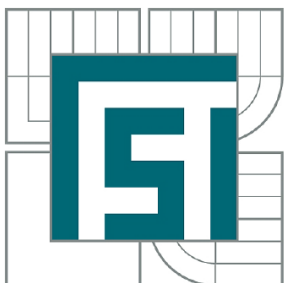




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## CNC PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTKY DO AIRSOFTOVÉ PUŠKY

CNC PROGRAMMING OF COMPONENTS INTO AIRSOFT RIFLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

DANIEL HLAVAČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Daniel Hlavačka který/která

studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství**

**(2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **CNC programování součástky do airsoftové pušky**

v anglickém jazyce:

### **CNC programming of components into airsoft rifles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z hlavních cílů průmyslových podniků je neustálá inovace výrobků za účelem zvyšování jejich kvality nebo z důvodu zlepšování jejich funkce a uživatelských možností. Přínosem této závěrečné práce je proto vlastní návrh inovované funkční součástky airsoftové pušky a zpracování technologické dokumentace včetně nezbytných programů pro CNC stroje, které by umožnily zahájit výrobu. Nedílnou součástí tohoto návrhu je i nezbytný popis funkčních vlastností zpracovávané součástky, rozbor použitelných materiálů a použitelných výrobních metod.

Cíle bakalářské práce:

- Stručné seznámení s dříve vyráběnou a vlastní nově navrženou součástkou airsoftové pušky.
- Analýza použitelných konstrukčních materiálů především z hlediska ceny, hmotnosti a obrobitelnosti.
- Zpracování nezbytné technologické dokumentace pro programování obráběcích operací.
- Tvorba programu pro CNC stroj a jeho ověření grafickou simulací.

Seznam odborné literatury:

KRAR, Stephen F. Technology of machine tools. 7th ed. McGraw-Hill: , 2011, x, 925 s. ISBN 978-007-3510-835.

Machining of complex sculptured surfaces. New York: Springer, 2011, p. cm. ISBN 978-144-7123-552.

MATTOX, Donald M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.

KLOCKE, Fritz. Manufacturing processes 1: turning, milling, drilling. 1st ed. New York: Springer, 2011, p. cm. ISBN 978-364-2119-781.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS.

Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno:

VUTIAM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku

2014/2015. V Brně, dne 14.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je inovace součástky do airsoftové pušky, která zahrnuje výběr alternativního materiálu, designové i funkční úpravy. Hlavním bodem je vypracování technologického postupu a simulace CNC obrábění v programu SinuTrain.

**Klíčová slova**

hop-up, airsoftová součástka, CNC obrábění

**ABSTRACT**

The aim of this thesis is to inovate part of an airsoft rifle, which includes the selection of an alternative material, design and functional modifications. The main point is to develop the technological process and simulation of CNC machining in SinuTrain.

**Key words**

hop-up, airsoft component, CNC machining

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HLAVAČKA, D. *CNC programování součástky do airsoftové pušky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 41 s. 12 příloh Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **CNC programování součástky do airsoftové pušky** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Daniel Hlavačka

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za konstruktivní připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| ABSTRAKT .....                                       | 4  |
| PROHLÁŠENÍ.....                                      | 5  |
| PODĚKOVÁNÍ .....                                     | 6  |
| OBSAH .....                                          | 7  |
| ÚVOD .....                                           | 9  |
| 1   STRUČNÁ ANALÝZA AIRSOFTOVÉ KOMPONENTY .....      | 10 |
| 1.1 Stručná historie .....                           | 10 |
| 1.2 Funkce součástky zvané hop-up .....              | 10 |
| 1.3 Hop–up jako samostatná komponenta .....          | 12 |
| 1.4 Návrh inovace vyráběné komponenty .....          | 13 |
| 2   ANALÝZA A VOLBA MATERIÁLU .....                  | 14 |
| 2.1 Použití součástky .....                          | 15 |
| 2.2 Materiál vyráběné součástky .....                | 16 |
| 2.3 Volba materiálu podle určitých hledisek .....    | 16 |
| 2.3.1 Zhodnocení teplotní roztažnosti.....           | 16 |
| 2.3.2 Volba materiálu dle odolnosti vůči korozi..... | 17 |
| 2.3.3 Volba materiálu dle hmotnosti.....             | 17 |
| 2.3.4 Volba materiálu dle ceny .....                 | 18 |
| 2.3.5 Volba materiálu dle obrobitelnosti .....       | 18 |
| 2.4 Konečný výběr materiálu.....                     | 19 |
| 2.5 Dodatečná úprava materiálu .....                 | 20 |
| 3   TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY .....              | 22 |
| 3.1 Volba polotovaru .....                           | 22 |
| 3.2 Volba nástrojů.....                              | 22 |
| 3.3 Volba upínačů nástrojů .....                     | 24 |
| 3.4 Volba upínače obrobku.....                       | 25 |
| 3.5 Stanovení řezných parametrů.....                 | 27 |
| 3.5.1 Řezné rychlosti .....                          | 27 |
| 3.5.2 Rychlost posuvu.....                           | 27 |
| 3.6 Způsob chlazení .....                            | 29 |
| 3.7 Technologický postup.....                        | 29 |
| 4   TVORBA PROGRAMU PRO CNC .....                    | 30 |
| 4.1 Volba strategie obrábění .....                   | 30 |
| 4.2 Programování ISO-kódu .....                      | 30 |

|         |                  |      |   |
|---------|------------------|------|---|
| FSI VUT | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | List | 8 |
|---------|------------------|------|---|

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 4.2.1 Upnutí první.....                  | 30 |
| 4.2.2 Upnutí druhé .....                 | 32 |
| ZÁVĚR .....                              | 35 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....            | 36 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK ..... | 39 |
| SEZNAM PŘÍLOH.....                       | 41 |

## ÚVOD

Třískové obrábění je v dnešní době rozšířený technologický proces úpravy materiálu. Jedná se o odběr materiálu nástrojem za vzniku třísek. Touto metodou je možné vyrábět součástky jednoduchých, ale i složitých tvarů. Mezi třískové obrábění se řadí například frézování, soustružení nebo vrtání. Jedním z nejrozšířenějších způsobů obrábění je obrábění na CNC strojích. Tyto jsou vybaveny operačním systémem, který řídí chod stroje.

Samotný program pro CNC stroje lze vytvářet přímo na ovládacím panelu stroje, nebo lze využít programů, které slouží k tomuto účelu. V tomto směru je rozšířená tzv. CAD/CAM technologie. Jedná se o princip tvorby 3D prvků v CAD programech a následné využití CAM programů, které na základě modelů vytvoří ISO-kód. Vytvořený ISO-kód je přenesen do paměti stroje. Podle tohoto kódu vykonává řídicí systém stroje jednotlivé operace.

Tyto kódy lze také tvořit pomocí programu SinuTrain od společnosti Sinumerik. Tento software simuluje ovládací prostředí stroje. Jedná se o výukový program obsahující funkce řídicího systému Sinumerik, které se využívají při běžném provozu.

Výstupem této práce je simulace obrábění komponenty do airsoftové pušky AK-47. Jedná se o operace, které jsou provedené na pětiosém obráběcím centru. Tato simulace je vytvořena v programu SinuTrain Operate V4.5 Ed.2.



Obr. 1 Model inovované hop-up komory.

## 1 STRUČNÁ ANALÝZA AIRSOFTOVÉ KOMPONENTY

Úkolem této kapitoly je přiblížit problematiku airsoftu. Velká část je věnována komponentě zvané hop-up.

### 1.1 Stručná historie

Vznik airsoftu, jakožto taktického sportu, je datován do počátku 80. let. V té době se v Japonsku stalo osobní vlastnictví střelných zbraní nelegální. Z důvodu nedostupnosti těchto zbraní začala poptávka po jejich replikách vzrůstat. Jako reakce na tuto poptávku se objevil airsoft [1].

Repliky uzpůsobené střelbě umělohmotných kuliček místo ostrých nábojů byly zpočátku vyráběny nadšenci. Poté, co se tyto repliky objevily na běžném trhu, se o ně začaly zajímat japonské firmy a zahájily jejich výrobu ve větším množství. Jakmile pokryly trh v Japonsku, začaly své výrobky vyvážet do okolních zemí. V důsledku toho se airsoftové pistole staly populárními na Filipínách, v Hong Kongu, Korei a na Tchaj-wanu. Tento trend se brzy rozšířil do celého světa [1].

Zprvu byly airsoftové zbraně koncipovány tak, že se po každém výstřelu musel manuálně natáhnout kohoutek. Po dalším vývoji však Japonci vyvinuli automatickou airsoftovou zbraň poháněnou plynem nebo akumulátorem [1].

Jak se airsoft vyvíjel, byly vydávány nové a vylepšené zbraně. Stávaly se více realistickými a přibližovaly se k jejich originálním protějškům. Díky inovacím, jako je například hop-up nebo použití CO<sub>2</sub>, se stávaly přesnějšími a účinnějšími. Ačkoli jsou elektrické a plynové airsoftové zbraně dražší než jejich manuální verze, vzrůstající popularita airsoftu je postupně činí cenově dostupnějšími [1].

Dnes jsou airsoftové pistole velmi propracované. Jsou populární jak mezi vojenskými nadšenci, tak mezi armádními složkami, které je používají v rámci výcviku [1].



Obr. 2 Ukázka airsoftového modelu (vlevo) [2]  
a reálného modelu (vpravo) [3] zbraně AK-47.

