnih elemenata tijekom ove faze je prilagodba senzora i elektronike. Senzori, odgovorni za hvatanje zvuka žica, postavljaju se s pažnjom kako bi se postigao željeni ton. Elektronika, uključujući potenciometre, prekidače i druge komponente, postavlja se precizno kako bi se osigurala besprijekorna električna funkcionalnost gitare.

#### 4.3.2 Postavljanje vratnih pragova i mosta

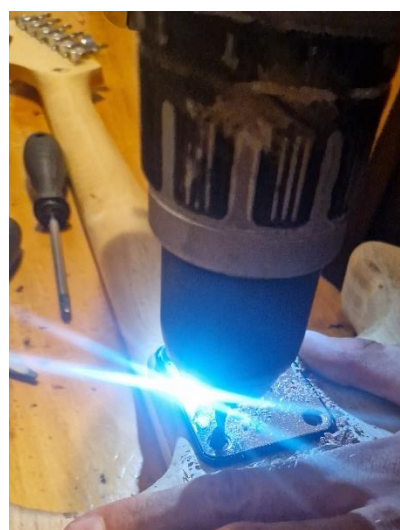
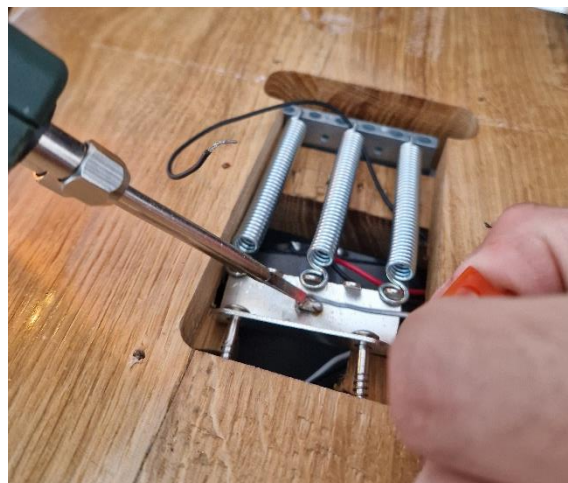
Vratni pragovi, važni za određivanje visine žica nad vratom gitare, postavljaju se s preciznošću kako bi se postigla udobnost sviranja i pravilna intonacija. Most, koji podržava žice i prenosi vibracije na tijelo gitare, postavlja se također prema specifičnim mjerenjima, osiguravajući optimalnu rezonancu.



Slika 31 Postavljanje mosta gitare [izvorno autor]

### 4.3.3 Pažljivo postavljanje svih komponenti

Svaki dio, od vratnog držača do okova, postavlja se s pažljivim prilagođavanjem kako bi se postigla harmonična cjelina. Ovaj korak uključuje i postavljanje okova za žice, tuning mašinicu i ostalih sitnica koje utječu na stabilnost i preciznost intonacije.



**Slika 32 Ugradnja zaštitne ploče i pričvršćivanje vrata [izvorno autor]**



#### 4.3.4 Kvalitetna kontrola i završni pregled

Nakon što su sve komponente postavljene, slijedi temeljita kontrola kvalitete. Svaki instrument prolazi kroz provjeru kako bi se osiguralo da sve komponente rade ispravno i da gitara zadovoljava najviše standarde. Ovaj korak uključuje i vizualni pregled kako bi se osigurala besprijekorna estetika.



**Slika 33 Poledina gitare [izvorno autor]**



**Slika 34 Prednji dio gitare [izvorno autor]**

## **5 ZAKLJUČAK**

Primjena CNC tehnologije u izradi gitara značajno je unaprijedila proizvodni proces, omogućujući preciznu i učinkovitu obradu materijala. Kroz stvaranje CAD modela, odabir optimalnih alata i generiranje G-koda putem CAM softvera, postignuta je visoka razina točnosti u izradi tijela gitare što je ključno za kvalitetu zvuka i performanse instrumenta.

Eliminiranjem varijacija koje su često prisutne kod ručne izrade, CNC strojevi osiguravaju konzistentnost i kvalitetu gotovih proizvoda. Iako zahtijevaju određena predznanja u programiranju i radu s CAD/CAM softverom, prednosti ove tehnologije uključuju ubrzani proces proizvodnje, smanjenje otpada materijala i mogućnost ponovljive preciznosti.

Ovaj rad pokazuje da CNC tehnologija nije samo učinkovita alternativa tradicionalnim metodama izrade električnih gitara, već i sredstvo koje omogućuje ispunjavanje visokih estetskih i funkcionalnih standarda, pružajući konkurentnost na tržištu kvalitetnih glazbenih instrumenata.

## LITERATURA

- [1] Blažević, D.: "Primjena drva kao konstrukcijskog materijala.", Osijek, 2015.
- [2] Franz, M.: "Mehanička svojstva materijala", Zagreb, 1998.
- [3] Kučić-Mirković, S.: "Struktura materijala i njezin utjecaj na svojstva.", Zagreb, 2023.
- [4] "Inženjerski priručnik ip4", Proizvodno strojarstvo, Materijali, Školska knjiga, Zagreb, 1998.
- [5] Kraut, B.: "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [6] Gajić, S., Sentić: "Ispitivanje tehničkih materijala", Zagreb, 2005.
- [7] Rilm, dostupno na: <https://rilm.wordpress.com/tag/china/>, pristupljeno 15.8.2024.
- [8] Ashmolean, dostupno na: <https://www.ashmolean.org/renaissance-musical-instruments-research-project>, pristupljeno 21.8.2024.
- [9] Janroehrmann, dostupno na: <https://www.janroehrmann.de/>, pristupljeno 15.8.2024.
- [10] Robb Report, dostupno na: <https://robbreport.com/shelter/art-collectibles/les-pauls-first-electric-gibson-guitar-auctions-1234631253/>, pristupljeno 24.7.2024.
- [11] Ozone, dostupno na: <https://www.ozone.hr/product/elektri-na-gitara-eko-s-300-naran-asta-bijela/>, pristupljeno 2.9.2024.
- [12] Khan Academy, dostupno na: <https://www.khanacademy.org/science/hs-physics/x215e29cb31244fa1:types-of-interactions/x215e29cb31244fa1:electric-and-magnetic-fields/a/electric-and-magnetic-fields>, pristupljeno 14.7.2024.
- [13] Guitarbuild dostupno na: <https://www.guitarbuild.co.uk/>, pristupljeno 14.7.2024.
- [14] Khan Academy, dostupno na: <https://www.guitarworld.com/features/the-evolution-of-frets>, pristupljeno 10.7.2024.
- [15] Gear 4 music, dostupno na: <https://www.gear4music.com/>, pristupljeno 6.7.2024

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc