



**FAKULTA  
ŠTOJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

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

**Návrh a výroba pažby sportovní malorážné  
pušky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2020**

**Jakub BURDYCH**

**Studijní program:** Výroba a ekonomika ve strojírenství

**Studijní obor:** Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Novák, Ph.D.





## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Pavlu Novákovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, cenné rady a pomoc při výrobě pažby. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli při výrobě pažby a psaní bakalářské práce.



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Návrh a výroba pažby sportovní malorážné pušky“ jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

Datum

.....

Podpis

.....

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu a výrobě pažby pro sportovní malorážnou pušku sovětské výroby Tajfun 3. Jejím cílem je vytvoření moderní pažby z hliníkových slitin, která bude odpovídat pravidlům mezinárodní střelby. V obsahu práce je popsán kompletní proces, od tvorby modelu v Autodesk Inventor, přes tvorbu NC kódu v PowerMill Ultimate 2018, až po samotnou výrobu na CNC stroji.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Malorážná puška, pažba, sportovní střelba, Autodesk PowerMill Ultimate, Autodesk Inventor Professional

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is focused on design and manufacturing stock for sport shooting smallbore rifle Soviet production Tajfun 3. The aim is to create a modern aluminium alloy stock that meets the rules of international sport shooting. The thesis describes complete production process from model in Autodesk Inventor, via NC code creation in PowerMill Ultimate to production in CNC milling machine.

## **KEYWORDS**

Smallbore rifle, gunstock, sport shooting, Autodesk PowerMill Ultimate, Autodesk Inventor Professional

## Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>6</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
1.1. Sportovní střelba .....	9
1.2. Libovolná malorážka .....	9
1.3. Použitý systém Tajfun-3 .....	10
<b>2. NÁVRH</b> .....	<b>11</b>
2.1. Volba materiálu .....	11
2.1.1. Dřevo.....	11
2.1.2. Slitiny hliníku .....	12
2.1.3. ABS Plast.....	13
2.2. Volba povrchové úpravy .....	14
2.2.1. Eloxování .....	14
2.2.2. Prášková barva.....	14
2.2.3. Zvolená povrchová úprava.....	15
2.3. Návrh tvaru .....	15
2.3.1. Pravidla sportovní střelby.....	16
2.3.2. Popis částí zbraně.....	16
2.3.3. Podpažbí.....	17
2.3.4. Zadní část pažby.....	18
2.3.5. Botka s hákem .....	19
2.3.6. Pistolová pažbička a lícnice.....	20
<b>3. VÝROBA</b> .....	<b>21</b>
3.1. Použité stroje .....	22
3.1.1. Obráběcí centrum MAS VMC 500.....	22
3.1.2. Soustruh Tos sv18ra .....	22
3.1.3. Další použité stroje.....	22
3.2. Použité nástroje.....	23
3.2.1. Seznam nástrojů a řezné podmínky.....	23
3.2.2. Volba řezných podmínek .....	23
3.3. Tvorba NC programu .....	24
3.3.1. Zadní část pažby.....	24
3.3.2. Podpažbí.....	26
3.3.3. Botka s hákem .....	27
3.4. Průběh výroby .....	30
3.4.1. Výroba zadní část pažby .....	31
3.4.2. Výroba podpažbí .....	32
3.4.3. Výroba botky a háku .....	33
3.5. Spasování dílů.....	35
3.6. Povrchová úprava .....	36
<b>4. TESTOVÁNÍ</b> .....	<b>37</b>
<b>5. Závěr</b> .....	<b>38</b>



---

Bibliografie .....	39
Seznam použitých zkratk .....	39
Seznam tabulek .....	40
Seznam obrázků .....	40

## 1. ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje návrhu a výrobě pažby malorážné pušky Tajfun 3. Jedná se o zbraň sovětské výroby. Její původní dřevěná pažba je díky nesprávnému zacházení značně poškozena, byla dokonce na dvou místech lepena. Z důvodu embarga na vývoz zbraní z Ruské federace jsou náhradní díly nedostupné, proto jedinou možností, jak dál využívat tento systém, je vyrobit pažbu novou. Moderní sportovní zbraně jsou vybaveny z velké části pažbami z hliníkových slitin, které umožňují širší možnosti nastavení. Jedná se o reversní inženýrství, při kterém byl využit stávající systém, na který se vytvoří nová pažba ze slitiny hliníku. Díky této pažbě se sníží hmotnost zbraně pod hranici 8 kg, čímž bude vyhovovat novým pravidlům sportovní střelby. Zlepší se její ergonomie a bude možné s touto zbraní dosahovat lepších výsledků. Nová pažba bude navržena tak, aby se dala nastavit podle potřeb střelce a bylo jednoduché přenastavení při polohovém závodě. Výroba probíhala na CNC strojích, díky kterým se zvýšila přesnost u tvarově náročných součástí a bylo možné využít vyšších řezných rychlostí, a tím zefektivnit výrobu.

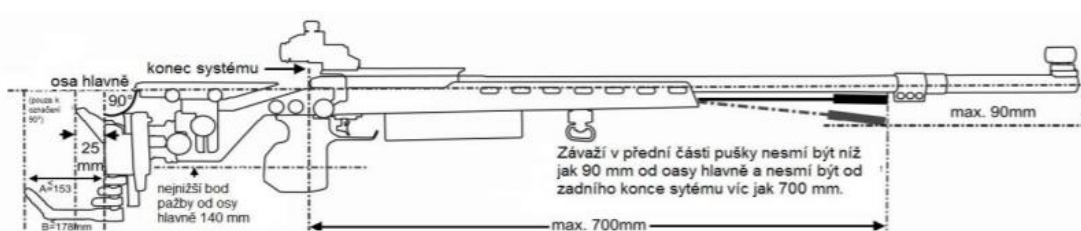


## 1.1. Sportovní střelba

Sportovní střelba je technický sport, při kterém se střelec snaží zasáhnout cíl na danou vzdálenost. Jedná se o jeden z nejstarších olympijských sportů, který je na novodobých olympijských hrách už od jejich počátků a patří mezi jeden z nejuspěšnějších českých sportů. Dělí se na mnoho disciplín. Nejzákladnější rozdělení je na pušky, pistole a brokovou střelbu. U puškových disciplín má velký vliv na výsledek nejen kvalita zbraně, ale také vhodný výběr střeliva. Rozdíly mezi zbraněmi a střelivem jsou nejen mezi výrobci a modely, ale také mezi jednotlivými výrobními šaržemi. Dalším faktorem, mající vliv na přesnost střelby, je střelecké oblečení, které pomáhá závodníkovi udržet střeleckou polohu. Disciplíny, pro které je tato zbraň určena, se střílí na 50 m, na terč o průměru 154,4 mm. Desítka má průměr 10,4 mm. Z malorážné pušky se podle pravidel ISSF (International Shooting Sport Federation) střílí v mužské kategorii dvě disciplíny: Libovolná malorážka 60 (LM60) ran a Libovolná malorážka 3x40 ran (LM 3x40). Disciplína LM60 se střílí v poloze vleže 60 ran a LM3x40 se střílí postupně ve třech polohách, nejprve 40 ran v kleče, poté vleže, a nakonec ve stoje. [1], [2]

## 1.2. Libovolná malorážka

Parametry libovolné malorážky jsou pevně stanoveny pravidly ISSF, kterými se řídí i Český střelecký svaz. Musí se jednat o pušku jednorannou, manuálně nabíjenou před každým výstřelem, která nesmí mít žádné systémy omezující pohyb nebo chvění. Mířidla nesmějí mít žádnou soustavu čoček, která by fungovala pro přiblížení terče. Zbraň musí být ráže 5,6 mm („22 Long Rifle“), váha nesmí přesáhnout 8 kilogramů. Rozměry jsou popsány na obrázku. Pro míření se používají dioptrická mířidla, která se skládají z mušky na konci hlavně (většinou kruhového tvaru průměru kolem 3,6 mm) a dioptru. V dioptru je průhledítko uložené v mikrometrických šroubech, které slouží ke korekci ran (tzv. „cvakání“). Zbraň se skládá ze dvou hlavních částí. Systém (hlaveň, rám zbraně, závěr a spoušťový mechanismus) a druhou částí je pažba. [2]

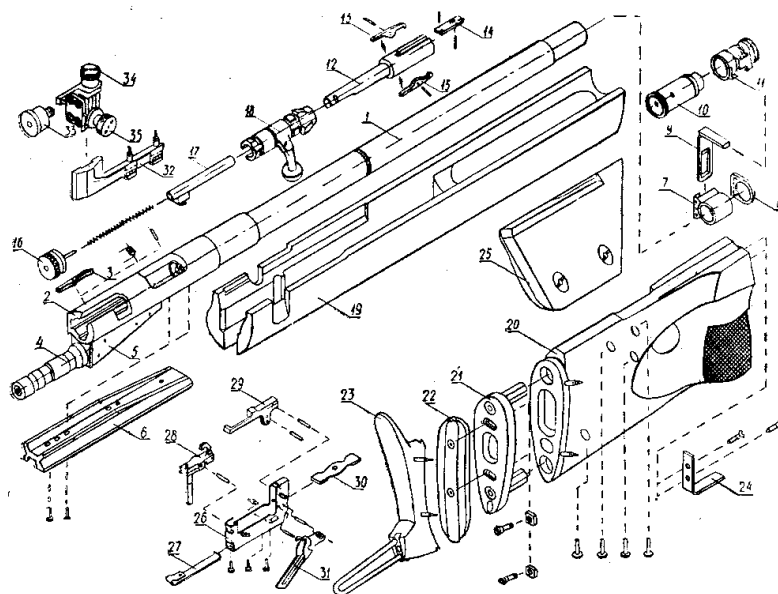


Obrázek 1 povolené rozměry pušky [3]

### 1.3. Použitý systém Tajfun-3

Systém, pro který je pažba konstruována, je sovětské výroby. Model Tajfun-3, který se vyráběl mezi roky 1969 až 1979 v ruském Iževsku (dnes spadá pod koncern Kalašnikov). Vyráběla se v těchto verzích: Tajfun-1 (ráže 7,62), Tajfun-2 (ráže 6,35) a Tajfun-3 (ráže 5,6). Jednotlivé verze se od sebe lišily pouze průměrem vývrtu hlavně a závěrem, takže by se pažba dala použít bez větších úprav i pro zbylé dva modely. Ve své době se jednalo o vrcholové zbraně, určené pro sovětskou reprezentaci. [4] Stáří tohoto konkrétního systému nelze přesně určit. Jediné, co o něm jde s jistotou říct, je, že českou státní zkušebnou prošel v roce 1977. Při testování v nastřelovací stoličce roku 2018 jeho rozptyl na 50 m dosahoval 6 mm, což je výborný výsledek na tak starou zbraň. Tato zbraň ležela posledních 15 let ve vlhkém skladu, a i za dob jejího používání byla značně zanedbávána její údržba. Systém zbraně přežil díky kvalitě materiálu a povrchovým úpravám bez většího poškození. Původní dřevěná pažba je velice poškozena a nelze ji již používat.

Mezi přednosti Tajfunu-3 patří přesnost, kvalita materiálu a typ uložení systému do pažby. Životnost hlavně se odhaduje na 1,5 milionu výstřelů, zatímco u ostatních zbraní se jedná pouze o desítky tisíc výstřelů. Na rozdíl od ostatních výrobců zbraní není pažba uchycena šrouby přímo do hlavně, ale pouze do rámu zbraně. Tento typ uchycení umožňuje snadnější vypažbení zbraně, protože při opětovném skládání není potřeba řešit moment utažení šroubů. Její nevýhody jsou špatná ergonomie, nedostatečná možnost nastavení, zastaralý typ spoušťového mechanismu a hlavně vysoká hmotnost.