## 1.2 Funkce součástky zvané hop-up

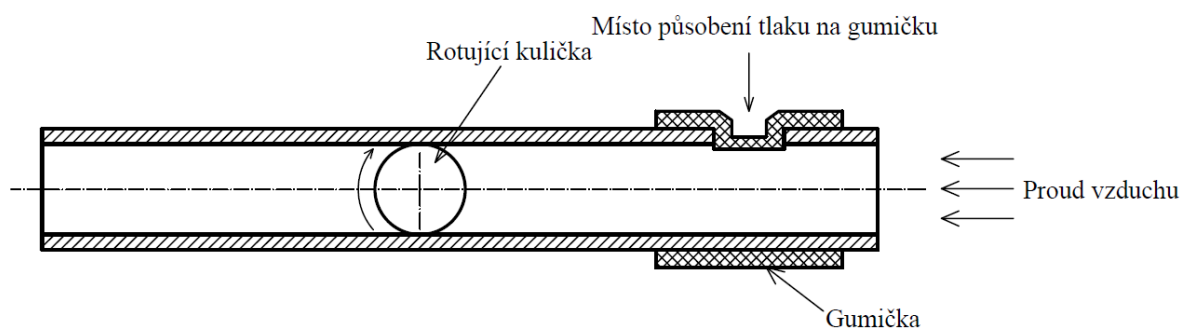
Převážná většina zbraní je vybavena tzv. hop-upem (z anglického „Higher operating power“). Komponenta je umístěna přibližně ve středu zbraně. Je chráněna krytem proti vnějšímu poškození.

Umístění hop-upu v těle zbraně



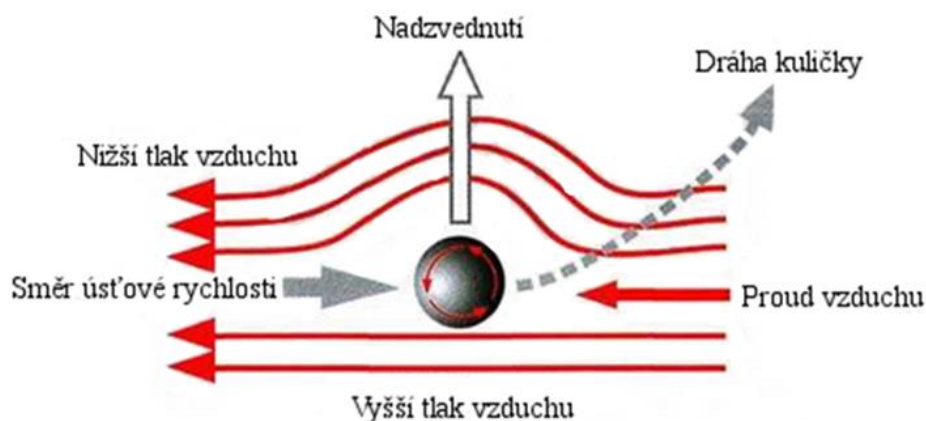
Obr. 3 Umístění komory v airsoftové pušce AK-47.

Jedná se o součástku, která při výstřelu udá kuličce rotaci pomocí třecí síly. U airsoftových zbraní není tato rotace vyvozena vývrty hlavně, jako je tomu u zbraní reálných. Část, která vyvozuje tření, je umístěna na hlavni. Převážně se jedná o gumový dutý válec, který se nasadí na hlavěň, vsune se do hop-up komory a pomocí jednoduchého mechanismu se stlačí dle potřeby. Tření způsobí rotaci kuličky, která je poté stabilnější. Správné nastavení hop-upu vede ke zvýšení přesnosti a většímu dostřelu zbraně.



Obr. 4 Princip hop-up.

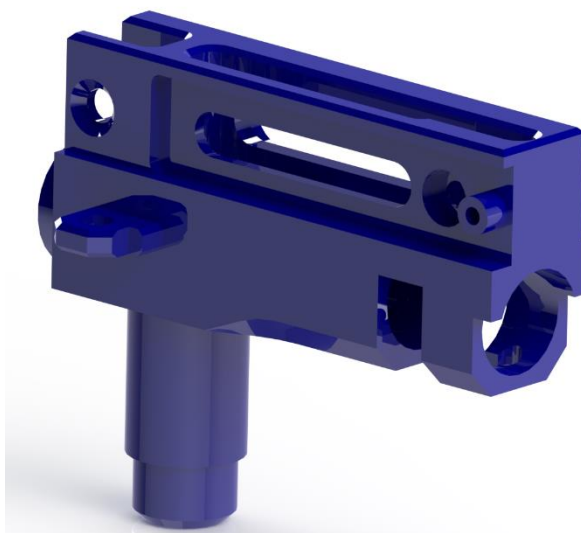
Pohyb kuličky po výstřelu z hlavně se dá popsat pomocí Magnusova jevu. Vzduch začne po výstřelu rotující kuličku obtékat. Rotace způsobí strhávání vzduchu na horní část kuličky. Rychlost vzduchu vzroste. Naopak ve spodní části bude rychlost vzduchu, oproti horní části, pomalejší. Tím vznikne rozdílná rychlost vzduchu na horní a dolní straně kuličky. Dle Bernoulliho rovnice tekutina s větší rychlostí má tlak nižší a naopak tekutina s menší rychlostí má tlak vyšší. Tudíž vzduch pod kuličkou tlačí větší silou a to kuličku udrží delší dobu na její dráze [4].



Obr. 5 Schéma letící kuličky [5].

### 1.3 Hop-up jako samostatná komponenta

Hop-up komor pro model AK-47 se na českém trhu vyskytuje několik druhů. Nejvíce rozšířené jsou výrobky od firmy ProWin Ltd. a SHS Ltd. Tyto komory jsou vyrobeny ze slitin hliníku. Jedná se o komory vyráběné na CNC. Jiní výrobci nabízejí odlévané komory.



Obr. 6 Hop-up komora od firmy ProWin .  
(model vytvořen v programu SolidWorks 2011).

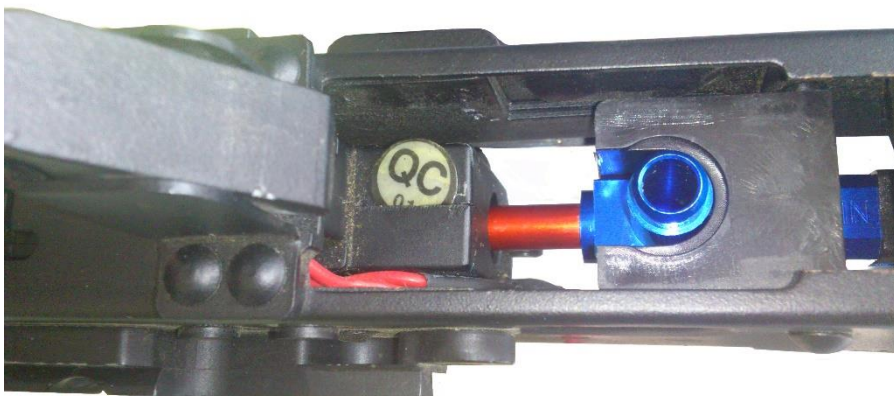


Obr. 7 Hop-up komora distribuovaná firmou SHS [6].

Dále jsou na trhu dostupné komory vyrobené z plastu. Většina plastových komor nedosahuje takové kvality jako komory kovové. Jejich hlavní nevýhodou je netěsnost a s tím spojený únik vzduchu způsobený špatnou konstrukcí komory. Tyto nevýhody mají negativní dopad na účinnost zbraně. Plastové komory bývají nejčastěji montovány jako základní komponenty do zbraní.

#### 1.4 Návrh inovace vyráběné komponenty

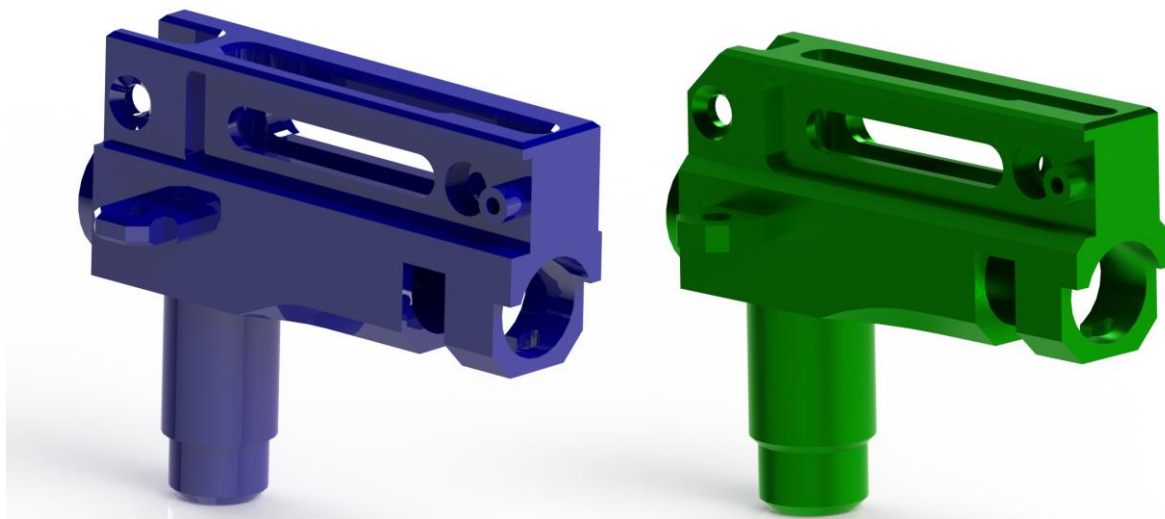
Součástka vyráběná firmou ProWin zmírnila negativní dopady plastové součástky. Stále se ale komponenta potýká s únikem vzduchu. Proto hlavní inovace spočívá ve zmenšení průměru (na hodnotu 7,2 mm), do kterého bude vsunutý pístový válec (na obrázku číslo 8 je to červený válec s průměrem 6,9 mm), kterým proudí vzduch do hop-up komory a udává rychlost kuličky. Lze očekávat další snížení úniku vzduchu.



Obr. 8 Pohled na pístový válec a hop-up komoru zespodu.

Další inovací je nepatrné (o 0,1 mm) rozšíření díry pro hlavěň. V této díře bude nalepen gumový dutý válec, do kterého se bude nasazovat hlavěň. Tato inovace je z důvodu montáže. Při usazování hlavně do komory nebo při vyjímání hlavně z komory mohlo nastat poškození gumového válce. Při aplikaci kvalitnějšího gumového materiálu a nalepení tohoto dílu do komory by se usnadnila montáž. Před montáží by bylo nutné pouze namazat hlavěň olejem na silikonové bázi. Popřípadě by se použilo podchlazení hlavně.

Poslední inovací je design. Při obrábění je doplněna operace srážení hran.



Obr. 9 Porovnání vyráběné (vlevo) a inovované (vpravo) součástky.

