



**FAKULTA  
ŠTOJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

**Přesné strojní obrábění dřeva**

**Precise machine wood cutting**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2021**

**Bc. Jan KRŠŇÁK**

**Studijní program:** VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** Studijní program je bezoborový

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Tomíček, Ph.D.,

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kršňák** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **456368**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Přesné strojní obrábění dřeva**

Název diplomové práce anglicky:

**Precise machine wood cutting**

Pokyny pro vypracování:

Obrábění dřeva pomocí strojního obrábění je problematické, protože se jedná o nehomogenní materiál s velmi specifickými směrově orientovanými vlastnostmi. Přesto i z tohoto materiálu jsou požadovány přesné výrobky. Cílem práce je se zaměřit na obrábění dřeva, shrnout známé problémy a vlastnosti obrábění dřeva a využít je pro realizaci výrobního postupu na vybranou součást:

- 1) Rešerše na téma obrábění dřeva a stanovení zásad postupů pro dřevo
- 2) Využití CAM pro obrábění dřeva, softwarová podpora obrábění dřeva
- 3) Analýza výrobku a návrh výrobního postupu
- 4) Realizace výrobního postupu
- 5) Vyhodnocení výroby tělesa, sběr poznatků a doporučení pro další výrobu
- 6) Měření součástí, hodnocení přesnosti
- 7) Závěry práce

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jan Tomíček, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jan Tomíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Přesné strojní obrábění dřeva“ vypracoval samostatně s použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury, a pod vedením svého vedoucího diplomové práce.

V Praze dne .....

Podpis .....



## **Poděkování:**

Na úvod mé diplomové práce bych rád poděkoval Ing. Janovi Tomíčkoví, Ph.D., za jeho ochotu, cenné rady, poskytnuté konzultace a čas při zpracování této práce.

## Abstrakt:

Tato diplomová práce řeší přesné strojní obrábění dřeva. Cílem bylo zaměřením se na obrábění dřeva a shrnout problémy s ním spojené. Vyhodnocení probíhalo na základě realizace výrobního postupu mé vybrané součásti. Při zhotovování výrobku vzniklo několik vad plynoucích ze špatně zvolené technologie, nebo z vlastností dřeva. S dodržením zásad frézování dřeva se mi povedlo správně vyrobit součást. V závěru jsou formulovány konkrétní kroky, kterými dosahujeme přesnosti, a zároveň důležité aspekty u výroby produktů ze dřeva.

**Klíčová slova:** obrábění dřeva, CNC frézování, frézování dřeva, dřevoobráběcí nástroje, technologická příprava dřeva, vlastnosti dřeva

## Abstract:

This diploma solves precision of wood machining. My target was to focus on woodworking and reduce the problems around. The evaluation took place on the basis of the implementation of the production process with my selected components. During the manufacture of the product was created couple of several defects resulting from poorly chosen technology or from the properties of the wood. I managed to make the part correctly in compliance with the principles of wood milling. I formulated specific steps at the end and those steps achieve accuracy and they are important in the manufacture of wood products.

**Keywords:** woodworking, CNC milling, wood milling, woodworking tools, technological wood preparation, wood properties



## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Zpracování dřeva .....	9
2.1. Obrábění dřeva .....	10
2.1.1. Řezání .....	10
2.1.2. Vrtání a vykržování .....	11
2.1.3. Dlabání .....	12
2.1.4. Soustružení .....	12
2.1.5. Frézování .....	13
2.1.6. Frézování válcovými frézami .....	13
2.1.7. Frézování čelními frézami .....	14
2.1.8. Broušení .....	14
2.2. CNC frézování .....	15
2.2.1. Nástroje pro CNC frézování .....	17
2.2.2. Způsoby upínání obrobků .....	21
3. Technologická příprava dřeva .....	24
3.1. Třídění a odkorňování .....	24
3.2. Řezání kmenů na řezivo .....	24
3.3. Třídění a hodnocení .....	26
3.4. Sušení .....	26
3.4.1. Přirozené sušení dřeva .....	27
3.4.2. Umělé sušení dřeva .....	27
3.5. Impregnace dřeva .....	28
4. Vlastnosti dřeva .....	29
4.1. Fyzikální vlastnosti dřeva .....	29
4.1.1. Barva dřeva .....	29
4.1.2. Hustota .....	29
4.1.3. Vlhkost .....	29
4.1.4. Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti .....	30
4.2. Mechanické vlastnosti .....	30
4.2.1. Pružnost a pevnost .....	31
4.2.2. Tvrdost .....	31
4.3. Technologické vlastnosti .....	32
4.3.1. Obrobitelnost .....	32
4.3.2. Štípatelnost .....	32
5. Využití CAM pro obrábění dřeva, softwarová podpora obrábění dřeva .....	33
6. Analýza výrobku a návrh výrobního postupu .....	35
6.1. Analýza výrobku .....	35
6.2. Návrh výrobního postupu .....	36
7. Realizace výrobního postupu .....	37
7.1. Představení použitého softwaru .....	37
7.2. Stroje potřebné pro výrobu .....	38
7.3. Návrh a výroba šablony .....	41



7.3.1. Návrh.....	41
7.3.2. Výroba šablony .....	42
7.4. Návrh a výroba polotovaru .....	49
7.4.1. Návrh.....	49
7.4.2. Výroba polotovaru .....	50
7.5. Vrtání děr do polotovaru .....	52
7.6. Obrábění modelu .....	53
7.6.1. Zásady frézování dřeva .....	53
7.6.2. Řezné podmínky .....	58
7.6.3. Tvorba obrábění v CAD/CAM.....	59
7.6.4. Frézování – první upnutí.....	70
7.6.5. Frézování – druhé upnutí.....	71
7.7. Povrchová úprava .....	76
7.8. Finální měření .....	79
7.9. Zkompletování a balení .....	79
8. Doporučení pro další výrobu .....	80
9. Závěr.....	82
10. Zdroje .....	83
11. Seznam obrázků.....	87
12. Seznam tabulek.....	89
13. Seznam příloh .....	89

# 1. Úvod

V mé práci s názvem Přesné stojní obrábění dřeva se budu zabývat problematikou, která je se dřevem spojená. Dřevo je totiž nehomogenní materiál se specifickými vlastnostmi. Nejvíce se zaměřím na frézování, pomocí kterého budu realizovat výrobu produktu. Cílem práce je shrnout problémy obrábění dřeva a najít pro ně co nejlepší řešení.

V teoretické části jsou blíže popsány druhy obrábění dřeva. Ve větším měřítku je rozvedeno CNC frézování. V navazující kapitole je popsána technologická příprava dřeva. Jak probíhá jeho zpracování od stromu až ke koncovému uživateli. Dále jsem se věnoval vlastnostem dřeva. Jeho fyzikálním, mechanickým a technologickým vlastnostem. Nakonec jsem zmínil softwarovou podporu pro zpracování dřeva. Snažil jsem se najít CAM programy, které se přímo na něj zaměřují.

V praktické části jsem se věnoval konkrétnímu výrobku. Nejprve jsem provedl jeho analýzu a navrhl pro něj výrobní postup. Následně jsem pokračoval k realizaci výrobního postupu. K výrobě jsem nejprve navrhnul a vyrobil šablonu, která slouží pro upínání. Poté jsem navrhnul a zhotovil polotovar. Před samotným obráběním jsem nejdříve stanovil zásady frézování dřeva, jež jsem při následné výrobě dodržel. Pro ověření jsem pro některé ze zásad provedl samostatné frézování. Pro obrábění na stroji jsem zprvu musel pracovat v CAD/CAM, který jsem si zvolil Rhinoceros 5. Zde jsem vytvořil obrábění pomocí různých strategií. Po ověření drah nástroje jsem vygeneroval finální CL data, které jsem postprocesorem převedl do jazyka stroje MAKAM PM 270, a tak mi vznikl NC kód. Následovalo frézování na stroji, jenž probíhalo na dvě upnutí. Během frézování vznikly různé chyby, které jsem se snažil vysvětlit a odstranit.



## 2. Zpracování dřeva

Zpracování dřeva je jedním z nejstarších výrobních postupů, jelikož je základním materiálem používaným k výrobě přístrojů, nástrojů, nábytku, hudebních nástrojů a na stavbách. Na rozdíl od uměle vytvořených materiálů není dřevo homogenní, ale je nehomogenní biologický materiál takzvaný živý. Zpracování se lze zjednodušeně rozdělit na mechanické a chemické. Při chemickém zpracování se neporušují dřevní vlákna a na dřevo působí teplo, tlak, voda a jiné chemické sloučeniny. Nejvíce využívané chemické činnosti jsou lisování a ohýbání. Při mechanickém se oddělují dřevní vlákna. K tomu využíváme různé nástroje. [1] [2]

Tabulka 1. Základní třídění mechanických technologií [1]

<b>OBRÁBĚNÍ</b>	<b>TŘÍSKOVÉ</b>	Hoblování		
		Frézování		
		Soustružení a okružení		
		Vrtání		
		Dlabání		
		Škrábání		
		Rašplování a pilování		
		Broušení		
		Leštění		
	<b>BEZTŘÍSKOVÉ</b>	<b>HLAZENÍ</b>	Smykovým třením za studena	
			Smykovým třením za tepla	
			Valivým třením za tepla	
		<b>KONCENTROVANÁ ENERGIE</b>	Tepelnou (laser)	
			Hydromechanickou	
<b>TVAROVÁNÍ</b>		Tvarové lisování		
		Ohýbání		
<b>DĚLENÍ</b>	<b>BEZTŘÍSKOVÉ</b>	Stříhání kulatiny a řeziva		
		Štípání		
		Dělení nožovými kotouči		
		Impulsové rázové řezání nožem		
	<b>TŘÍSKOVÉ</b>	<b>S VELKOU TŘÍSKOU</b>	Krájení dých a destiček	
			Krájení dřevní slámy	
			Stříhání a vystřihování	
			Loupání dých	
		<b>S MALOU TŘÍSKOU</b>	Sekání štěpek	
			Krájení a frézování malých třísek	
			Drcení a egalizace třísek	
			Mletí třísek a pilin	
	<b>ROZVLÁKŇOVÁNÍ</b>	Hydromechanická defibrace a hydratace		
Expanzní defibrace				

## 2.1. Obrábění dřeva

Obrábění dřeva je složitý proces, který je ovlivňován především fyzikálními, mechanickými a technologickými vlastnostmi jak samotného materiálu, tak i nástroje. Při technologickém procesu obrábění dřeva dochází k působení cizího tělesa (řezného nástroje) na dřevěný obrobek. Odstraňuje se při tom určitá část hmoty za účelem rozdělení nebo pro získání požadovaného tvaru o určité kvalitě jeho povrchu. Odebraný materiál odchází ve formě třísek nebo pilin. Obrábění se dělí na ruční a strojní. V dnešní době stroje a zařízení nahrazují klasické ruční opracování. Jsou rychlejší, přesnější a s jejich pomocí uděláme více práce za stejný čas. [1] [3]

### 2.1.1. Řezání

Řezáním se nazývá dělení materiálu pomocí pily. Řezání lze rozdělit podle směru dřevních vláken, a to na řezání ve směru, podél a napříč dřevních vláken. Podle směru musíme dbát nejen na správnou volbu pily, ale také na správný rozvod pilových zubů, sklon a tvar. [4]

*Tabulka 2. Rozdělení pil a jejich nástrojů [1]*

Pila	Nástroj
Pásová	Pilový pás
Rámová	Pilový list
Kotoučová	Pilový kotouč
Řetězová	Pilový řetěz

Nejčastěji se pracuje s pilami pásovými a kotoučovými. Pily mají dle způsobu využití různé velikosti a také konstrukce. [3]



*Obrázek 1. Pásová pila (vlevo), kotoučová pila (vpravo) [1]*

### 2.1.2. Vrtání a vykružování

Vrtání je třískové obrábění sloužící k vytvoření otvorů do dřeva. Vykružování je vrtání pomocí vykružovacího vrtáku. Ten používáme, pokud potřebujeme vyvrtat větší otvory. Rotačním pohybem nástroje se vytváří díra a posuv probíhá buď nástrojem, nebo obrobkem ve směru osy vrtáku. Vrták se upíná do sklíčidla. Vytvořené otvory mohou být průběžné nebo neprůběžné, rovné, pod úhlem i stupňovité. [4]

*Tabulka 3. Rozdělení vrtaček [1]*

<b>Konstrukce</b>	Jednovřetenové
	Vícevřetenové
	Mnovřetenové
	Mnovřeteníkové
<b>Poloha vrtací hlavy</b>	Horizontální
	Vertikální
	Přenosné (ruční)
<b>Druh operace</b>	Kolíkovací
	Dlabací
	Vyspravovací
	Na konstrukční otvory
	Rybinovací
	Speciální



*Obrázek 2. Jednovřetenová vertikální vrtačka [1]*

### 2.1.3. Dlabání

Dlabání slouží pro vytvoření podélných otvorů do materiálu. K vytvoření otvorů (dlabů) slouží dlabací vrták nebo řetěz. Při zhotovování dlabu se nejprve vytvoří axiální otvor, který se rozšíří bočními pohyby. Šířka a hloubka tlaku se nastavují pomocí dorazů a dorazových kolíků. Strojní dlabání se hlavně uplatňuje při výrobě nábytku. Ve velkovýrobě se plnému automatizování používají CNC stroje se stopkovými frézami. [4]



Obrázek 3. Dlabací vrtačka [1]

### 2.1.4. Soustružení

Soustružení používáme k solidnějšímu opracování hrubšího základního materiálu do kruhového průřezu. Dřevěný materiál je většinou upnut na obou koncích mezi vřetenou a koník a otáčí se jedním směrem. Soustružící nástroj soustruží díl příčně nebo podélně a je veden buď ručně, nebo mechanicky. V dnešní době se využívají prioritně CNC soustruhy. Soustruhy na dřevo mají menší a jednodušší konstrukce než soustruhy na kov, a proto mají tendenci stát méně. [3] [4]



Obrázek 4: Hrotový soustruh [3]

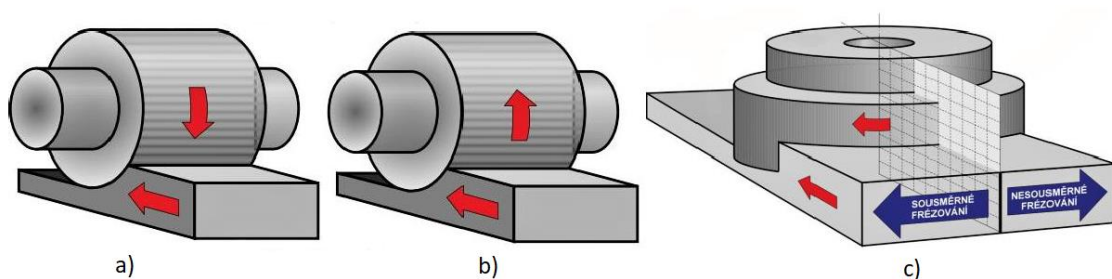
### 2.1.5. Frézování

Při frézování dosahujeme prostřednictvím rotujícího nástroje námi požadovaných tvarů a kvalit povrchu. Frézovací nástroje mohou nabývat od jednoduchých až po velmi tvarově složité geometrie. Podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozdělujeme frézy čelní a válcové. Čelní mají osu nástroje kolmou na obráběnou plochu a válcové zase rovnoběžnou. [1]

Podle zařezávání břitů do materiálu dělíme frézování na sousledné a nesousledné.

Při sousledném se fréza točí ve stejném smyslu jako posuv. Při započetí řezu je tloušťka třísky maximální, postupně se snižuje až k řezu, kde dosahuje nulové hodnoty. Tím se chrání břit před odíráním a obrušováním o obráběný povrch před jeho vlastním spuštěním řezu. Obrobená plocha je kvalitnější než při nesousledném frézování. [7] [8]

Při nesousledném se fréza otáčí proti směru posuvu. Tříska při řezu postupně roste od nuly až do maximální tloušťky. Při tomto frézování se zuby zpočátku odírají o obrobenou plochu. Tím se zahřívají a otupují se. [7] [8]



Obrázek 5. a) válcové sousledné frézování, b) válcové nesousledné frézování, c) druhy čelního frézování [1]

### 2.1.6. Frézování válcovými frézami

Frézování válcovými frézami se využívá při rovinném frézování. Po rozřezání materiálu je nutné materiál přesně, rovně a pravouhle opracovat. K tomu slouží srovnávací a tloušťkovací frézky.

Srovnávací frézky se používají pro srovnání ploch prken, fošen a hranolů do roviny. Plochy a boky se zarovnávají do pravého úhlu. Frézuje se pomocí otáčející nožové hřídele. Na ní jsou upevněny 2 až 4 hoblovací nože. Nože se dělí podle délky nožové

hřídele, tvrdosti oceli na měkké a tvrdé dřevo a způsobu upnutí. Maximální velikost úběru se nastavuje 2 až 5 mm.

Tloušťkovací frézky se využívají k obrábění materiálu na požadovanou tloušťku i šířku. Obrobek má rovnoběžné protilehlé plochy. Nástroj je stejný jako u frézky srovnávací. Maximální tloušťka úběru se seřizuje na 3 až 8 mm. Pracovní postup je téměř stejný jako u srovnávání. Hlavní rozdíl mezi oběma činnostmi je, že při tloušťkování je obrobek opracováván z horní strany a při srovnávání ze spodní strany. V praxi se hojně využívají kombinované frézky, což jsou obě frézky v jedné. [3] [4]



*Obrázek 6. Protahovací frézka (vlevo), srovnávací frézka (vpravo) [1]*

### 2.1.7. Frézování čelními frézami

U těchto fréz je materiál odřezáván břity na obvodu a také na čelní ploše nástroje. Obvodové zuby se primárně používají pro řezání a čelní zuby zase pro dokončovací aplikace. Čelní frézování se obecně využívá k vytváření plochých povrchů a obrysů na hotovém kusu a je schopné produkovat kvalitnější povrchové úpravy než jiné frézovací procesy. Čelní frézy se používají hlavně na vertikálních frézkách (horní a spodní frézka). [1] [6]

### 2.1.8. Broušení

Broušením se rozumí opracovávání povrchu materiálu pomocí brusného papíru. Obroušení dřeva může být hrubé i jemné. Broušením docílujeme zlepšení povrchu před povrchovou úpravou a také díky němu srovnáváme tvarové a rozměrové nedostatky. Tvrdé dřeviny se brousí lépe než měkké. Při působení tlaku papíru se u měkkých materiálů mohou do povrchu vtlačovat vlákna a poté se opět zvedat. Ke zlepšení broušení se používá křížové broušení. Nejprve brousíme napříč vláken. Tím odstraníme

nečistoty a nerovnosti. Poté k odstranění brusných rýh jedeme podél vláken. Při strojním zpracování se používají speciální brusné pásy, rohože nebo kotouče. Ty se upínají do úzkopásových, širokopásových, válcových, hranových a kotoučových brusek. [4] [5]



*Obrázek 7. Širokopásová bruska (vlevo), úzkopásová bruska (vpravo) [4]*

## 2.2. CNC frézování

Digitální technologie a CNC frézky umožňují řešení mnoha problémů, které nelze snadno vyřešit pomocí klasických metod. Tato technologie přistupuje k pracovnímu procesu efektivnějším a účinnějším způsobem. [9]

CNC pochází z anglického výrazu Computer Numeric Controll, což v překladu znamená počítačově číslicové řízení. CNC slouží k automatizaci obráběcích strojů. Jsou ovládány skrze programové příkazy, které jsou uloženy v paměti média. Obráběcí stroje jsou plně řízené počítačem. Pomocí vytvořeného programu řídicí systém ovládá pracovní funkce. Řídí silové prvky stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti. [10]

Frézka, bez ohledu na to, zda je ovládána ručně nebo pomocí CNC, používá rotující válcový nástroj zvaný fréza. Ten je upevněn ve vřetenu a může se lišit tvarem a velikostí. Hlavním rozdílem mezi frézou a jakýmkoli jiným vrtacím strojem je schopnost řezat v různých úhlech a pohybovat se po různých osách. Z tohoto důvodu existuje několik druhů fréz, které jsou označeny podle počtu os, v nichž se mohou pohybovat. [9]



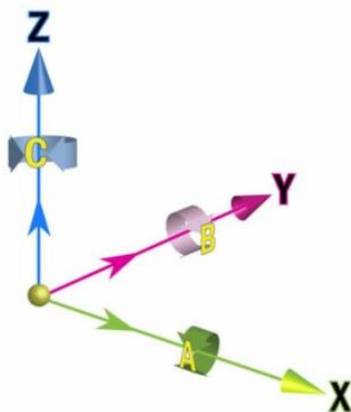
**Dvouosé frézky** mohou řezat otvory a drážky v osách X a Z. Jinými slovy, tento stroj bude řezat pouze svisle a vodorovně, ale pouze v jednom směru.

**Tříosé frézky** přidávají osu Y. Toto je nejběžnější varianta frézky. Může řezat ve směrech pohybu X, Y a Z. Objekt jako koule bude muset být proveden po jedné polovině. Je to proto, že ani se třemi osami není možné řezat zespodu. Řadiče CNC umožňují současný pohyb všech tří, což poskytuje potřebnou flexibilitu pro většinu potřeb zpracování.

**Čtyřosé frézky** mají všechny tři pohyby, jako výše popsána tříosá, a k tomu připojenou ještě osu A. Tato přidaná osa nám umožní schopnost otáček obrobkem kolem osy X, podobně jako soustruh.

**Pětiosé frézky** dovolují pohyb X, Y, Z a k tomu rotační pohyb kolem os X a Y neboli osy A a B. Pětiosá CNC obráběcí centra stojí mnohem víc než ostatní možnosti, ale umožňují vyrábět velmi složité součásti najednou. Nejsou nutná žádná další nastavení, zatímco životnost nástroje se zvyšuje díky umožnění vhodného umístění dílu.

**Šestiosé frézky** mají stacionární pracovní stůl a volnost pohybu je přidělena řezací hlavě. Může se pohybovat ve 3 směrech a otáčet se kolem všech těchto os. Takže byla přidaná poslední osa C. Existuje i možnost, že hlava je pětiosá a šestý pohyb koná rotační stůl. Šestiosá CNC frézovací centra nejsou příliš běžná kvůli vysoké ceně. Mohou být až o 75 % rychlejší než pětiosé stroje. Je to nejkompletnější frézka, jakou můžeme mít. Umožňuje výrobu tvarově složité kosti, letecké a kosmické struktury, modely automobilů, lékařské výrobky a téměř cokoli, co si dokážete představit. [9] [11]



Obrázek 8. Znárodnění pohybových os [11]



### 2.2.1. Nástroje pro CNC frézování

Pro frézování na CNC frézkách se používají stopkové frézy. Tyto frézy se upínají za stopku. U fréz je důležitý zejména materiál řezných zubů, jejich geometrie a také rozměry. Pro dřevozpracující řezné nástroje na měkká i tvrdá dřeva se používá kvalitní mikrozrnňý tvrdokov neboli slinutý karbid, který je pro tento materiál speciálně určený. Tloušťka řezného zubu je zpravidla 2 mm. Díky tomu lze frézu několikrát naostřit. Používají se také nástroje, u nichž lze vyměňovat břity a destičky. Díky správné geometrii nástroje dokážeme provést čistý řez bez otřepů a bez pálení materiálu. [10]

Existuje nespočet druhů fréz se speciální geometrií, které slouží k různému využití. Proto zmíním pouze některé z nich.