Obrázek 2 schéma částí [4]

## 2. NÁVRH

### 2.1. Volba materiálu

Nejčastějším materiálem používaným pro pažby zbraní je dřevo. U sportovních zbraní se v poslední době objevuje i hliník, výjimečně plast. Plastové pažby se používají u vzduchových zbraních určených pro děti. Nevýhodou dřevěných pažeb je malá možnost přizpůsobení střelci, někteří střelci ale tyto pažby upřednostňují. Hliníkové pažby se začaly objevovat až v posledních letech. Jejich výhodou je, že mohou být tvarově složitější a lze na nich lépe použít nastavitelné komponenty, díky nimž jsou lépe přizpůsobitelné střelci. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a v některých případech vyšší hmotnost. Doplnky, jako jsou lícnice a pažbička, se vyrábí většinou ze dřeva a v současné době také vytisknuté z plastu.

Jako polotovar jsem se rozhodl použít válcovaný blok hliníku a pažbičku s lícnicí vytisknutou na 3D tiskárně z ABS plastu. Díky použití hliníku by se měla zlepšit ergonomie a dojít k úspoře váhy. Zbraň v originální dřevěné pažbě se blížila horní hranici pravidel, tedy 8 kilogramům.

#### 2.1.1. Dřevo

Dřevo je anizotropní a heterogenní přírodní materiál. Jeho struktura vzniká růstem stromu, který je ovlivňován vnějšími vlivy, jako jsou půda, podnebí, místo růstu. Mechanické vlastnosti materiálu se výrazně liší v závislosti na směru vláken, vyšší jsou ve směru vláken ( $\parallel$ ), než ve směru kolmém na vlákna ( $\perp$ ) (Tabulka 1). Dalším faktorem ovlivňujícím vlastnosti jsou vady a přirozené odlišnosti struktury. Rozdíly ve struktuře způsobuje rozdílný přírůstek dřeva na jaře a v létě. [6]

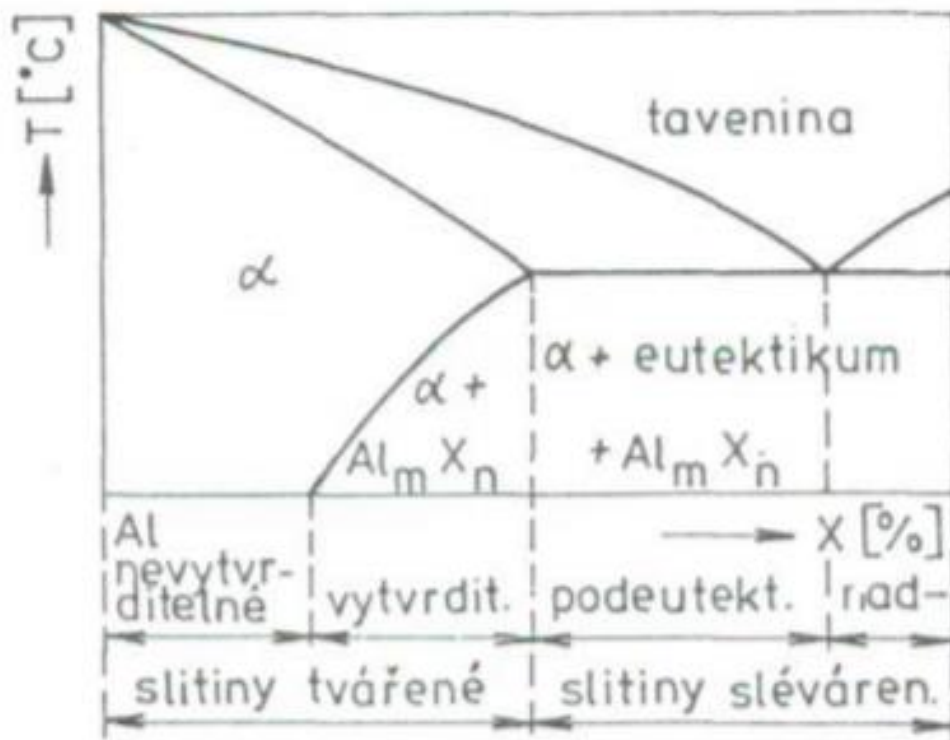
Vlastnosti ořechového dřeva						
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Tah [MPa]		Tlak [MPa]		Ohyb [MPa]	
	$\parallel$	$\perp$	$\parallel$	$\perp$	mez pevnosti	modul pružnosti
690	98	3,5	71	11,8	124	123

Tabulka 1 vlastnosti ořechového dřeva [5]

Pažby se většinou vyrábí z ořechového dřeva, kvůli jeho pevnosti a kresbě. Výhodou jeho použití je jeho měkkost, díky které pohlcuje chvění při výstřelu, nízká hmotnost a snadná tvarovatelnost. Mezi jeho nevýhody patří citlivost na vlhkost a malá odolnost vůči nárazům při transportu.

### 2.1.2. Slitiny hliníku

Čistý hliník má teplotu tání 660 °C a kubickou plošně centrovanou mřížku. Vyznačuje se dobrou elektrickou vodivostí a je korozivzdorný. Kvůli jeho malé pevnosti se využívá většinou v elektrotechnice. Ve strojírenství se hliník používá primárně ve formě slitin. První slitinou hliníku byl Dural, vyvinutý v roce 1906 německým metalurgem Alfrédem Wilmem. Dural na bázi Al-Cu-Mg-Mn se stal základem pro vytvrditelné slitiny. Dnes jsou nejrozšířenější slitiny na bázi Al-Si a Al-Mg s dalšími příměsmi. Ke zlepšení vlastností slitin se využívá legování jedním nebo více prvky. Slitiny hliníku je možné rozdělit podle množství legujících prvků. Dělí se na tvářené a slévarenské slitiny, tvářené se ještě dělí na vytvrditelné a nevytvrditelné. [7, 8]



Obrázek 3 schéma binárního rovnovážného diagramu Al-X [8]

## TVÁŘENÉ VYTVRDIRTELNÉ SLITINY HLINÍKU:

Ke zpevnění dochází při technologii tváření, nebo v kombinaci s precipitačním vytvrzením. Slitiny se legují nejčastěji mědí a hořčíkem. Množství legujících prvků se pohybuje obvykle mezi 5-7 % a celkový objem legur z pravidla nepřesahuje 10 %. Mezi používané slitiny patří: AlCuMg, AlMgSi a AlZnMg. [8]

## SLÉVÁRENSKÉ SLITINY HLINÍKU

Slévárenské slitiny se nachází blízko eutektického bodu rovnovážného diagramu. Obsah legujících prvků je u nich vyšší než u tvářených slitin, pohybuje se mezi 8-15 %. Mezi legující prvky patří například křemík, hořčík, zinek a měď. Velký vliv na pevnost a tvrdost má obsah hořčíku, kdy s jeho rostoucím množstvím klesá tažnost. [8]

## VÝBĚR SLITINY

U většiny výrobců není možné dohledat jakou slitinu používají. Ve specifikacích se uvádí pouze hliník. Česká firma Vaškent s.r.o. používá hliník EN AW-7075 (AlZn5.5MgCu). Já jsem se rozhodl pro použití slitiny EN AW-6082 T6 (AlSi1MgMn), která je dobře obrobitelná, má výbornou korozní odolnost a je vhodná pro eloxování. Oproti hliníku 7075 má nižší pevnost, lepší odolnost vůči korozi a je levnější. Také je dostupný širší výběr polotovarů, díky čemuž bude snadnější optimalizace výroby a větší využití materiálu. [11]

### **2.1.3. ABS Plast**

ABS plast, neboli Akrylonitrilbutadienstyren. Jedná se o termoplastický průmyslový kopolymer, odolný mechanickému poškození, houževnatý, odolný a dobře se tvaruje. Teplotní rozsah, ve kterém se dá používat, se pohybuje v rozmezí od -20 do 80 °C. Je náchylný na změnu teploty a pro 3D tisk je vhodné využít vyhřívanou podložku. [9]

ABS plast byl použit pro tisk pistolové pažbičky a lícnice, především z důvodu tvarové náročnosti a úspory hmotnosti. Další jeho výhodou je nízká cena.

## 2.2. Volba povrchové úpravy

Z estetických důvodů, a také, aby nedošlo k poškození během přepravy a používání, jsem se rozhodl doplnit pažbu o povrchovou úpravu. Dalším důvodem je zabránění vzniku odlesků, které by mohly oslňovat okolní střelce.

Už od počátku byly zbraně různě zdobeny, sportovní zbraně nejsou výjimkou. Firmy v dnešní době nabízí velkou škálu barev, včetně růžové a dalších výrazných barev. Někteří střelci si přebarvují zbraně dle vlastního vkusu.



Obrázek 4 Sportovní malorážky [10]

### 2.2.1. Eloxování

Jedná se o anodickou oxidaci hliníku ve vodném roztoku kyseliny (nejčastěji kyseliny sírové, chromové nebo šťavelové). Předmět se zapojí jako anoda, a katoda je hliníková, nebo olověná. Je možné docílit různých povrchů i barvy. Tloušťka vzniklé vrstvy záleží na technologii. Pohybuje se mezi 5-10  $\mu\text{m}$  u normálního eloxování a mezi 25-200  $\mu\text{m}$  u tvrdého eloxování. [9] Elox slouží jako ochranná vrstva. Dochází ke zvýšení ořezuvzdornosti a dochází i k eliminaci mikrotrhlin, které vznikají při třískovém obrábění. Díky možnosti dobarvení má i estetický význam. Nevýhodou eloxování je náročnost na kvalitu povrchu, protože všechny nedokonalosti a stopy po nástroji zvýrazní.

### 2.2.2. Prášková barva

Práškové barvy jsou v tuhém skupenství. Jedná se o směs pojiva, tvrdidel, pigmentu a může obsahovat další aditiva, které zajišťují strukturu, lesk nebo tvrdost, včetně metalických barev. Většinou jsou jednovrstvé, ale v některých případech se přidává buď podkladová vrstva, nebo je možné nanést vrstvu transparentního laku.

Tloušťka barvy se pohybuje v řádu desítek mikrometrů, záleží na aplikaci. Nejčastěji se prášky nanášejí pomocí elektrostatiky. Prášek je umístěn v pistoli a má opačný náboj než součást, na kterou je barva nanášena. Barva se musí po aplikaci vypálit v peci, při teplotách pohybujících se mezi 140° a 220 °C, záleží na konkrétní barvě a odstínu. Před nanesením barvy je nutná předúprava. Součást je vhodné otryskat a odmastit, aby se na ní barva lépe zachytila. Dnešní technologie umožňují vytvořit téměř libovolný odstín a strukturu, od hladkých struktur až po „pomarančovou kůru“.

Mezi výhody práškových barev patří nízká cena, dobrá oteruvzdornost i nízká cena oproti jiným povrchovým úpravám. Dalším kladem je možnost recyklovat barvy. Stříkáčkový box zachytává prášek, který nezůstane na součásti. Přes filtr se zachytává v nádobě a je možno jej pak znovu použít.