## 2 ANALÝZA A VOLBA MATERIÁLU

Důležitým prvkem každé konstrukční práce je rozbor a výběr takového materiálu, který by nejvíce splňoval požadavky pro bezproblémový chod dané součástky. Předmětem této kapitoly je zhodnotit používané materiály a navrhnout materiál, který by taktéž splňoval veškeré požadavky.

### 2.1 Použití součástky

Při výběru materiálu je nutné zohlednit prostředí, ve kterém bude součástka plnit svou funkci. Airsoft je sport, který není omezený ročním obdobím a může být praktikován za každého počasí. V konstrukci zbraně lze předpokládat teplotní změny. Předpokládané rozmezí teplot se pohybuje od -5 do 25 °C.

Pro bezproblémovou mobilitu zbraně je důležitým aspektem hmotnost. Je proto účelné dodržet hmotnost komory na takové úrovni, aby neměla negativní vliv na manipulaci se zbraní.

Kryt zbraně není odolný vůči vniknutí vody. Přítomná vlhkost by mohla způsobit korozi samotné součástky a dalších částí zbraně. Proto musí mít daný materiál určitý stupeň odolnosti vůči korozi.

Dalším aspektem je namáhání. Samotný hop-up je upevněn ve zbrani šrouby a krytý po celou dobu vykonávání funkce okolními součástkami a kovovým krytem zbraně.



Obr. 10 Upevnění hop-up komory od firmy ProWin ve zbrani – pohled z boku



Obr. 11 Upevnění hop-up komory od firmy ProWin ve zbrani – pohled shora

Na hlavě nepůsobí tlak, který by komoru výrazně ovlivnil. Jediný tlak na součástku je vyvozen šrouby, které ji spojí s konstrukcí, kuličkami, které jsou tlačeny ze zásobníku pružinou do komory a pístem, který slouží pro přívod vzduchu. Hop-up je tedy chráněn proti vnějším silám kryty zbraně a síly vnitřní jsou zanedbatelné.

Je důležité zhodnotit obrobiteľnosť daných materiálov. Obrábecí nástroje a způsob obrábění mají dopad na ekonomickou a technologickou stránku vyráběné součástky.

Posledním aspektem volby materiálu je cena.

## 2.2 Materiál vyráběné součástky

Nejčastěji používaný materiál je EN AW-7075 (např. ProWin Ltd., SHS Ltd.). Jedná se o slitinu hliníku, zinku, hořčíku a mědi. Materiály tohoto typu jsou nejpevnějšími slitinami hliníku. Slitina 7075 může dosáhnout pevnosti v tahu až 572 MPa. Je používána pro vysoce namáhané součástky. K hlavním nedostatkům této slitiny je sklon ke korozi pod napětím, nižší lomová houževnatost a vyšší vrubová citlivost než u duralů [7,8].

V nabídce lze také najít komponentu od české firmy, která vyrábí danou součástku z materiálu EN AW 6061-T6. Slitina 6061-T6 dosahuje pevnosti v tahu 310 MPa. T6 značí úpravu materiálu, a to stav po rozpouštěcím žíhání s následným umělým stárnutím. Materiál má vhodné vlastnosti pro aplikaci povrchových úprav. Dále je dobře zpracovatelný třískovým obráběním a má vysokou odolnost vůči atmosferické korozi [7,8,9].

Dalším materiálem, který se používá pro výrobu komory, je plast. Jeho značnou výhodou je malá hmotnost a cenová dostupnost. Avšak nevýhodou u většiny komponent z plastu je únik vzduchu při výstřelu. Tato nevýhoda by se dala eliminovat lepším návrhem konstrukce komory a použitím vhodnějších technologií výroby.

## 2.3 Volba materiálu podle určitých hledisek

Následující podkapitoly jsou věnovány rozboru materiálů. Výstupem těchto podkapitol je konkrétní materiál, který by měl být vhodný k výrobě komory.

### 2.3.1 Zhodnocení teplotní roztažnosti

Aby se hodnocení materiálu z hlediska roztažnosti mohlo zanedbat, je nutno provést výpočet objemové roztažnosti. Výpočty budou prováděny s ohledem na hliníkové slitiny, protože především k nim směřují výsledky jednotlivých hledisek. Pro zjednodušení se ve výpočtech vyskytují konstanty pro hliník. Počáteční podmínka je objem součástky při teplotě 18 °C. Jeho hodnota je 6738,94 mm<sup>3</sup>. Teplotní součinitel délkové roztažnosti  $\alpha$  hliníku je 23,8.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>. Pro přepočet na součinitel objemové roztažnosti  $\gamma$  lze použít vztah (2.1) [10]:

$$\gamma = 3 \times \alpha \quad (2.1)$$

Z toho vyplývá, že součinitel objemové roztažnosti je roven 71,4.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>. Dále je nutné provést výpočet pro stanovení změn objemů. K tomu slouží vztah (2.2) [10] pro výpočet konečného objemu:

$$V_T = V_0 \times (1 + \gamma \times \Delta T) \quad (2.2)$$

Po provedení výpočtu objem při 25 °C dosahuje hodnoty 6742,308 mm<sup>3</sup>. Při teplotě -5 °C je hodnota objemu 6727,87 mm<sup>3</sup>. Důležité je také zaměřit se na konkrétní parametry. Jsou počítány pomocí lineární teplotní roztažnosti (vztah (2.3) [10]) a obvodů jednotlivých prvků.

$$l_T = l_0 \times (1 + \alpha \times \Delta T) \quad (2.3)$$

Nejmenším z těchto parametrů je díra pro přívod kuliček. Její průměr je 6,3 mm při 18 °C. Kulička má při této teplotě průměr v hodnotě 6 mm. Při 25 °C se průměr díry zmenší na hodnotu 6,29895 mm a průměr kuličky (lze předpokládat PVC se součinitelem teplotní roztažnosti 200.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>) se zvětší na hodnotu 6,0084 mm. Z toho vyplývá, že se kulička při zvýšených teplotách nebude v komoře zadrhávat. Při snížených teplotách zadrhávání taktéž nehrozí, protože dojde ke smrštění kuličky a objem válce také nebude výrazně ovlivněn. Další průměry mají vyšší hodnoty, proto není nutné je dále počítat [10].

### 2.3.2 Volba materiálu dle odolnosti vůči korozi

Prostředí, ve kterém bude součástka plnit svou funkci, je popsáno v podkapitole 2.1. K určení skupiny korozivzdorných materiálů bude dostačující Ashbyho mapa (viz příloha 1). Materiály, které jsou blíže středu, jsou náchylnější na korozi v daném prostředí. Zbraň osazená navrhovanou komorou se bude pohybovat v prostředí, kde se může vyskytovat okysličená voda. Z toho důvodu budou vhodné tyto slitiny: niklové, titanové a hliníkové.

### 2.3.3 Volba materiálu dle hmotnosti

Kritérium odolnosti materiálu vůči korozi zužuje volbu materiálu na slitiny niklové, titanové a hliníkové. Po tomto zhodnocení je důležité porovnání již konkrétních materiálů z daných slitin. Je nutné zjistit, jakých hustot tyto slitiny dosahují, aby mohl být vybrán materiál, který nebude mít výrazný negativní vliv na hmotnost zbraně. Hodnoty objemové hustoty materiálů se nachází v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Přehled hustoty materiálů [8,9,11]

| Materiál                     | Objemová hustota [kg/m <sup>3</sup> ] |
|------------------------------|---------------------------------------|
| AlCu4MgSi (EN AW-2017-T4)    | 2790                                  |
| AlMg5 (EN AW-5083-H111)      | 2660                                  |
| AlMgSi1Cu (EN AW-6061-T4)    | 2700                                  |
| AlZn6Mg2Cu (EN AW-7075-T651) | 2810                                  |
| Ti (3.7025)                  | 4500                                  |
| Ni                           | 8900                                  |

H111 - stav žíhaný a deformačně zpevněný, T4 - stav po rozpouštěcím žíhání s následným přirozeným stárnutím, T651 - stav po rozpouštěcím žíhání, uvolnění vnitřního pnutí a umělé stárnutí

Z tabulky lze vyvodit, že niklové slitiny budou mít nejvyšší hmotnost. Z toho důvodu se v dalším kritériu bude pracovat se slitinami hliníku a titanu.

### 2.3.4 Volba materiálu dle ceny

V dnešní době je požadavkem vybírat si takového dodavatele, který by byl schopný dodat materiál požadované kvality za co nejnížší cenu. Cena každého materiálu je uvedena v tabulce 2.2.

Tab. 2.2 Přehled ceny materiálu

| Materiál                     | Cena bez<br>přířezu [Kč/kg] | Cena s přířezem<br>[Kč/kg] |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| AlCu4MgSi (EN AW-2017-T4)    | 100                         | 148                        |
| AlMg5 (EN AW-5083-H111)      | 93                          | 125                        |
| AlMgSi1Cu (EN AW-6061-T4)    | -                           | 119                        |
| AlZn6Mg2Cu (EN AW-7075-T651) | 136                         | 180                        |
| Ti (3.7025)                  | 1500                        | -                          |

Jména firem, ceny a data zjištění informací jsou uvedeny v příloze (viz příloha 2).

Ze zjištěných cen vyplývá, že titanová komora by byla značně nákladná. Z ekonomických důvodů se volba zužuje jen na tyto slitiny: 2017-T4, 5083-H111, 6061-T4 a 7075-T651.

### 2.3.5 Volba materiálu dle obrobiteľnosti

Obecně lze obrobiteľnost definovat jako míru schopnosti daného materiálu být zpracován některou z obráběcích metod. Obrobiteľnost je závislá na mnoha faktorech (např. technologický způsob výroby a tepelné zpracování materiálu, mikrostruktura a chemické složení materiálu, obráběcí metoda, řezné podmínky apod.). Z toho vyplývá, že obrobiteľnost je vlastností relativní. Tato hodnota se zjišťuje experimentálně porovnáním s jiným materiálem obráběným stejným nástrojem za stejných obráběcích podmínek. Pro vyhodnocování obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin. Na základě předchozí volby materiálu bude věnována pozornost jen skupině *d*, což jsou lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku). V jednotlivých skupinách je vybrán konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti. Vzhledem k tomuto materiálu je stanovována relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálů dané skupiny. Materiály každé skupiny jsou zařazeny do tříd a to na základě indexu obrobiteľnosti, daného vztahem (2.4) [12]:

$$i_0 = \frac{v_{c15}}{v_{c15 \text{ etalonu}}} \quad (2.4)$$

Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti v jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem *q*, který nabývá hodnoty 1,26 ( $10^{1/10}$ ). Materiály v třídách s vyšším číslem, než má třída etalonového materiálu, mají lepší obrobiteľnost než etalonový materiál. Materiály s nižším číslem mají horší obrobiteľnost (obrobiteľnost etalonového materiálu je v tabulce barevně odlišena) [12].