#### **Hrubovací fréza „žrout“**

Je to vysoce výkonná fréza. Díky ní můžeme odebírat velkou část materiálu při hrubování, ale také s ní je možné i dokončovat. Lze u ní měnit destičky. Ty lze také na nástroji až čtyřikrát otočit. Tělo nástroje je ze zušlechtěné oceli, která je proti vzniku únavového lomu upravena speciální technologií. [12]



*Obrázek 9. Hrubovací fréza "žrout" [12]*

#### **Diamantová fréza**

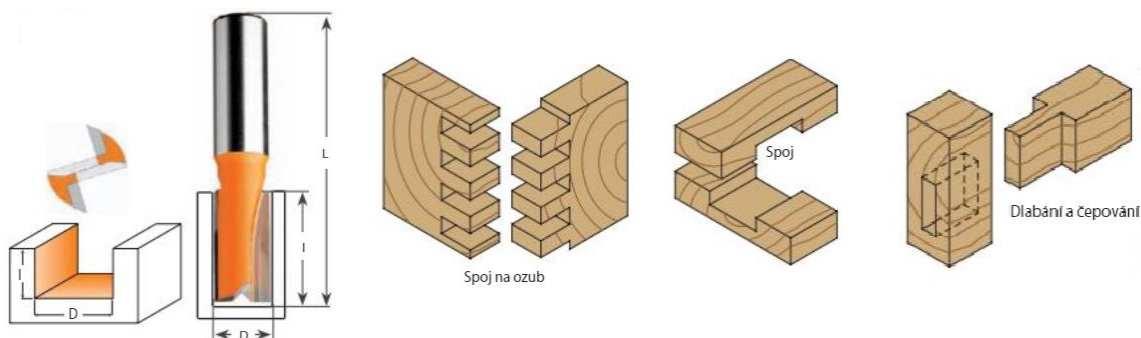
Diamantové nástroje umožňují obrábění většími rychlostmi. Díky cca padesátkrát delší životnosti, než standartní nástroje s tvrdokovovými zuby dokáže zkrátit neefektivní čas, jenž je potřebný pro výměnu nástroje a jeho seřízení. [13]



*Obrázek 10. Diamantová fréza [13]*

## Drážkovací fréza

Drážkovací frézy jsou určeny pro všechny druhy prací. Vyznačují se kvalitním ostřím, které vyfrézuje dokonalou drážku. Mají speciální teflonový poklad, který je nepřilnavý. Jsou vhodné pro měkké i tvrdé dřevo, lepené dřevo, DTD, lamina, MDF a Corianu. [13]



Obrázek 11. Drážkovací fréza a její možnosti použití [13]

## Žiletková drážkovací fréza

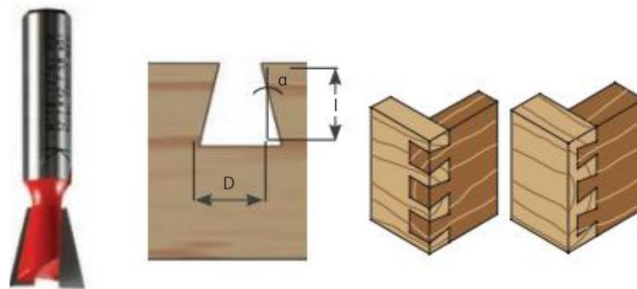
Frézy jsou v různých variantách. Existují například frézy s jedním nožem, s jedním zavrtávajícím a jedním řezacím nožem se dvěma otočnými noži. Variant je nespočet. Výhodou těchto fréz je, že stačí vyměnit pouze žiletky místo celého nástroje. Slouží pro frézování, dokončování, drážkování a postupné zavrtávání ve všech dřevěných materiálech. [13]



Obrázek 12. Žiletková drážkovací fréza [13]

## Rybinová fréza

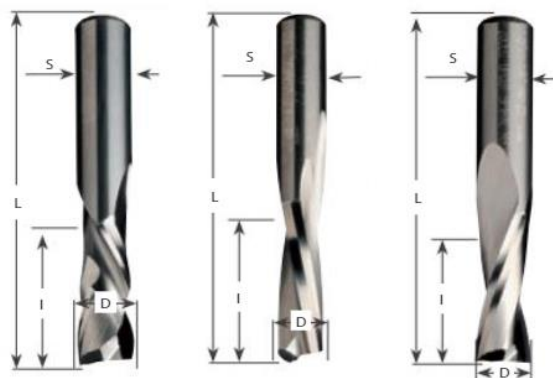
Slouží nám k výrobě rybinových (cinkových) spojů. [13]



Obrázek 13. Rybinová fréza a její možnosti použití [13]

## Spirálové frézy

Frézy zdobí precizně vybroušená spirála zajišťující vynikající kvalitu řezu. Umožňují lepší kvalitu na horní (negativní sklon ostří) nebo dolní (pozitivní sklon ostří) hraně. Ideální pro tvrdé dřevo, lamino, DTD, MDF. [13]



Obrázek 14. Spirálová fréza pozitivní/negativní (vlevo), spirálová fréza negativní (uprostřed), spirálová fréza pozitivní (vpravo) [13]

## Kulové spirálové frézy

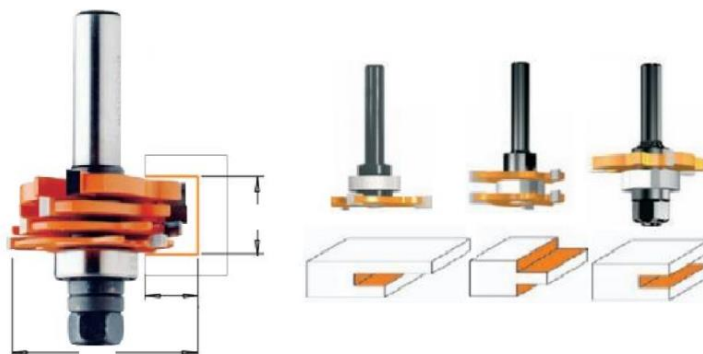
Tělo nástroje je z kvalitního monolitního slinutého karbidu. Fréza má dva spirálová řezná ostří s pozitivním sklonem pro horní odvod třísek. Jsou určeny pro frézování, kopírování podle šablony, formátování na CNC obráběcích centrech nebo ručních frézkách za podmínky precizního upnutí. Ideální pro měkké a tvrdé dřevo, DTD, MDF, plast a lamináty. [14]



Obrázek 15. Kulová spirálová fréza [14]

### Talířové drážkovací frézy

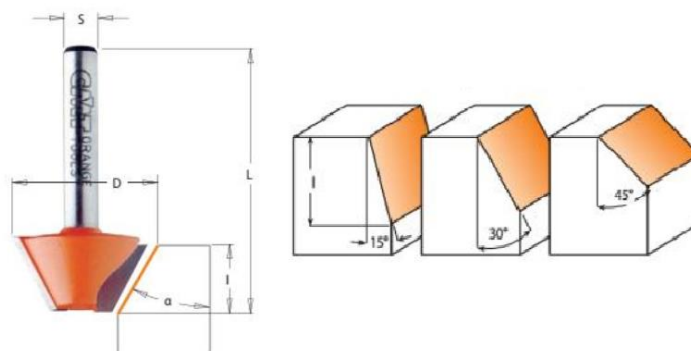
Největší výhodou těchto fréz je možnost libovolného nastavování. Je však nutné dbát na to, aby se břity fréz nikdy nedotýkaly. K tomu se používají podložky. Také při sestavování nesmí být otočen směr otáčení. [13]



Obrázek 16. Možnosti talířové drážkovací frézy [13]

### Úhlové frézy

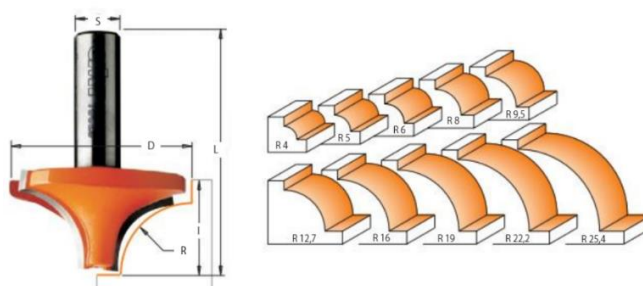
Přesně a čistě ořezávají a srážení hrany. Lze je zakoupit v různých úhlech. [13]



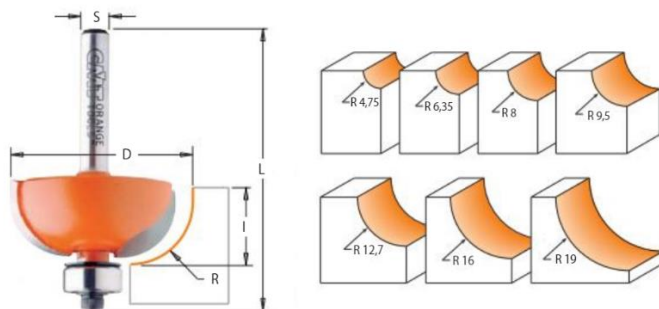
Obrázek 17. Úhlová fréza [13]

### Zaoblovací a rádiusové frézy

Jsou velmi universální, umožňují vyrábět krásné lišty, okraje a hrany. [13]



Obrázek 18. Rádiusová fréza [13]



*Obrázek 19. Zaoblovací fréza [13]*

## 2.2.2. Způsoby upínání obrobků

Při frézování dochází k vytvoření velkých řezných sil kvůli záběru několika zubů současně, proto musí být obrobek pevně a bezpečně upnut. Upínací zařízení volíme podle působení řezných sil. Řezná síla stroje by měla obrobek přitlačovat k pevným částem upínacího prostředku. Obráběná plocha musí být co nejbližší k pracovnímu stolu frézky. [15] [16]

### **Strojní svěráky**

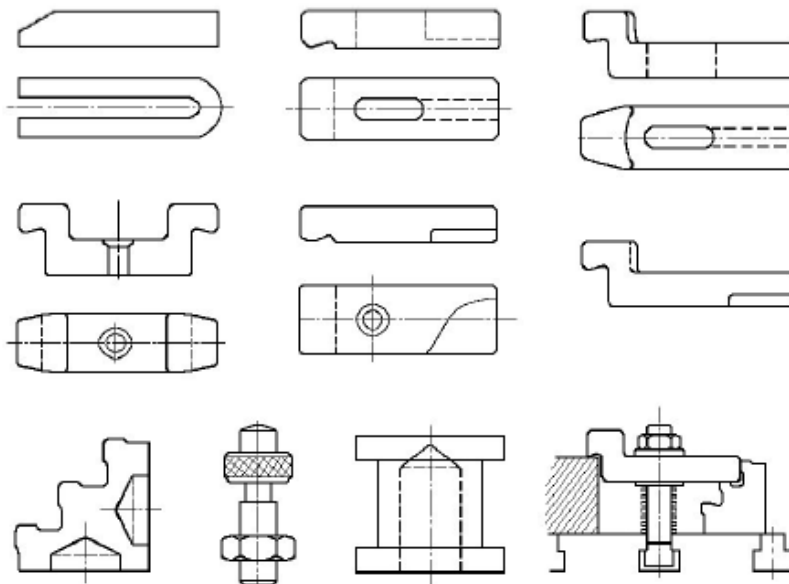
Volí se pro upínání menších, tvarově jednodušších obrobků. Na stůl se svěrák přimontuje maticemi a šrouby se čtyřhrannou hlavou, které se zasunují do T drážky ve stole. Přesné umístění svěráku je možné zkontrolovat úchylkoměrem, jenž uchytíme k vřetenu. Při upínání do svěráku musíme dbát na to, abychom nepoškodili obrobek. Svěrák lze zvolit pevný, otočný, sklopný nebo samostředící. [16]



*Obrázek 20. Otočný svěrák [16]*

## Upínací pomůcky

Pomůcky mají různé tvary a velikosti. Dle použití známe upínky, podpěrky, opěrky atd. Stejně jako se svěráky přidělávají ke stolu šrouby se čtyřhrannou hlavou a maticemi, obrobek upneme přímo na stůl frézky. [16]



Obrázek 21. Upínací pomůcky [16]

## Přídavné zařízení

Další možností, jíž můžeme využít, jsou otočné stoly a dělicí přístroje, které opět můžeme uchytit díky T drážkám ve stole. Tyto zařízení hodně využijeme, pokud frézujeme tvarové plochy nebo při práci s prvky v určitých roztečích. [16]



Obrázek 22. Otočný přídavný stůl [16]

## Upínací přípravky

Upínací přípravky používáme pro obrobky složitých tvarů a rozměrů. Uchycení do nich je velmi přesné a rychlé, což nám zkracuje celkový strojní čas. Upínací přípravek musí dokázat zachytit vznikající řezné síly a zároveň musí tlumit chvění. Konstrukce by měla být co nejjednodušší. Velká hmotnost přípravku zvyšuje opotřebení vodicích ploch stroje a ztěžuje manipulaci s přípravkem. [17]

## Vakuové upínání

Při vakuovém upínání se vytváří podtlak mezi upínacím obrobkem a deskou. Tím je obrobek přitlačován na vakuový stůl. Za pomoci Venturiho trysky, příp. externího vakuového čerpadla, je vzduch pod upínaným obrobkem odsáván. Díky vakuu nevzniká žádné poškození při upínání obrobku. Plynulé a rychlé přizpůsobení na jiný rozměr zvyšuje produktivitu a hospodárnost. Pomocí těsnící gumy se vyrovnají nerovnosti povrchu obrobku. Drážky desky se přizpůsobují potřebnému tvaru obrobku. [18]



Obrázek 23. Vakuové upínání [18]



## 3. Technologická příprava dřeva

### 3.1. Třídění a odkorňování

Požezané dřevo z lesa se přiveze na pilařský závod. Zde se kmeny třídí a uskladňují podle druhu, průměru, délky a konečného použití. Přeprava a manipulace s kulatinou se u jednotlivých závodů liší a do značné míry závisí na kapacitě provozu pily a velikosti přijaté ztráty. Využívá se ruční síla, kterou lze použít v malých přenosných pilařských jednotkách, až po čelní nakladače a mostové jeřáby nesoucí celé kmeny. [19]

Odkorňováním je zbaven kmen kůry, čímž se chrání pily a další vybavení před nepřiměřeným opotřebením a poškozením. Ty by mohly u zařízení nastat kvůli kamenům, kovům a jiným nečistotám usazeným v kůře. Odkorňování kulatiny lze provádět ručně nebo mechanicky. Je realizováno buď přímo v lese, nebo až na pilách. [19] [20]

### 3.2. Řezání kmenů na řezivo

Rozřezáním kulatiny pomocí pásových, kotoučových nebo rámových pil se získá řezivo. To může nabývat různých tvarů a velikostí. Rozdělujeme řezivo deskové a hraněné. Jako deskové známe prkna a fošny a pod hraněnými si můžeme představit například hranoly, lišty, latě, trámy a další. [21]

Nejrychlejším způsobem je podélné rovnoběžné rozřezání kulatiny na rámové nebo pásové pile. Je to i nejohospodárnější způsob úpravy z hlediska množství odpadu. [22]

Řezání kmenů lze rozdělit podle způsobu rozřezání:

- Pořez na ostro

Kmen prochází jednou rámovou pilou. Tak vznikne řezivo různých šířek. Tímto způsobem lze rychle získat velké množství řeziva. Ve většině závodů dřevařské velkovýroby se používá tato strategie. Získané řezivo má tangenciální kresbu. Řezy směřují napříč letokruhy a díky tomu se na ploše desky objevují sbíhavé útvary – fládry. [22]



- Pořez prizmováním

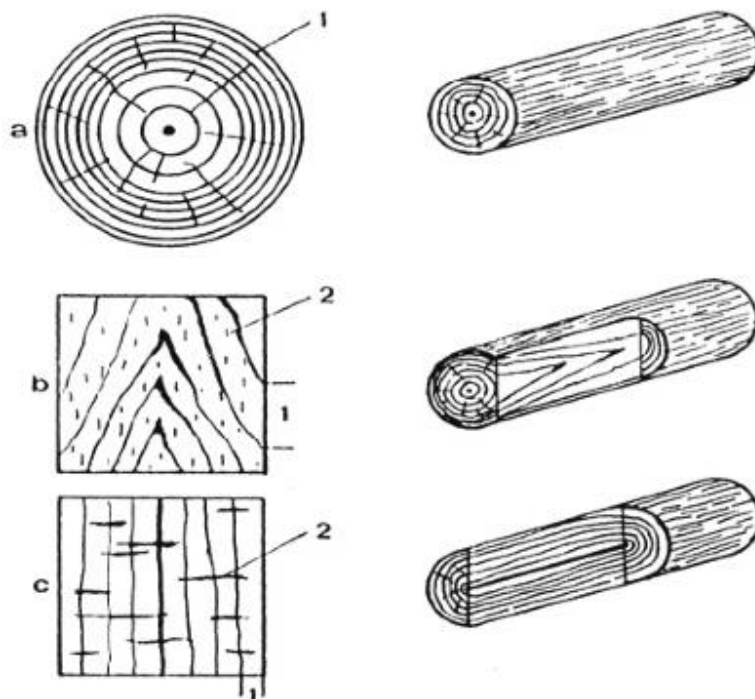
Kulatina prochází pilou dvakrát. Při prvním průchodu se odřežou z krajů desky a tím zůstane jen středová část, takzvaná prizma. Ze středového hranolu se při druhém průchodu nařeže už omítané řezivo. Omítané znamená, že boky s plochou svírají pravý úhel. [22]

- Radiálně řezané řezivo

Řezy zde vedou kolmo k letokruhům, takže vždy protne střed kmenu. Tato metoda je velmi časově náročná. Často totiž musíme měnit polohu kmenového výřezu na pilařském stole. Není to tak hospodárná metoda. Metoda se používá pro dřevo, které má velkou kvalitu a dekorativní hodnota tohoto řezu se projeví na vyšší prodejní ceně. [22]

- Segmentový pořez

Provádí se vodorovným řezem kmenem a poté svislým pořezem na ostro. Metoda je podobná radiálnímu pořezu, avšak získáme podobně kvalitní materiál při nižších nákladech. Vyrobené desky mají velký podíl radiální kresby. [22]



Obrázek 24. a) příčný, b) tangenciální, c) radiální, 1- letokruh, 2- dřeňový paprsek [25]

### 3.3. Třídění a hodnocení

Řezané a ořezávané dřevo je dále roztríděno podle tloušťky, šířky, délky, kvality a druhu v závislosti na požadavcích. Tato činnost může být prováděna ručně nebo pomocí mechanizovaných třídíčů. [19]

### 3.4. Sušení

Řezivo se suší vzduchem nebo v pecích. Sušením se snižuje vlhkost dřeva na přijatelnou úroveň. Tím se zvyšuje cena díky skutečnosti, že dřevo je rozměrově stabilizováno, jeho pevnost a barva jsou zlepšeny a také je snížena hmotnost. Vlhkost se vyjadřuje s podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. To se nazývá absolutní vlhkostí dřeva. Také ji lze vyjádřit podílem hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva, poté se jedná o relativní vlhkost dřeva. Vlhkost dřeva vyjadřuje v procentech nebo v kg na kg. Vlhkost dřeva můžeme měřit vlhkoměrem. [19] [25]

součásti k elektrickým přístrojům	5 %
hudební nástroje, hračky, tužky, obklady stěn, nábytek do místností s ÚT	7 %
dřevo pro vnitřní stavebně-truhlářské výrobky	8 %
běžný dřevěný nábytek a vybavení lodí	8 %
židle, sportovní potřeby, vnitřní vybavení dopravních prostředků	10 %
běžné dřevěné podlahy	11 %
vnější okna a dveře	13 %
čluny a nákladní železniční vagóny	14 %
lepené nosníky, stavebně-truhlářské výrobky	15 %
vnější dveře, zahradní nábytek, vnější obklady	16 %
bedny, obaly, sudy, stavební dřevo	18 %
dřevo do přírody	19 %
exportní řezivo, obaly na ovoce	20 %
dřevo na ohýbání a impregnaci	25 %
dřevěné dlažby	28 %

*Obrázek 25. Vlhkost dřeva a jeho využití [25]*

### 3.4.1. Přirozené sušení dřeva

Přirozené sušení dřeva, které můžeme znát také jako sušení ve volném vzduchu, se provádí nejprve předsušením dřeva venku a následně je umístěno do otevřených krytých skladů, kde se suší díky přirozeným klimatickým podmínkám. Pro dosažení dobrého sušení se materiál skládá do hráně. Řezivo se pokládá vedle sebe tak, aby se nedotýkalo. Následně se staví na sebe do dalších vrstev. Mezi každou vrstvou se vkládají hranoly. Ty musejí být maximálně jeden metr od sebe, aby se materiál příliš neprohýbal. Výška hráně včetně prokladů by neměla přesahovat jeden a půl metru.

Při stavění skladu se musí dbát na důležité požadavky. Plocha skladu musí být rovná. Při umístění hráně do sušícího skladu se musí shodovat podélný směr hráně a směr hlavních světových stran západ-východ. Podklad skladu je často vybetonovaný nebo pokryt pískem, asfaltem nebo štěrkem. [23] [24]



*Obrázek 26. Ukázka přirozeného sušení dřeva [23]*

### 3.4.2. Umělé sušení dřeva

Umělé sušení dřeva je takové sušení, při němž působí námi dodané teplo. Vlhkost obsažená ve dřevě se vlivem tepla změní na páru a na povrchu dřeva se odpaří. Umělé sušení je šetrné a hospodárné. Jeho doba trvá několik dní nebo dokonce hodin. Podle druhu přivádění tepla a technického vybavení sušárny se rozlišuje komorové sušení, které je nejčastější, dále pak kondenzační sušení, vysokofrekvenční a vakuové sušení. [23]

## Komorové sušení

Dřevo je ukládáno do hliníkových, ocelových nebo zděných komor. Komory jsou tepelně izolované. V komorách můžeme nastavovat a regulovat vlhkost vzduchu, teplotu a proudění vzduchu. Tak můžeme dosáhnout nejlepších podmínek pro sušení. Vzduch v komoře je ohříván topným zařízením a poháněn ventilátory. Vlhkost ze dřeva přestupuje ve formě páry do vzduchu. Ten se pravidelně mění za čerstvý přes komíny. Musíme dbát na to, aby vlhkost vzduchu v komoře nebyla příliš nízká. To by znamenalo, že sušení probíhá příliš rychle, což může mít za důsledek vzniknuvší škody, jako trhliny. Proces se řídí zpravidla podle pěti bodů. Nejprve se ohřeje vzduch v komoře, poté se prohřeje dřevo, nastává proces sušení s použitím zahřívajícího čerstvého vzduchu a zvlhčování, následuje nastavení na konečnou vlhkost dřeva a konečné pomalé ochlazení. [23]



*Obrázek 27. Ukázka komorového sušení dřeva [23]*

### 3.5. Impregnace dřeva

Impregnace slouží k chemické ochraně dřeva v průběhu skladování, zpracování, ale také již hotových dřevěných výrobků. Při impregnaci nanášíme na povrch dřeva určité množství ochranného prostředku, díky kterým prodloužíme životnost dřeva. Tato ochrana musí snadno vniknout do dřeva, nesmí snížit fyzikální ani mechanické vlastnosti a také nesmí znemožnit možnost další práce s ním. Impregnovat lze postřikem, máčením, nátěrem, pomocí vrtů a vpichů anebo zaplynováním. Účel impregnační látky může být proti bakteriím, plísním, dřevokazným houbám a hmyzu a proti ohni. [19]

## 4. Vlastnosti dřeva

Dřevo je přírodní materiál. Díky svým vlastnostem má velkou škálu využití. Jedná se o anizotropní materiál. To znamená, že se jeho vlastnosti mění v závislosti dle směru vláken. Dřevo vzniká zdřevnaujícími rostlinami při růstu kmene, kořenů a větví. [26]

Znalost vlastností materiálu nám umožňuje správně definovat podmínky obrábění pro různé účely a umožňuje reagovat a přijímat opatření, když se obrábění nedaří.

### 4.1. Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti u dřeva lze rozdělit na vnější, jako je barva, textura nebo vůně, a na vnitřní, které jsou hustota, vlhkost, tepelné, elektrické a akustické vlastnosti. [26]

#### 4.1.1. Barva dřeva

Barvu dřeva ovlivňuje obsah pryskyřic a tříslovin. Čím více jich je ve struktuře, tím je barva tmavší. Jelikož pryskyřice a třísloviny dělají dřevo odolnější proti hnilobě, tím pádem platí, že tmavší dřevo je trvanlivější. [27]

#### 4.1.2. Hustota

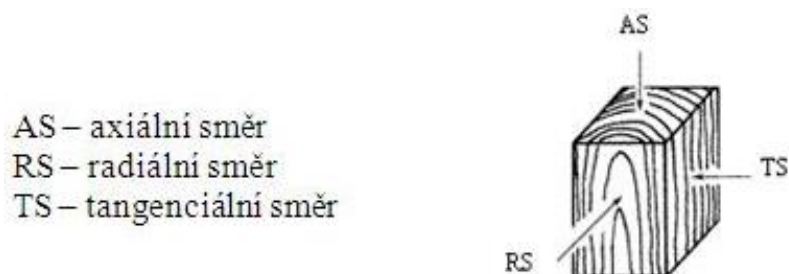
Hustota dřeva ovlivňuje mechanické i fyzikální vlastnosti. Hustota závisí na vlhkosti a druhu dřeva. S rostoucí vlhkostí vzrůstá i hustota. Dle vlhkosti dřeva určujeme jeho hustotu. Zjišťujeme ji u vlhkého dřeva, u absolutně suchého dřeva a u uskladněného dřeva za běžných podmínek, které má vlhkost 12 %. [27]

#### 4.1.3. Vlhkost

Vlhkost je hmotnost vody ve dřevě. Absolutně suché dřevo se získává umělým sušením. Neobsahuje žádnou vlhkost. Přirozeným sušením nelze dosáhnout nulové vlhkosti, protože se mění dle teploty a vlhkosti vzduchu. Mezi vlhkostí dřeva a vzduchu nastane časem rovnovážný stav. V přirozených atmosférických podmínkách je vlhkost obvykle pod 20 %. Když porazíme čerstvé dřevo, tak naměříme vlhkost od 40 až do 100 %.