### **2.2.3. Zvolená povrchová úprava**

Po zvážení všech variant jsem se rozhodl pro práškovou barvu, doplněnou o vrstvu bezbarvého práškového laku. Prášková barva poskytne lepší ochranu a také zakryje stopy na nástroji, které vznikly při výrobě. Výhodou práškové barvy je nízká cena a dostupnost technologie v univerzitních laboratořích. Výrobci poskytují širokou škálu barev a struktur. Byla použita černá metalíza doplněná o vrstvu bezbarvého laku.

## **2.3. Návrh tvaru**

V této části je popsán postup tvorby 3D modelů v programu Autodesk Inventor 2018. Při návrhu tvaru jsem vycházel ze svých zkušeností ve sportovní střelbě a nechal se inspirovat pažbami dostupnými na trhu. Důležité bylo navrhnout zbraň tak, aby byla dostatečně ergonomická, splňovala pravidla sportovní střelby a měla správně umístěné těžiště. Pro tvorbu modelů a výpočty těžiště jsem musel vytvořit 3D model systému.

Systém zbraně tvoří hlavní součást zbraně, který zajišťuje mechanickou funkci zbraně. Tvoří ho hlaveň, spoušťový mechanismus a závěr. Výkresy nejsou bohužel dostupné, takže bylo nutné systém proměřit a vytvořit model. Model jsem vytvořil jako jednu součást. Hmotnost modelu je 3700 g, což odpovídá i hmotnosti skutečného systému. Tvarová podobnost pomůže při výpočtu těžiště, které by se mělo pohybovat přibližně v půlce podpažbí, v místě, kde zbraň podpírá levá ruka.

Při návrhu jsem vycházel z dostupného vybavení v laboratořích. Frézka VMC 500 má pracovní prostor pouze 510 x 410 mm, proto bylo nutné rozdělit pažbu na dvě části. Frézka má jen 3 osy, tudíž bylo nutné frézovat na více upnutí. Dalším omezením byl výběr nástrojů. Při tvorbě modelů bylo nutné vycházet z dostupných nástrojů.

### 2.3.1. Pravidla sportovní střelby

Libovolná malorážka má nejméně omezení, ohledně tvaru, ze všech sportovních zbraní. Pažba musí odpovídat pravidlům sportovní střelby pro libovolnou malorážku. Nejvyšší dovolená hmotnost je 8 kg. Nejnižší bod pažby mezi pistolovou pažbičkou a hákem nesmí být vzdálen od osy hlavně o více jak 140 mm.

Hák nesmí vyčnívat o více než 153 mm dozadu za kolmici k ose hlavně, která se dotýká nejhlubšího místa botky a celková délka háku nesmí přesáhnout 178 mm. Horní část botky nesmí vyčnívat o více než 25 mm vzad za tutéž kolmici, jako hák.

Pistolová pažbička nesmí být upravena tak, aby se dotýkala, či podpírala hřbet ruky, nebo zápěstí. Zároveň se při střelbě nesmí střelec dotýkat pažbičky jinou částí těla, nežli rukou, kterou spouští.

Závaží mohou být ke zbrani připojena, nesmí ale vyčnívat do stran. Musí být pevně připojena k pažbě, a ne jen páskou. Závaží v přední části nesmí být níže než 90 mm pod osou hlavně a nesmí být od konce systému vzdálena o více jak 700 mm. (viz Obrázek 1) [3]

### 2.3.2. Popis částí zbraně

**System zbraně:** jedná se o hlavní část zbraně, podléhající zákonu o zbraních. Pažba je volitelná, musí pouze vyhovovat pravidlům sportovní střelby. Součástí systému je hlaveň, rám, spoušťový mechanismus a závěr. Tyto součásti podléhají Českému úřadu pro zkoušení zbraní a střeliva a úpravy na nich může provádět pouze zbrojář.

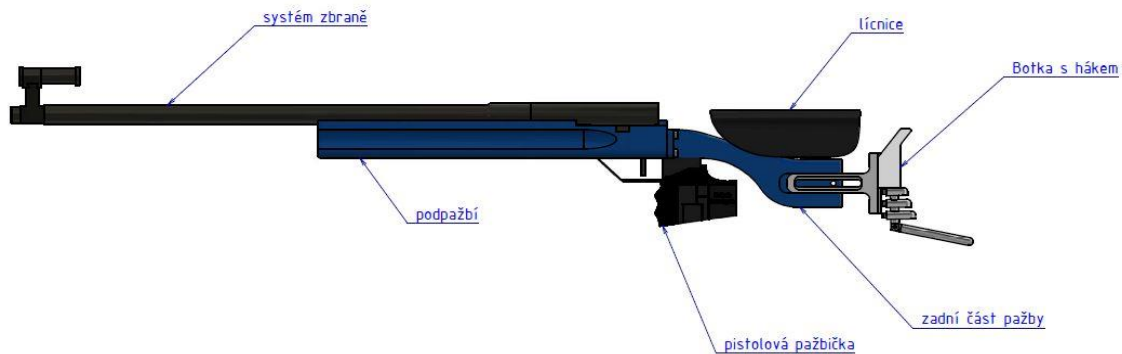
**Podpažbí a zadní část pažby:** Tělo pažby, do kterého je uchycen systém a osazeny ostatní součásti.

**Lícnice:** lícnice slouží k opření tváře. Bez ní by nebylo možné přikládat stejně hlavu ke zbrani.



**Pistolová pažbička:** slouží pro opření ruky, která spouští.

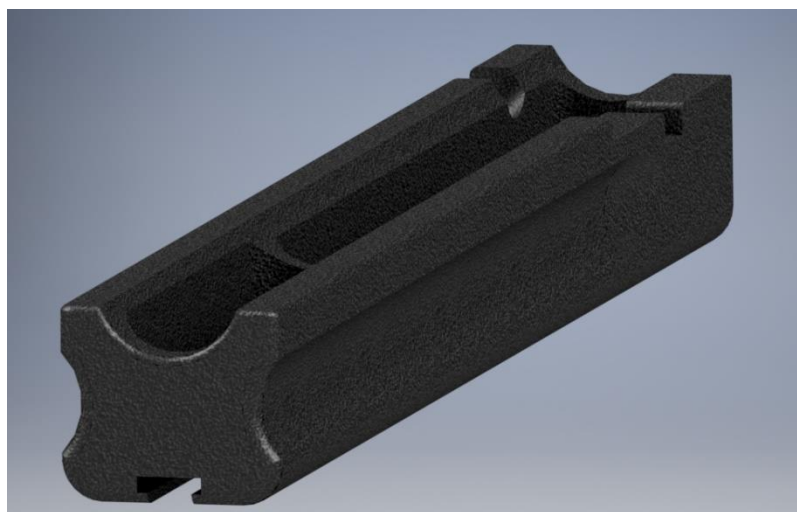
**Hák:** musí být nastavitelný nebo upravený pro střelce, aby dobře seděl v rameni a zajistil, že se zbraň při výstřelu výrazně nepohne.



Obrázek 5 popis částí zbraně

### 2.3.3. Podpažbí

Největší díl celé pažby, sloužící pro držení zbraně a chránící spoušťový mechanismus. Je do něj uchycen systém pomocí šroubů na spodní straně před spoušťovým mechanismem. Na spodní straně musí být T drážka pro uchycení jezdce řemenu, který je potřebný pro střelbu vleže a vleče. Výřez na levé straně je nutný kvůli boční montáži dioptru a páčce sloužící pro vyjmutí závěru. Na pravé straně se nachází výřez, do kterého zapadne klika závěru. Ze zadní strany jsou čtyři otvory se závity, do kterých se přišroubuje zadní část pažby, a tím vznikne základní díl pažby.



Obrázek 6 model podpažbí

Model jsem začal tvořit kolem systému, v oblasti uložení a spoušťového mechanismu. Díl byl tvořen v sestavě pomocí funkce „vytvořit komponentu“, díky čemuž jsem mohl využít vytvořeného modelu systému a promítnout do geometrie tvar systému, což ulehčilo tvorbu modelu.

Inspiroval jsem se původním předpažbím, které jsem upravil tak, aby lépe vyhovovalo potřebám střelce. Oproti všem výrobcům jsem se rozhodl pro širší podpažbí (55 mm) z důvodu lepšího držení a také vyšší, díky kterému bude možné střílet vleče a vstoje, bez použití opěrky ruky. Před spoušťový mechanismus byla navržena dutina pro odlehčení, do které bude možné v případě potřeby vložit závaží.

Délka podpažbí je 421 mm, šířka 55 mm a výška 48 mm. Polotovár pro tvorbu této části jsem zvolil tyč plochou 60 x 50 mm o délce 435 mm ze slitiny EN AW 6082. Vše je navrženo tak, aby bylo možné použít stroje a nástroje dostupné v laboratoři.

#### **2.3.4. Zadní část pažby**

Jedná se o díl připojený na podpažbí, do kterého se následně připevní pistolová pažbička, lícnice a hák. Pravidla určují, že nejnižší bod musí být vzdálen maximálně 140 mm od osy hlavně. Bylo potřeba vymyslet, jakým způsobem se připojí ostatní díly na zadní část pažby, a následné připojení zadní části k podpažbí.

Při modelování zadní části pažby jsem vycházel z rozměrů daných pravidly sportovní střelby a rozměry pažbičky, aby si nikde navzájem nepřekážela s pažbou. Dále bylo potřeba při návrhu zohlednit tělesné rozměry střelce tak, aby bylo možné nastavit hák do správné vzdálenosti. Dalším dílem připojeným na pažbu je lícnice, kterou je nutné výškově nastavit. Zadní část pažby nesmí zakrývat závěr, aby ho bylo možné vyndat. Vyndání závěru je nutné kvůli čištění hlavně, a zákonu o zbraních, který říká, že je nutné převážet závěr odděleně od zbraně.

Podpažbí a zadní část jsem spojil pomocí 4 šroubů s vnitřním šestihranem M6. Pistolová pažbička je připojena pomocí jednoho šroubu na výstupek, který zamezí tomu, aby nedošlo k pootočení. Pro díly, u kterých je potřeba možnost nastavení, jsem zvolil drážku, do které zapadnou a aretaci proti posunutí pomocí šroubu s plastovou hlavou, která umožní, že k nastavení nebude potřeba žádného náradí. Snadná nastavitelnost těchto dílů je důležitá při polohovém závodu, kdy je potřeba změnit nastavení zbraně během závodu.

Výrobci, kteří pažby frézují, používají většinou zadní díl vytvořený ze dvou částí, kvůli většímu využití materiálu. Já jsem se z důvodu vyšší pevnosti a snadnější výroby rozhodl pro jeden kus.

Rozměry dílu jsou 49 x 98 x 215 mm. Jako polotovar jsem zvolil tyč plochou 100 x 50 mm o délce 235 mm ze slitiny EN AW 6082.



*Obrázek 7 zadní část pažby*

### **2.3.5. Botka s hákem**

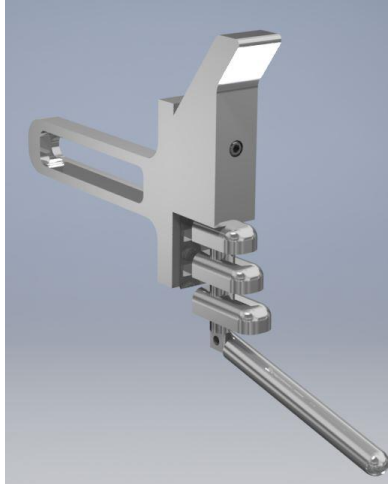
Botka s hákem je důležitou součástí zbraně, která zajišťuje, aby zbraň dobře seděla v rameni. Není bez ní možné dosáhnout kvalitních výsledků. Pokud by hák dobře v rameni neseděl, mohlo by docházet k chybám ve svislém směru.