Obecné rozdělení tříd obrobitelnosti jsou v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 Přehled obrobitelnosti materiálů [12]

| Index obrobitelnosti $i_0$ |             |                                    | Materiál   |            |            |            |
|----------------------------|-------------|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Vyjádřeno kvocientem       | Střed       | Rozsah                             | Litina     | Oceli      | Slitiny    |            |
|                            |             |                                    |            |            | mědi       | hliníku    |
| $1,26^{-3}$                | 0,50        | $0,45 \div 0,56$                   | 8a         | 11b        | 8c         | 7d         |
| $1,26^{-2}$                | 0,63        | $0,57 \div 0,71$                   | 9a         | 12b        | 9c         | 8d         |
| $1,26^{-1}$                | 0,80        | $0,72 \div 0,89$                   | 10a        | 13b        | 10c        | 9d         |
| <b><math>1,26^0</math></b> | <b>1,00</b> | <b><math>0,90 \div 1,12</math></b> | <b>11a</b> | <b>14b</b> | <b>11c</b> | <b>10d</b> |
| $1,26^1$                   | 1,26        | $1,13 \div 1,41$                   | 12a        | 15b        | 12c        | 11d        |
| $1,26^2$                   | 1,59        | $1,42 \div 1,78$                   | 13a        | 16b        | 13c        | 12d        |
| $1,26^3$                   | 2,00        | $1,79 \div 2,24$                   | 14a        | 17b        | 14c        | 13d        |
| $1,26^4$                   | 2,50        | $2,25 \div 2,82$                   |            | 18b        | 15c        | 14d        |
| $1,26^5$                   | 3,15        | $2,83 \div 3,55$                   |            | 19b        |            | 15d        |

Třída obrobitelnosti konkrétních materiálů je shrnuta v tabulce 2.4. Jedná se pouze o hodnoty z materiálových listů. Z toho lze usuzovat, že se v praxi mohou tyto třídy lišit od uvedených informací.

Tab. 2.4 Obrobitelnost konkrétních materiálů [13]

| Materiál                     | Třída obrobitelnost |
|------------------------------|---------------------|
| AlCu4MgSi (EN AW-2017-T4)    | 10d                 |
| AlMg5 (EN AW-5083-H111)      | 11d                 |
| AlMgSi1Cu (EN AW-6061-T4)    | 11d                 |
| AlZn6Mg2Cu (EN AW-7075-T651) | 9d                  |

Z tabulky 2.4 vyplývá, že materiály 5083-H111 a 6061-T4 budou lépe obrobitelné než etalonový materiál. Pro převod na ekvivalenty těchto materiálů podle ČSN byly použity tabulky firmy NPS PROAL s.r.o. [14].

## 2.4 Konečný výběr materiálu

Tato podkapitola je věnována rekapitulaci jednotlivých hledisek volby materiálu. Na základě uvedených informací jsou nejvhodnější pro výrobu dané součástky slitiny hliníku. V tabulce 2.5 jsou uvedeny nejdůležitější údaje.

Tab. 2.5 Souhrn informací týkající se jednotlivých materiálů [8,9,11,13]

| Materiál                     | Hustota [kg/m <sup>3</sup> ] | Obrobitelnost | Cena bez přířezu [Kč/kg] | Cena s přířezem [Kč/kg] |
|------------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| AlCu4MgSi (EN AW-2017-T4)    | 2790                         | 10d           | 100                      | 148                     |
| AlMg5 (EN AW-5083-H111)      | 2700                         | 11d           | 93                       | 125                     |
| AlMgSi1Cu (EN AW-6061-T4)    | 2700                         | 11d           | -                        | 119                     |
| AlZn6Mg2Cu (EN AW-7075-T651) | 2810                         | 9d            | 136                      | 180                     |

Z hlediska ceny vyplývá, že materiál 7075 je nejnákladnější. Z toho důvodu je vhodné se zaměřit na materiály 2017, 5083 a 6061.

Materiál 2017-T4 se řadí mezi duraly. Jedná se o slitinu hliníku, mědi, hořčíku a dalších prvků. Mez pevnosti této slitiny dosahuje až 390 MPa. Z hlediska chemického složení materiálů je nutno uvést hmotnostní procento mědi (až 4,5 %), hořčíku a manganu (v obou případech až 1 %) a křemíku (až 0,8 %). Ze složení lze vyvodit, že materiál nemusí být dostatečně korozivzdorný. Je to z důvodu poměrně vysokého obsahu mědi. Obrobitelnost materiálu je relativně dobrá [7,8].

V případě materiálu 5083-H111 se jedná o slitinu hliníku, hořčíku a dalších prvků. Slitiny s obsahem hořčíku větším než 6 % mají sklon ke korozi po hranicích zrn, zejména při mechanickém namáhání. Mez pevnosti slitiny 5083-H111 dosahuje až 350 MPa. Chemické složení tohoto materiálu je následující: hliník (více než 92 %), hořčík (až 4,9 %), mangan (až 1 %), křemík (až 0,4 %), železo (až 0,4 %), a další prvky, které dohromady zaujímají méně než 1 %. Jelikož tento materiál nedosahuje obsahu hořčíku nad 6 %, lze usuzovat, že se koroze po hranicích zrn při mechanickém zatížení nebude vyskytovat [7,8].

Materiál 6061-T4 lze charakterizovat jako slitinu hliníku, hořčíku, křemíku a dalších prvků. Mez pevnosti dosahuje hodnoty až 250 MPa. S ohledem na chemické složení je nutno uvést obsah hořčíku (až 1,2 %), křemíku (až 0,8%), železa (až 0,7%) a mědi (až 0,4 %). Pro další doplňující informace k této slitině viz. kapitola 2.2 [7,8].

Materiál 5083-H111 je nejvhodnější pro výrobu dané součástky. Je to z toho důvodu, že mez pevnosti dosahuje relativně vysoké hodnoty. Odolnost vůči korozi této slitiny je dostatečná. Obrobitelnost je také na dostatečné úrovni. Výhodou je cenová dostupnost tohoto materiálu. Posledním kladem je zaručená eloxovatelnost (viz kapitola 2.5).

## **2.5 Dodatečná úprava materiálu**

Další úpravy materiálu po obrábění mohou změnit vzhled materiálu a mechanické vlastnosti jeho povrchu. Tato podkapitola je věnována tzv. eloxování hliníkového materiálu. Jedná se o elektrolytickou oxidaci hliníku. Při tomto procesu je anodizovaná součást ponořena do elektrolytu vhodného složení a zapojena jako kladná elektroda do obvodu se zdrojem střídavého nebo stejnosměrného proudu. Jako katodu v tomto systému lze použít hliník, olovo, titan nebo korozivzdornou ocel. Faktory, které rozhodují o výsledných vlastnostech a jakosti oxidické vrstvy jsou složení materiálu, čistota povrchu, proudová hustota, elektrické napětí, doba anodické oxidace, teplota lázně, homogenita chlazení a míchání lázně a také uchycení, zavěšení materiálu [15].

Anodickou oxidací vzniká tvrdá vrstva oxidu hlinitého, která zvyšuje odolnost součásti vůči abrazi. Tvrdost je především ovlivněna teplotou lázně a koncentrací elektrolytu. Se snižující se teplotou anodické oxidace a klesající koncentrací kyseliny v elektrolytu tvrdost anodické vrstvy roste. V některých případech lze při použití vyšších hodnot proudu zaznamenat nárůst tvrdosti anodické vrstvy [15].

Výsledný vzhled vrstvy je závislý na typu anodické oxidace, postupu celého procesu a chemickém složení anodizovaného materiálu. Přísady či legury obsažené v materiálu, které se během eloxace rozpouštějí, neovlivní výsledný vzhled. Jejich vliv se ale projeví na zvýšení porezity vrstvy [15].

Výhodou anodické oxidace je možnost do jisté míry barevně upravit vytvořené oxidické vrstvy. Výsledná vrstva může být zbarvena buď přímo v průběhu vlastního procesu

anodizace, nebo v rámci dokončovacích procesů, při kterých je barvivo usazováno do pórů oxidické vrstvy a následně je v pórech procesem utěsnění uzavřeno. Během procesu barvení je důležité kontrolovat pH barvicí lázně (hodnota v rozmezí 4-6) a její teplotu [15].

Pro zajištění bezproblémového procesu je nutno dodržet určité maximální koncentrace legur u slitin hliníku. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 2.6.

Tab. 2.6 Maximální přípustná koncentrace legur ve slitinách hliníku pro eloxování [15]

| Legura         | Mg | Zn | Ti  | Cr  | Si | Cu | Mn | Fe  |
|----------------|----|----|-----|-----|----|----|----|-----|
| Obsah<br>[hm%] | 7  | 10 | 0,3 | 0,3 | 3  | 5  | 1  | 0,5 |

### 3 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Po volbě materiálu, ze kterého bude daná součástka vyráběna, je nutno se zaměřit na technologické prvky výroby. Cílem této kapitoly je určení výchozího polotovaru, výběr vyhovujících nástrojů a upínačů, výpočty řezných podmínek a vytvoření technologického postupu výroby.

Všechny nástroje a upínače budou vybírány tak, aby byly aplikovatelné na vertikálním obráběcím centru MCV 1210 od firmy TAJMAC-ZPS a.s.