Při zpracování dřeva je důležité počítat s bobtnáním a sesycháním. Při sesychání se vlivem snižující vlhkosti zmenšuje plocha i objem, tím pádem všechny rozměry. Tyto změny závisí na rychlosti a způsobu vysoušení. Bobtnání je opačný proces sesychání.

Dřevo do sebe absorbuje vlhkost. Bobtnání a sesychání působí jinak ve směru vláken, jinak v tečném i radiálním směru. Nejvíce se mění ve směru tečném, a to nejčastěji kolem 15 %. Dále pak v radiálním směru, kde změny dosahují průměrně 5 % a nejméně v podélném. Zde je změna v průměru pouze o 0,2 %. [27]



*Obrázek 28. Základní anatomické směry v kmeni [28]*

#### 4.1.4. Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti

Tepelná vodivost je malá. Při zvyšující se vlhkosti, hustotě a teplotě dřeva roste i tepelná vodivost. Záleží i na orientaci vláken. Vodivost ve směru vláken je dvakrát vyšší než kolmo na vlákna. Porovnání dřeva s jiným materiálem ukáží na následujícím příkladu. Smrkové dřevo o vlhkosti 10 % a tloušťce 8 cm stejně tepelně izoluje jako 67 cm cihlová zeď.

Elektrická vodivost silně závisí na vlhkosti. Absolutně suché dřevo prakticky elektrický proud nevede. Ovšem se zvyšující se vlhkostí se prudce zvedá vodivost proudu.

Akustické vlastnosti má dřevo vynikající. Jeho skvělou ozvučenost využijeme při výrobě nástrojů a jeho akustický útlum použijeme při výrobě zvukotěsných bariér a akustických úpravách v místnostech. [26] [27]

## 4.2. Mechanické vlastnosti

Mechanickými vlastnostmi definujeme odolávání dřeva vnějším účinkům. K nejdůležitějším řadíme pevnost, pružnost, tvrdost a technologické vlastnosti.

Dřevo lze snadno a lehce opracovat. Má velkou pevnost, u níž opět záleží na směru vláken a vlhkosti.

#### 4.2.1. Pružnost a pevnost

Obě tyto vlastnosti jsou potřebné při konstrukčním využití dřeva. Pevnost je napětí, které pokud překročíme, tak nastane porušení materiálu. Pružnost definuje stav materiálu po vnějším zatížení tělesa. Na pevnost i pružnost má velký vliv směr vláken. Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny může být desetkrát až dvacetkrát vyšší než modul kolmo k vláknům. Vliv má i vlhkost dřeva. S rostoucí vlhkostí klesá pevnost. [26] [27]

*Tabulka 4. Vlastnosti dřevin při vlhkosti 12 % [31]*

		Tah		Tlak		Ohyb		Smyk
	Hustota	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna	Mez pevnosti	Modul pružnosti	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]						
<b>smrk</b>	440	84	1,5	30	4,1	60	9 100	5,3
<b>borovice</b>	530	102	2,9	54	7,5	98	11 750	9,8
<b>lípa</b>	540	83	4,9	51	1,8	104	7 300	4,4
<b>kaštan</b>	610	121	5	49	5	75	8 800	7,8
<b>ořešák</b>	690	98	3,5	71	11,8	124	12 300	6,9
<b>dub</b>	700	108	3,3	42	11,5	116	11 600	12,7
<b>buk</b>	720	130	3,5	46	7,9	104	13 100	12,3
<b>bříza</b>	730	134	6,9	50	10,8	134	16 100	11,8
<b>akát</b>	760	133	4,2	70	18,6	102	11 000	12,5
<b>habr</b>	820	153	3,8	54	16,7	140	14 700	16,9

#### 4.2.2. Tvrdost

Odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa do něj nám definuje tvrdost. Největší vliv na ni má hustota materiálu. Tvrdost rozděluje dřevo na měkké a tvrdé. V praxi se jako měkké dřevo berou jehličnaté stromy a jako tvrdé stromy listnaté. Pevnostních tříd je však daleko více, viz tabulka 5. [28] [29]

*Tabulka 5 Tvrdostní třídy dřevin [29]*

Třída tvrdosti	Typ dřeva	kg/cm <sup>2</sup>	Dřeviny
<b>1. třída</b>	velmi měkké	0 - 350	smrk, borovice, vrba, topol, jedle, lípa
<b>2. třída</b>	měkké	351 - 500	modřín, olše, vrba jíva, douglaska
<b>3. třída</b>	středně tvrdé	501 - 650	platan, kaštan, líska, jilm
<b>4. třída</b>	tvrdé	651 - 1000	dub, buk, jasan, habr, javor, ořech, akát
<b>5. třída</b>	velmi tvrdé	1000 - 1500	dub pýřitý, dřín, zimoztráz
<b>6. třída</b>	neobyčejně tvrdé	nad 1501	eben a jiné exotické dřeviny

## 4.3. Technologické vlastnosti

### 4.3.1. Obrobitelnost

Obrobitelnost je vlastnost charakterizována jako míra schopnosti materiálu být zpracována technologií obrábění. Sledujeme velikost řezné síly, intenzitu opotřebení nástroje, kvalitu obrobené plochy a čas, který je potřeba k obrobení. Obrábění ve směru vláken je nejsnazší. Každý odklon od vláken zvyšuje obtíže obrábění. Nerovnoměrnosti dřeva, například zvlněná vlákna nebo suky, také zhoršují obrobitelnost. Vlhčí dřevo se obtížněji řeže a hobluje i přesto, že při tom klade dřevo menší řezný odpor. Dřevo nezdravé, poškozené (třeba houbami) je měkčí, ale i tak ho nedokážeme čistě obrobit. [30]

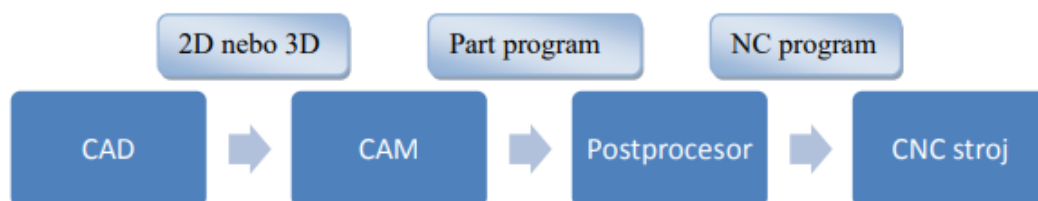
### 4.3.2. Štípatelnost

Je to odpor, který klade dřevo proti rozdělení ve směru vláken. Štípatelnost ovlivňuje opět směr vláken, vlhkost dřeva, hustota a stavba struktury. Nejlépe jde štípat nástrojem vnikajícím do čela dřeva v radiálním směru, má-li dřevo pravidelnou stavbu. Dobře se štípe smrk, jedle, buk, dub, lípa, borovice a ořešák. Špatně štípatelný je habr, akát, bříza, jilm, třešeň a švestka. [27] [30]



## 5. Využití CAM pro obrábění dřeva, softwarová podpora obrábění dřeva

Computer Aided Manufacturing zkráceně CAM znamená v českém překladu počítačem podporovaná výroba. CAM systémy slouží pro přípravu programů pro CNC stroje. Nejčastěji tyto systémy využívají geometrii, kterou jsme si předtím vytvořili v systému CAD. Computer Aided Design (počítačem podporovaný návrh) ve zkratce CAD používáme k projektování nebo konstruování na počítači. Celá řada výrobců nabízí softwaru, které jsou kombinací obou typů. O těchto systémech hovoříme jako o CAD/CAM. Pomocí CAM systémů dokážeme vytvořit dráhy nástroje pro soustružení, frézování a další způsoby obrábění. V těchto programech lze definovat polotovary, obráběcí nástroje, řezné podmínky a všelijaké strategie hrubování a dokončování. Pro lepší představu a ověření průběhu obrábění umožňují softwaru simulaci a verifikaci. Díky tomu dostává uživatel cennou odezvu, která mu dopomáhá k volbě nejvhodnějšího postupu při obrábění. [32] [33]



Obrázek 29 Postup výroby v CAD/CAM systémech [33]

V dnešní době existuje několik výrobců buď pouze CAM, nebo rovnou CAD/CAM systémů. Většinu softwarů lze použít k obrábění kovů, dřeva, plastů a dalších materiálů. Dle materiálu volíme různé strategie a parametry obrábění.

Najdeme ale i softwaru zaměřené přímo na dřevovýrobu. Jedná se hlavně o využití při výrobě nábytku a oken. Frézování v nich je většinou buď dvou a půlosé, nebo tříosé.

**Software KCD** je speciálně přizpůsoben pro zpracování dřeva. Tento CAD/CAM pomáhá k rychlému modelování kuchyní, koupelen, skříní a dalších. Funkce obrábění jedním tlačítkem vypočítává a optimalizuje dráhy nástroje, maximalizuje výtěžnost materiálu pomocí True Shape Nesting a generuje CNC strojový kód pro CNC router. Jedním kliknutím přidáme výřezy, změním tvar součásti, přesuneme nebo odstraníme

díry a potom vnoříme do zbytku. V prohlížeči dílů KCD nalezneme stovky různých typů dveří a skříní, které lze snadno dle parametrů navolit tak, aby nám vyhovovala. [34]

**WoodCAM/CAM** od společnosti Stiles Machinery je software pro 3D design a výrobu používaný v automatizované výrobě skříní, nábytku, bytového vybavení a některých typů dřevěných obalů. Program vytváří soubory typu DFX v jednotlivých hladinách, které korespondují s operacemi prováděnými ve výrobě. Pro opakování prvků slouží optimalizační moduly, které umožňují optimalizovat rozmístění těchto prvků. [35]

**Klaes CAM** je německý software pro výrobu a konstrukci dveří a oken. Má velmi snadné ovládání. K dosažení nejvyšší kvality dopomáhá volba závislosti rychlosti posuvu dle použité dřeviny, strategie jako je předfrézování materiálu nebo náběh frézovacího nástroje na konturu. [36]

**AlphaCAM** je systém pro obrábění dřeva, plastů, kovů a minerálů. Nabízí obrábění od dvouosého frézování a soustružení až po plynulé pětiosé obrábění. Pro dřevo má speciální modul s názvem ALPHACAM Router. Nalezneme zde nástrojové a strojní vybavení specifické pro frézování dřeva. Nabízí hrubovací a dokončovací strategie pro obrábění ploch, povrchů těles, ale i STL souborů. AlphaCAM využijeme například pro výrobu nábytku, složitějších opěradel židlí nebo dřevěných řezeb. [37]

## 6. Analýza výrobku a návrh výrobního postupu

Svou praktickou část jsem realizoval ve firmě KVETA CNC Production s.r.o, která se specializuje na obrábění dřeva a disponuje patřičným potřebným zařízením. Zpracovaný výrobek byl jednou ze zakázek této společnosti.

### 6.1. Analýza výrobku

Součást slouží jako tělo pro konzoli s mikrofonom. Do součásti se instaluje elektronika, otvory jsou pak zakryty kovovými plechy, které jsou uchyceny pomocí šroubků.

Jde o nesymetrický výrobek o délce 209 mm, šířce 142,9 mm a výšce 66,7 mm. Obrábění bude probíhat ze všech stran, proto se bude při frézování obrobek muset přeupnout. Bude se jednat o velmi přesné obrábění. Počítá se se sériovou výrobou, kdy zákazník požaduje dodávat 200 kusů měsíčně.



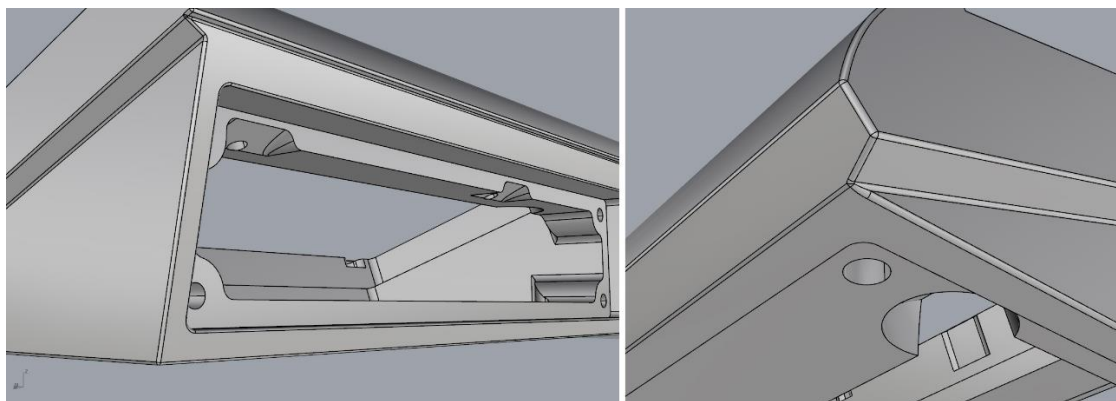
*Obrázek 30 Zkompletovaný finální výrobek [38]*

Zákazník určil jako materiál ořechové dřevo, které je ceněné pro svou hezkou texturu. Dobře se opracovává, ale hůře se suší. Je tvrdé a pevné. Při vlhkosti 12 % je jeho hustota  $690 \text{ kg/m}^3$  a tvrdost dosahuje 72 MPa. [32]

Důležité je zmínit, že zákazník požaduje, aby dřevní vlákna měla směr podél nejdelšího rozměru výrobku.

Dle výkresu jsou požadovány velmi přesně tolerance, které jsou celkem neobvyklé u dřevěného výrobku. Většina mezních úchylek je od -0,1 mm až do 0,1 mm. Bude se jednat o velmi přesné obrábění dřeva. Pro dosažení takové přesnosti bude potřeba kvalitních a ostrých nástrojů.

V technických požadavcích na součást, které jsou umístěny v poznámkách nad popisovým polem výkresu (razítkem výkresu), je napsáno, že tvar, poloměr 0,5 mm a rozměry máme dodržovat dle dat uložených ve formátu STP, jenž zákazník zaslal. Poloměr 0,5 mm není ve výkrese tolik vidět. Většina vnějších hran je zaoblena rádiusem 0,5 mm, viz obrázek 31. Po dohodě se zákazníkem se nakonec tyto hrany zaoblovat nebudou a zůstanou ostré. Přestože je to teoreticky vyrobitelné, tak by se mohl strojní čas kvůli tomu až zdvojnásobit. Také by vznikla spousta nových problematických míst jednak z hlediska frézování, včetně možnosti vznikutí vady, a tím nedokonalého obrobení.



*Obrázek 31 Zobrazení zaoblených hran na modelu*

Jelikož se nejedná o jedinou zakázku, která se na stroji bude dělat, musí se vymyslet takový způsob, který by urychlil možnost změny výroby na stroji. Pro výrobek se bude muset sestavit šablona pro přesné upínání.

## 6.2. Návrh výrobního postupu

Jelikož se jednalo o zcela nový výrobek, který se ve firmě ještě nerealizoval, navrhl jsem pro něj vlastní výrobní postup.



Číslo operace	Název operace	Stručný popis operace
10	Krácení na pile	Krácení fošen na požadované přířezy
20	Srovnání na frézce	Srovnání dvou ploch, aby svíraly pravý úhel
30	Tloušťkování na frézce	Upravení na požadovanou výšku a šířku
40	Lepení polotovaru	Na přířezy se nanese lepidlo a umístí se do šroubového lisu
50	Vrtání děr	Vyvtření děr sloužících pro první upnutí na CNC frézce
60	Frézování	Frézování obrobku na prvním upnutí
70	Frézování	Frézování obrobku na druhém upnutí
80	Kontrolní měření	Provedení měření po frézování
90	Broušení	Příprava na první nanesení oleje, potřeba zbavit se otřepů, smirkový papír o zrnitosti 220
100	Nanesení oleje	Nanesení první (základové) vrstvy oleje
110	Broušení	Přebroušení první vrstvy oleje, smirkový papír o zrnitosti 320
120	Nanesení oleje	Nanesení finální vrstvy oleje
130	Leštění	Rozleštění tvrdého voskového oleje (padování)
140	Finální měření	Provedení finálního měření
150	Zkompletování	Přidání závrtných matic
160	Balení	Na každý kus se umístí výrobní číslo a zabalí se k přepravě

## 7. Realizace výrobního postupu

### 7.1. Představení použitého softwaru

**Rhinoceros** (zkráceně Rhino) je program pro 3D modelování, který pracuje s křivkami, plochami, tělesy a polygonovými sítěmi. Rhino může vytvářet, upravovat, analyzovat, dokumentovat, vykreslovat, animovat a překládat NURBS křivky, povrchy a tělesa, dělicí geometrii, mračna bodů a mnohoúhelníkové sítě. Složitost, stupeň nebo velikost nad rámec hardwaru neexistují. Díky nástrojům pro 3D modelování ve volné formě, lze vymodelovat jakýkoliv tvar, který si usmyslíme. [39]

Díky zásuvnému modulu RhinoCAM dostaneme z Rhinoceros komplexní CAD/CAM software. Díky RhinoCAM od společnosti MecSoft Corporation můžeme generovat dráhy nástroje. Lze pracovat jak s nativními daty Rhina, tak i s importovanými. CAM nabízí širokou paletu nástrojů pro generování drah nástroje, s nimiž vytvoříme obráběcí operace a dráhy nástrojů. V nabídce má strategie od dvouosého obrábění až po pětiosé. Samozřejmostí je i možnost simulace a verifikace vytvořených drah a jejich následný postproces do libovolného řídicího systému. [40]

V mé práci jsem využil verzi Rhinoceros 5 s modulem RhinoCAM 2018.

## 7.2. Stroje potřebné pro výrobu

### Formátovací pila Robland Z320

Jedná se o formátovací pilu s možností předřezu, naklonění a ponoření kotouče. Zvedání a naklápění pilového kotouče probíhá pomocí ručních kol. K přesnému řezání slouží paralelní pravítko s litinovým suportem, excentrickou aretací a mikrometrickým nastavením a také samostatné úhlovací pravítko. K uchycení obrobku se používá excentrická upínací svěrka. [41]

Tabulka 6. Parametry pily [41]

<b>Rozměr stolu</b>	3200 x 400 mm
<b>Max. průměr kotouče</b>	400 mm
<b>Průměr předřezového kotouče</b>	120 mm
<b>Naklonění kotouče – stupně</b>	90° - 45°
<b>Maximální výška řezu při 90 a 45 stupních</b>	125 a 100 mm
<b>Otáčky hlavního kotouče</b>	3000 / 4000 / 5000 ot/min
<b>Otáčky předřezového kotouče</b>	7.000 ot/min
<b>Řezná šířka za použití paralel. pravítka</b>	1380 mm
<b>Výkon hlavního motoru 50 Hz</b>	5,5 kW
<b>Celková hmotnost</b>	1100 Kg



Obrázek 32. Formátovací pila Robland Z320 [41]

### Kombinovaná frézka Griggio FS 530

Tato frézka je kombinovaná. To znamená, že je kombinací srovnávací a tloušťkovací frézky. K přesnému nastavení výšky používáme motorické zvedání stolu, které má dvě rychlosti s desetinným nastavením. K odečtení hodnoty slouží elektronické zobrazení zdvihu. [42]

Tabulka 7. Parametry frézky [42]

Délka nožové hřídele	530 mm
Průměr nožové hřídele	120 mm
Otáčky nožové hřídele	5000
Výkon motoru	5,5 kW
Délka srovnávacích stolů	2300 mm
Výška obrobku při tloušťkování	250 mm
Maximální úběr obrobku	8 mm
Rychlost podávání pro tloušťkovací frézku	6-12 m/min
Hmotnost stroje	980 kg



Obrázek 33. Kombinovaná frézka Griggio FS 530 [42]

## Univerzální CNC frézovací a vrtací centrum MAKA PM 270

Pětiosé univerzální obráběcí centrum PM 270 v portálovém provedení je navrženo pro obrábění dřeva, materiálů na bázi dřeva, plastů a kompozitu. Uplatnění najde všude tam, kde je obvyklá výroba jednorázových a malých dávek. Kromě vysokých rychlostí zrychlení a přesnosti stroje zaručují osvědčené mechanické a elektronické součástky vysokou přesnost zpracování, i dlouhou životnost. Hlavní výhodou stroje je zdvih v ose Z až 800 mm a délka pracovního prostoru až 6000 mm. [43]

*Tabulka 8. Parametry CNC centra [43]*

<b>Řídicí jednotka</b>	Siemens 840 D
<b>Frézovací vřeteno</b>	HSK-F 63, vodou chlazený, 12,5 kW, nekonečně variabilní regulace otáček od 1 000 do 24 000 ot/min
<b>Pracovní jednotka</b>	Univerzální robotické vedení se zdvihem Z 800 mm, A 540 °, B +/- 98 °
<b>Odsávání</b>	Koš na sběr prachu a třísek namontovaný na jednotce, výškově nastavitelný pomocí CNC
<b>Pohony os</b>	ozubený hřeben osy X, ozubený hřeben osy Y, kuličkový šroub v ose Z
<b>Ochranné zařízení</b>	doprovodná kabina s bezpečnostními nárazníky
<b>Pracovní prostor při 3osém provozu</b>	X = 1350 mm, Y = 6000 mm
<b>Pracovní prostor při 5osém provozu</b>	X = 1350 mm, Y = 5600 mm
<b>Rychlost pojezdu</b>	X = 45 m/min, Y = 45 m/min, Z = 24 m/min, A/ B = 10 000 °/min
<b>Měníč nástrojů</b>	Řetězový zásobník nástrojů s 12 nástrojovými místy,
<b>Hmotnost stroje</b>	8 500 kg



*Obrázek 34. Univerzální CNC frézovací a vrtací centrum MAKA PM 270 [43]*



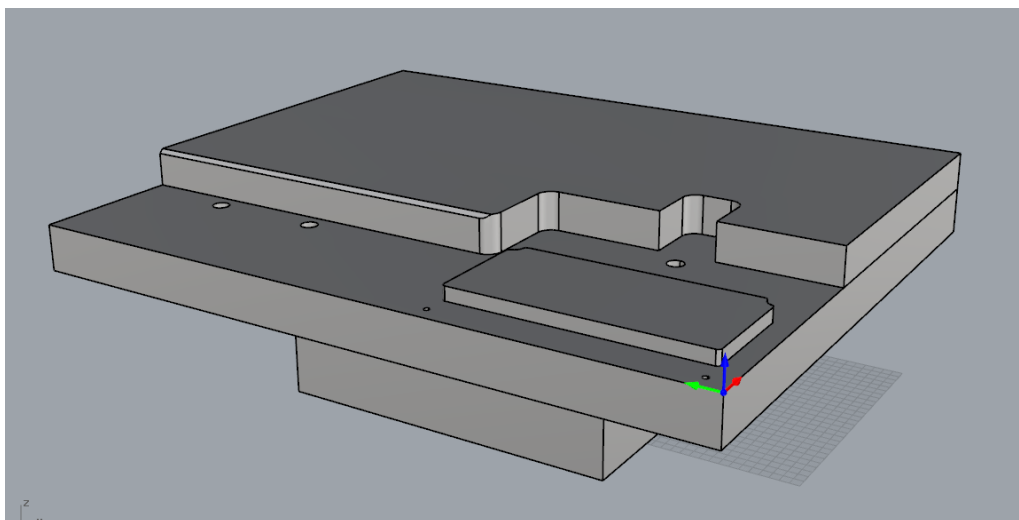
## 7.3. Návrh a výroba šablony

### 7.3.1. Návrh

Šablonu jsem zhotovil z textitu. Textit spadá do skupiny pertinax, což jsou reaktoplasty. Skládá se z vrstvené bavlněné tkaniny jako výztuže a krezolformaldehydové pryskyřice jako pojiva. Materiál se dobře obrábí. Má dobrou pevnost i houževnatost, a také tlumí nárazy. Materiál vykazuje dobrou odolnost vůči olejům, vodě, benzínu, i proti slabým kyselinám. [44]

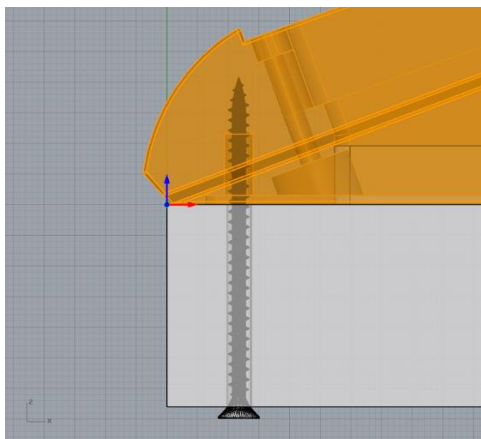
Šablona má za účel pomoci přesnému upnutí a možnosti ji znovu využít po sundání ze stroje. Pomůže také při frézování, kdy potřebujeme pracovat s obrobkem z více stran naklopením vřetena. Při obrábění by mohl základový stůl stroje vadit motoru. Proto jsem touto šablonou zvedl pracovní prostor výše od stolu.