Rozhodl jsem se pro moderní konstrukci háku, ve které je možné nastavovat botku nejen výškově, ale je také možno nastavit i hák. Některé botky jsou nastavitelné do více směrů, i když to není z funkčního hlediska potřeba.

Většina výrobců používá uložení botky do pažby buď pomocí dvou trnů, nebo pomocí jednoho s obdélníkovým průřezem. Aretaci zajišťují buď stavěcí šrouby, či různé mechanismy, například ozubené kolo, které vysunuje ozubený hřeben, anebo trapézový šroub s maticí. Rozhodl jsem se pro konstrukci jednodušší na výrobu, kdy obdélníkový kus jezdí v drážce a je aretován pomocí matice do T drážky.

Materiál háku je EN AW 7075, jedná se o odřezky, které se nacházeli v laboratořích. Nastavení ve svislém směru zajistí rybinová lišta a aretace pomocí stavěcího šroubu. Zvolil jsem rybinovou frézu dostupnou v dílnách. Botka s hákem se skládá dohromady ze 7 dílů, z nichž 5 bude vyrobeno pomocí frézky a 2 na soustruhu.

Botka s hákem je navržena bez povrchové úpravy, z důvodu tvarové náročnosti a množství dílů, které do sebe musí pasovat. Tloušťka práškového laku, který je použit na zadním díle pažby a podpažbí, by mohla znemožnit složení dílů do sebe. Háček je vyroben z tvrdšího materiálu než zbytek pažby a nemělo by dojít k mechanickému poškození během používání. Proto jsem se rozhodl ponechat díl bez povrchové úpravy.



Obrázek 8 Botka s hákem

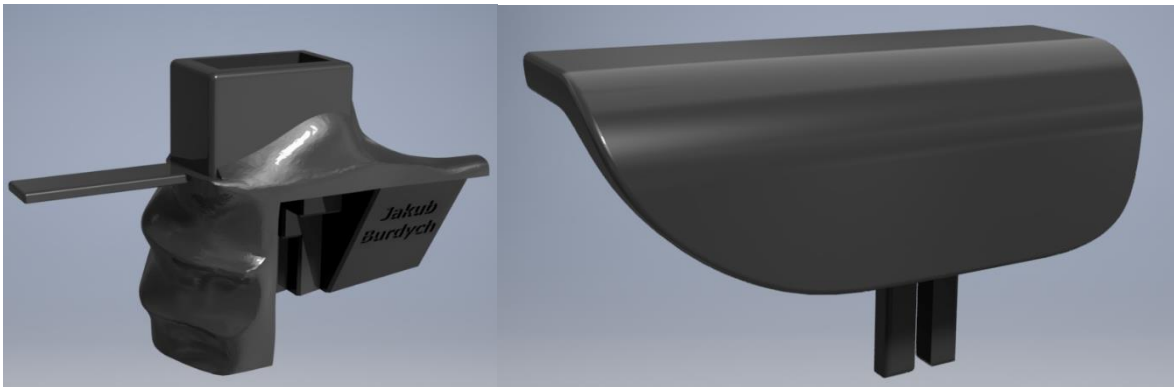
### 2.3.6. Pistolová pažbička a lícnice

Pistolová pažbička slouží k držení zbraně. Musí dobře sedět v ruce, aby umožnila pohodlné spouštění. Většina výrobců vyrábí pažbičky ze dřeva nebo z plastu. Použitý systém nemá nastavitelnou spoušť, proto bylo důležité, aby měla pažbička správnou polohu. U některých modelů pažeb je i nastavitelná pažbička do různých směrů.

Lícnice slouží jako opora tváře pro větší komfort střelce při střelbě. Všechny moderní pažby, včetně dřevěných, určené pro sportovní střelbu, mají nastavitelnou lícnici ve svislém směru. Tato funkce je důležitá pro správnou polohu hlavy při střelbě. Pažbičku a lícnici jsem zvolil z plastu, vytištěnou na 3D tiskárně. Za výrobu těchto dvou dílů bych chtěl poděkovat Davidu Kučerovi, který vyřešil tento problém ve své bakalářské práci „Využití reverzního inženýrství pro optimalizaci dílů“, pod vedením Ing. Jana Šimoty. [13]

Pro vytvoření 3D modelu byl využit Laser Scanner. Existující pažbička ze vzduchové pušky Feinwerkbau P70 s hliníkovou pažbou, na kterou se nanasla vrstva plastické hmoty a obtiskla se do ní ruka. Takto vytvořený model bylo následně možné naskenovat a vytvořit síť bodů, ze kterých byl vytvořen model. Model pažbičky bylo možné vytisknout na 3D tiskárně z plastu. Takto vytvořená pažbička sedí v ruce lépe nežli pažbička obyčejná a umožňuje pohodlnější držení zbraně při střelbě.

U lícnice není důležité, aby byla tak dobře přizpůsobená střelci, proto ji nebylo nutné skenovat a stačilo ji pouze vymodelovat. Bylo potřeba pouze zohlednit polohu vůči mířidlům. Dále, aby bylo možné vyjmout závěr, aniž by bylo nutné sundat lícnici. Díky využití 3D tisku došlo k výrazné úspoře hmotnosti. Rozdíl mezi hmotnostmi těchto dvou částí vyrobených pomocí 3D tisku a součástí na vzduchové pušce s hliníkovou pažbou je cca 500 g.



*Obrázek 9 pažbička a lícnice*

### 3. VÝROBA

Výroba proběhla v laboratořích Fakulty strojní ČVUT v Praze, Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie. Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli při výrobě. K výrobě byly použity nástroje dostupné v laboratořích, některé části bylo nutné ještě upravit, kvůli omezenému výběru nástrojů. Jednalo se hlavně o vnitřní rádiusy a plochy pro uložení systému do pažby.

Materiál byl nakoupen od firmy ALUCAD Bohemia s.r.o., u které je možno zakoupit pouze požadovanou délku profilu a není nutné kupovat profil celý. Po objednání materiálu bylo zjištěno, že oba materiály měly rozdílnou tvrdost, i přes to, že měly být oba EN AW 6082 ve vytvrzeném stavu T6. Z toho důvodu byl pro ověření materiálu využit spektrometr, který potvrdil, že polotovar pro podpažbí odpovídá objednanému materiálu. Druhý polotovar pro zadní část pažby, který se zdál být měkčí, určil spektroskop jako EN AW 6003. Po přezkoumání norem bylo zjištěno, že se normy navzájem překrývají a složením zapadá i do normy pro EN AW 6082, i když je blíže složení materiálu EN AW 6003, přestože měl znatelně nižší tvrdost.

### 3.1. Použité stroje

#### 3.1.1. Obráběcí centrum MAS VMC 500

Většina výroby proběhla na obráběcím centru MAS VMC 500. Jedná se o tříosou CNC frézku se zásobníkem a automatickou výměnou nástrojů. To usnadnilo a urychlilo výrobu, nástroje stačilo vložit do zásobníku a měnily se samy. Z důvodu malého pracovního prostoru bylo nutné pažbu rozdělit na dvě části. Programování stroje bylo provedeno pomocí CAM software Autodesk PowerMill Ultimate.



Obrázek 10 MAS VMC 500

- Výkon na vřetení je 11,2 kW
- Maximální otáčky vřetene jsou 8000 ot/min
- Pracovní prostor má rozměry 508 x 508 x 508 mm

#### 3.1.2. Soustruh Tos sv18ra

Pro výrobu rotačních částí byl použit univerzální soustruh. Byly na něm vyrobeny díly háku. Díly nebyly tvarově náročné a nebylo u nich potřeba vysoké přesnosti, proto bylo vhodnější použít univerzální soustruh s nástroji z rychlořezné oceli.



Obrázek 11 Soustruh Tos Sv18ra

- Výkon na vřetení 7,5 kW
- Max. otáčky 2800 ot/min
- Max. hmotnost obrobku 300 kg
- Vzdálenost hrotů 750 mm

#### 3.1.3. Další použité stroje

Pro dokončovací práce jako vrtání děr byla využita stolní vrtačka a radiální vrtačka MAS VR4. Závitky byly řezány ručně pomocí sadových závitníků uchycených do vratidla. K povrchové úpravě byl použit tryskací box, stříkací box a horkovzdušná vypalovací pec.

## 3.2. Použité nástroje

Při volbě nástrojů jsem vycházel z nástrojů dostupných na ústavu. Pro zefektivnění výroby jsem se snažil využívat nástroje ze slinutých karbidů, se kterými je možné dosáhnout vyšších řezných rychlostí, a tím zkrátit a zefektivnit výrobu. Dostupnost nástrojů byla omezená, nebyly zde dostupné žádné rádiusové frézy, proto bylo nutné všechny rádiusy vytvářet pomocí kulových fréz. Nástroje měly různé druhy uchycení. Nejčastěji byl používán hydraulický upínač a Weldon. Upínač se vkládá do stroje pomocí ISO kuželu.

Dále byly použity nástroje pro obrábění na soustruhu, tam se jednalo o čelní soustružnický nůž a upichovací nůž. Pro vrtání děr byly využity vrtáky z rychlořezné oceli a sadové závitníky různých průměrů, nejčastěji M6.

### 3.2.1. Seznam nástrojů a řezné podmínky

typ	průměr [mm]	řezná rychlost [m/min]	počet břitů	posuv na zub [mm]
63A06R-S90aAD16E	63	300	6	0,1
S111412.120	12	150	3	0,08
S511612.120	12	200	2	0,1
S111412.080	8	160	3	0,04
3050	20	300	4	0,05
3627	10	200	4	0,1
115418.200	20	180	6	0,05
110418.180	18	250	3	0,063
MM GRIT 16-2	15,7	50	3	0,05
rybinová fréza	16	70	10	0,05

*Tabulka 2 řezné parametry nástrojů*

### 3.2.2. Volba řezných podmínek

Volba a výpočet řezných podmínek byla velmi usnadněna díky použití CAM programu Autodesk PowerMill Ultimate 2018, v němž je možné vymodelovat nástroj, včetně držáku. Pro výpočet rychlostí stačí zadat počet zubů, posuv na zub a řeznou rychlost, což jsou parametry udávané výrobcem nástrojů. Výrobcem zadané parametry byly o trochu poníženy, aby byla zajištěna delší životnost nástrojů. Výrobci nástrojů udávají parametry obrábění pro různé materiály. Volil jsem řezné podmínky pro tvrdý hliník u EN AW 6082, a pro hliník EN AW 7075 jsem zvolil parametry pro měkkou ocel.

### 3.3. Tvorba NC programu

Pro tvorbu drah byl využit CAM Software Autodesk PowerMill Ultimate 2018. Vytvořené modely v programu Autodesk Inventor bylo možné nahrát přímo do PowerMillu. Další funkcí usnadňující modelování je možnost vymodelování nástrojů včetně jejich držáků. Vymodelování držáků zamezí bourání u nástrojů s malým vyložením, které pracují do větší hloubky.