#### 3.1 Volba polotovaru

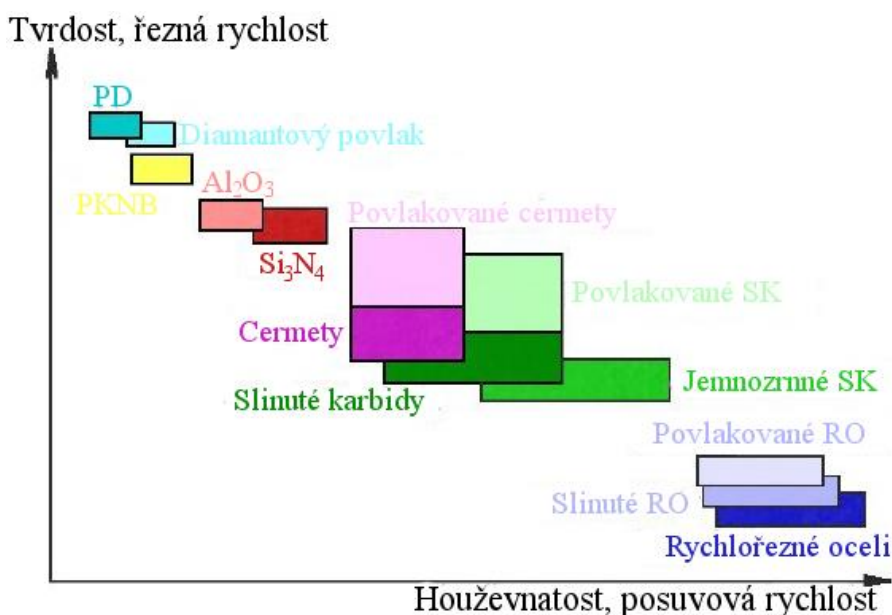
Materiál bude dodáván v přířezech s obdélníkovým průřezem. Pro výpočet celkové velikosti přídavků na obrábění je možno použít empirického vztahu (3.1) [16]:

$$z_c = 0,05 \times r_i + 2 \quad (3.1)$$

Za proměnnou  $r_i$  je nutno dosadit konečné rozměry vyráběné součástky. Maximální šířka součástky činí 24,7 mm a délka 51,4 mm. Z provedených výpočtů vyplývá, že se bude jednat o polotovar s průřezem výšky 30 mm a šířky 60 mm (tyto hodnoty jsou již s přídavkem na obrábění a se zjištěnou dostupností normovaných polotovarů). Bude nutné ale nařezat z dané hliníkové tyče polotovary přímo určené do výroby. Konečná výška komory je 41,6 mm. Délka polotovaru bude, podle vztahu (3.1), 46 mm (tato hodnota je po přičtení přídavků na obrábění a zaokrouhlení). Finální polotovar má rozměry 60×30×46 (osy x, y, z).

#### 3.2 Volba nástrojů

V dnešní době je dostupné velké množství nástrojových materiálů. Volba tohoto materiálu je důležitá z hlediska životnosti nástroje a technologického hlediska. To se především týká řezných rychlostí, posuvových rychlostí a kvality finálního povrchu. Charakteristiky obráběného materiálu hrají při výběru nástroje taktéž značnou roli.



Obr. 12 Oblasti použití řezných materiálů [12].

Polykrystalický diamant (PD) se používá pro obrábění vláknově vyztužených kompozitů a zejména hliníkových slitin se zvýšeným obsahem Si, kde lze aplikovat řezné rychlosti až do hodnoty  $5000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  [12].

Polykrystalický nitrid bóru (PKNB) je doporučován pro obrábění tvrdých, kalených materiálu, s tvrdostí nad 45 HRC [12].

Řezná keramika na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je používána pro obrábění vysokou řeznou rychlostí a nízkou posuvovou rychlostí. Tyto podmínky jsou z důvodu vysoké tvrdosti za tepla a vysoké termochemické stability. Nevýhodou je ale nízká houževnatost. Řezná keramika na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$  má vyšší houževnatost a vydrží vyšší posuvovou rychlost, ale její užití je omezeno na obrábění litiny s lupínkovým grafitem, protože při obrábění ocelí a tvárné litiny dochází k rychlému opotřebení [12].

Cermety (jedná se o materiály, kde se vyskytují tvrdé částice, např. ve formě TiC, v kovovém pojivu, např. Ni) mohou být použity při vyšších posuvových rychlostech než řezná keramika a při řezných rychlostech na úrovni povlakovaných slinutých karbidů. Z důvodu nízké houževnatosti je ale jejich aplikace doposud omezena pouze na lehké a střední řezy. Při vyšších posuvech se projevuje jejich nižší tepelná vodivost. Dochází k vyšší koncentraci tepla v oblasti špičky a tím i k rychlému porušení břitu nástroje. Dobře se uplatní při obrábění korozivzdorných ocelí [12].

Slinuté karbidy (SK) jsou nejpevnějšími materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály. Mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. Jejich použití je ale omezeno nízkou termochemickou stabilitou. Nejsou vhodné pro vysoké řezné rychlosti [12].

Povlakované slinuté karbidy jsou složeny z pevného karbidového podkladu, na který se nanáší tenká vrstva termochemicky stabilního tvrdého povlaku, který je charakteristický vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Tyto materiály je výhodné používat při vysokých řezných i posuvových rychlostech, vysokém úběru materiálu a při přerušovaných řezech [12].

Rychlořezné oceli (RO) dosahují nejvyšší houževnatosti. Ve srovnání s ostatními materiály je jejich tvrdost poměrně nízká. Slouží k výrobě nástrojů určených pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi a také tvarově složité nástroje, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů [12].

V případě vyráběné součástky se jedná o hliník, slitinu relativně měkkou a houževnatou. Proto je vhodné používat nástroje z rychlořezné oceli a slinutých karbidů.

Přibližně 60 % materiálu bude odebráno frézováním. Firma Pramet Tools, s.r.o. má v nabídce nástroje, které jsou vyhovující pro hrubovací i dokončovací operace. V tomto případě se jedná o frézy s průměry 10 mm (pro hrubovací operace), 6 mm (pro dokončovací operace), 5 mm (pro pojistnou drážku hlavně) a 3 mm (pro drážky malých rozměrů). Jako nástroje s průměry 10 mm, 6 mm a 5 mm byly vybrány frézy pod názvem E4S N SUMA. Jedná se o univerzální válcové monolitní frézy s břitem přes střed, které jsou schopné stranového a šikmého frézování. V případě nástroje s průměrem 3 mm se jedná o frézu E3S L SUMA. S touto frézou je možné i vertikální zavrtávání. Výňatek z katalogu výrobce je součástí přílohy (viz příloha 4). Pro frézování malých drážek je vyhovující fréza (průměr 2 mm) s označením MASTER 81101 distribuovaná firmou M&V, spol. s.r.o. (viz příloha 3). Jedná se o nepovlakovanou dvoubřitou frézu.

Jednou z operací vykonávaných při obrábění polotovaru bude vrtání. K tomuto účelu jsou vhodné vrtáky z rychlořezné oceli distribuované firmou M&V, spol. s.r.o. Jedná se o vrtáky PN 2905 s průměry 1,6 mm, 2,3 mm, 3 mm, 6,3 mm, 7 mm a 9 mm (viz příloha 5).

Dalším prvkem vyskytujícím se na součástce je závit M2×0,4, k jehož výrobě je vyhovující závitník od firmy NAREX Ždánice, spol. s r.o. Konkrétně model 1500 (viz příloha 7)

Poslední operací, která bude součástí obrábění, je srážení hran. Za tímto účelem je vybrán záhlubník distribuovaný firmou M&V, spol. s.r.o. Jedná se o nástroj s velkým průměrem 6 mm. Konkrétní označení záhlubníku je ZVSE 221625 (viz příloha 6).

### 3.3 Volba upínačů nástrojů

Volba druhu upínače je závislá na provedení vřetene a stopky nástroje. Obráběcí centrum MCV 1210 je vybaveno vertikální vřetenovou jednotkou Weiss 176 s upínacím kuželem HSK-A63 [17].

Frézy s válcovou stopkou lze upínat do kleštinových upínačů. Tyto upínače fungují na mechanickém principu. Po vložení nástroje do kleštiny se musí dotáhnout matice, která zatlačí na kleštinu. Ta se začne posouvat kuželovou dutinou upínače a smrští se kolem nástroje [18].

Dále jsou na trhu hydraulické upínače. Mohou být dvojího provedení. První provedení funguje na hydromechanickém principu. Tlaková kapalina je používána pouze na posuv upínacího pouzdra (při upínání i uvolňování nástroje). Jinak je celý mechanismus samosvorný a po upnutí nástroje nezůstává uvnitř tlak [19].

Druhé provedení hydraulického upínače pracuje na principu deformace vnitřní stěny upínací díry. Na tuto stěnu působí hydraulický tlak kapaliny, který je vyvozený posuvem pístu a ručně ovládaného upínacího šroubu. Tyto upínače zaručují přesné upnutí a minimální obvodové házení nástroje [19].

Monolitní frézy s válcovou stopkou (rychlořezné oceli nebo SK) o průměru 3÷50 mm je možné upnout do tepelně smrštitelných upínačů. Princip těchto upínačů je založený na změně objemu materiálu při úměrné změně teploty. Při indukčním ohřevu upínače ve speciálním zařízení se v důsledku zvýšení teploty zvětší průměr upínací díry. Poté je možné nástroj vložit do upínače. Po ochlazení se upínač smrští a pevně sevře nástroj po celé vložené ploše. Tlak sevření je vyšší než u mechanických nebo hydraulických upínačů. Pro uvolnění nástroje je třeba upínač s nástrojem ohřát. Nástroj i upínač se rozšíří a uvolnění je umožněno rozdílným součinitelem délkové roztažnosti upínače a nástroje. K velkým výhodám tepelných upínačů patří jejich jednoduchá konstrukce a s ní související nízké výrobní náklady. Další výhodou je, že do těchto upínačů mohou být upnuty i nástroje, v jejichž stopce jsou vyfrézované upínací plošky (např. Weldon, Whistle Notch) [19].