Šablona slouží pro obě upnutí najednou. Jelikož při obou procesech pracují stejné nástroje, tak to ušetří čas při výměně nástroje.

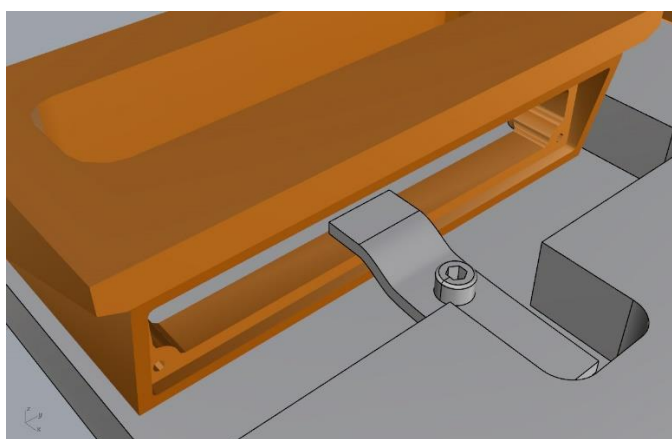


Obrázek 35. Návrh šablony

K připevnění polotovaru pro první upnutí slouží dva šrouby s vnitřním šestihranem M8. V šabloně jsou pro ně vytvořené průchozí díry. Pro druhé upnutí slouží vyfrézovaný obrys, na který se nasune obrobek. K zabránění pohybu slouží upínka, která se utahuje také pomocí šroubu s vnitřním šestihranem M8, a dva vruty. Vruty jsou 3,5x50 mm. Zavrtávají se do obrobku v části, kde nebudou vadit vzniklé díry po nich. Vruty prochází skrze vyvrtané díry průměru 4 mm. Je nutné zvolit vruty menšího průměru, tak aby se nepoškodily funkční otvory.



Obrázek 36. Detail přichycení šroubem



Obrázek 37. Detail upevnění upínkou

### 7.3.2. Výroba šablony

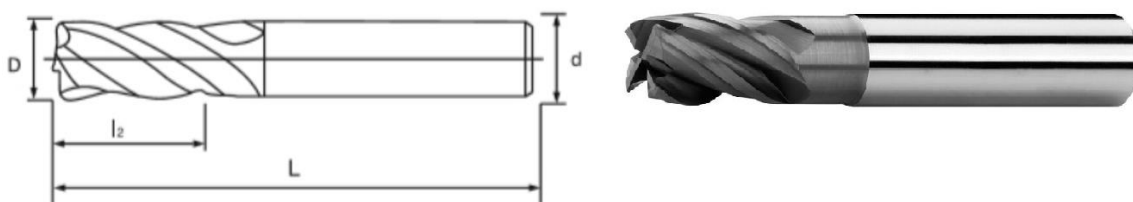
Výroba probíhala na stroji MAKa. Na šablonu jsem použil zbytek textitu, který se nacházel v podniku.

Použité frézy byly všechny z karbid wolframu s povlakem PVD (TiAlN). Mají čtyři drážky se stoupáním šroubovice 35°. Slouží pro použití na materiály do tvrdosti 50HRC.

Válcová fréza  $\varnothing 20$  mm –  $l_z=50$  mm,  $L=100$  mm,  $D=20$  mm,  $d=20$  mm

Válcová fréza  $\varnothing 8$  mm –  $l_z=40$  mm,  $L=100$  mm,  $D=8$  mm,  $d=8$  mm

Válcová fréza  $\varnothing 4$  mm –  $l_z=12$  mm,  $L=75$  mm,  $D=4$  mm,  $d=4$  mm [45]

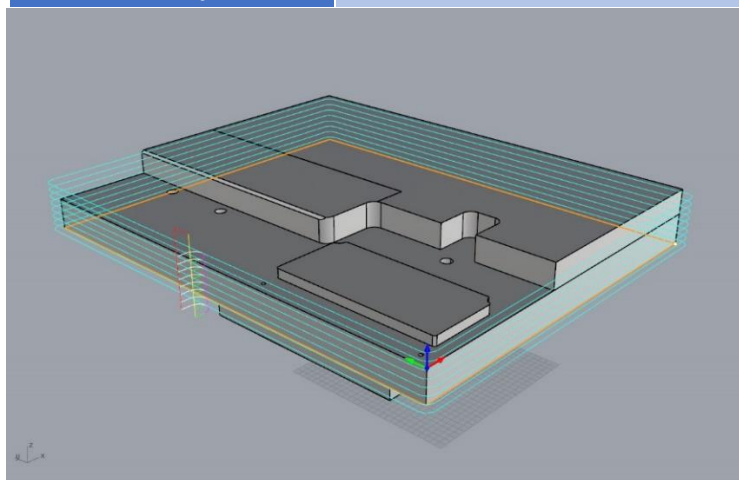


Obrázek 38. Válcová fréza 50HRC [45]

## Zarovnání stran

Tabulka 9. Parametry zarovnání stran

Operace	Axis Profiling
Nástroj	Válcová fréza Ø20 mm
Otáčky vřetene	6000 ot/min
Řzná rychlost	376,8 m/min
Posuv	3000 mm/min
Posuv na zub	0,13 mm
Směr obrábění	Sousledný
Krok nástroje dolů	8 mm



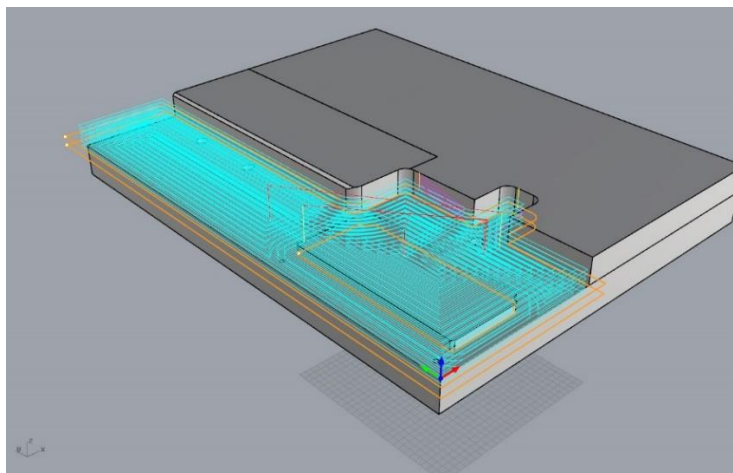
Obrázek 39. Zarovnání stran

## Hrubování

Hrubováním se odstranilo co nejvíce materiálu na součásti. Byl zde použit sousledný i nesousledný směr obrábění, který zkrátil strojní čas.

Tabulka 10. Parametry hrubování

Operace	Axis Pocketing
Nástroj	Válcová fréza Ø20 mm
Otáčky vřetene	6000 ot/min
Řzná rychlost	376,8 m/min
Posuv	3000 mm/min
Posuv na zub	0,13 mm
Směr obrábění	Oba
Radiální přídavek	1 mm
Krok nástroje dolů	5 mm
Krok nástroje do strany	6 mm

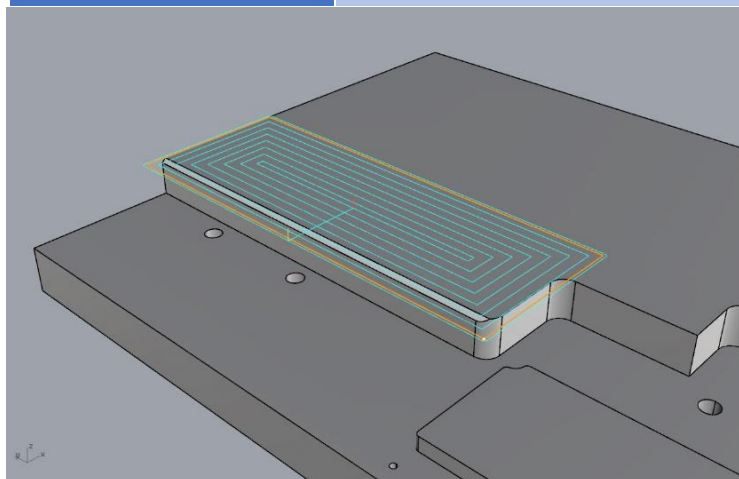

*Obrázek 40. Hrubování*

### Zarovnění dosedací plochy

Jelikož se zde odebírala pouze tenká vrstva materiálu, mohla se zvednout rychlost posuvu.

*Tabulka 11. Parametry zarovnění dosedací plochy*

<b>Operace</b>	Axis Facing
<b>Nástroj</b>	Válcová fréza $\varnothing 20$ mm
<b>Otáčky vřetene</b>	6000 ot/min
<b>Řezná rychlost</b>	376,8 m/min
<b>Posuv</b>	4000 mm/min
<b>Posuv na zub</b>	0,17 mm
<b>Směr obrábění</b>	Oba
<b>Krok nástroje do strany</b>	8 mm

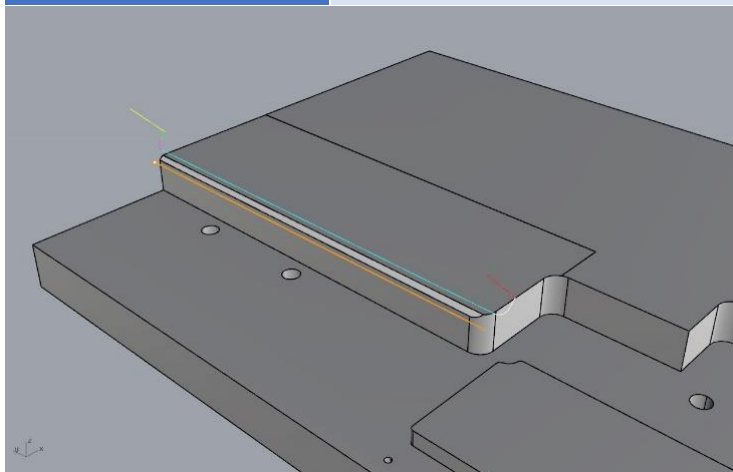

*Obrázek 41. Zarovnění dosedací plochy*

## Sražení hrany

Toto sražení se dělalo kvůli lepidlu, které by mohlo vytéct ven při lepení. Kvůli tomu by polotovar nemusel přesně dosedat na šablonu. Jelikož stroj dokáže obrábět pětiose, tak jsem nemusel použít úhlovou frézu. Postačila mi k tomu válcová fréza, která se natočila podle zkosené plochy.

*Tabulka 12. Parametry sražení hrany*

<b>Operace</b>	Axis Profiling
<b>Nástroj</b>	Válcová fréza Ø20 mm
<b>Otáčky vřetene</b>	6000 ot/min
<b>Řezná rychlost</b>	376,8 m/min
<b>Posuv</b>	3000 mm/min
<b>Posuv na zub</b>	0,13 mm
<b>Směr obrábění</b>	Sousledný

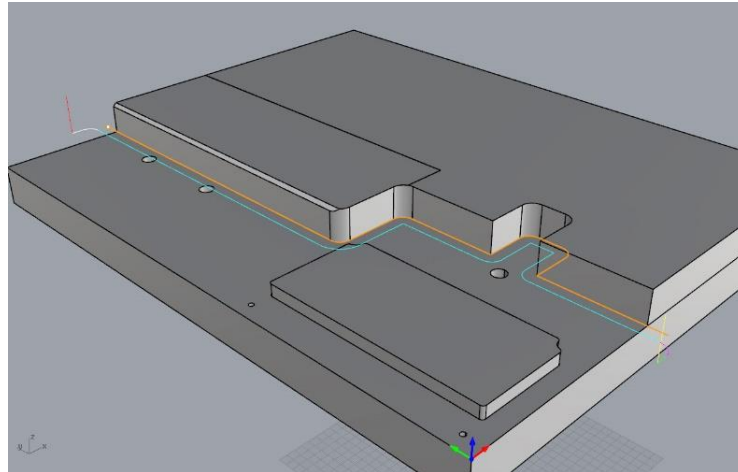


*Obrázek 42. Sražení hrany*

## Zarovnání po hrubování

*Tabulka 13. Parametry zarovnání po hrubování*

<b>Operace</b>	Axis Profiling
<b>Nástroj</b>	Válcová fréza Ø20 mm
<b>Otáčky vřetene</b>	6000 ot/min
<b>Řezná rychlost</b>	376,8 m/min
<b>Posuv</b>	3000 mm/min
<b>Posuv na zub</b>	0,13 mm
<b>Směr obrábění</b>	Sousledný



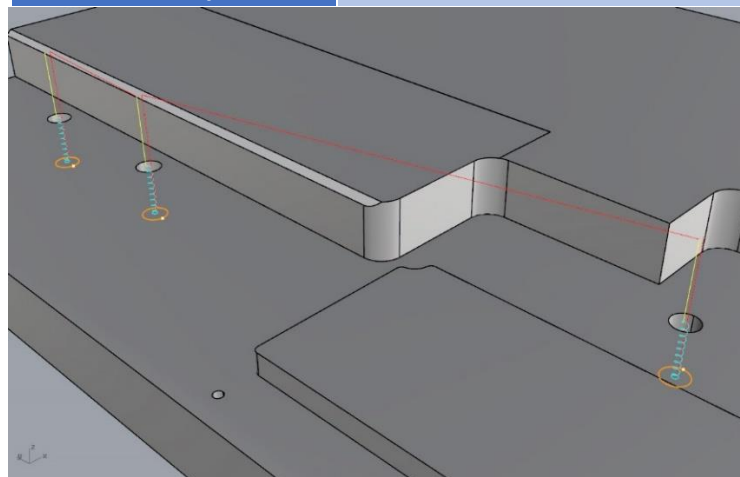
Obrázek 43. Zarovnání po hrubování

### Díry pro šrouby

Nástroj o průměru 8 mm tvořil díru sjížděním pro šroubovici, která má stoupání 3 mm. Tyto díry slouží pro šrouby. Průměr děr je 9 mm.

Tabulka 14. Parametry díry pro šrouby

Operace	Hole profiling
Nástroj	Válcová fréza Ø8 mm
Otáčky vřetene	8000 ot/min
Řezná rychlost	251,2 m/min
Posuv	2000 mm/min
Posuv na zub	0,06 mm
Směr obrábění	Sousledný
Krok stoupání	3 mm



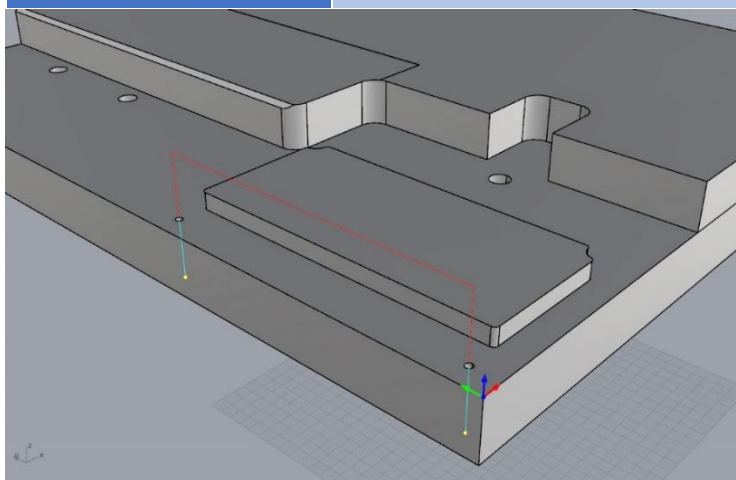
Obrázek 44. Díry pro šrouby

## Vrtání děr pro vruty

Při tomto vrtání děr se použila válcová fréza o průměru 4 mm. Krok dolů je 5 mm. Vždy po vyvrtání 5 mm do hloubky vyjela fréza ven z díry, aby se vyčistila od pilin.

Tabulka 15. Parametry vrtání děr pro vruty

Operace	Standard Drill
Nástroj	Válcová fréza Ø4 mm
Otáčky vřetene	8000 ot/min
Řezná rychlost	100,5 m/min
Posuv	1500 mm/min
Posuv na zub	0,05 mm
Směr obrábění	Sousledný
Krok dolů	5 mm



Obrázek 45. Vrtání děr pro vruty

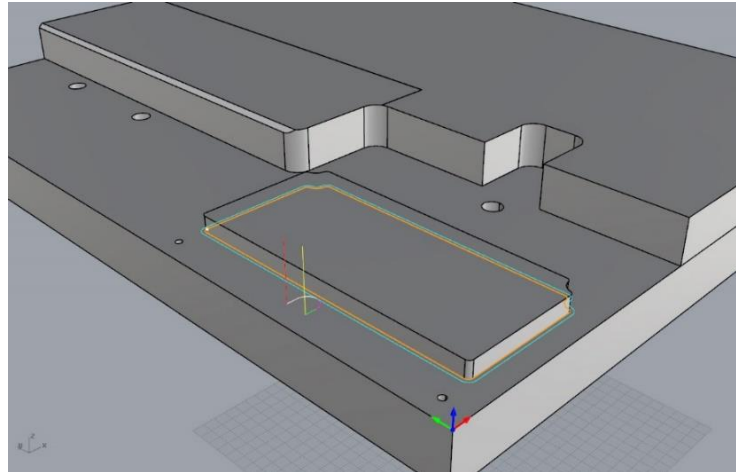
## Zarovnání tvarů pro druhé upnutí

Válcovou frézou o průměru 4 mm se zarovnála dosedací plochu pro druhé upnutí.

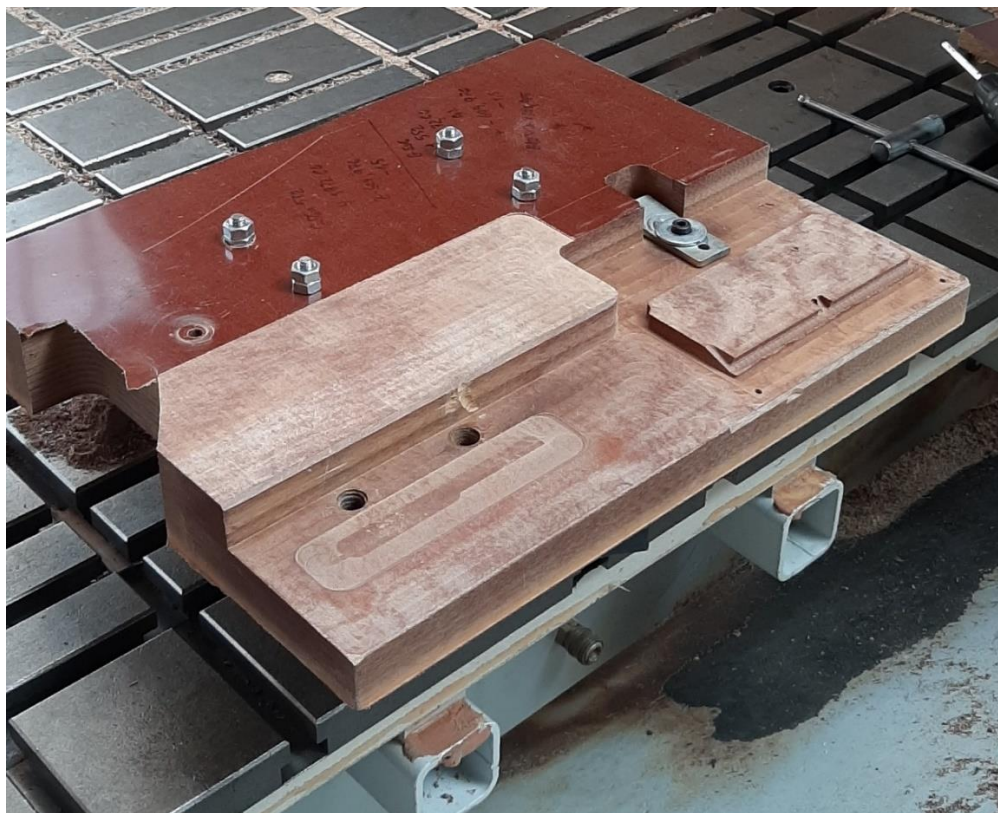
Tabulka 16. Parametry zarovnání tvarů pro druhé upnutí

Operace	Axis Profiling
Nástroj	Válcová fréza Ø4 mm
Otáčky vřetene	8000 ot/min
Řezná rychlost	100,5 m/min
Posuv	1500 mm/min
Posuv na zub	0,05 mm
Směr obrábění	Sousledný





Obrázek 46. Zarovnání tvarů pro druhé upnutí



Obrázek 47. Finální šablona





## 7.4. Návrh a výroba polotovaru

### 7.4.1. Návrh

Nejprve byla potřeba vypočítat přídavky na frézování.

$$p_x = \frac{5 \cdot x}{100} + 2 \quad [mm]$$

Za  $x$  se dosadily rozměry délky, šířky a výšky. Tím se vypočítal příslušný přídavek.

$$p_l = \frac{5 \cdot 209}{100} + 2 = 12,45 \text{ mm}$$

$$p_b = \frac{5 \cdot 142,9}{100} + 2 = 9,145 \text{ mm}$$

$$p_h = \frac{5 \cdot 66,7}{100} + 2 = 5,335 \text{ mm}$$

Kde:

$p_l$  je přídavek délky,

$p_b$  je přídavek šířky,

$p_h$  je přídavek výšky.

Jednotlivé rozměry polotovaru jsem určil přičtením přídavku k počátečnímu rozměru.

$$L_p = l + p_l = 209 + 12,45 = 121,45 \text{ mm}$$

$$B_p = b + p_b = 142,9 + 9,145 = 152,045 \text{ mm}$$

$$H_p = h + p_h = 66,7 + 5,335 = 72,035 \text{ mm}$$

Kde:

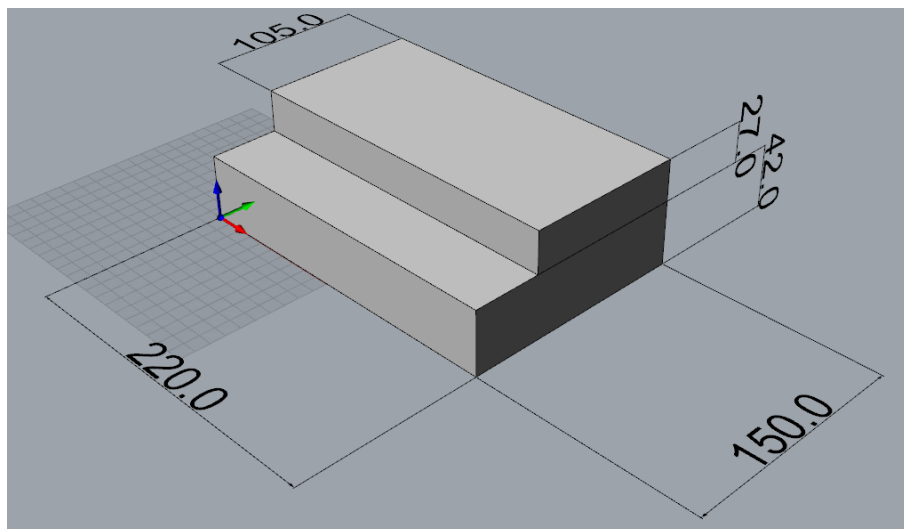
$L_p$  je délka polotovaru,

$B_p$  je šířka polotovaru,

$H_p$  je výška polotovaru.