Po nahrání modelů do CAMu bylo nutné vytvořit polotovary podle zakoupeného materiálu a nastavit ho kolem modelu. Přesné zadání polotovaru a volba počátku souřadného systému je důležitá pro zamezení bourání. Postup návrhu drah v PowerMill Ultimate je podobný jako u všech CAM softwarů. Nejdříve se vybere nástroj a označí plochy, které se mají obrábět, a tím se vytvoří hranice. V dalším kroku je nutné vybrat vhodnou strategii, podle které CAM vypočte dráhy nástroje. Někdy je potřeba ještě upravit nájezd a výjezd pro zamezení bourání. Optimalizace drah byla prováděna, ale vzhledem ke kusové výrobě nebylo nutné provádět jí v rámci vteřin.

Frézka VMC 500 má pouze 3 pracovní osy X, Y, Z, proto bylo nutné jeden díl obrábět na více upnutí. Každé upnutí se rovná jednomu NC programu a s tím souvisí i další zarovnání počátku souřadnicového systému, k čemuž se využívá dotyková sonda.



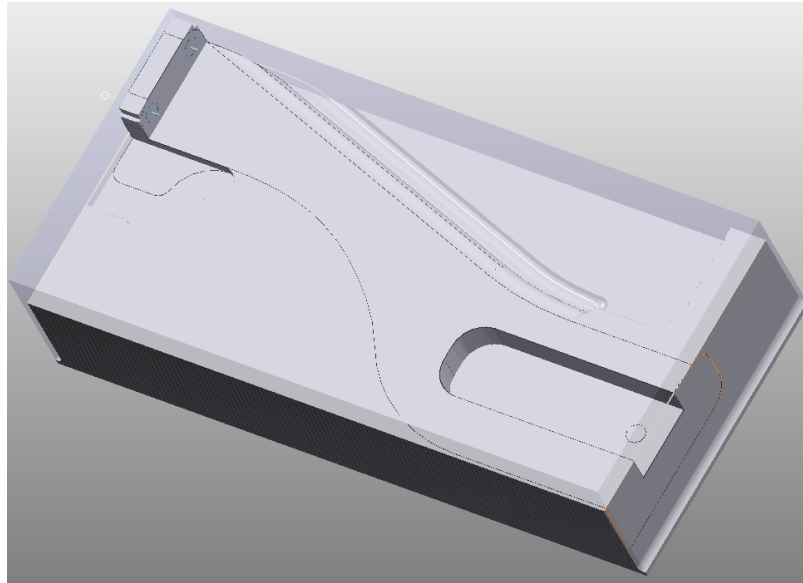
*Obrázek 12 dotyková sonda*

#### 3.3.1. Zadní část pažby

Zadní část pažby bylo kvůli její tvarové náročnosti obrábět na čtyři upnutí. Při prvním upnutí se ofrézuje jeden bok, při druhém upnutí druhý bok. Při posledních dvou upnutích se vyfrézují konce včetně vyvrtání děr pro připojení k podpažbí. Při druhém upnutí bude pro lepší dostupnost upnuto na délku, pomocí můstků, které se odfrézují při dalších krocích.

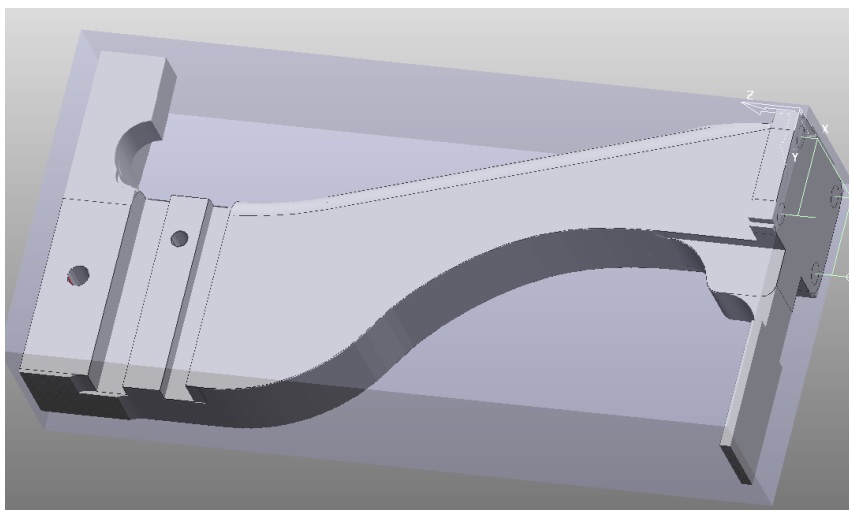


Při prvním upnutí se kvádr upne do svěráku a sfrézuje se levá strana, včetně uložení pro hák, a srazí se obě čela. Na čelech se ponechají můstky pro další upnutí.



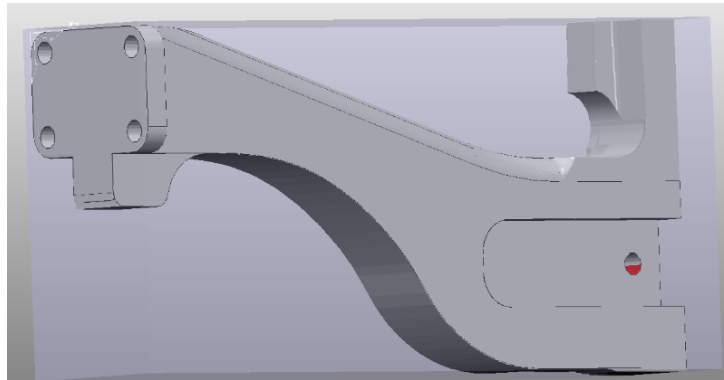
*Obrázek 13 zadní část po prvním upnutí*

Ve druhém upnutí se díl otočí o 180° a uchytlí do svěráku za kratší strany. Vyfrézuje se drážka pro lícnici a vyvrtají díry. V dalším kroku již stačí odfrézovat můstky.



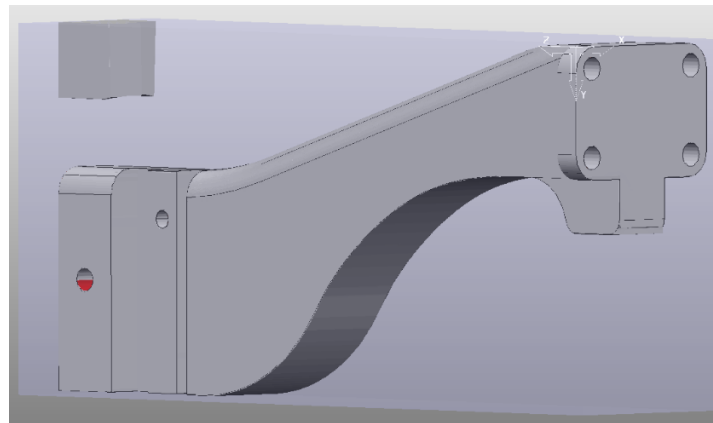
*Obrázek 14 zadní část po druhém upnutí.*

Třetí upnutí odfrézuje můstek, na čisto odfrézuje rádiusy a vyvrtá díry pro přichycení do podpažbí.



*Obrázek 15 zadní část třetí uchycení*

Při posledním uchycení se odfrézuje můstek v zadní části a začistí se rádiusy.

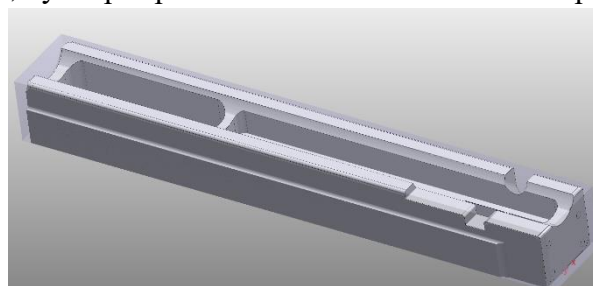


*Obrázek 16 zadní část čtvrté uchycení*

### 3.3.2. Podpažbí

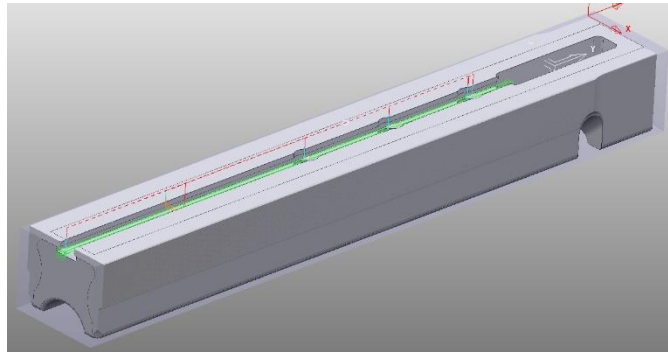
Podpažbí je největší a tvarově nejsložitější část, vzhledem k množství vnějších rádiusů a absenci rádiusových fréz bude výroba trvat déle. Výroba tohoto dílu bude rozdělena na 4 upnutí.

Při prvním uchycení se vyfrézuje uložení pro osazení systému, odlehčovací díra, výřez pro kliku závěru, výřez pro páku k uvolnění závěru a vrchní plochy.



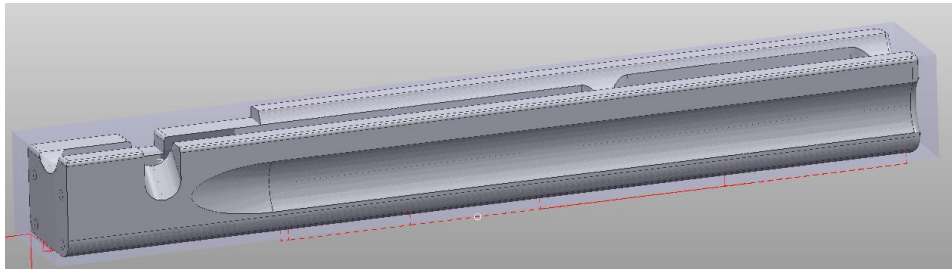
*Obrázek 17 popažbí první uchycení*

V dalším upnutí dojde k zarovnání spodní strany, T drážky pro jezdec a děr sloužících k uchycení systému do pažby.



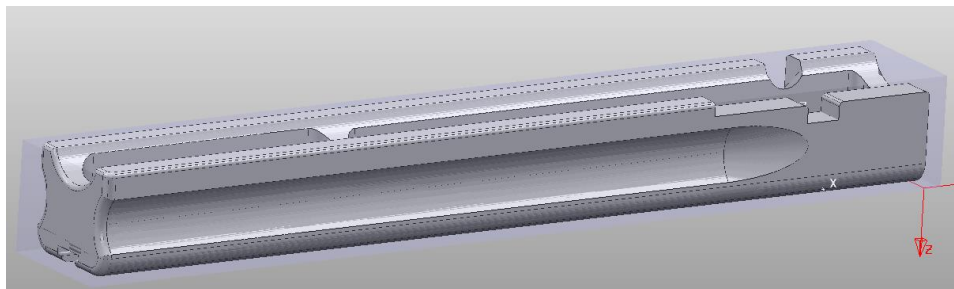
*Obrázek 18 podpažbí druhé upnutí*

Při třetím upnutí se vyfrézuje pravá strana načisto včetně spodního rádiusu. Profrézuje se zároveň zahloubení na pravé straně.



*Obrázek 19 podpažbí třetí upnutí*

Poslední čtvrté upnutí umožní dokončit celé podpažbí vyfrézováním levé strany načisto.