Tepelné upínače ale mohou fungovat i na jiném principu, a to na využití slitiny typu Ni-Ti s tvarovou pamětí. Při ochlazení držáku (pomocí tekutého dusíku nebo hluboko zchlazených nemrznoucích kapalin) dochází k fázové transformaci krystalické struktury slitiny. V průběhu několika desítek sekund se zvětší její objem a tím i průměr upínací díry. Po nasazení nástroje a zvýšení teploty na hodnotu kolem 20 °C se upínač opět smrští a pevně sevře nástroj. Upínače jsou určeny pro nástroje s válcovou stopkou malých průměrů [19].

Vzhledem k materiálovým charakteristikám slitiny 5083-H111 je vhodné použít kleštinové upínače HSK-63A-CC2 od firmy Pramet Tools, s.r.o. (viz příloha 8). Tyto upínače mají možnost vnitřního chlazení.

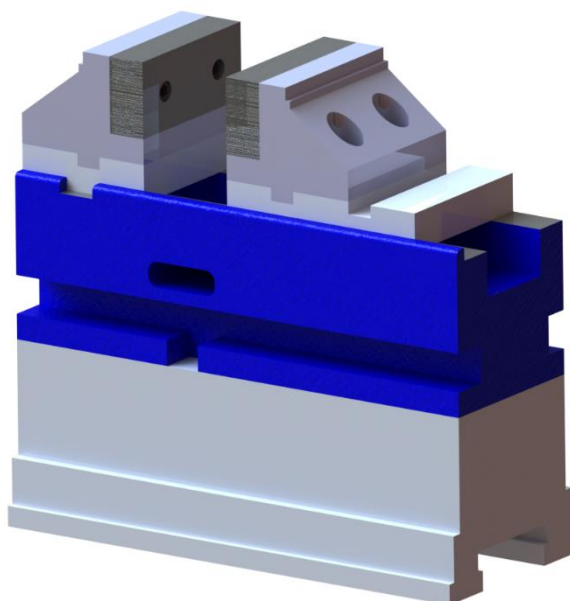
### 3.4 Volba upínače obrobku

Upnutí polotovaru je vcelku problematické z důvodu velkého odběru materiálu a složitého tvaru výsledné součástky. Materiál je třeba upnout nad plochou otočného stolu z toho důvodu, aby nevznikla kolize vřetene a tohoto stolu při obrábění nakloněného obrobku.

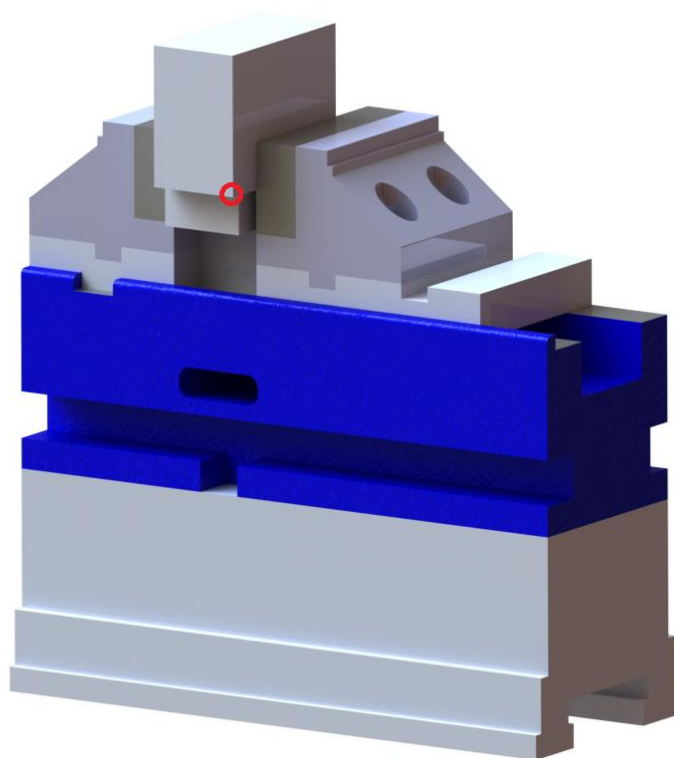
Pro dosažení potřebné vzdálenosti od základního stolu s T-drážkami se použije kvádr (celková výška 70 mm). Spodní část tohoto podstavce bude zabudovatelná do dvou sousedících T-drážek.



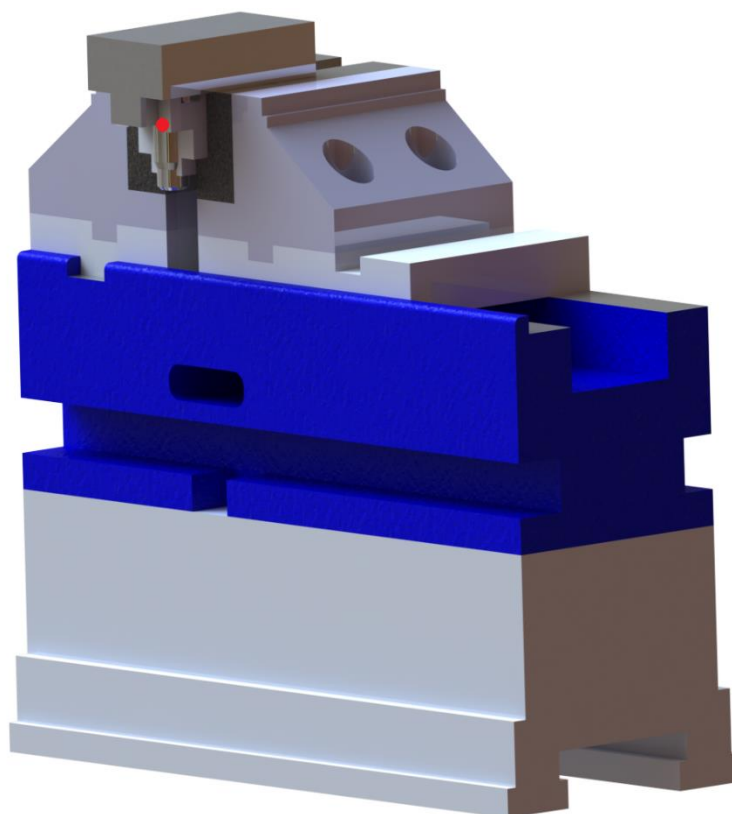
Obr. 13 Svěrák ESS-K80 od firmy NAROS, spol. s r.o. [20].



Obr. 14 Zjednodušený model upínací jednotky obrobku.



Obr. 15 Zjednodušený model prvního upnutí s vyznačeným nulovým bodem.



Obr. 16 Zjednodušený model druhého upnutí s vyznačeným nulovým bodem.

Na tento podstavec bude umístěn hydraulický svěrák ESS od firmy NAROS, spol. s r.o. (viz obrázek 14). Pro dosažení potřebné polohy obrobku bude mezi čelisti vložen kovový hranol s dorazy (při prvním i druhém upnutí, viz obrázek 15 a obrázek 16). Při prvním upnutí budou čelisti svírat obrobek pouze do výšky 13 mm. Při druhém upnutí bude obrobek sevřen za obrobenou část a dále jištěn proti posuvům upínacím hranolem. Je nutné použít hladké čelisti, aby nedošlo ke zhmoždění materiálu. Svěrák bude přidržován pomocí upínek (viz příloha 9). Na každou stranu případnou dvě upínky.

### 3.5 Stanovení řezných parametrů

Z hlediska účinnosti a životnosti nástroje je třeba určit optimální řezné parametry. Každý výrobce uvádí doporučené hodnoty. Z toho důvodu jsou pracovní řezné podmínky vybraných nástrojů odvozovány od hodnot udávaných výrobcem (viz příloha 3 až 7).

#### 3.5.1 Řezné rychlosti

Parametrem, který je požadovaný u každého nástroje, je řezná rychlost.

Pro jednotlivé nástroje výrobce udává řezné rychlosti zaznamenané v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Řezné rychlosti jednotlivých nástrojů [21,22,23,24]

| Nástroj   | Řezná rychlost<br>[m/min] | Nástroj    | Řezná rychlost<br>[m/min] | Nástroj         | Řezná rychlost<br>[m/min] |
|-----------|---------------------------|------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| Fréza ø2  | 113                       | Vrták ø1,6 | 72                        | Závitník M2×0,4 | 17                        |
| Fréza ø3  | 169                       | Vrták ø2,3 | 72                        | Záhlubník ø6    | 60                        |
| Fréza ø5  | 250                       | Vrták ø3   | 72                        |                 |                           |
| Fréza ø6  | 250                       | Vrták ø6,3 | 72                        |                 |                           |
| Fréza ø10 | 250                       | Vrták ø7   | 72                        |                 |                           |
|           |                           | Vrták ø9   | 72                        |                 |                           |

V případě závitníku a záhlubníku výrobce udává rozmezí hodnot řezné rychlosti. Byla zvolena střední hodnota daného rozmezí. Pro frézu s průměrem 2mm a 3 mm bylo nutné upravit její řeznou rychlost vzhledem k maximálním otáčkám stroje a to přepočtem podle vztahu (3.2).

#### 3.5.2 Rychlost posuvu

Dalším důležitým parametrem je rychlost posuvu. Výrobce Pramet Tools, s.r.o. udává konkrétní posuvové rychlosti. Ostatní výrobci udávají posuv na jedno otočení nástroje. Je nutné si posuvovou rychlost dopočítat. K tomu slouží následující vztahy.

Pro výpočet otáček za minutu slouží vztah (3.2) [21]:

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \quad (3.2)$$

Vztah (3.3) udává posuvovou rychlost v milimetrech za minutu [21]:

$$v_f = f \times n = f_z \times z \times n \quad (3.3)$$

kde  $f$  je posuv,  $f_z$  je posuv na zub a  $n$  je počet otáček za minutu.

Nejprve je důležité dopočítat jednotlivé posuvy  $f$  (jednotka je milimetr na otočení nástroje) pro jednotlivé nástroje. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Posuvy na otáčku jednotlivých nástrojů

| Nástroj    | Posuv na otáčku [mm] | Nástroj      | Posuv na otáčku [mm] |
|------------|----------------------|--------------|----------------------|
| Vrták ø1,6 | 0,0443               | Záhlubník ø6 | 0,12                 |
| Vrták ø2,3 | 0,0578               |              |                      |
| Vrták ø3   | 0,076                |              |                      |
| Vrták ø6,3 | 0,122                |              |                      |
| Vrták ø7   | 0,137                |              |                      |
| Vrták ø9   | 0,18                 |              |                      |

Hodnoty posuvu na otáčku pro vrtáky byly dopočítávány z katalogů výrobce pomocí lineární interpolace (vztah (3.4)).