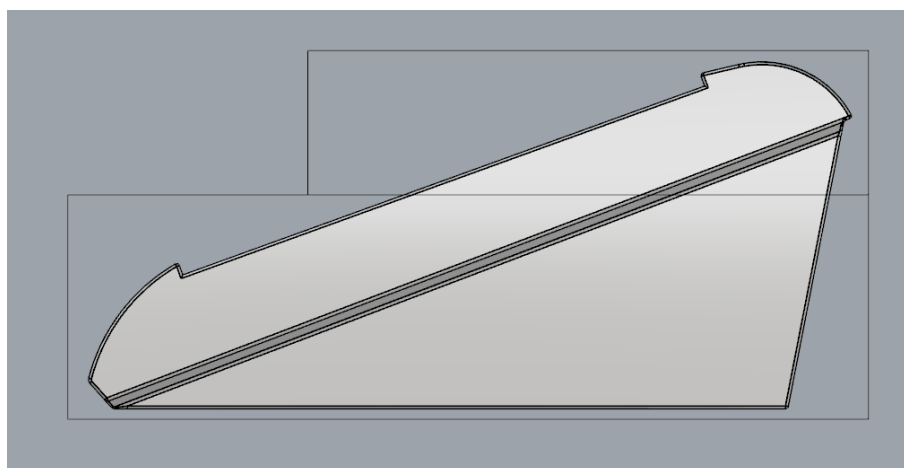
Ze zkušenosti jsem věděl, že vypočtené přídavky se od skutečných mohly lišit. Použité přídavky mohly být menší.

Kvůli ušetření materiálu se pro výrobu nepoužil plný kvádr. Polotovár se skládal ze dvou hranolů o délkách 220 mm. Menší měl výšku 27 mm a šířku 105 mm. U většího byla šířka 150 mm a výška 42 mm.



Obrázek 48. Polotovár

Na šířce byl přidán přídavek 7 mm a na výšku 4 mm. Přídavek na délku součásti činil 11 mm.



Obrázek 49. Znázornění výrobku v polotovaru

#### 7.4.2. Výroba polotovaru

Materiál byl přivezen už vysušený na požadovanou vlhkost, která se vždy ověřovala měřičem vlhkosti. Pro výrobek se objednávaly fošny v délce 4 metry, šířce 300 cm a tloušťkách 30 a 50 mm. Nejdříve se dlouhá prkna zkrátila na kratší přířezy. To usnadnilo následnou manipulaci s materiálem. Také jsme se tím zbavili přebytečných suků, které by nám výrobu mohly znesnadňovat. Nesměli jsme zapomenout na to, že

zákazník požadoval co nejčistší dřevo. Řezání probíhá na formátovací pile. Krátilo se na délku okolo 500 mm.

Po zkrácení se musely přířezy nejprve srovnat a poté zlegalizovat na přesnou tloušťku a šířku. K tomu se využila kombinovaná srovnávací frézka. Srovnávalo se kvůli tomu, že koupené dřevo je zvlněné. To mohlo být buď od prvotního řezání na pile, nebo od následného sušení. Ve dřevě vzniká pnutí a krouťí se, proto nikdy nebývá koupené dřevo úplně rovné. Srovnávala se jedna plocha a k ní následně jedna strana. Při srovnávání plochy je důležité stále tlačit na dřevo proti nožové hřídeli. Díky dokonale rovné ploše jsme mohli srovnat i přilehlou stranu. K tomu jsme využili pravítko, které svírá se stolem pravý úhel. Srovnaná plocha se přitiskla k pravítku a posunovala se proti nožům. Průjezdů nožovou hřídelí jsme dělali zpravidla několik. Záleželo, jak hodně bylo dřevo zkroucené.

Po srovnání jsme přešli k protahování, kterým jsme dosáhli přesné tloušťky a šířky. Velký pozor jsme si museli dát na to, abychom při prvním průtahu srovnanou plochu položili na hlavní stůl tak, aby se nesrovnaná plocha obráběla. Postupně jsme si zmenšovali mezeru mezi stolem a nožem až na požadovanou výšku. Díky posuvným a přitlačovacím válcům jsme nemuseli neustále stále tlačit prkno proti noži. Stačilo pouze prkno zastrčit začátkem mezi stůl a válec a o zbytek jsme se už nemuseli starat. Celý posuv materiálu obstarávaly válce. Ideální je toto dělat ve dvou lidech. Jeden strkal prkna do stroje a druhý je na konci odebíral. Samotný člověk by jinak musel obíhat celý stroj.

Po protáhnutí na přesné rozměry bylo nutné obě prkna slepit. Použili jsme lepidlo na dřevo D3 od firmy Würth. Toto lepidlo je voděvzdorné a odpovídá požadavkům normy EN 204 v třídě D3. Je nehořlavé a pachově neutrální. Lepený spoj je trvalý, pružný a pevný. [46]

Lepidlo se nanášelo pomocí štětce na plochu, která se lepila. Slepené polotovary se umístily do ručního šroubového lisu. Na vytvrnutí jsme čekali minimálně 30 minut při okolní teplotě 20°C.



Obrázek 50. Slepené polotovary ve šroubovacím lisu

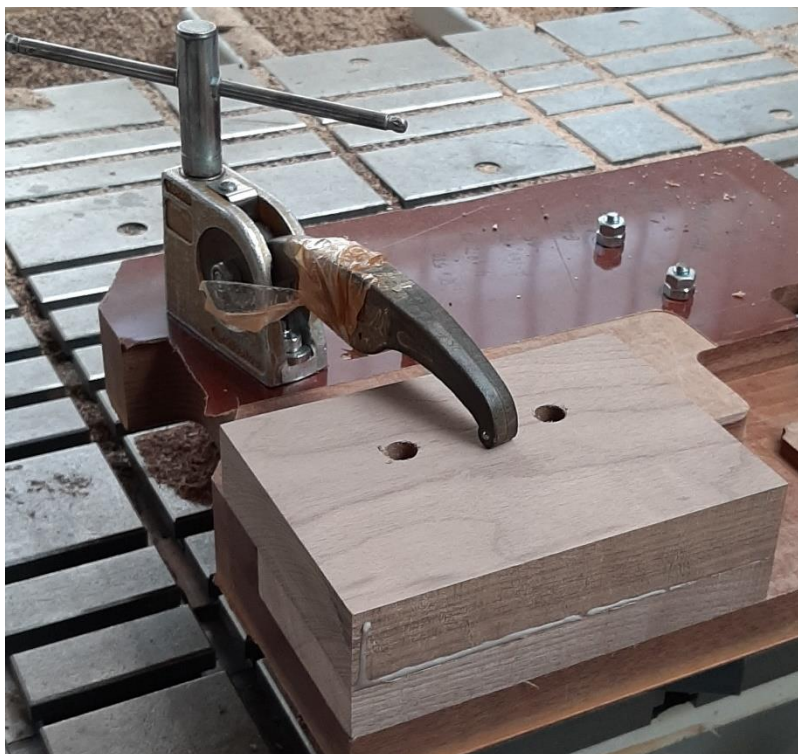
Po vytvrdnutí lepidla jsme se přesunuli k formátovací pile. Zde se zkrátily polotovary na požadovanou délku. Z jednoho slepeného kusu se udělaly dva polotovary.

## 7.5. Vrtání děr do polotovaru

K vyvrtání potřebných děr pro následné upnutí polotovaru jsem použil stroj Maka. Využil jsem také vyrobenou šablonu pro upínání. Na šablonu jsem připevnil pákovou upínku Kopal pomocí šroubu a matice. Pro šroub jsem si vytvořil v šabloně otvor. Umístění polotovaru je znázorněno na obrázku 52. Při upínání se dorážel polotovar na zub a hlídalo se, aby levá strana byla souběžně se stranou šablony. Zarovnání nemuselo být přesné na desetiny, neboť měl polotovar dostatečné přídavky. Souběžná strana se kontrolovala pouze přejetím rukou. K vyvrtávání jsem použil vícefazetový stupňovitý vrták pro šrouby M8, který má dva průměry – menší je 9 mm a větší 15 mm.



Obrázek 51. Vícefazetový stupňovitý vrták DIN8378 HSS 180° M8



Obrázek 52. Vyrtrané díry v polotovaru

## 7.6. Obrábění modelu

### 7.6.1. Zásady frézování dřeva

Při realizaci výroby byly dodržovány následující pravidla pro frézování dřeva. Kvůli ověření a demonstraci jsem pro některé provedl samostatné frézování. Použitý materiál je zcela stejný jako materiál výsledného výrobku.

#### Nástroje

Použitý nástroj by měl být ostrý. Frézy před použitím by měly být čisté s naprosto volným místem pro odvod materiálu. Když se při obrábění začíná tvořit chmýří nebo se materiál štípe, značí to, že pravděpodobně potřebujeme vyměnit frézu. Při výběru frézy bychom měli upřednostňovat nástroje ze slinutých karbidů (tvrdokovu) než z rychlořezné oceli (HSS). Nástroje z HSS se příliš rychle otupují, zatímco nástroje z karbidů vydrží ostré daleko déle. [47]

Při výběru nástroje musíme brát ohled, k čemu ho chceme použít. Pokud vyžadujeme perfektní povrch na spodní hraně, tak použijeme frézu s pozitivním sklonem ostří v dolní části. Naopak, když požadujeme kvalitní horní hranu bez otřepů, zvolíme frézu s negativním sklonem ostří v horní části. Při použití pozitivně-negativních fréz a diamantových fréz, musíme při frézování dodržovat, aby byly v záběru obě řezné části



nástroje. Kdyby byla malá hloubka řezu, přestal by fungovat účinek nakloněných břitů.  
[48]

V obrázku 53 je vidět vliv nakloněných břitů. Použitý nástroj má ve spodní části o délce 10 mm pozitivní sklon a ve zbylé části negativní. V levé drážce byla zvolena malá hloubka řezu, takže působilo pouze pozitivní ostří. Horní hrana tak nebyla dokonalá. V pravé drážce už zabíraly oba typy ostří, a proto jsou obě hrany perfektní.



*Obrázek 53. Vliv nakloněných břitů*

### **Směr posuvu nástroje**

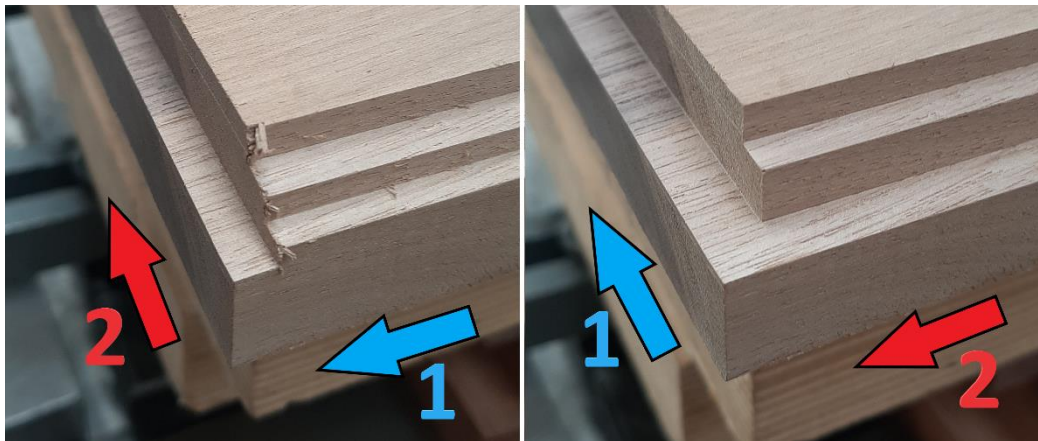
Při práci se dřevem spíše volíme sousledný směr frézování než nesousledný. Tím snižujeme pravděpodobnost vytrhnutí nebo odštípnutí materiálu. Je nutné si dát pozor i na směr vláken při frézování vnějších ploch, kde sousední plochy mají na spoji ostrou hranu. Vždy nejdříve vedeme řez kolmo na vlákna a až poté podél vláken.

Nesousledný směr obrábění u dřeva často vyštípává materiál viz obrázek 54.



*Obrázek 54. Vliv nesousledného směru obrábění*

Vliv směru řezu je vidět na obrázku 55. Na levém snímku je proveden nejprve řez podél vláken a až poté kolmo. Na spoji obou ploch je uštípnutý materiál. V pravé části obrázku je strategie směrů otočená a výsledek je už správný.



*Obrázek 55. Vliv směru řezu*

### **Dokončovací operace**

Pokud máme dobrý materiál, u kterého je relativně malé štěpení, tak se ho po hrubování dokončením úplně zbavíme. Dokončovací projetí by mělo být mnohem jemnější než hrubovací. Tím se vyčistí plocha po hrubování a díky nastavené menší šířce řezu nebo krokování nevzniknou žádné nové výtržky. Ne vždy nám k tomu postačí pouze jedno dokončovací projetí, a proto se někdy volí více průchodů. Zde je veliký rozdíl oproti obrábění kovů, kde musí být minimální tloušťka třísky 5-20 % poloměru břitu. Pod touto hodnotou se totiž netvoří třísky, fréza způsobuje značné teplo a plastickou deformaci. [48]

### **Nájezd do materiálu**

Při vjezdu nástroje do materiálu vzniká velké riziko vytrhnutí materiálu. Při nájezdu se často zmenšuje posuv nástroje. Upřednostňuje se rampování, což je velmi jemný vstup. Toto však neplatí pro frézy, které mají specifické ostří. Zde chceme, aby vlastnosti břitu začaly působit hned od počátku řezu. Kdybychom tak neučinili, funkce břitu by nefungovala správně viz obrázek 53. [48]

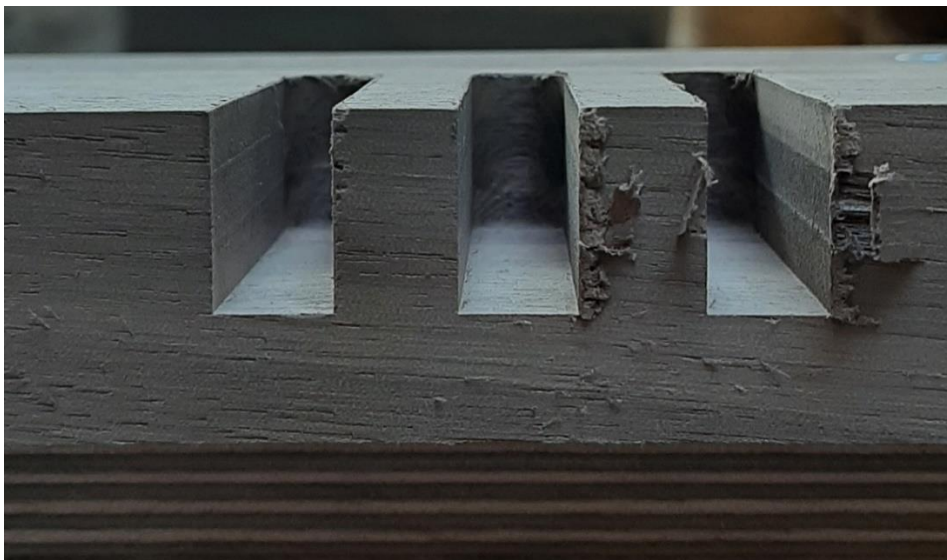
Při tvoření drážky, která má jeden konec otevřený, také postupujeme jinak. Abychom zabránili vzniku výtržku, vyplatí se začátek otevřeného konce drážky odfrézovat nástrojem pohybem pouze shora dolů viz obrázek 57. Poté můžeme klasicky

frézovat. Výhodou je nejenom zabránění výtržku, ale také můžeme použít sousledný i nesousledný směr obrábění, což nám ušetří strojní čas.



Obrázek 56. Předfrézovaný začátek drážky

Na snímku 57 můžeme vidět tři drážky. Drážka byla tvořena na tři kroky nástroje směrem dolů. Pravá drážka byla tvořena sousledně i nesousledně. V místě největšího odštípnutí byl průjezd nástroje nesousledný. V prostřední drážce projížděl nástroj pouze sousledně. Ačkoliv byl ostrý, vyskytlo se chmýří na okraji jedné strany. U levé drážky bylo použito nejprve odpíchnutí materiálu viz obrázek 56 a poté bylo provedeno frézování drážky. I přes použití obou směrů obrábění je drážka skoro perfektní.



Obrázek 57. Způsoby vytvoření drážky



### **Hloubka řezu**

Snížením hloubky řezu klesne riziko vzniku chyby. Čím hlubší je řez, tím více je fréza v záběru. Frézy spirálovitého tvaru způsobují vzestupný tah, který vede k vytrhávání. Snížením hloubky tedy zmenšujeme délku šroubovice, která může vyvíjet síly směrem nahoru. [48]

### **Tvrdost dřeva**

Měkké dřevo a překližky jsou mnohem náchylnější k odštěpování. Zvolením tvrdého dřeva zmenšíme pravděpodobnost závad. Vlákno tvrdého dřeva je mnohem hustší a pevnější. [47]

### **Zahřívání nástroje, pálení dřeva**

Pokud je nástroj po řezu teplý nebo dokonce dochází ke změně barvy a dřevo se pálí, je to náznak toho, že je něco v nepořádku a musíme si na to dát veliký pozor. Vše souvisí s vysokým třením mezi materiálem a nástrojem. Existuje několik možností, proč k němu dochází. Na dané otáčky nástroje je náš posuv příliš malý. Zvýšením rychlosti posuvu dojde ke zmenšení doby tření na jednom místě a klesne teplota. Posuv však nesmíme nastavit příliš velký. To by mohlo mít za následek nedokonale obrobenou plochu nebo by se nástroj mohl zlomit nebo poničit. Obdobné řešení problému můžeme vyřešit z hlediska otáček. Na daný posuv máme zvolené příliš velké otáčky. Snížení otáček opět napraví chybu. Tím tedy máme vyřešené posuvy a otáčky. Ve výsledku musíme zvolit co nejideálnější kombinaci, která si blíží ideálnímu nastavení stejně tak jako při frézování kovů. U nich nám se vznikem tření, a tedy i tepla, pomáhají chladicí emulze o různých bázích. U dřeva bohužel nejde využít této výhody, neboť by chladicí emulze znehodnotily dřevěný materiál. Lze si však ještě pomoci vyfukováním odebraného materiálu. Jednak zlepšíme kvalitu obrobené plochy, protože piliny nebudou vadit fréze v kontaktu s plochou, a také nebude vznikat takové tření. Foukání při procesu pomáhá fréze lépe vyházet třísky z řezu a zabraňuje zaplnění šroubovice na fréze. Při zadělání šroubovice obrobeným materiálem nebudou mít třísky možnost odcházet, fréza tak nebude perfektně obrábět, což by mohlo mít nekalé následky. [47] [48]

## Průchozí díry

Snad každý, kdo kdy vrtal průchozí díru do dřeva, poznal nesnáze s ní spojené. Po vyvrtání se na druhém konci otvoru po projetí vrtákem vylomí materiál. Stejně to je i při frézování při použití frézy. Použití podkladové desky může udělat zázrak. Slouží jako podpora dřeva a snižuje šanci vyštípnutí. Předjetí z protější strany také zabrání vzniku defektu. To je ale varianta, u které je nutnost frézovat z obou stran. I když máme v plánu obrábět z obou stran, otvor může být nepřístupný. Proto existuje poslední eventualita, jak vyrobit dokonalou díru. Těsně před projetí frézy spodní plochou se sníží posuv. Nutností k tomuto postupu je ostrá fréza, která nemá zahlcené místo pro odvod třísek. Při vytváření hlubokých děr se hloubení provádí po kratších úsecích, kdy během každého úseku fréza vyjede z díry ven, čímž vyčistí otvor a také sebe. [48]

### 7.6.2. Řezné podmínky

Při volbě řezných podmínek u dřeva nelze postupovat jako například u kovů, u kterých dodržujeme při určování jisté vztahy. U dřeva nelze přesně určit ideální řezné podmínky ze vtaů. Proto při volbě podmínek vycházím nejprve ze zkušeností. Zpočátku zvolím takové podmínky, u kterých vím, že nehrozí třeba pálení materiálu nebo zlomení frézy. Při volbě také dbám na tvrdost dřeva, přičemž ořech spadá do tvrdých dřevin. Podmínky lze nastavit i podle nástroje. Některé nástroje mají podle tvrdosti určené parametry. Často to jsou ale velké intervaly a uživatel tak jen něco z nich nahodile zvolí.

K co nejideálnějším řezným podmínkám se snažím dostat, až když začnu obrábět na stroji. Zde upravuji otáčky a posuv podle pár kritérií.

- Podle tvaru třísky. Pokud třísky jsou zcela na prach, tak snižuji otáčky nebo zvyšuji posuv. Naopak když jsou příliš velké nebo dokonce tak malé, že vytrhávají materiál, tak otáčky zvyšuji nebo snižuji posuv.
- Podle teploty buď nástroje, nebo barvě a zápachu třísek. Vše podstatné k tomuto jsem již zmínil v kapitole o zásadách frézování dřeva.
- Podle poslechu. Když fréza při procesu obrábění vydává vysoký tón (píská), tak buď zvyšuji posuv, nebo snižuji otáčky.

### 7.6.3. Tvorba obrábění v CAD/CAM

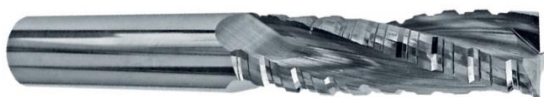
Jelikož zákazník dodal model ve formátu STEP, odpadla mi část modelování. Rhinoceros nahrál tento formát bez problémů. Zkontroloval jsem, zda jsou správně rozměry a mohl jsem pokračovat k navrhování obrábění. S důrazem na všechny výše zmíněné zásady o frézování dřeva jsem začal kompletovat obrábění.

Při tvorbě obrábění dřeva se snažím mít co největší kontrolu nad každým pohybem nástroje. Z tohoto důvodu si nejraději modeluji křivky, podle kterých se počítá dráha nástroje. Tento proces tvorby je poněkud zdoluhavější, ale mám větší kontrolu při tom, když software počítá dráhy. Jakmile nastane při obrábění nějaká vada, rychleji upravím dráhu.

#### **Hrubování prvního upnutí**

Při hrubování se snažím odebrat co nejvíce materiálu v co nejkratším čase. Nezáleží tolik na kvalitě povrchu, a proto se mohou nastavovat vyšší rychlost nástroje a také větší záběr.

Pro tento úkol jsem použil frézu s označením HW spirálová fréza RAPTOR – hrubovací/dokončovací D20×72/120; Z3 PP. Tato fréza má tři zuby. Označení PP znamená pravá pozitivní šroubovice, která má horní odvod třísek a dopomáhá vynikající kvalitu řezu na spodní straně. [49]

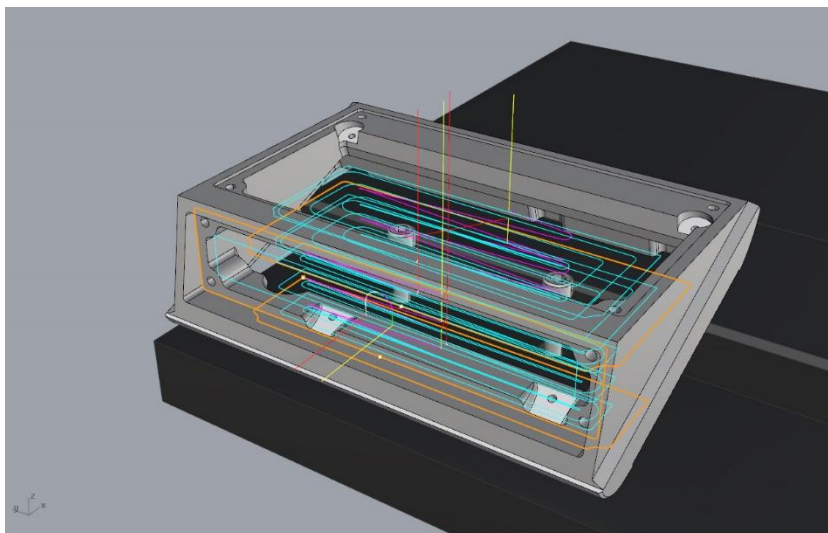


*Obrázek 58. Válcová fréza d20 mm hrubovací [49]*

Na každou plochu jsem dal přírůstek 1 mm. Posuv nástroje jsem nastavil na 3 000 mm/min a otáčky na 12 000 ot/min. U vnitřních vybráních jsem volil záběr nástroje na 60 % průměru nástroje.