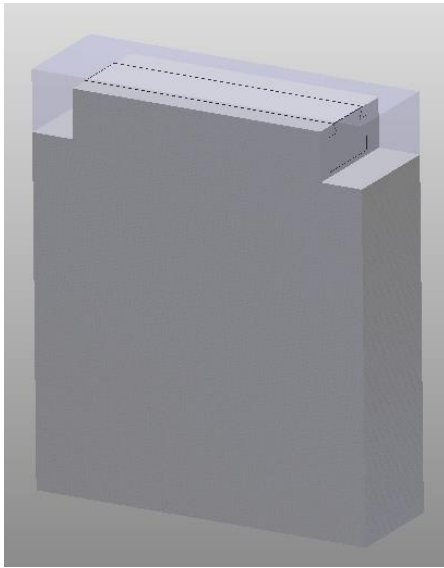
*Obrázek 20 podpažbí čtvrté upnutí*

### 3.3.3. Botka s hákem

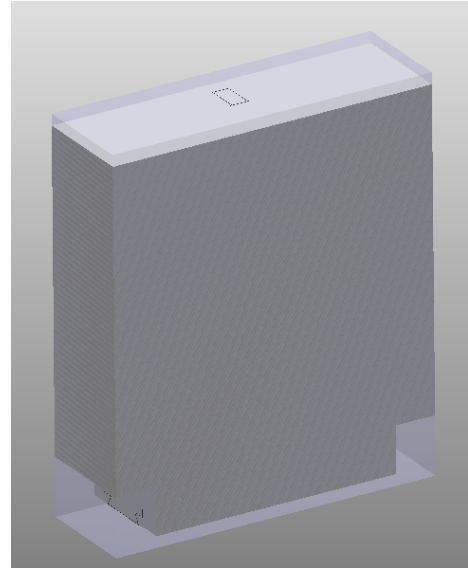
Botka s hákem je sestavena z několika dílů menších, proto bude výroba složitější než u zadního dílu a podpažbí. Díly byly rozděleny a poskládány do dvou polotovarů. Při prvním obrábění se vyfrézuje držák botky a špunty háku. Při druhém se vyfrézuje botka.

Kvůli využití tvrdšího materiálu (EN AW 7075) bylo nutné o něco snížit řezné parametry. Místo parametrů udávaných výrobcem pro slitiny hliníku byly využity rychlosti pro měkkou ocel.

První obráběný díl byl držák botky a špunty. Pro zachování kolmosti jednotlivých stran se v prvním upnutí zarovnal čelo, poté se díl otočil a zarovnal se druhé. Díky těmto srovnaným stranám byla následně zaručena kolmost rovin.

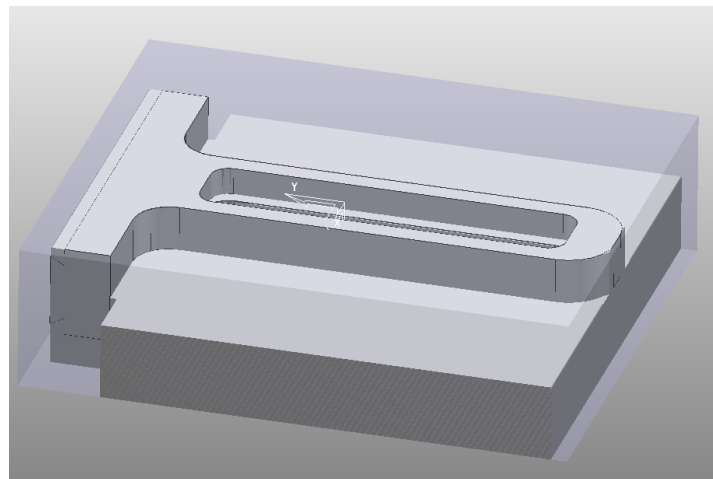


*Obrázek 22 držák háku první upnutí*



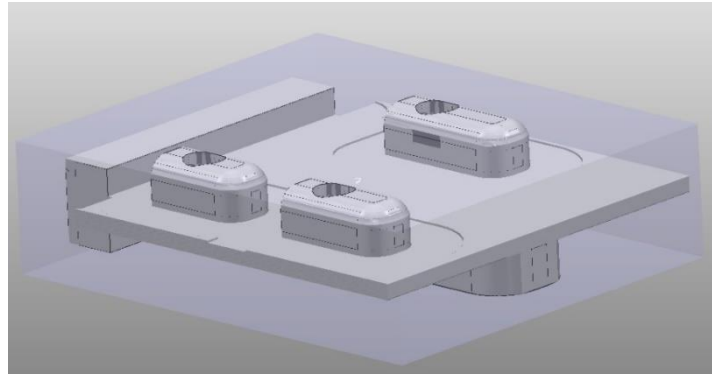
*Obrázek 21 držák háku druhé upnutí*

Po zarovnání obou čel bylo možné obrobek upnout za zarovnaná čela a vyfrézovat lištu sloužící pro připojení háku do pažby.



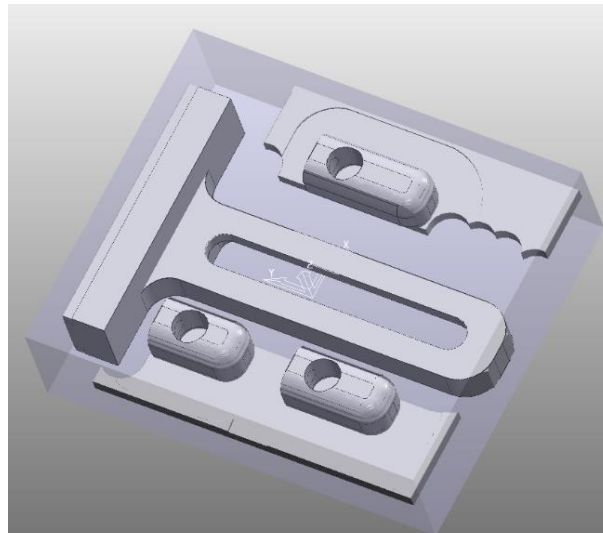
*Obrázek 23 držák háku třetí upnutí*

V dalším upnutí se vyrobily špunty háku. Po dokončení čtvrtého NC programu bylo možné odříznout hotové špunty z obrobku a pokračovat v obrábění.



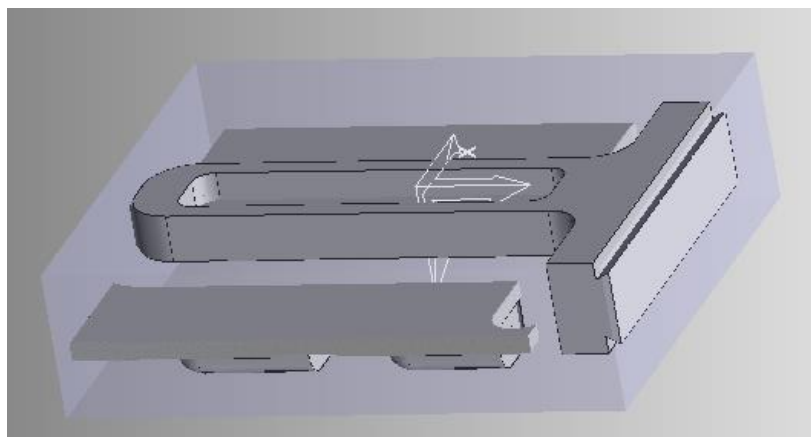
*Obrázek 25 držák háku čtvrté upnutí*

Při pátém upnutí se odfrézovala plocha, ze které byly odříznuty špunty, a načisto se dokončila plocha dosedající na zadní díl pažby. Díky vhodně zvolenému směru otáčení bylo možné odfrézovat celý kus najednou, místo postupného frézování, které by zabralo více času.



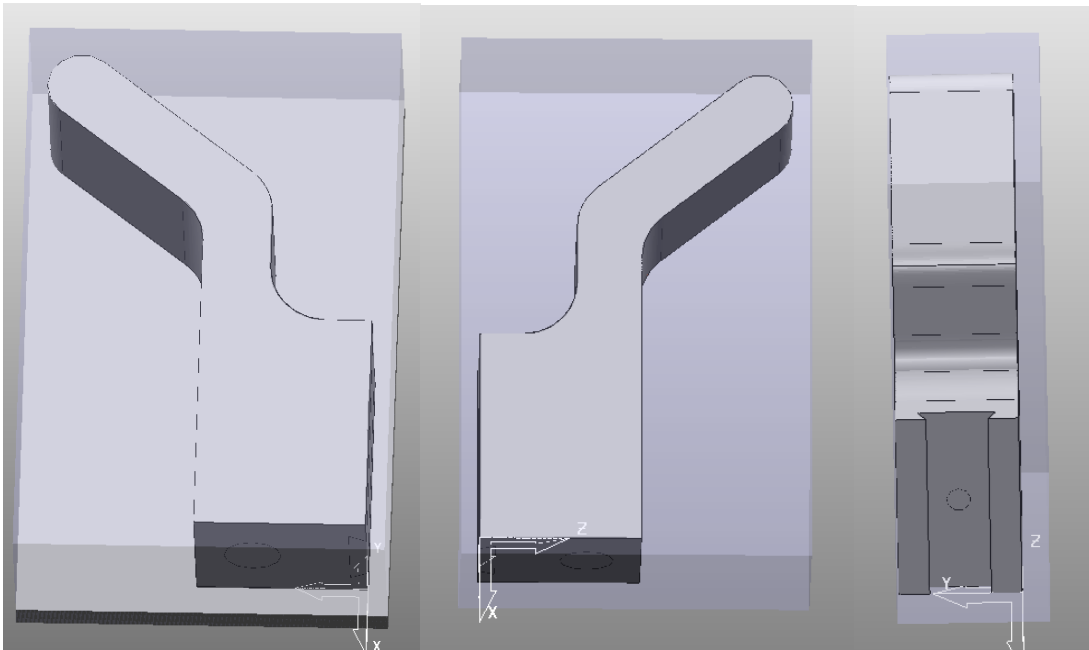
*Obrázek 24 držák háku páté upnutí*

Poslední upnutí sloužilo k výrobě rybinového výřezu, na který se nasune botka.



*Obrázek 26 držák háku šesté upnutí*

Posledním dílem, který se obráběl, byla botka. Jedná se o tvarově nejméně náročný díl. K jeho výrobě stačí pouze 3 nástroje. Při prvním uchycení se zároveň čelo a načisto kontura. Ve druhém upnutí byla obrobena druhá strana načisto a při posledním stačilo vytvořit rybinovou drážku.



Obrázek 27 obrábění botky

### 3.4. Průběh výroby

V předešlých kapitolách je popsán návrh a tvorba NC programů. Tato kapitola se věnuje popisu samotné výroby. Prvním krokem bylo obrobení všech součástí, jejich následné dokončení a spasování dohromady. Posledním krokem je pak nástřík práškové barvy.

Před každým obráběním je potřeba nejdříve připravit nástroje, vložit je do správných držáků a přiřadit jim místo v automatickém zásobníku nástrojů. Kvůli různému vysunutí nástrojů je potřeba seřadit délku vysunutí. Toto nastavení se dělá tak, že se nejdříve dotykovou sondou najde rovina a k ní se nastaví nástroj, aby nedošlo ke zničení nástroje a zároveň bylo nastavení dostatečně přesné, používá se papírek, který se vloží mezi zvolenou rovinu a nástroj. Následně se pomocí manuálního posunu přijíždí blíže k rovině a hýbe se papírkem. Ve chvíli, kdy začne drhnout, ale je s ním ještě možno pohybovat, může se ve stroji nastavit výška papírku. Tuto korekci je nutno provést pro všechny nástroje. Po seřízení všech nástrojů je nutné ještě nastavit trysky, aby proud chladicí kapaliny dopadal vždy na špičku nástroje. Tím se zajistí chlazení nástroje a odplavování třísek z místa řezu.