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \times (x - x_0) \quad (3.4)$$

Do vztahu (3.6) je za hodnotu  $x$  dosazen průměr nástroje. Hodnoty  $x_0$  a  $x_1$  jsou horní a dolní okraje intervalu, ve kterém se vyskytuje hodnota  $x$ . Hodnoty  $y_0$  a  $y_1$  jsou okrajové hodnoty intervalu (konkrétně interval posuvů na otáčku). Hodnota  $y$  je výsledná hodnota posuvu na otáčku.

Pro určení posuvové rychlosti vrtáků je důležité dopočítat otáčky jednotlivých nástrojů pomocí vztahu (3.2). Poté je použit vztah (3.3), aby bylo docíleno hodnot rychlosti posuvů jednotlivých nástrojů.

Rychlosti posuvu pro jednotlivé nástroje jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3 Posuvové rychlosti jednotlivých nástrojů [21]

| Nástroj   | Posuvová rychlost [mm/min] | Nástroj    | Posuvová rychlost [mm/min] | Nástroj      | Posuvová rychlost [mm/min] |
|-----------|----------------------------|------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| Fréza ø2  | 280                        | Vrták ø1,6 | 635                        | Záhlubník ø6 | 382                        |
| Fréza ø3  | 1242                       | Vrták ø2,3 | 576                        |              |                            |
| Fréza ø5  | 2548                       | Vrták ø3   | 581                        |              |                            |
| Fréza ø6  | 2389                       | Vrták ø6,3 | 444                        |              |                            |
| Fréza ø10 | 2070                       | Vrták ø7   | 449                        |              |                            |
|           |                            | Vrták ø9   | 458                        |              |                            |

Posuvovou rychlost pro frézu o průměru 3 mm a 2 mm bylo nutno přepočítat z důvodu nedostačujících otáček stroje oproti otáčkám udávaným výrobcem (vztah (3.4) a jeho modifikace). Posuv na zub zůstal zachován. Jedinou proměnnou byly otáčky. Vypočítaná hodnota posuvové rychlosti je uvedena v tabulce 3.3.

Hlavní parametry (uvedené v programu) pro závitník jsou otáčky nástroje a stoupání. Na základě výpočtu podle vztahu (3.2) nabývají otáčky závitníku hodnoty  $2706 \text{ min}^{-1}$ . Stoupání závitu je 0,4 mm.

### 3.6 Způsob chlazení

Hlavním úkolem procesní kapaliny je zajištění potřebné trvanlivosti nástrojů a jakosti obrobené plochy při malé spotřebě energie. Z technologického hlediska je potřeba, aby procesní kapalina splňovala požadavky chladicí, mazací, čistící a požadavek zdravotní nezávadnosti. Dalším kritériem je provozní stálost a ochranný účinek, který má daná kapalina na obráběný materiál [25].

Procesní kapaliny lze rozdělit do následujících skupin: vodné roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, emulzní řezné oleje a syntetické kapaliny.

Vodné roztoky jsou nejjednodušší procesní kapaliny. Mají ale mnoho nevýhod. Základem těchto roztoků je voda, která vyžaduje řadu úprav (změkčování, přidávání přísad proti korozi, proti smáčivosti a proti pění). U těchto kapalin je možný výskyt bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach [25].

Emulzní kapaliny vzniknou smícháním dvou vzájemně nerozpustných sloučenin. Tyto látky do jisté míry spojují výhody vodných roztoků a mazacích olejů. Na koncentraci emulze je závislý chladicí účinek a mazací účinek těchto kapalin. Schopnost ochrany proti korozi je závislá na hodnotě pH. Provozní vlastnosti emulzních kapalin jsou závislé na jejich přípravě. Pro přípravu emulzní kapaliny je třeba použít vhodně upravenou vodu, emulgační přípravek přidávat pozvolně za stálého míchání a volit koncentraci emulze podle druhu operace [25].

Mastné oleje jsou látky živočišného a rostlinného původu. Mají prakticky stejné vlastnosti jako minerální olej. Mají ale lepší smáčivost z důvodu nižšího povrchového napětí. To vede k účinnějšímu odvodu tepla z místa řezu. Značnou nevýhodou těchto látek je sklon ke stárnutí [25].

Minerální oleje jsou vyráběny z ropy. Jejich výhodou jsou dobré mazací vlastnosti, dobrý ochranný účinek a odolnost proti stárnutí. Nevýhodou je ale horší chladicí účinek. Tyto oleje se využívají jako základ pro řezné oleje díky svým dobrým provozním vlastnostem [25].

Syntetické kapaliny jsou charakteristické velkou provozní stálostí. Neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z glykolů. Jejich použití zajišťuje rychlý odvod tepla. Tyto látky mají dobré čistící vlastnosti. V syntetických kapalinách je možné rozptýlit olej a vytvořit tak polosyntetický roztok, který má příznivější mazací schopnosti. [25].

Vybrané nástroje vyžadují chlazení ve formě emulzních kapalin. Pro obrábění hliníku jsou vhodné syntetické emulze Trim C272 nebo Trim C355 od firmy T-LAB, s.r.o. (viz příloha 10).

### 3.7 Technologický postup

Technologický postup slouží k chronologickému záznamu operací a pracovišť, na kterých mají být provedeny. Dále se zde uvádí potřebné nástroje a měřicí pomůcky nezbytné pro výrobu dané součástky. V postupu jsou také uvedeny informace ohledně času výroby součástky, její označení a další nezbytné údaje. Tento dokument by měl být věcný a přehledný. Technologický postup pro výrobu komponenty hop-up je součástí přílohy 12.

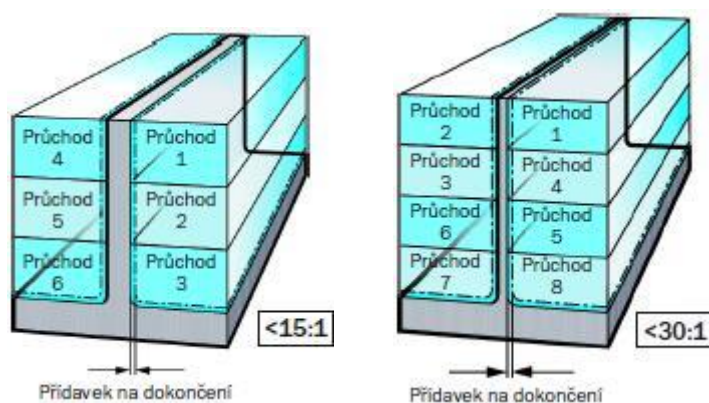
## 4 TVORBA PROGRAMU PRO CNC

Tato kapitola je věnována rozboru strategie obrábění a tvorbě ISO-kódu v programu SinuTrain for SINUMERIK Operate 4.5. Zdrojové kódy jsou vytvořeny v souladu se strategií obrábění tenkostěnných součástek. Tyto ISO-kódy jsou použitelné v praxi.

### 4.1 Volba strategie obrábění

Vzhledem k tomu, že výstupem obrábění je tenkostěnná komponenta, je nutné dbát jistých zásad obrábění, které se uplatňují při obrábění tenkostěnných součástek. Je důležité používat vysokorychlostní obrábění, tzn. malé  $a_p/a_e$  a vysokou řeznou rychlost  $v_c$ . To vede ke zkrácení doby záběru nástroje. Z toho vyplývá snížení rázů a průhybů. Dále je důležité používat sousledné frézování [26].

Hlavním kritériem je poměr tloušťky finální stěny k její výšce. Na základě tohoto poměru se dále určí, jestli se budou jednotlivé průchody překrývat nebo ne (viz obrázek 17).



Obr. 17 Průchody nástroje bez překrytí při malém poměru (vlevo) a středním poměru (vpravo) [26].

Při frézování povrchu s obrobenou protilehlou stranou je vhodné použít nástroj s minimálním počtem zubů. Je potřeba snažit se omezit tlak na tuto stěnu během obrábění [26].

V případě vyráběné komponenty je použita strategie obrábění podle způsobu pro střední poměr. Je to z důvodu zamezení deformací během obrábění.

Veškeré hodnoty velikostí odebíraných třísek jsou v programu nastaveny v souladu s katalogy výrobců daných nástrojů (viz příloha 3 a příloha 4).

### 4.2 Programování ISO-kódu

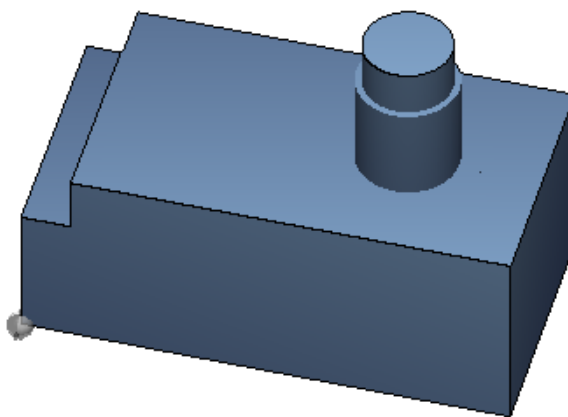
Součástka bude obráběna na dvě upnutí. Pro každé upnutí je vytvořen samostatný kód. V této podkapitole jsou rozebrány problematické prvky jednotlivých kódů.

#### 4.2.1 Upnutí první

Kompletní ISO-kód je součástí přílohy 12.