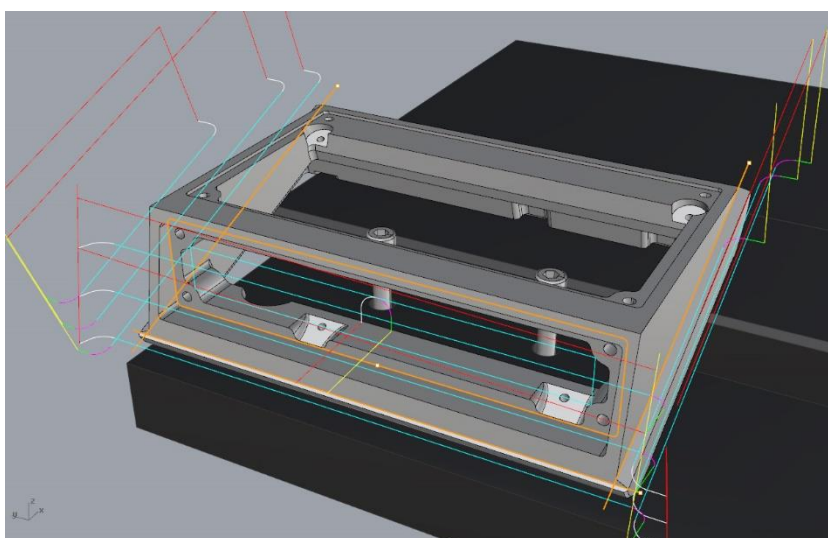
Začínal jsem vnitřním vybráním. Vybral jsem strategii *Axis Pocketing*. Tato operace vybere všechny materiál uvnitř ohraničení. Řezný vzor jsem nastavil na Offset Spiral, kdy nástroj začíná od středu ohraničení a spirálovým pohybem kopírující ohraničení se přibližuje až k okraji. Zvolený rampovací nájezd považuji do plného materiálu za nejlepší. Musel jsem dát pozor na šrouby, pomocí kterých je upevněn

polotovaru. Kvůli tomu jsem si v dolní části navrhl křivku, jež nezasahuje do šroubů. Pro vybrání z čela jsem musel naklopit nástroj. K tomu jsem využil indexované frézování 3+2, kdy tři osy X, Y a Z se pohybují plynule a zbylé osy A a B jsou zaindexovány. Toto je obrovská výhoda víceosých frézovacích strojů. Při vytváření kapes jsem nastavil stroji foukání. To dopomáhalo vyčištění díry od třísek a také se zbytečně nezahlcovala šroubovice na nástroji.



*Obrázek 59. První upnutí – hrubování – Axis Pocketing*

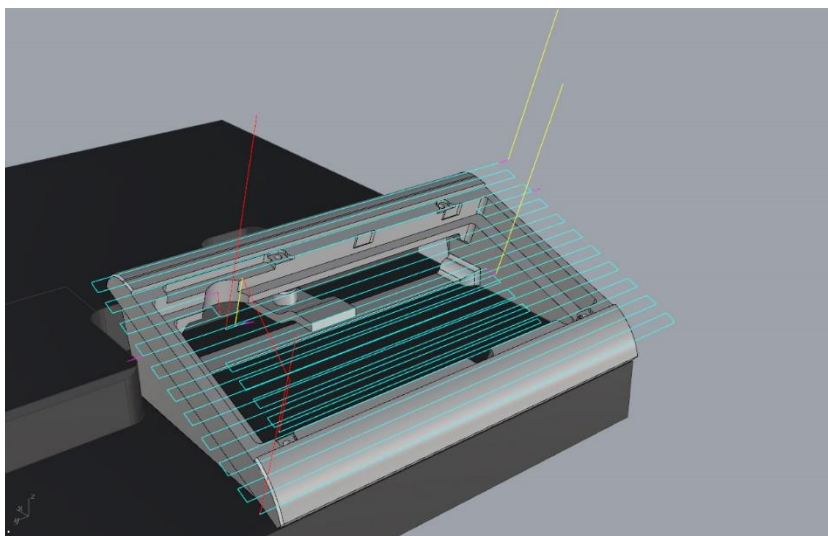
Dále jsem hruboval vnější strany. Pro ty jsem si také vymodeloval řídicí křivky. Strategie *Axis Profiling* se pohybuje podle těchto vytvořených křivek buď zleva nebo zprava. U stran se nástroj opět natočil.



*Obrázek 60. První upnutí – hrubování – Axis Profiling*

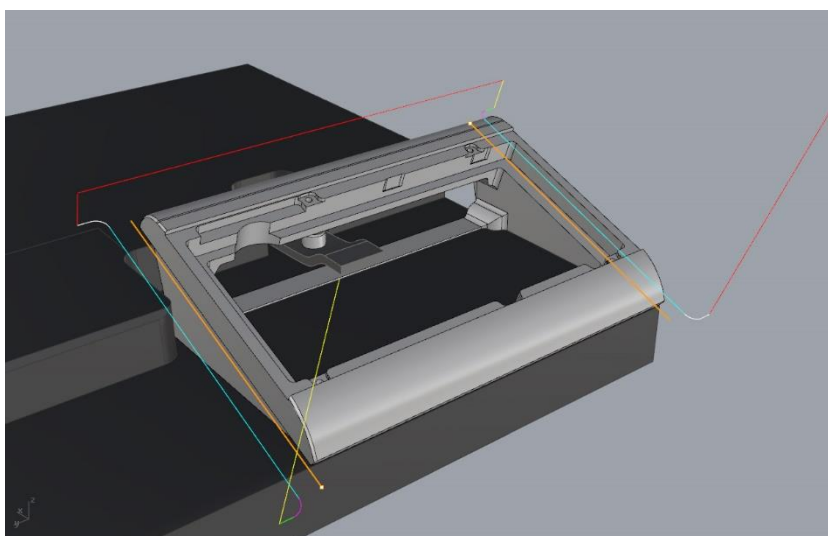
## Hrubování druhého upnutí

Při hrubování na druhém upnutí jsem využil strategii *Horizontal Roughing*. Zde jsem také naklopil nástroj. U této operace bylo nutné mít nastavený polotovar, protože se počítala dráha přesně podle něj. Řezné podmínky byly stále stejné jako u prvního upnutí. Protože zde byla větší hloubka řezu, snížil jsem krok nástroje na 35 % jeho průměru. Pro úsporu času jsem zvolil jak sousledný, tak i nesousledný směr obrábění. To mi ušetřilo čas, neboť nástroj obráběl neustále a nemusel zbytečně přejíždět.



Obrázek 61. Druhé upnutí – hrubování – *Axis Pocketing*

Jedinou věc, kterou jsem vyloučil z předchozí operace, byly strany obrobku. Bylo to kvůli dodržení zásad. Pro tyto strany jsem opět využil strategii *Axis Profiling*.



Obrázek 62. Druhé upnutí – hrubování – *Axis Profiling*

## Dokončování prvního upnutí

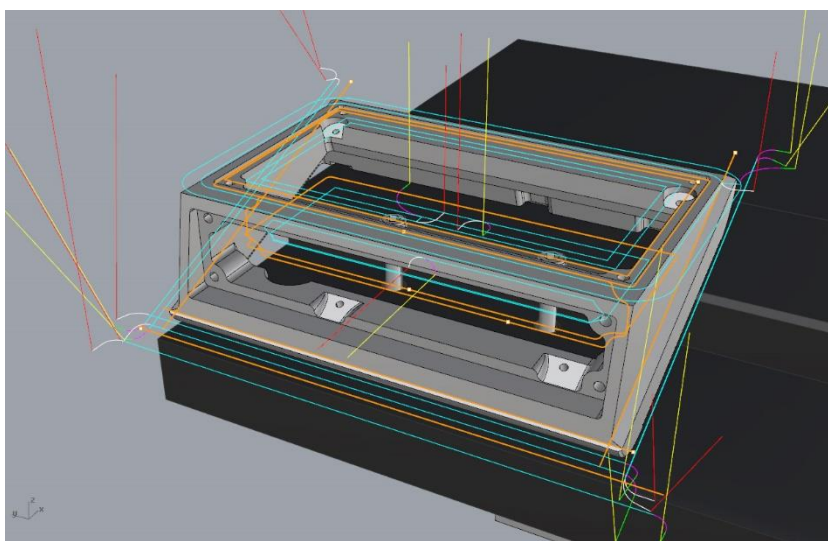
Po hrubování lze následně pokračovat k dokončování. Nejprve jsem použil nástroj s označením IGM 193 Drážkovací spirálová fréza pozitivní HWM Z3 – D20x70 L120 S=20.



Obrázek 63. Válcová fréza d20 mm dokončovací [13]

Otáčky jsem nastavil opět na 12 000 ot/min. Posuv jsem snížil na 2 500 mm/min. Tímto snížením posuvu šlo snáze dosáhnout lepší kvality obrobené plochy a také se tím snížilo riziko vzniku otřepů.

Zde jsem využil pouze strategii *Axis Profiling*. U ploch, které se budou frézovat ještě frézou 4 mm, jsem nechal přídavek 0,1 mm z důvodu přesnosti.



Obrázek 64. První upnutí – dokončování fréza 20 mm – *Axis Profiling*

Kvůli dířákům a rádiusům na hranách jsem potřeboval k dokončení frézu o průměru 4 mm. Použil jsem nástroj IGM 192 Drážkovací spirálová fréza negativní HWM Z2 – D4x15 L60 S=8. Tato fréza má dva zuby s negativním sklonem ostří pro dolní odvod třísek.

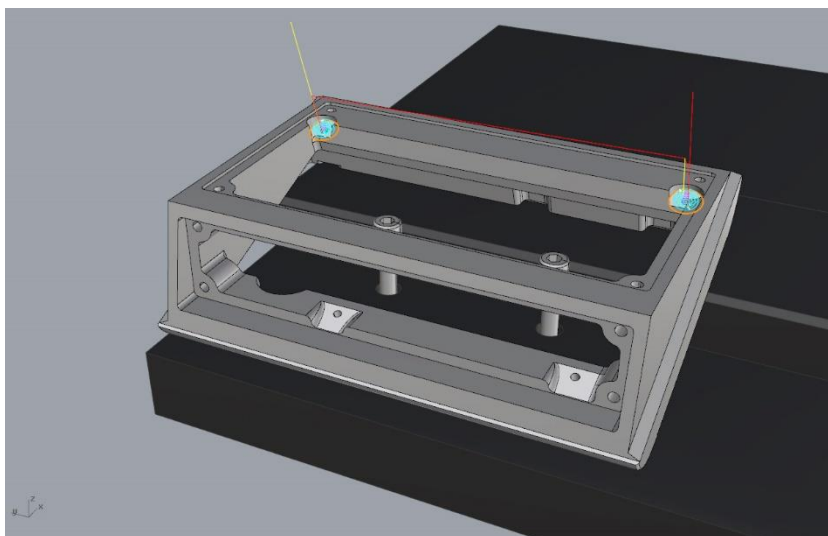


Obrázek 65. Válcová fréza d4 mm [13]

Začal jsem vybíráním děr. Strategii jsem volil *Axis Pocketing*. Je stejná jako při hrubování u prvního upnutí. Celková hloubka vybrání byla 5 mm. Zvolil jsem hloubku

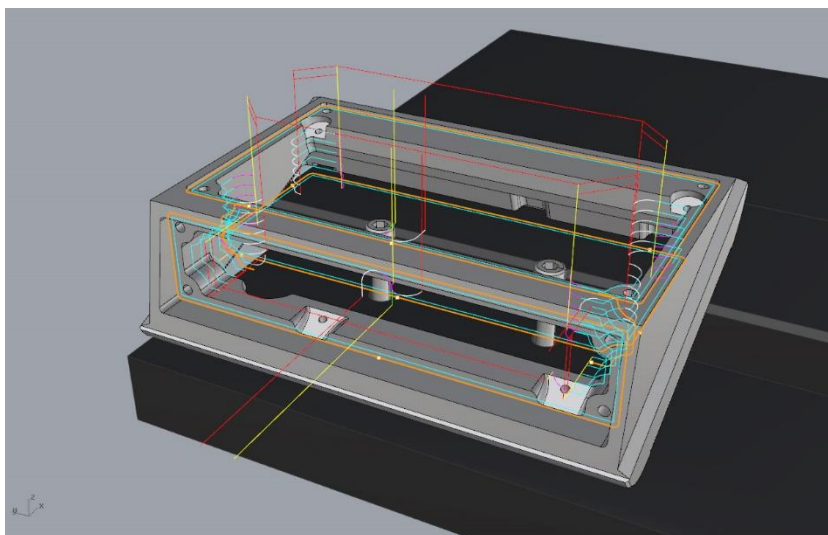


řezu 2,5 mm a boční krok nástroje 30 % průměru nástroje. Otáčky jsem nastavil na 14 000 ot/min a posuv 1 000 mm/min.



Obrázek 66. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Pocketing

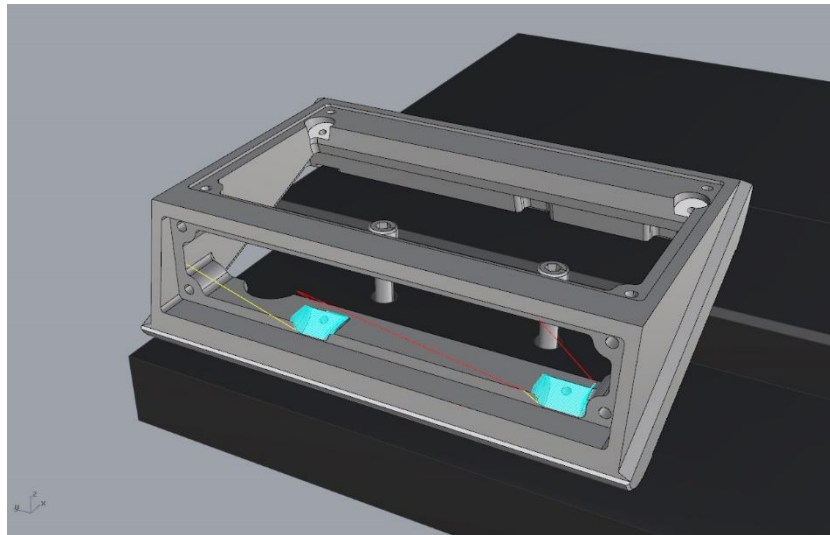
Na všechny plochy, v jejichž rozích byl rádius 2 mm, jsem vybral *Axis Profiling*. Otáčky nástroje zůstaly 14 000 ot/min. Pouze se zvýšil posuv na 1 500 mm/min. Všude v rozích, kde bylo více materiálu, jsem nastavil hloubku řezu 5 mm a přídavek 0,05mm. Přídavek jsem nastavil kvůli tomu, že se plochy nakonec objížděly frézou na jeden záběr. Nevznikly tak žádné stopy po předchozím frézování.



Obrázek 67. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Profiling

Zbývala poslední dvě vybrání u děr. Na tyto vyhloubení by se více hodil kulový nástroj. Po konzultaci se zákazníkem jsme se dohodli, že z důvodu úspory času a z faktu, že se jednalo o nefunkční plochy, které byly ve finále zakryté, se obrábělo válčovým nástrojem. Volba strategie byla *Parallel Finishing*. Při této možnosti byly průchody

nástroje rovnoběžné v rovině XY. Z-tová souřadnice sledovala povrch plochy uvnitř ohraničené oblasti. Otáčky i posuvy zůstaly nezměněné. Nastavoval jsem pouze boční krok nástroje na 10 % průměru nástroje. Nejtěžší u tohoto vybrání bylo nastavit správný úhel naklopení nástroje. Způsobem pokus omyl jsem pomocí simulace po pár případech, kdy nástroj způsobil kolizi, našel to správné seřízení.

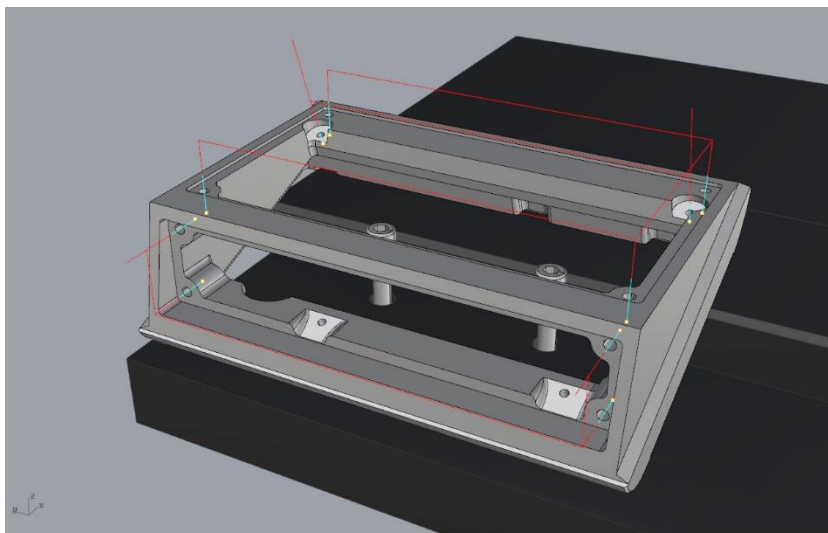


*Obrázek 68. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Parallel Finishing*

Nakonec zůstaly pouze díry k vyvrtání. Zde se, opět po konzultaci se zákazníkem, provedly změny. Z původních průměrů děr 4,2 mm a 4,6 mm se všude staly 4 mm díry. Díry o průměru 4,6 mm měly sloužit pro závrtné matice. Při zkoušce, zda matice bude pevně držet, jsme zjistili, že je otvor příliš velký a matice se pořádně do materiálu nezařízla. Do děr o velikosti 4,2 mm se zasouvaly nožičky od krycích plechů. Nožičky měly průměr 3,2 mm, a tak zmenšení díry o 0,2 mm ničemu nevadilo.

Vybral jsem si funkci pro vrtání děr *Standard Drill*. Hloubka děr byla 10 mm. Vrtání jsem rozdělil na dva úseky po 5 mm. Po vyvrtání 5 mm vyjela fréza ven, aby se vyčistila díra od pilin a také šroubovice frézy. Při vrtání otvoru na jeden zátah by hrozilo pálení materiálu. Otáčky zůstaly nezměněné a posuv jsem snížil na 800 mm/min.

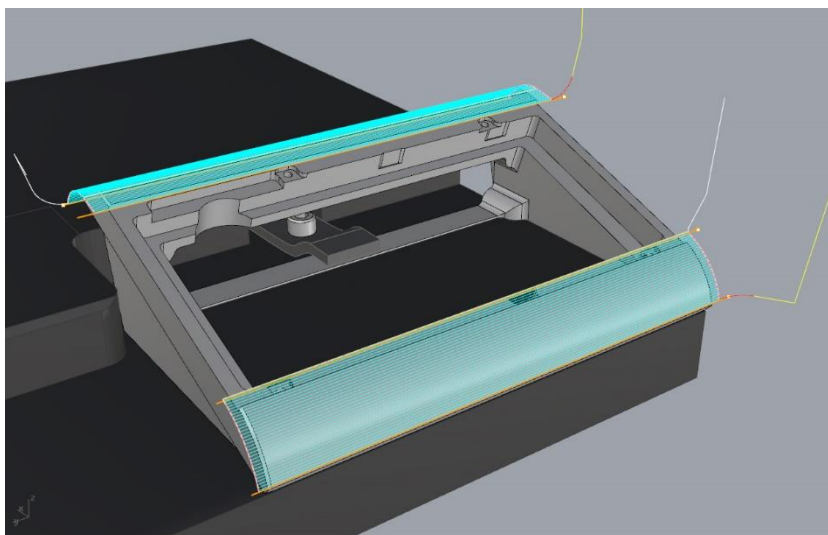




Obrázek 69. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Standard Drill

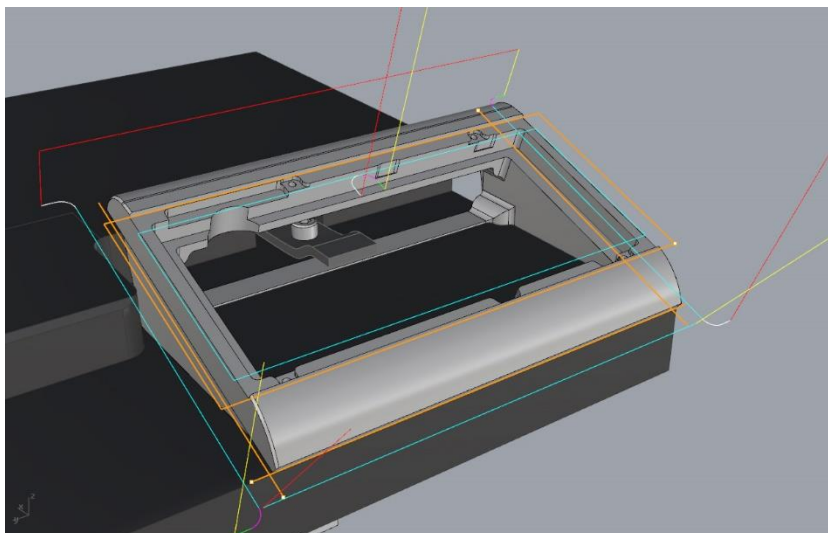
### Dokončování druhého upnutí

U dokončení při druhém upnutí jsem začal zaoblenými plochami. K tomu jsem zvolil pětiosou strategii *5 Axis Between Two Curves Machining*. Zde byl nástroj vždy kolmo na obráběnou plochu. Krok nástroje jsem nastavil 1 mm. Jelikož zde byl poměrně malý krok, tak kvůli urychlení celého úkonu jsem zvolil oba směry obrábění. Rychlost nástroje byla nastavena na 5000 mm/min a otáčky stále 12000 ot/min.



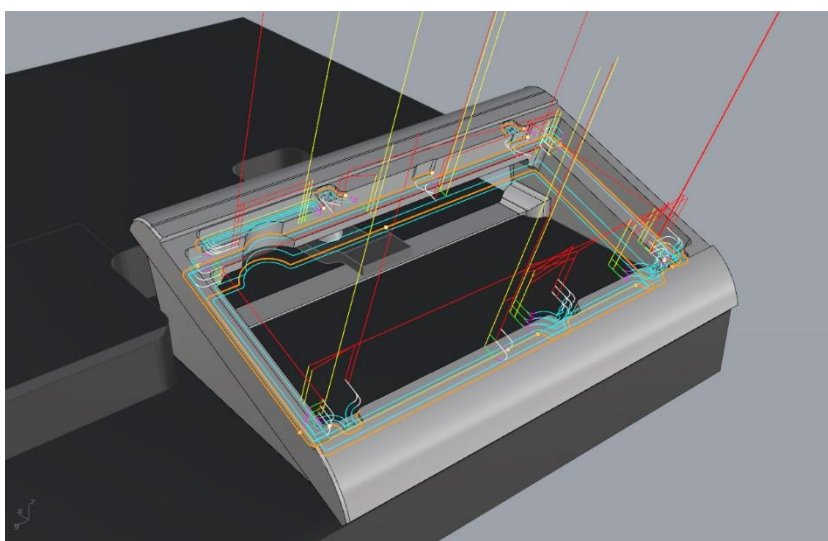
Obrázek 70. Druhé upnutí – dokončování fréza 20 mm – 5 Axis Between Two Curves Machining

Na zbylé plochy jsem využil opět *Axis Profiling*. Zmenšil jsem pouze posuv na 2500 mm/min.