K upnutí polotovaru se využívá svěrák, který se přišroubuje do stolu frézky. Během upínání je důležité zajistit rovnoběžnost čelistí s osami. Rovnoběžnost se kontroluje při upevňování svěráku na stůl pomocí číselníkového úchylkoměru připevněného na vřeteno pomocí magnetu. Při obrábění působí na obrobek síly nejen ve směru osy X a osy Y, ale i ve směru osy Z. Aby se zamezilo posunutí obrobku v upnutí, při kterém není využita celá plocha čelistí, podkládá se obrobek přesnými kusy. Používají se například nožové polotovary Radeco. Po upnutí polotovaru je důležité nastavit počátek souřadného systému tak, aby odpovídal souřadnému systému NC programu. Pro tento účel se využívá dotyková sonda.

### 3.4.1. Výroba zadní část pažby

Prvním obráběným dílem byla zadní část pažby. Vzhledem k tomu, že se jednalo o první obrábění, bylo potřeba najít všechny nástroje, uložit je do vhodných držáků a následně vložit do frézky. Po přípravě nástrojů bylo potřeba vložit a připevnit svěrák. Po uložení a vyrovnaní svěráku pomocí číselníkového úchylkoměru bylo možno připevnit polotovar. Vzhledem k hloubce obrábění bylo nutné velké vyložení polotovaru, aby nedošlo k poškození nástroje a svěráku. Postup výroby se nachází v kapitole 3.3.1.

Při druhém upnutí došlo k posunu souřadného systému. V místě zaoblení se vyskytla nerovnost. Na funkční plochy nemá vliv, jedná se pouze o estetickou část. Po dokončení obrábění bylo nutné nerovnost zarovnat pomocí pilníku.



*Obrázek 28 obrobená zadní část pažby*

Zbylé dva NC programy proběhly bez větších problémů. Pro zajištění kolmosti bylo při upínání do svěráku využito číselníkového úchylkoměru. Díl po obrobení bylo nutné dokončit pomocí ručního nářadí. Pomocí pilníku byly opraveny nedokonalosti vzniklé při

obrábění. Dále bylo potřeba vyvrtat na stolní vrtačce otvor pro přichycení pažbičky. Tento otvor nebyl vyroben na CNC stroji, protože by bylo nutné vyrábět ho při dalším upnutí. Pažbička je přichycena k tomuto dílu pomocí šroubu a není zde kladen velký důraz na přesnost. Bylo tedy snazší ho vyvrtat ručně. Poslední částí, kterou bylo nutné dokončit, bylo vyříznutí závitů. K tomu byly využity sadové závitníky namočené v řezné pastě.

Název programu	Čas dle PowerMill 2018	Skutečný čas
zadní část pažby 1	0:31:00	0:35:25
zadní část pažby 2	0:41:47	0:44:32
zadní část pažby 3	0:04:44	0:04:28
zadní část pažby 4	0:03:30	0:03:36

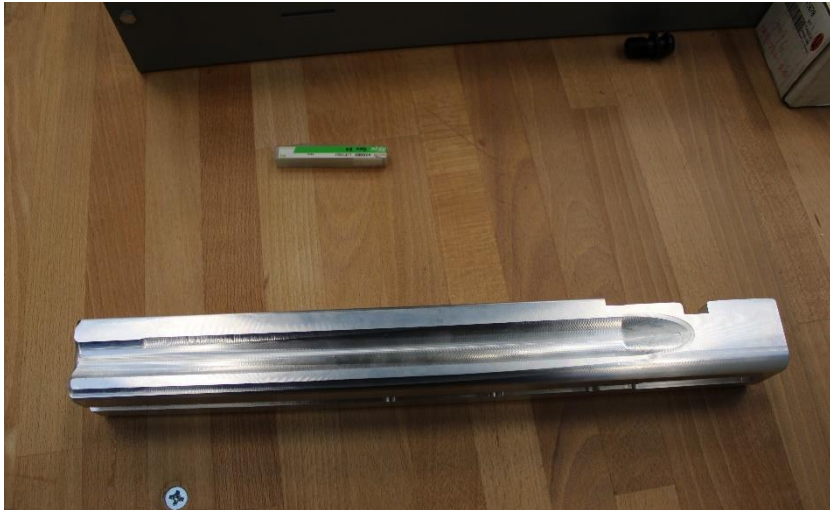
*Tabulka 3 časy obrábění zadního dílu pažby*

### 3.4.2. Výroba podpažbí

Po obrobení zadní části podpažbí bylo nutné přidat některé nástroje. Podpažbí je největším a tvarově nejsložitějším dílem, z toho důvodu byla i největší délka jeho výroby. Po přípravě stroje bylo možné začít se samotnou výrobou. U takto velkého dílu, s relativně malým přírůstkem po stranách, bylo nutné při upínání dávat pozor, aby byl polotovár v rovině. Při šikmém uchycení by mohlo dojít k tomu, že se model ocitne mimo polotovár a na nějakém místě bude materiál chybět.

První program začal nejdříve hrubovat, následně i obrábět načisto vrchní plochy a dutinu pro uložení systému. Druhý program proběhl bez problémů, bylo pouze nutné snížit otáčky a posuv stroje při frézování T drážky, aby nedošlo ke zničení frézy při nájezdu do materiálu. Třetí program frézoval bok, bylo tedy nutné do vyfrézované dutiny vložit ocelovou kostku, přes kterou došlo k upnutí do svěráku a celý díl podložit, aby nedošlo k pohybu obrobku při frézování. Bohužel nebyl podložen na obou stranách stejně a obrobek byl upnut lehce nakřivo, došlo tak k poškození jednoho z rádiusů. Plochu bylo naštěstí možné opravit pomocí pilníku. Návrh drah je popsán v kapitole 3.3.2.





Obrázek 29 obrobené podpažbí

Po obrobení podpažbí bylo nutné z čela vyvrtat díry a vyříznout do nich závity. Tyto díry jsou pro šrouby spojující podpažbí se zadní částí pažby. Z důvodu délky podpažbí nebylo možné je vyvrtat v CNC strojích dostupných v laboratoři, proto byla využita radiální vrtačka MAS 4, na které bylo možné díky jejímu velkému zdvihu tyto otvory vyvrtat.

Název programu	Čas dle PowerMill 2018	Skutečný čas
podpažbí 1	1:44:51	2:05:12
podpažbí 2	0:10:19	0:18:48
podpažbí 3	0:47:04	0:53:23
podpažbí 4	1:18:07	1:15:44

Tabulka 4 časy obrábění podpažbí

### 3.4.3. Výroba botky a háku

Botka s hákem se skládá z více částí. První část výroby probíhala v CNC stroji podle NC programů popsanych v kapitole 3.3.3. U obou součástí bylo důležité dát pozor na upnutí obrobku, aby nedošlo ke kontaktu nástroje se svěrákem a zároveň aby bylo upnutí dostatečně tuhé.

Po dokončení čtvrtého NC programu došlo k odříznutí špuntů z obrobku pomocí ruční pilky na kov. Špunty bylo následně ještě potřeba začistit pomocí pilníků a brusného papíru, dále bylo nutné do špuntů vyvrtat díru a vyříznout závit pro stavěcí šroub. K předvrtání díry byla použita stolní vrtačka a závity vyříznuty pomocí sadových závitníků. Po odříznutí špuntů bylo možné vyfrézovat plochy načisto a při posledním programu i výřez rybiny. Na držáku háku nebyly nutné žádné úpravy, stačilo pouze ručně srazit hrany. Tím se dokončily špunty a držák botky.

Posledním dílem, ke kterému byly připraveny NC programy byla botka. Po vyfrézování kontury došlo ještě k vyfrézování rybinové drážky. Na spodní straně bylo nutné vyvrtat otvor pro vsazení háku a předvrtat díry pro stavěcí šrouby. Jeden bude procházet tělem botky a zajišťovat polohu, druhý bude aretovat hák v těle botky.




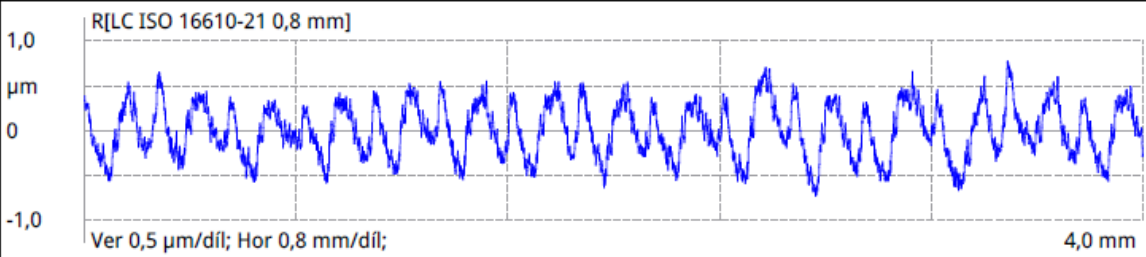
Obrázek 30 držák botky, botka a špunty háku

Hák bylo nutné vyrobit na soustruhu. Vzhledem k jeho malé tvarové složitosti nebylo nutné ho vyrábět na CNC strojích, ale bylo možné využít univerzální soustruh. Díry pro spojení obou dílů háku byly vyvrtány na stolní vrtačce a osazení pro lepší dosednutí dílů byla vypilována pilníkem.

Název programu	Čas dle PowerMill 2018	Skutečný čas
držák botky 1	0:08:41	0:08:16
držák botky 2	0:01:37	0:02:07
držák botky 3	0:22:00	0:22:56
držák botky 4	0:22:54	0:24:43
držák botky 5	0:02:15	0:02:17
držák botky 6	0:01:06	0:01:12
botka 1	0:18:12	0:30:03
botka 2	0:01:04	0:00:58
botka 3	0:00:38	0:00:45

Tabulka 5 časy obrábění háku

Botka s hákem a všechny její části budou ponechány bez povrchové úpravy. Z estetického hlediska bylo nutné dát si pozor na kvalitu povrchu. Po změření povrchu drsnoměrem bylo dosaženo kvality povrchu Ra 0,245  $\mu\text{m}$ , což je pro třískové obrábění velmi dobrý výsledek. Této hodnoty bylo dosaženo obráběním na čisto, s nástrojem 63A06R-S90aAD16E, výška třísky byla 0,2 mm, posuv na zub 0,05 mm a řezná rychlost byla 200 m/min.

		MarSurf PS 10 1.00-21	
Datum vytvoření:	14.05.2019 14:38	Lt:	4,8 mm
Přístroj:	MarSurf PS 10 (5321)	Ls:	2,5 µm
Snímač:	PHT 350	VB:	+/- 200,0 µm
		Vt:	1,0 mm/s
		Body:	9600
frezovani			
			
<b>R[LC ISO 16610-21 0,8 mm]</b>			
Ra	0,245 µm		
Rz	1,293 µm		
Rmax	1,461 µm		
Rmr (-1,00; 5,0)	98,66 %		
Rmr (-2,00; 5,0)	100,00 %		
Rmr (-3,00; 5,0)	100,00 %		

Obrázek 31 protokol z drsnoměru

### 3.5. Spasování dílů

Před nástřikem barvy bylo nutné pažbu sestavit a vložit do ní systém, aby se ověřilo, zdali vše sedí a mohly být provedeny úpravy. Bohužel se vyskytlo několik vad, které ale nebyly náročné na odstranění. Sestavení pažby proběhlo bez větších problémů. Sešroubování podpažbí a zadního dílu pažby proběhlo v pořádku, připojení pistolové pažbičky a lícnice také. Jediný problém nastal v místě spojení zadního dílu pažby s držákem botky. Držák botky byl o 0,12 mm větší než otvor vyfrézovaný v zadním dílu pažby. Bylo tedy nutné držák zbrousit a upravit rádiusy pro větší rozsah vysunutí. Tyto vady bylo možné odstranit za pomoci ručního nářadí.