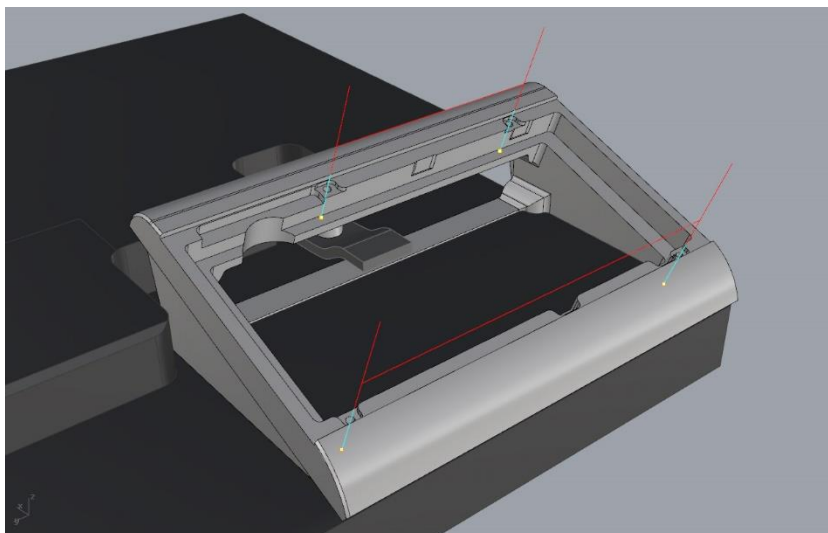
Obrázek 71. Druhé upnutí – dokončování fréza 20 mm – Axis Profiling

Stejně jako u prvního upnutí, tak i zde se nacházely rohy s rádiusem 2 mm a vybrání, které bylo nutné provést frézou o průměru 4 mm. Použitá strategie a všechny parametry obrábění byly nastaveny stejně jako u prvního upnutí.



Obrázek 72. Druhé upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Profiling

I zde se nacházely otvory. Oproti tvorbě předchozích děr byla zde jedna změna. Zde byly díry průchozí. Kdybych použil stejné nastavení jako dříve, tak by hrozilo vylamování materiálu při projíždění frézou skrz. Díry byly hluboké 20 mm. Použil jsem znovu strategii *Standard Drill*. Krok dolů jsem opět nastavil na 5 mm. Posuv i otáčky byly také stejné jako předtím. Změna byla pouze v posledním úseku při vrtání. Při vrtání posledních 5 mm díry jsem zmenšil posuv na 400 mm/min. To mělo zamezit odštípnutí materiálu.



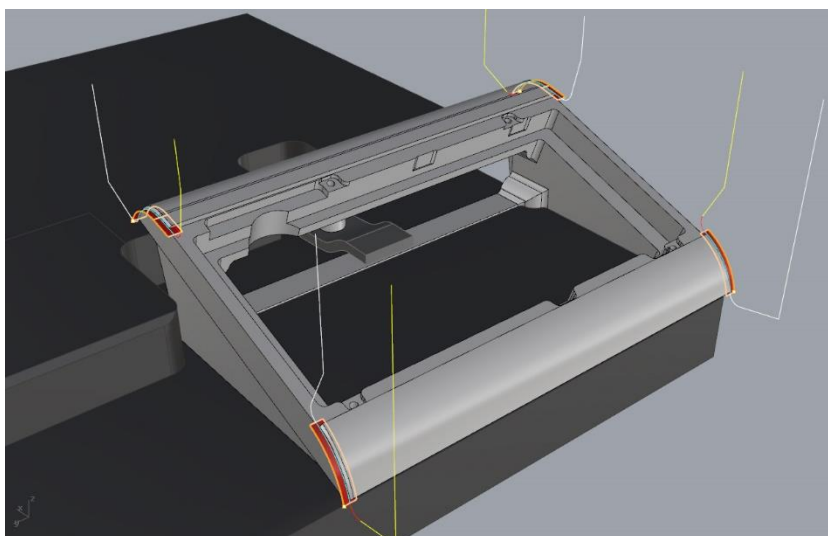
Obrázek 73. Druhé upnutí – dokončování fréza 4 mm – Standard Drill

Jako poslední bylo vyrobeno sražení na zaoblených stranách. K tomu byl použit nástroj s označením CMT C915 Fréza na V drážku 90° - D12,7x12,7 90° S=8 HM.



Obrázek 74. Fréza 45° [13]

Pro sražení jsem vybral víceosou strategii *5 Axis Flow Curve Machining*. Zde se nástroj pohyboval podle řídicí křivky a řídicí plochy, které jsem si vymodeloval. Nastavil jsem, aby nástroj byl vždy kolmo k řídicí ploše. Otáčky jsem navolil 12 000 ot/min a posuv 1 000 mm/min.



Obrázek 75. Druhé upnutí – dokončování fréza 45° – 5 Axis Flow Curve Machining

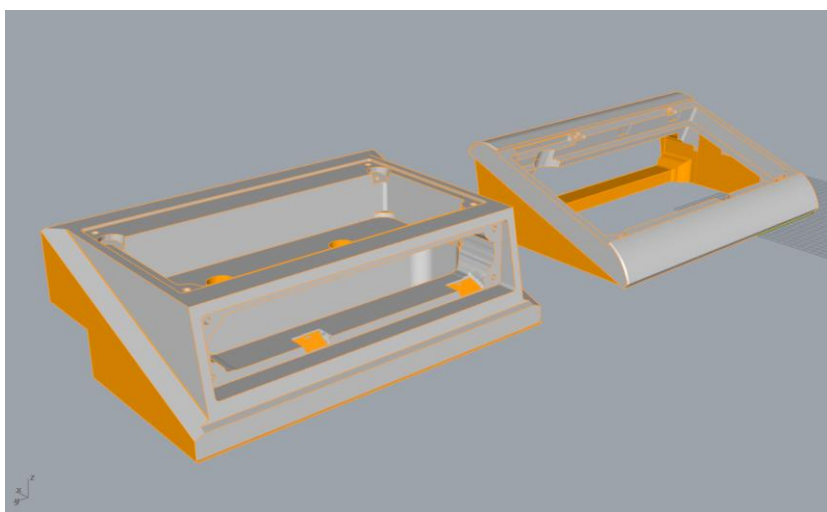
## Verifikace

Před vygenerováním výsledného NC programu a předáním dat obráběcímu stroji jsem nejprve nasimuloval všechny operace. Tím jsem odhalil případné kolize mezi nástrojem a obrobkem a předešel jsem tak poškození obrobku, nástroje nebo dokonce stroje.

Software Rhinoceros nabízí pouze verifikaci drah nástroje. Nešlo zde tedy ověřit dráhy společně i se strojem. Simuloval se pouze pohyblivý řezný nástroj, který se pohyboval podle navržených CL dat kolem modelu polotovaru. CL data jsou navržené dráhy od softwaru. Nevýhodou u Rhinoceros je, že tady bohužel nejde nadefinovat nástroj i s držákem. Proto při prvotním spuštění procesu na stroji jsem musel kontrolovat pozici držáku během obrábění.

Simulace dopadla dle očekávání dobře. Obrobené plochy mají šedou barvu. Kdyby nastala nějaká kolize, systém by napsal chybové hlášení a simulace by se automaticky zastavila. Pomocí krokování po jednotlivých postupech nástroje bych si mohl najet až do krizového místa. Tam bych zanalyzoval situaci a následně provedl opravu chyby.

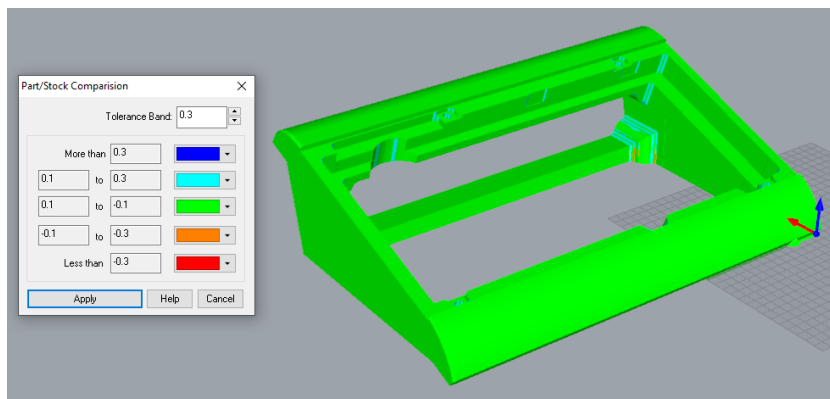
Po naskytnutí kolize lze také chybové hlášení ignorovat a dále pokračovat v simulaci. Chyba by se ukázala ve výsledném zobrazení červenou barvou namísto šedé nebo žluté barvy.



*Obrázek 76. Modely po odsimulovaném obrábění*

Po provedení simulace výsledného obrábění jsem provedl srovnání. To porovnávalo původní model s odsimulovaným výsledným modelem. Tím jsem

zkontroloval, jestli nebude mít výrobek podřezané nebo dokonce nedořiznuté plochy. Tolerance zobrazení byla navolena 0,2 mm. Všechny tolerované plochy se nacházely v oblasti od -0,1 do 0,1 mm, což bylo dostačující.



Obrázek 77. Srovnání po obrobení

Problémová místa byla v rozích, kde je rádius 2 mm a také v ostatních zaobleních. Toto nedořezání a někde podřezání jsem dával za vinu softwaru. Ve skutečnosti k tomu totiž nedošlo. Rhinoceros to pouze špatně vyhodnotil.

### Postprocesor

Po úspěšné verifikaci jsem mohl přejít k vygenerování programu. K tomu jsem využil postprocesor. Ten převedl CL data z CAD/CAM systému do datového jazyka obráběcího stroje. Každý stroj potřebuje jiné nastavení postprocesoru. Pro stroj, na kterém jsem obráběl, máme vytvořený vlastní postprocesor. RhinoCAM nabízí sestavení si svého postprocesoru. Pro správné fungování vytvořených drah je potřeba mít správně nakonfigurované limity stroje.

```

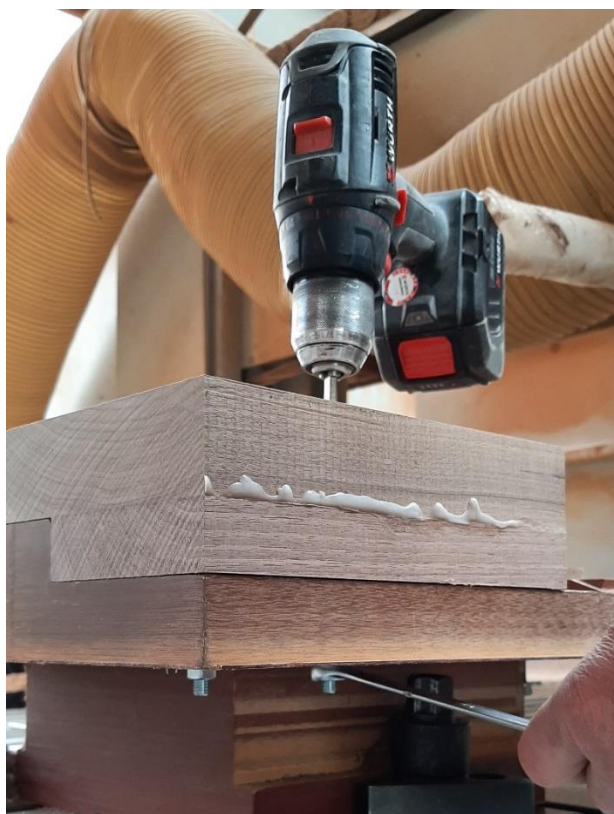
G1F15000
TRAORI
CYCLE832(0.1,102101)
G54
N10 G505
T198
WZW
G1D01
N20 S12000.M3
N30 G1X78.834Y367.779Z118.A0.B0.F20000.
N40 F20000.
N50 Z67.996 F6000.
N60 X78.331Y354.341Z67.291 F3000.
N70 X78.06Y347.116Z66.912
N80 X77.925Y343.504Z66.723
N90 X77.857Y341.698Z66.628
N100 X77.824Y340.795Z66.581
  
```

Obrázek 78. Ukázka vytvořeného programu



#### 7.6.4. Frézování – první upnutí

Pro první upnutí jsem použil dva šrouby s vnitřním šestihranem M8 o délce 80 mm a dvě matice M8. K utáhnutí jsem využil klíč a vrtačku. Zde při utahování nebylo potřeba dbát ohled na to, aby se utažením neponičil polotovár, protože veškerý materiál kolem děr byl postupně odebrán. Mohlo se tedy utáhnout, co nám síly dovolily.



Obrázek 79. První upnutí obrobku



Obrázek 80. Obrobek po dokončení válcovou frézou d4 mm

Díky dodržení všech zásad frézování nenastal u tohoto upnutí žádný problém.

### 7.6.5. Frézování – druhé upnutí

Přípevnění obrobku na druhé upnutí bylo trochu složitější než u prvního. Obrobek se nasunul na vystouplý profil na šabloně. Na zadní straně se zamezilo pohybu upínkou. Při utahování se musel dát pozor na to, aby se nepoškodil materiál. Kdyby se upínka příliš utáhla, bylo by vidět otlačení. K zamezení jsem využil možnost nastavení utahovacího momentu na vrtačce. Tím jsem dosáhl pokaždé stejného utažení, aniž bych otlačil materiál. Na přední straně se pomocí dvou vrtů přitáhl obrobek k šabloně. Opět se muselo hlídat utahování, protože se vrt nesměl protočit. Při protočení by se strhnul závit a nedošlo by k přitáhnutí.

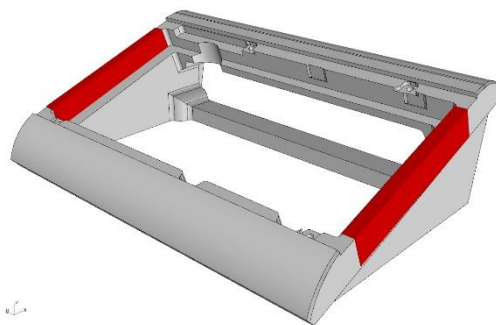


*Obrázek 81. Druhé upnutí*

Při frézování na druhém upnutí došlo v průběhu výroby k několika vadám. Těžší chyby vyplynuly z technologie a k lehčím docházelo pouze náhodně.

#### **Těžší chyby**

Při frézování boků na čisto vznikla nedokonalá plocha. Ta nebyla rovná a hladká, ale byla kvůli vibracím od nástroje zvlněná. Docházelo také k odštípnutí materiálu. Obráběná strana měla pouze 5,5 mm, a to bylo příliš málo, jak se ukázalo.



*Obrázek 82. Místa vzniku chyby 1*



Obrázek 83. Vadné místo

Proto se nejprve při hrubování odstranil materiál pouze shora a okolo vnějších stran a materiál uvnitř se ponechal. Vyměnil jsem frézu za dokončovací o průměru 20 mm a strany jsem obrobil na čisto. Ponechaný materiál sloužil jako opora, a tak už nedocházelo k vibrování.

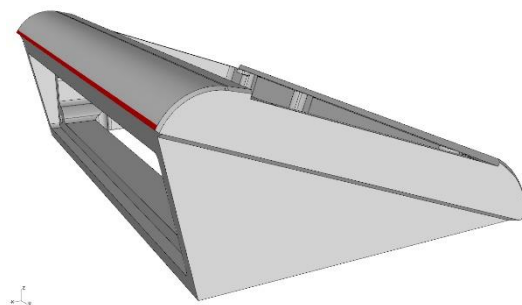


Obrázek 84. Upravené druhé hrubování s dokončením bočních ploch na čisto

Poté jsem vrátil hrubovací frézu a dohruboval i vnitřek. Tímto zákrokem se prodloužil výrobní čas o dvě výměny nástroje navíc. Chyba se už nenaskytla.



Další vada vznikla při dokončování horního zaoblení.



Obrázek 85. Místo vzniku chyby 2



Obrázek 86. Odštípnutá hrana

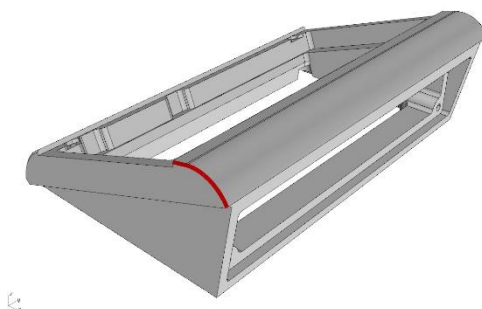
Bylo to kvůli velkému zbývajícímu materiálu po hrubování. Jak se nástroj pomalu přibližoval k okraji, tak před sebou tlačil příliš velký zbytek a ten se odtrhl. Proto jsem poupravil hrubování tak, aby zde zbylo méně materiálu. Díky tomu se při výrobě chyba už nevyskytla.



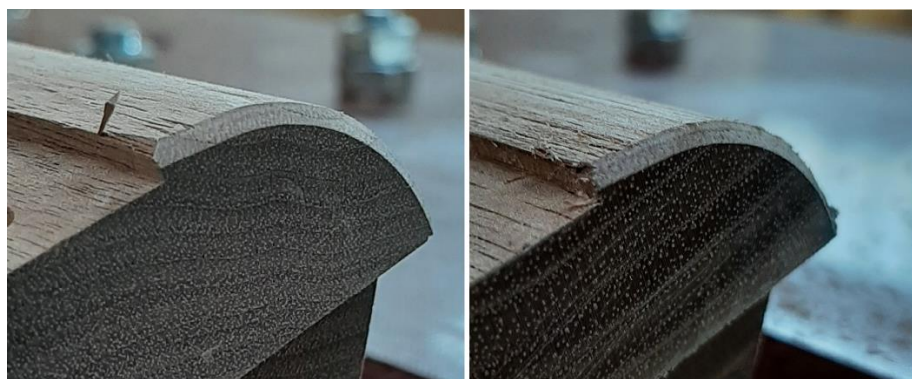
Obrázek 87. Opravená čistá hrana

## Lehčí chyby

Při vytváření sražení na zaoblených plochách se v jednom místě občas odštípl materiál. Při zvoleném sousledném směru obrábění docházelo k odštípnutí materiálu v pravém horním rohu. Nebylo to u každého kusu; v průměru vždy u každého pátého kusu vznikla při tomto úkonu vada.



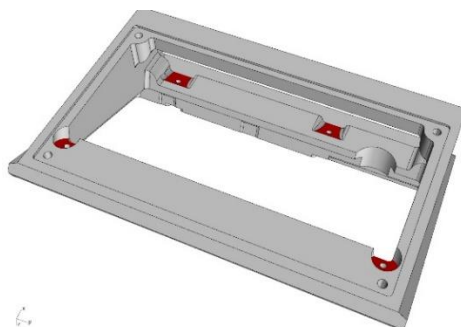
Obrázek 88. Místo vzniku chyby 3



Obrázek 89. Odštípnutí při sražení

Zkusil jsem tedy popřít zásadu o směru obrábění. Změnou směru obrábění na nesousledné v tomto rizikovém místě jsem zamezil vzniku defektu. Ostatní rohy byly bezproblémové.

Další občasná vada vznikla při vytváření průchozích děr. Po projetí frézy dírou se vylomil materiál i přesto, že jsem snížil posuv těsně před projetí frézy materiálem.



Obrázek 90. Místa vzniku chyby 4



Obrázek 91. Vylomený okraj díry

Tudíž jsem snížil posuv ještě více. Původní snížený posuv 400 mm/min jsem zmenšil na 200 mm/min. Od té doby jsou díry bez vylomených okrajů.

Poslední chyba nebyla mou, ale dřeva jako materiálu. Přestože jsme se snažili vybírat co nejkvalitnější materiál, občas se volba nezdařila, jelikož do dřeva nevidíme. Z toho důvodu se příležitostně objevil v polotovaru suk nebo dokonce prasklina a my na to přišli až při obrábění nebo spíše až po něm. Suk napáchal při frézování neplechu. Odlétl a po suku zůstala díra, kterou stejně jako prasklinu nelze opravit. Někdy bylo štěstí, že byla tato anomálie v místě, které se odfrézovalo. Pokud se ale nezdařilo, tak se musel celý výrobek vyhodit.



Obrázek 92. Vady dřeva



## Finální obrobení

Po opravení všech chyb se žádná jiná, kromě zřídka se objevujících vad materiálu, v průběhu výroby neobjevila. V rámci požadavku na přesnost bylo důležité pravidelně kontrolovat rozměry po obrobení. Snažil jsem se dosahovat dolní hodnoty tolerančního pole, protože jsem počítal ještě s povrchovou úpravou. Kontroloval se každý druhý až třetí výrobek a tím jsem byl schopný při jakékoliv odchylce rychle zareagovat a zamezit výrobě „zmetků“.



Obrázek 93. Finální obrobený výrobek bez vad

## 7.7. Povrchová úprava

### První broušení

Po obrábění se obrobek musel připravit na nanesení povrchové úpravy. Jemným brusným papírem o zrnitosti 220 se jemně přejelo po plochách. Brousilo se ve směru vláken. Šlo hlavně o zbavení se všech chlupů, které zbyly po obrábění. Do obroušeného dřeva také dokázal lépe proniknout olej. Na následujícím obrázku lze vidět, jak je dřevo nevyzpytatelné. Tyto dva kusy byly vyrobeny hned po sobě. Dolní kus stačilo jenom zlehka přejet brusným papírem, ale u horního si dal brusič s broušením trochu více práce.



*Obrázek 94. Porovnání po frézování*

### **První nanesení oleje**

Po obroušení bylo potřeba pořádně vyfoukat všechn prach od dřeva, ale také od brusného papíru. Dřevo před nanesením oleje muselo být zcela suché; v opačném případě se totiž olej nevsákl pořádně a ochrana by byla nedostatečná. Také by mohly vzniknout skvrny a nerovnoměrný stupeň lesku. I proto se radši dělá druhé nanesení, před nímž se musel olej dobře promíchat. Pro tento výrobek byl zvolen olej Ciranova Hardwaxoil Magic, který je bezbarvý a zvolil si ho zákazník. Olej se nanášel stříkáním. Nános musel být dostatečný, tak aby jej dřevo hned nevsáklo, avšak nesměl být však moc velký. V případě silnějších vrstev a nedůkladného proschnutí by hrozilo odlupování jednotlivých vrstev. Olej se nechal vsakovat alespoň 15 minut. Poté se jeho zbytek setřel suchým, savým a čistým hadrem. Kdybychom tak neudělali, mohl by na povrchu zaschnout. Tím by vznikly skvrny nerovnoměrného lesku, které by mohly i lepit. Po setření se nechal olej schnout alespoň 6 hodin.

Prostředí, ve kterém se nanášelo, by mělo mít teplotu v rozmezí 15 až 25 °C. Relativní vlhkost vzduchu by se měla pohybovat od 40 do 70 %. Nedoporučuje se nanášení při relativní vlhkosti vyšší než 75 % a teplotách dosahujících méně jak 15 °C.  
[50]

### **Druhé broušení**

Po zaschnutí první vrstvy bylo nutné opět přebrousit výrobek. Při schnutí první vrstvy olej vynesl na povrch ta nejjemnější vlákna. Přebroušením jsem se jich zbavil. Po něm olej lépe přilnul k první vrstvě. Pro druhém broušení se použil brusný papír o zrnitosti 320. Lehce se s ním přejely všechny plochy; opět se brousilo podél směru vláken.

### **Druhé nanesení oleje**

Po broušení se opět dobře vyfoukal celý výrobek. Olej se opět nanasl stříkáním. Druhým nanesením oleje se zamezilo nerovnoměrnému stupni lesku a také se docílilo lepší ochrany dřeva.

### **Leštění**

Po druhém nanesení se zbylý olej nestíral. Po půl hodině od nanesení oleje se povrch rozleštil padem. K tomu se použilo ruční držadlo na pad, na kterém bylo nanášecí rouno (pad). Padováním se zapracoval olej pořádně do dřeva, a také se tím odstranily zbytky oleje. Bylo důležité přejíždět padem podél vláken. Po leštění se nechal olej opět alespoň 6 hodin schnout. Po uplynulé době byl povrch nelepivý.



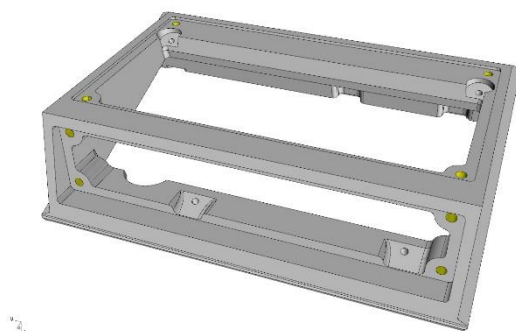
*Obrázek 95. Použitý pad*

## 7.8. Finální měření

Pro měření se použilo digitální posuvné měřítko GEKO v rozsahu 0-300 mm s přesností 0,01 mm. Povrchová úprava mohla změnit rozměry. Na nejdelším rozměru 209 mm se délka změnila maximálně o 0,1 mm do plusové hodnoty; bylo měřeno na 100 kusech. Tím, že jsem při obrábění snažil dosáhnout hodnoty dolního tolerančního pole, jsem si byl jist, že povrchová úprava neznehodnotí výrobek.

## 7.9. Zkompletování a balení

Při kompletování se umístily do děr znázorněných na obrázku 96 rozpěrné závitové vložky BancLok BN 1049 M3. Vložky do děr se zalisovaly pomocí ručního lisu.



Obrázek 96. Znázornění děr pro vložku



Obrázek 97. Rozpěrná závitová vložka BN 1049

Na výrobek se umístil štítek s výrobním číslem a vložil se do uzavíratelného ZIP sáčku. Nakonec se hotové výrobky poskládaly do přepravky, ve kterých probíhal transport.



## 8. Doporučení pro další výrobu

### Zlepšení upínání

I když byl při utahování nastavený moment na vrtačce, tak to bylo občas moc. Při příliš velkém utažení u druhého upnutí docházelo k otačení od upínky. Toto otačení z hlediska funkčního nevadilo, ale z estetického pohledu, bylo nevhodné.



*Obrázek 98. Otačení od upínky*

Na upínku se přilepila gumová vložka, která zamezila otačení i při velkém utažení.



*Obrázek 99. Gumová vložka pod upínkou*



### Použití diamantových nástrojů

S diamantovými nástroji můžeme zvýšit až trojnásobně rychlost posuvu oproti klasickým nástrojům. Díky vysoké odolnosti se diamantové nástroje ostří méně často než ze slinutého karbidu. Také jsou velice ostré a snadno s nimi vyrobíme ostrou hranu.

Jejich nevýhodou je vysoká cena. Z porovnání mé hrubovací frézy a té diamantové o stejné geometrii vychází, že diamantová fréza stojí třikrát více než mnou použitá fréza ze slinutého karbidu. Další nevýhodou diamantových fréz je, že po čase začnou tvořit drážky na bocích řezu. To nastává hlavně u jednořadých fréz, kde se zuby navzájem nepřekrývají. Při odlomení části ostří, nebo při opotřebení jednoho zubu a více, se začne tvořit drážka. Po delším používání nastane tento stav i na dvouřadých. To by nebyl tak závažný problém, pokud bych diamantovou frézu zvolil jako hrubovací.

Použití diamantové frézy by snížilo strojní čas, ale za cenu vyšší nákladů na nástroje. V praxi potřebuji dvě stejné frézy. Pokud by při výrobě nastala situace, že je fréza tupá a je potřeba ji nabrousit, tak je nutná druhá. Nelze totiž čekat až fréza přijde po broušení zpět. S potřebou dvou fréz se zvyšují náklady ještě více.

## 9. Závěr

Ve své práci jsem ukázal, jak probíhá výroba produktu ze dřeva od jeho návržení, výroby polotovaru, až po povrchovou úpravu. Během realizace jsem poukázal na problémy, ke kterým při zhotovování dochází, a na to, k čemuž musíme být obezřetní.

Během obrábění dřeva může dojít k několika defektům plynoucím buď z technologie, nebo vlivem materiálu. Proto je při procesu frézování nutné snažit se dodržovat určité zásady, kterými se eliminuje vznik jakýchkoliv vad.

Přesnosti lze dosáhnout co nejostřejšími nástroji, avšak je nutné prostředky často kontrolovat a při náznavu otupení je vyměnit. Nástroje se musí nechat brousit a povlakovat, díky němuž se budou méně opotřebovávat. Při dokončování na finální rozměr je třeba se snažit, aby nástroj obráběl malou tloušťku materiálu. Tak lépe dosáhneme co nej přesnějšího rozměru. Zároveň je důležitá častá kontrola, díky níž zareagujeme lépe na jakoukoliv odchylku od požadované velikosti. Samozřejmostí je správně zkalibrovaný stroj a dobře odměřené délky nástrojů.

Ačkoliv je dřevo nehomogenní materiál, který má zvláštní vlastnosti, lze z něj vyrobit velmi přesný výrobek. Práce je o trochu složitější než u kovů, protože musíme neustále dávat pozor na to, jak jsou orientovaná léta. Zároveň není možné využívat tolik strategií při práci v CAM softwaru. Řezné podmínky nelze vyloženě stanovit, jelikož je každá dřevina jiná. Přestože máme stejné dřevo o stejné vlhkosti, může se stát, že bude nutné pozměnit řezné podmínky. Praxe obrábění dřeva ukazuje, že operátor při výrobě musí sledovat celý proces, protože nečekaně může dojít ke změně, zhoršení či chybám a je třeba okamžitě reagovat.

## 10. Zdroje

- [1] HLÁSKOVÁ, Lud'ka. *Základní pojmy a prvky procesu řezání* [online]. 1. Brno: LDF MENDELU, 2018 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD\\_NMS/Povinne\\_volitelne\\_predmety/Tvarovani\\_materialu\\_na\\_bazi\\_dreva/pr02\\_Z%C3%A1kladn%C3%AD%20pojmy%20a%20prvky%20procesu%20C5%99ez%C3%A1n%C3%AD%20n%C3%A1bytek.pdf](https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD_NMS/Povinne_volitelne_predmety/Tvarovani_materialu_na_bazi_dreva/pr02_Z%C3%A1kladn%C3%AD%20pojmy%20a%20prvky%20procesu%20C5%99ez%C3%A1n%C3%AD%20n%C3%A1bytek.pdf)
- [2] JAROMÍR, Janovský. *Způsoby obrábění dřeva* [online]. Slaný: Integrovaná střední škola Slaný, 2012 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [http://www.iss-slany.cz/bezkridy/pdf/JANJA\\_TECHNOLOGIE\\_T\\_07.pdf](http://www.iss-slany.cz/bezkridy/pdf/JANJA_TECHNOLOGIE_T_07.pdf)
- [3] BRÜCKNEROVÁ, Zdeňka a Libor SVOBODA. *Truhlář 2* [online]. Brno: Střední škola svatebních řemesel Brno-Bosonohy, 2015 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-88105-29-9. Dostupné z: <http://www.el-ucebnice.cz/html/truhlar-2>
- [4] HULINSKÝ, Pavel a Roman BITTMANN. *Učební text pro obor Truhlář 3. roční* [online]. Brno: Publi, 2009 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-88058-41-0. Dostupné z: <https://publi.cz/books/173/Cover.html>
- [5] KAŠPAR, Pavel. Jak správně postupovat při broušení dřeva? *Český kutil* [online]. Praha: FTV Prima, 2019, 19. 2. 2019 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-20039-jak-spravne-postupovat-pri-brouseni-dreva>
- [6] RONQUILLO, Romina. Understanding CNC Milling. *Thomas* [online]. New York: Ronquillo, 2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-cnc-milling/>
- [7] SANDVIK. Sousedné frézování nebo nesousedné frézování. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
- [8] *Frézování* [online]. In: s. 7 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT2-10\\_Frezovani\\_RAJ.pdf](https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT2-10_Frezovani_RAJ.pdf)
- [9] THEIAS, Mafalda. What Is CNC Milling? – Simply Explained. *All3DP* [online]. All3DP, 2019, 11 Jan 2019 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-cnc-milling-simply-explained/>
- [10] DUCHOSLAV, Petr. Jak funguje CNC stroj? *Factory automation* [online]. Praha: Fanuc, 2017, 22. ledna 2017 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-funguje-cnc-stroj/>
- [11] VELLING, Andreas. CNC Milling – Process, Machines & Operations. *Fractory* [online]. Manchester: Fractory, 2020, 8. 5. 2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://fractory.com/cnc-milling/>
- [12] FRÉZA HRUBOVACÍ "ŽROUT" - CNC. *Pilanamarket* [online]. Hulín [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/freza-hrubovaci-zrout-cnc/>



- [13] *Katalog IGM stroje a nástroje pro práci se dřevem 2020/2021* [online]. IGM, 2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://issuu.com/igmbohemia/docs/katalog-igm\\_2020-2021\\_cz\\_web](https://issuu.com/igmbohemia/docs/katalog-igm_2020-2021_cz_web)
- [14] KULOVÁ FRÉZA SPIRÁLOVÁ SE ZAOBLENÍM – C199. *Pilanamarket* [online]. Hulín [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/kulova-freza-spiralova-se-zaoblenim-c199/#>
- [15] JAGOŠOVÁ, Helena. *Teorie frézování – UPÍNÁNÍ nástrojů A OBROBKŮ* [online]. Staré město: Gymnázium Staré město, 2013 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2854006/>
- [16] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže* [online]. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001 [cit. 2021-7-21]. ISBN 80-708-2823-4.
- [17] Upínací přípravky. *Strojírenství – frézování* [online]. 2018 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/03/81-upinaci-pripravky.html>
- [18] *Vakuová upínací technika* [online]. Zlín: AMF, 2009 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [http://www.naros.cz/katalog/Prospekt\\_Vakuum\\_CZ.pdf](http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf)
- [19] MURRAY, C.H. *Energy conservation in the mechanical forest industries* [online]. 2. vyd. Řím: FAO, 1990 [cit. 2021-7-21]. ISBN 92-5-102912-1. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/t0269e/t0269e00.htm#Contents>
- [20] GAJDA, Jakub. *Způsoby odkornění dřeva. Přírodní bydlení* [online]. Trojanovice: Gajda, 2015, 24. 6. 2015 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <http://www.prirodnibydeni.cz/zpusoby-odkorneni-dreva/>
- [21] LACINOVÁ, Anna. *Zpracování dřeva* [online]. Rakovník, 2014 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://zsjesenice.cz/files/vyukove-materialy/cas/4.-Zpracovani-dreva.pdf>
- [22] Jak zpracovat dřevo k různým účelům. *Lesnicko-dřevařský vzdělávací portál* [online]. Praha: Mezi Stromy, 2016 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/oblasti-vyuziti-dreva/zakladni-zpracovani-dreva/odborny>
- [23] HULINSKÝ, Pavel a Roman BITTMANN. *Učební text pro obor Truhlář 2. ročník* [online]. Brno: Publi, 2009 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-88058-38-0. Dostupné z: <https://publi.cz/books/164/Cover.html>
- [24] Jak sušit prkna. *IReceptář* [online]. Praha, 2015, 20. 1. 2015 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.ireceptar.cz/hobby/jak-susit-prkna.html>
- [25] HULINSKÝ, Pavel a Roman BITTMANN. *Učební text pro obor Truhlář 1. ročník* [online]. Brno: Publi, 2009 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-88058-35-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/163/Cover.html>
- [26] *Vlastnosti dřeva. Lesnicko-dřevařský vzdělávací portál* [online]. Praha: Mezi Stromy, 2016, 29. 12. 2016 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/vlastnosti-dreva-a-drevostaveb/vlastnosti-dreva>
- [27] SVOBODA, Luboš a kolektiv. *Stavební hmoty* [online]. 3. vyd. Praha, 2013 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>



- [28] Materiál. *Nábytkářský informační systém* [online]. Brno: NIS, 2013 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/material/page/477/>
- [29] Tvrdost dřeva. *Optimální topení pro vaše bydlení* [online]. Olomouc: Optimtop, 2016, 16.07.2016 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.optimtop.cz/tvrdost-dreva-prehled/>
- [30] Technologické vlastnosti dřeva. *Dřevo centrum* [online]. 2007 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <http://drevo.celyden.cz/funkn-vlastnosti-deva/technologicke-vlastnosti-dreva/index.html>
- [31] NOVÁK, Petr. Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin. *Dřevostavitel* [online]. Brno: Netion, 2013, 03.05.2013 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>
- [32] SADÍLEK, Marek a Zuzana SADÍLKOVÁ. *Počítačová podpora procesu obrábění: učební text* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012 [cit. 2021-7-21]. ISBN 978-80-248-2770-4. Dostupné z: [https://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Pocitacova\\_podpora\\_procesu%20\\_obrazeni.pdf](https://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Pocitacova_podpora_procesu%20_obrazeni.pdf)
- [33] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1821-4.
- [34] Custom software for manufacturing excellence. *KCD Software* [online]. Cataumet: KCD, c2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://kcdsoftware.com/solutions/cnc/>
- [35] ŽIŽKOVÁ, Jana. CAD/CAM řešení tentokrát pro výrobce produktů ze dřeva. *SYBA – obalový portál* [online]. Praha: SYBA, 2018, 25.7.2018 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://syba.cz/cad-cam-reseni-tentokrat-pro-vyrobce-produktu-ze-dreva>
- [36] Klaes *CAM pro konstrukci oken z dřeva a dřevo-hliníku* [online]. Slaný: Klaes CZ, c2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://www.klaes.de/files/Content\\_data\\_website/03\\_Einzell%C3%B6sungen/Produktion/cam\\_2d/CS/cs-03\\_individual-solutions-production-klaes-cam-2d-flyer.pdf](https://www.klaes.de/files/Content_data_website/03_Einzell%C3%B6sungen/Produktion/cam_2d/CS/cs-03_individual-solutions-production-klaes-cam-2d-flyer.pdf)
- [37] ALPHACAM Router (frézování dřeva). *ALPHACAM* [online]. Kroměříž: NEXNET, c2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://cz.alphacam.com/alphacam-router>
- [38] 2N® SIP MIC. *2N telekomunikace* [online]. Brno: 2N, c2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://www.2n.cz/cs\\_CZ/produkty/ip-audio/2n-sip-mic](https://www.2n.cz/cs_CZ/produkty/ip-audio/2n-sip-mic)
- [39] Features. *Rhinoceros* [online]. Barcelona: McNeel Europe, c1993-2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.rhino3d.com/features/#overview>
- [40] RhinoCAM. *DIMENSIO s.r.o.* [online]. Brno: DIMENSIO, c1998-2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://dimensio.cz/rhinocam>
- [41] Formátovací pila ROBLAND Z320. *Dřevoobráběcí stroje nové i použité* [online]. Telnice: CARBE, c2011 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.drevoobrabeci-stroje-carbe.cz/Truhlarske-stolarske-stroje/POUZITE-STROJE-BAZAR/Pily/Formatovaci-pila-ROBLAND-Z320>



- [42] Srovnávací a tloušťkovací frézka GRIGGIO FS530. *CNC centra v provedení 3 až 5 os HOLZHER a HG GRIMME* [online]. Blansko: PILART, c2013 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.cnc-centra.cz/produkt/Srovnavaci-a-tloustkovaci-frezka-GRIGGIO-FS530-190/>
- [43] Universal CNC Routing and Drilling Centre MAKA PM 270. *Kruba* [online]. Barrn: Kruba, c2018 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <http://www.kruba.nl/p/26/809/mo90-cgp%7C25=CNCBewerkingscentra%7C26=%7C=%7C23=Hout%7C24=Nieuw/mo81-c405/ms21-82/maka-pm-270->
- [44] PERTINAX – TEXTIT. *Plastics: obchod s plasty* [online]. Přelouč: Sagita, c2019 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.plastics.cz/prehled-plastu/pertinax-textit>
- [45] TK fréza 50HRC - 4 břítá TiAlN. *CZ nástroje* [online]. Svitavy: KovoSvitavy, c2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: [https://www.cznastroje.cz/TK-freza-50HRC-4-brita-TiAlN-d223\\_1045665273.htm#detail-anchor-description](https://www.cznastroje.cz/TK-freza-50HRC-4-brita-TiAlN-d223_1045665273.htm#detail-anchor-description)
- [46] Disperzní lepidlo na dřevo D3. *Würth, spol. s.r.o.* [online]. Nepřevázka: Würth, c2018 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://eshop.wuerth.cz/Kategorie-produktu/Lepidlo-na-drevo-D3X/31463005010329.cyd/3146.cgid/cs/CZ/CZK/>
- [47] CNC Feeds and Speeds Calculator Wood. *CNC Cookbook, Inc.* [online]. Aptos: CNC Cookbook, c2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/feeds-speeds-wood/>
- [48] 16 CNC Router Tips to Avoid Tearout and Splintering. *CNC Cookbook, Inc.* [online]. Aptos: CNC Cookbook, c2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/16-cnc-router-tips-to-avoid-tearout-and-splintering/>
- [49] Růžička – *Akční nabídka nástrojů* [online]. Kladno: Růžička, 2020 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.aruzicka.cz/media/cache/file/bc/Akcni-nabidka-nastroju-3-2020.pdf>
- [50] Olejování dřevěných povrchů. *Belinka: Vše pro dřevo* [online]. Uherské Hradiště: Belinka, c2021 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: <https://www.belinka.com/cs/rady/olejovani-drevenych-povrchu/>



# 11. Seznam obrázků

Obrázek 1. Pásová pila (vlevo), kotoučová pila (vpravo) [1] .....	10
Obrázek 2. Jednovřetenová vertikální vrtačka [1] .....	11
Obrázek 3. Dlabací vrtačka [1] .....	12
Obrázek 4: Hrotový soustruh [3].....	12
Obrázek 5. a) válcové sousledné frézování, b) válcové nesousledné frézování, .....	13
Obrázek 6. Protahovací frézka (vlevo), srovnávací frézka (vpravo) [1] .....	14
Obrázek 7. Širokopásová bruska (vlevo), úzkopásová bruska (vpravo) [4] .....	15
Obrázek 8. Znázornění pohybových os [11].....	16
Obrázek 9. Hrubovací fréza "žrout" [12] .....	17
Obrázek 10. Diamantová fréza [13] .....	17
Obrázek 11. Drážkovací fréza a její možnosti použití [13] .....	18
Obrázek 12. Žiletková drážkovací fréza [13] .....	18
Obrázek 13. Rybinová fréza a její možnosti použití [13] .....	19
Obrázek 14. Spirálová fréza pozitivní/negativní (vlevo), spirálová fréza negativní (uprostřed), spirálová fréza pozitivní (vpravo) [13].....	19
Obrázek 15. Kulová spirálová fréza [14].....	19
Obrázek 16. Možnosti talířové drážkovací frézy [13].....	20
Obrázek 17. Úhlová fréza [13].....	20
Obrázek 18. Rádiusová fréza [13] .....	20
Obrázek 19. Zaoblovací fréza [13].....	21
Obrázek 20. Otočný svěrák [16].....	21
Obrázek 21. Upínací pomůcky [16] .....	22
Obrázek 22. Otočný přídatný stůl [16] .....	22
Obrázek 23. Vakuové upínání [18] .....	23
Obrázek 24. a) příčný, b) tangenciální, c) radiální, 1- letokruh, 2- dřeňový paprsek [25].....	25
Obrázek 25. Vlhkost dřeva a jeho využití [25].....	26
Obrázek 26. Ukázka přirozeného sušení dřeva [23].....	27
Obrázek 27. Ukázka komorového sušení dřeva [23].....	28
Obrázek 28. Základní anatomické směry v kmeni [28] .....	30
Obrázek 29 Postup výroby v CAD/CAM systémech [33] .....	33
Obrázek 30 Zkompletovaný finální výrobek [38] .....	35
Obrázek 31 Zobrazení zaoblených hran na modelu.....	36
Obrázek 32. Formátovací pila Robland Z320 [41] .....	38
Obrázek 33. Kombinovaná frézka Griggio FS 530 [42] .....	39
Obrázek 34. Univerzální CNC frézovací a vrtací centrum MAKAM PM 270 [43] .....	40
Obrázek 35. Návrh šablony .....	41
Obrázek 36. Detail přichycení šroubem .....	42
Obrázek 37. Detail upevnění upínkou .....	42
Obrázek 38. Válcová fréza 50HRC [45].....	42
Obrázek 39. Zarovnání stran .....	43
Obrázek 40. Hrubování .....	44
Obrázek 41. Zarovnání dosedací plochy .....	44
Obrázek 42. Sražení hrany .....	45
Obrázek 43. Zarovnání po hrubování.....	46
Obrázek 44. Díry pro šrouby .....	46
Obrázek 45. Vrtání děr pro vruty .....	47
Obrázek 46. Zarovnání tvarů pro druhé upnutí .....	48
Obrázek 47. Finální šablona .....	48
Obrázek 48. Polotovary .....	50
Obrázek 49. Znázornění výrobku v polotovaru.....	50
Obrázek 50. Spleené polotovary ve šroubovacím lisu .....	52



Obrázek 51. Vícefazetový stupňovitý vrták DIN8378 HSS 180° M8 .....	52
Obrázek 52. Vyvrtané díry v polotovaru .....	53
Obrázek 53. Vliv naklopených břitů .....	54
Obrázek 54. Vliv nesousledného směru obrábění .....	54
Obrázek 55. Vliv směru řezu .....	55
Obrázek 56. Předfrézovaný začátek drážky .....	56
Obrázek 57. Způsoby vytvoření drážky .....	56
Obrázek 58. Válcová fréza d20 mm hrubovací [49] .....	59
Obrázek 59. První upnutí – hrubování – Axis Pocketing .....	60
Obrázek 60. První upnutí – hrubování – Axis Profiling .....	60
Obrázek 61. Druhé upnutí – hrubování – Axis Pocketing .....	61
Obrázek 62. Druhé upnutí – hrubování – Axis Profiling .....	61
Obrázek 63. Válcová fréza d20 mm dokončovací [13] .....	62
Obrázek 64. První upnutí – dokončování fréza 20 mm – Axis Profiling .....	62
Obrázek 65. Válcová fréza d4 mm [13] .....	62
Obrázek 66. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Pocketing .....	63
Obrázek 67. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Profiling .....	63
Obrázek 68. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Parallel Finishing .....	64
Obrázek 69. První upnutí – dokončování fréza 4 mm – Standard Drill .....	65
Obrázek 70. Druhé upnutí – dokončování fréza 20 mm – 5 Axis Between Two Curves Machining ..	65
Obrázek 71. Druhé upnutí – dokončování fréza 20 mm – Axis Profiling .....	66
Obrázek 72. Druhé upnutí – dokončování fréza 4 mm – Axis Profiling .....	66
Obrázek 73. Druhé upnutí – dokončování fréza 4 mm – Standard Drill .....	67
Obrázek 74. Fréza 45° [13] .....	67
Obrázek 75. Druhé upnutí – dokončování fréza 45° – 5 Axis Flow Curve Machining .....	67
Obrázek 76. Modely po odsimulovaném obrábění .....	68
Obrázek 77. Srovnání po obrobení .....	69
Obrázek 78. Ukázka vytvořeného programu .....	69
Obrázek 79. První upnutí obrobku .....	70
Obrázek 80. Obrobek po dokončení válcovou frézou d4 mm .....	70
Obrázek 81. Druhé upnutí .....	71
Obrázek 82. Místa vzniku chyby 1 .....	71
Obrázek 83. Vadné místo .....	72
Obrázek 84. Upravené druhé hrubování s dokončením bočních ploch na čisto .....	72
Obrázek 85. Místo vzniku chyby 2 .....	73
Obrázek 86. Odštipnutá hrana .....	73
Obrázek 87. Opravená čistá hrana .....	73
Obrázek 88. Místo vzniku chyby 3 .....	74
Obrázek 89. Odštipnutí při sražení .....	74
Obrázek 90. Místa vzniku chyby 4 .....	74
Obrázek 91. Vylomený okraj díry .....	75
Obrázek 92. Vady dřeva .....	75
Obrázek 93. Finální obrobený výrobek bez vad .....	76
Obrázek 94. Porovnání po frézování .....	77
Obrázek 95. Použitý pad .....	78
Obrázek 96. Znázornění děr pro vložku .....	79
Obrázek 97. Rozpěrná závitová vložka BN 1049 .....	79
Obrázek 98. Otláčení od upínky .....	80
Obrázek 99. Gumová vložka pod upínkou .....	80

## 12. Seznam tabulek

Tabulka 1. Základní třídění mechanických technologií [1] .....	9
Tabulka 2. Rozdělení pil a jejich nástrojů [1] .....	10
Tabulka 3. Rozdělení vrtaček [1] .....	11
Tabulka 4. Vlastnosti dřevin při vlhkosti 12 % [31] .....	31
Tabulka 5 Tvrdostní třídy dřevin [29] .....	31
Tabulka 6. Parametry pily [41] .....	38
Tabulka 7. Parametry frézky [42] .....	39
Tabulka 8. Parametry CNC centra [43] .....	40
Tabulka 9. Parametry zarovnání stran .....	43
Tabulka 10. Parametry hrubování .....	43
Tabulka 11. Parametry zarovnání došedací plochy .....	44
Tabulka 12. Parametry sražení hrany .....	45
Tabulka 13. Parametry zarovnání po hrubování .....	45
Tabulka 14. Parametry díry pro šrouby .....	46
Tabulka 15. Parametry vrtání děr pro vruty .....	47
Tabulka 16. Parametry zarovnání tvarů pro druhé upnutí .....	47

## 13. Seznam příloh

Příloha 1. Výkres součásti