Větší problémy nastaly při vložení systému do podpažbí. Došlo ke špatnému odměření děr pro šrouby, které upínají systém v podpažbí a bylo nutné jeden kulatý otvor zvětšit. Dále bylo potřeba vybrousit drážku před spoušťovým mechanismem, do které by zapadla pružina napínáku spouště. Napínák sice fungoval, ale docházelo k jeho zasekávání. Poslední částí, kterou bylo nutné upravit, byla drážka pro uvolnění závěru, která sice

fungovala, ale docházelo k zasekávání, proto bylo nutné srazit hranu na jedné ze stran. Původně nemělo být potřeba upravovat systém zbraně, ale šrouby, které spojovaly původní pažbu se systémem, mají jemné stoupání a šrouby s takovýmto stoupáním a vnitřním šestihranem se nevyrábí. Proto došlo k přeříznutí závitu na závit M6.

### 3.6. Povrchová úprava

Po spasování dílů dohromady bylo potřeba celou pažbu znovu rozebrat, aby mohla být nastříkána práškovou barvou. Bylo rozhodnuto, že se nabarví pouze podpažbí a zadní část pažby. Hák s botkou byly ponechány bez povrchové úpravy. Dalšími díly, které jsou ponechány bez povrchové úpravy, jsou pažbička a lícnice.

Byla vybrána barva černá metalíza (M0-366-G905-001) od italské firmy ST. Jedná se o epoxy-polyesterovou barvu, vypalovanou při 160 °C po dobu 20 minut.

Před nanesením barvy je nutné zakrýt části, které mají zůstat nenabarvené. V tomto případě se jednalo pouze o díry se závity. Do závitů byly zašroubovány šrouby, které poslouží pro zakrytí díry a zároveň poslouží k zavěšení dílů ve vypalovací peci. Nejprve je nutné díl důkladně otryskat. Při otryskání dojde ke zdrsnění povrchu pro lepší přilnavost a zároveň se vyhladí drobné nerovnosti. Otryskané součásti je následně nutné ještě odmastit.



Obrázek 32 tryskáč box

Na takto předupravené součásti bylo možné nanést barvu metodou korona a vložit do předehřáté pece na vypálení. Po vyjmutí z pece bylo nutné nechat díly vychladnout.

Po vychladnutí bylo možné nanést další vrstvu, tentokrát bezbarvého epoxydového laku, a opět nechat vypálit. Po vychladnutí stačilo vyjmout krycí šrouby a pažba se mohla znovu sestavit. Při sestavování nalakované pažby se vyskytl pouze problém s držákem botky, který bylo třeba ještě trochu zúžit, protože se nepohyboval volně, jinak by šla špatně nastavovat délka.



Obrázek 33 hotová pažba

## 4. TESTOVÁNÍ

Tato kapitola se věnuje testování hotové pažby. Pažba byla hotová v půlce května 2019, a bylo ji možné začít testovat v průběhu malorážné sezóny téhož roku. Při prvním nastřelování zbraně nebylo nutné velké korekce mířidel ani přenastavování zbraně. Od první rány se výstřely pohybovaly v terči, po hrubém nastřelení zbraně a vložení do nastřelovací stolice byl rozptyl stejný jako u samotného systému. Fakt, že rozptyl zbraně je stejný jako před vsazením do pažby, znamená, že uložení systému v pažbě je dostatečně tuhé a neumožňuje nežádoucí vychýlení při výstřelu.

První závody, na kterých byla zbraň použita byla Velká cena Meziboří, konaná 15. 6. 2019, tedy necelý měsíc po dokončení zbraně. Dosáhl jsem výsledku 568 bodů a umístil se na 3. místě. V průběhu sezóny docházelo k navyšování výsledků. Kvůli rozdílu v chování dřevěné a hliníkové pažby trvá střelci déle než si zvykne na jiné chování pažby. Lepších výsledků by se s touto zbraní mělo dosáhnout v sezóně 2020. Mezi další závody, kde byla zbraň použita, patří Akademické mistrovství České Republiky ve sportovní střelbě 2019 a Mistrovství České republiky v kulových disciplínách 2019.

## 5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit moderní pažbu z hliníkových slitin pro malorážní pušku Tajfun-3. Nejdůležitějším faktorem, na který byl kladen důraz, bylo, aby zbraň odpovídala pravidlům sportovní střelby a bylo s ní možné dosáhnout kvalitních výsledků.

Nejdříve bylo nutné vymodelovat tvar všech součástí pažby, tak aby odpovídaly pravidlům a byly dostatečně ergonomické pro střelbu. Návrh proběhl v programu Autodesk Inventor 2018, který umožnil nejen navrhnout tvar, ale i spočítat hmotnost a určit těžiště zbraně. Po vytvoření modelů bylo možné tyto modely nahrát do programu Autodesk PowerMill 2018, v něm navrhnout dráhy a vytvořit NC programy pro výrobu dílů.

Po vytvoření NC programů a zvolení technologického postupu výroby bylo možné přejít k samotné výrobě. Postup výroby je popsán v předešlé kapitole (3.4. Postup výroby). Výroba probíhala v laboratořích Fakulty strojní, byla rozdělena na několik fází a trvala několik dní.

Při testování pažby se nevyskytly žádné zásadnější problémy s pažbou. Jediná část, která by se mohla v budoucnu upravit, je metoda aretace držáku botky. Dochází zde totiž k povolování šroubu, a tím k uvolnění a zasunutí pažby. Tento problém by měl jít vyřešit výměnou šroubu za rychloupínák. V průběhu používání zbraně ještě došlo k ulomení části pistolové pažbičky, která měla tvořit lučík spouště. Vzhledem k tomu, že se jedná o sportovní zbraň, nejedná se tak o žádnou překážku.

Cíle bakalářské práce byly splněny. Pažbu se podařilo navrhnout a vyrobit tak, aby odpovídala pravidlům sportovní střelby a dalo se s ní dosahovat kvalitních výsledků.

Pažbu by bylo možné začít i vyrábět, ale systém, pro který je aktuálně určena, se v České republice nachází pouze v několika kusech. Mezi střelci jsou ale staré zbraně sovětské výroby velmi rozšířené a s malými úpravami v místě uložení by bylo možné pažbu upravit i pro tyto zbraně. Od ostatních střelců jsem zaznamenal několik dotazů k pažbě, kde jsem ji získal a zdali by ji bylo možné vyrobit i pro jejich zbraň. Při nasazení pažby do výroby by bylo možno zefektivnit výrobu, například využitím rádiusových fréz.

## Bibliografie

1. Brych, Jan. *Sportovní střelba : kulové disciplíny*. Praha : Naše Vojsko, 1982. ISBN 28-045-82.
2. ISSF. issf sport. [Online] 1. Leden 2017. [Citace: 15. únor 2019.] <https://www.issf-sports.org/theissf/rules.ashx>.
3. shooting. [Online] český střelecký svaz. [Citace: 15. 02 2019.] [http://www.shooting.cz/pdf/181221-pusky\\_2017\\_v2\\_b2.pdf](http://www.shooting.cz/pdf/181221-pusky_2017_v2_b2.pdf).
4. iz-article. [Online] [Citace: 7. 02 2019.] [http://www.iz-article.ru/typhoon\\_6.html](http://www.iz-article.ru/typhoon_6.html).
5. Kafka, Emanuel. *Dřevařská příručka*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 80-03-00009-2.
6. Project, Leonardo da Vinci Pilot. Příručka 1, dřevné konstrukce. [Online] 2008. [Citace: 19. 08 2019.] [http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook\\_1\\_CZ\\_final.pdf](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf). CZ/06/B/F/PP/168007.
7. Janovec , Jiří, Cejp, Jiří a Steidl, Josef. *Perspektivní materiály*. Praha : České vysoké učení technické, 2008. 978-80-01-04167-3.
8. Macek, Karel a Zuna, Petr. *strojírenské materiály*. Praha : Vydavatelství ČVUT , 2003. 80-0102789-8.
9. *Materiálový slovník. Materiál pro 3D*. [Online] [Citace: 06.. 10. 2019.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/>.
10. Bleiker. [Online] [Citace: 11. 10 2019.] <https://www.bleiker.ch/?lid=1#19>.
11. hliníkové profily proal. [Online] [Citace: 10. 10 2019.] <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/>.
12. Viktor, Kreibich. *Koroze a technologie povrchový úprav 2. vydání*. Praha : České vysoké učení technické, 1991.
13. Kučera, David. *Využití reverzního inženýrství pro optimalizaci dílů*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2019.

## Seznam použitých zkratk

CNC	Computer numerical control
NC	Numerical Control
LM	Libovolná malorážka
ISSF	International Shooting sport federation
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
s.r.o.	s ručením omezeným
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing

## Seznam tabulek

Tabulka 1 vlastnosti ořechového dřeva [5] .....	11
Tabulka 2 řezné parametry nástrojů .....	23
Tabulka 3 časy obrábění zadního dílu pažby .....	32
Tabulka 4 časy obrábění podpažbí .....	33
Tabulka 5 časy obrábění háku .....	34

## Seznam obrázků

Obrázek 1 povolené rozměry pušky [3] .....	9
Obrázek 2 schéma částí [4] .....	10
Obrázek 3 schéma binárního rovnovážného diagramu Al-X [8] .....	12
Obrázek 4 Sportovní malorážky [10] .....	14
Obrázek 5 popis částí zbraně .....	17
Obrázek 6 model podpažbí .....	17
Obrázek 7 zadní část pažby .....	19
Obrázek 8 Botka s hákem .....	20
Obrázek 9 pažbička a lícnice .....	21
Obrázek 10 MAS VMC 500 .....	22
Obrázek 11 Soustruh Tos Sv18ra .....	22
Obrázek 12 dotyková sonda .....	24
Obrázek 13 zadní část po prvním upnutí .....	25
Obrázek 14 zadní část po druhém upnutí .....	25
Obrázek 15 zadní část třetí uchycení .....	26
Obrázek 16 zadní část čtvrté uchycení .....	26
Obrázek 17 popažbí první uchycení .....	26
Obrázek 18 podpažbí druhé upnutí .....	27
Obrázek 19 podpažbí třetí upnutí .....	27
Obrázek 20 podpažbí čtvrté upnutí .....	27
Obrázek 21 držák háku druhé upnutí .....	28
Obrázek 22 držák háku první upnutí .....	28
Obrázek 23 držák háku třetí upnutí .....	28
Obrázek 24 držák háku páté upnutí .....	29
Obrázek 25 držák háku čtvrté upnutí .....	29
Obrázek 26 držák háku šesté upnutí .....	29
Obrázek 27 obrábění botky .....	30
Obrázek 28 obrobená zadní část pažby .....	31
Obrázek 29 obrobené podpažbí .....	33
Obrázek 30 držák botky, botka a špunty háku .....	34
Obrázek 31 protokol z drsnoměru .....	35
Obrázek 32 tryskací box .....	36
Obrázek 33 hotová pažba .....	37