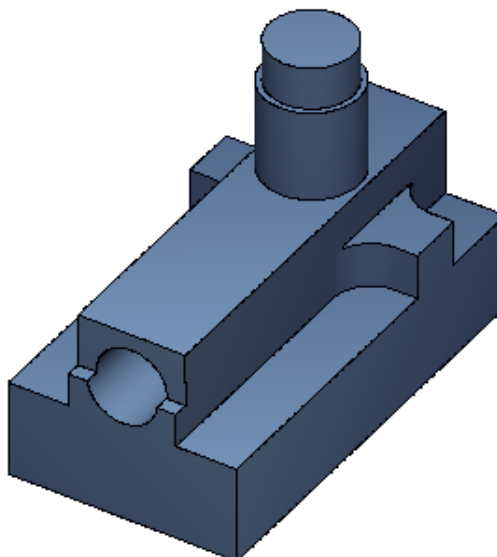
Cílem tohoto upnutí je obrobit polotovar ze strany, kde se nachází přívod kuliček do komory. První operací je frézování na hrubo. Materiál je odebrán ve formě větších třísek. Tohoto úběru materiálu se dosáhlo funkcí CYCLE61, který slouží pro čelní frézování. Dále je

použita funkce CYCLE76. Po provedení této operace se odebírá materiál kolem přívodu pro kuličky v souladu s tenkostěnným obráběním. Funkcí CYCLE77 se dosáhne vyfrézování válce, který bude sloužit pro přívod kuliček [27]. Hodnota přídavku na dokončení se u těchto operací pohybuje kolem 1 mm. Po dokončení těchto cyklů má polotovar tvar viz obrázek 18.



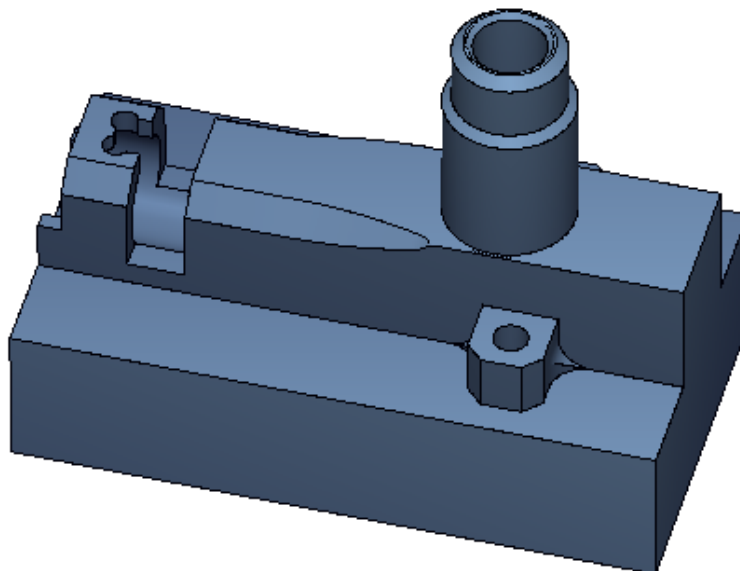
Obr. 18 Polotovar po hrubování a frézování čela obrobku.

Po vykonání dalších operací se na hrubo ofrézují boky polotovaru. Vzniknou tak tvary patek pro pojištění komory. Poté dochází k otočení polotovaru funkcí CYCLE800. Pomocí této funkce je možné natáčet obrobek podle horizontální i vertikální osy stolu a definovat nové roviny. V případě tohoto ISO-kódu je tento cyklus využit k tomu, aby byl polotovar pootočen o 90° a bylo možné ofrézovat stranu pro nasazení hlavě a dále vyvrtat otvor pro hop-up gumičku a samotnou hlavě. Nejprve je díra do polotovaru vyvrtána vrtákem pomocí funkce CYCLE82. Jedná se o vrtání díry do plného materiálu. Poté je přivolána fréza a pomocí funkce POCKET4 je vyvrtaná díra rozšířena na požadovaný průměr [27,28]. Toto frézování je provedeno jako dokončovací. Bylo nutné si ale dopočítat posuv nástroje pro zavrtávání, protože frézování tohoto otvoru bude končit v kuželu, který zanechal hrot vrtáku ve vyvrtané díře. Výpočet byl proveden podle údajů uvedených v katalogu výrobce (viz příloha 4). Posuvová rychlost pro zavrtávání je  $597 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .



Obr. 19 Obrobek po vyvrtání díry pro hlavě.

Po těchto operacích následuje otočení obrobku do původní polohy a dokončovací frézování. Po provedení frézování je přivolán vrták, který vyvrtá díru pro přívod kuliček do válce. Poté je přivolán vrták menšího průměru a jsou vyvrtány díry do patek součástky. Po provedení těchto úkonů následuje srážení hran obrobenej plochy. Mezi poslední operace patří vyfrézování drážky pro pojistku hlavně a vyvrtání otvorů, které slouží k eliminaci vzniklého zaoblení při frézování pojistné drážky.

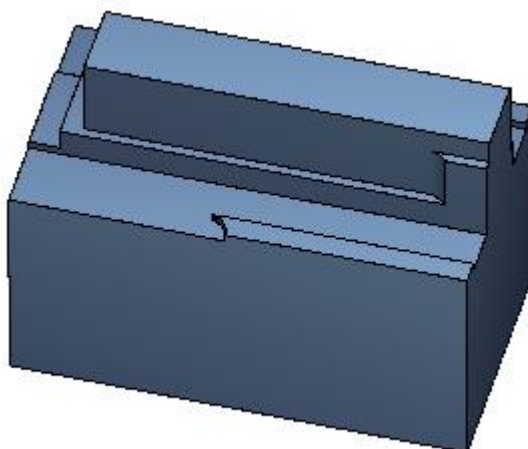


Obr. 20 Obrobek po prvním upnutí.

#### 4.2.2 Upnutí druhé

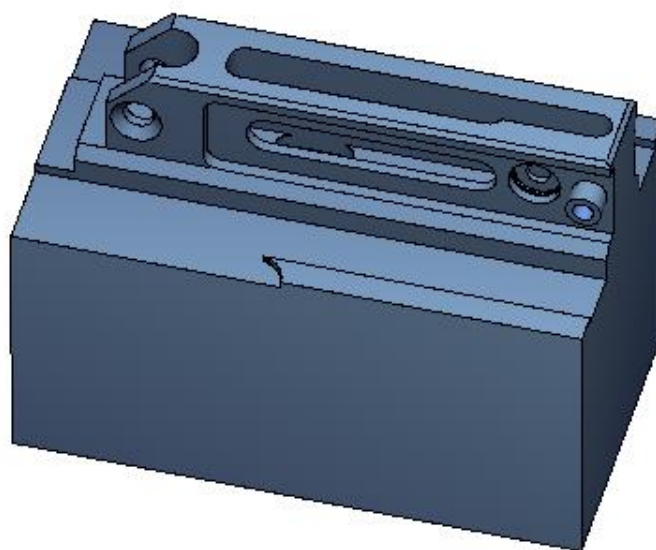
Výstupem obrábění druhého upnutí je obrobek, který je dále nutné opracovat ručně pilníkem. Kompletní ISO-kód je součástí přílohy 12.

Nejprve je důležité frézováním na hrubo odebrat část materiálu. K tomuto účelu jsou použity funkce CYCLE61 a CYCLE76. Následující operace zahrnují dokončovací frézování.



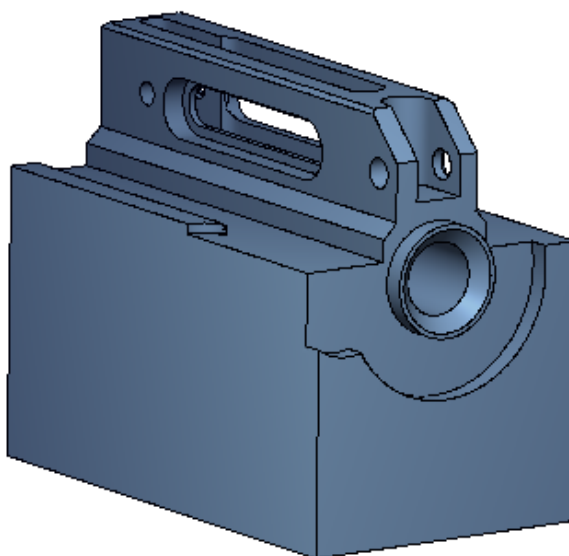
Obr. 21 Obrobek po frézování na hrubo a dokončovacím frézování.

Poté je použita funkce CYCLE800 k otočení roviny stolu o  $90^\circ$ . Po natočení obrobku přichází na řadu frézování drážek. Pro tyto operace je zvolena funkce POCKET3. Pro vnoření frézy do materiálu je zvolen způsob Oscillat, při kterém fréza do materiálu zajíždí pod úhlem. Úhel je nastaven na hodnotu  $10^\circ$ . Na základě toho nemusela být zredukována rychlost posuvu. Výrobce udává 100% posuv až do úhlu zanoření  $15^\circ$  (viz příloha 4). Po vyfrézování drážek je nutné vyvrtat dvě díry. Jedna je určena pro čep, který drží přitlačnou součástku a druhá je určena pro pojistný šroub. Vrtání bylo provedeno pomocí funkce CYCLE82. Po provedení těchto operací následuje otočení obrobku o  $180^\circ$  pomocí funkce CYCLE800. Natočením obrobku získají nástroje přístup k neobrobené straně součástky. Po přivolání frézy přichází na řadu frézování dalších drážek pomocí funkce POCKET3. Aby se dosáhlo obrobení výstupku pro závit, je použita funkce POCKET4. Do tohoto výstupku je vyvrtán otvor pod závit a poté samotný závit. K vrtání otvoru je použita funkce CYCLE82 a k řezání závitu je použita funkce CYCLE84. Jakmile závitník dosáhne své dolní polohy, zastaví se na nastavenou dobu prodlevy. Je to z toho důvodu, aby nedošlo k poškození závitu při vytahování závitníku. Srážení hrany je poslední operací provedené na momentálně natočeném obrobku. Pomocí funkce CYCLE800 se obrobek otočí do původní polohy. Jsou sraženy vrchní hrany a také hrana na straně obrobku. Na řadu přichází vyfrézování největší drážky. Je použita funkce POCKET3. Znovu je zvolen úhel zanořování  $10^\circ$ . Pro dokončení drážky je použita funkce LONGHOLE. Touto funkcí se obrábí prostor, který nebylo možné obrobit pomocí předchozí funkce. Následuje frézování drážky pro pojistný šroubek [27,28].



Obr. 22 Obrobek po vyfrézování drážek, vyřezání závitu a sražení hran.

Pro vykonání posledních operací je nutno znovu natočit obrobek pomocí funkce CYCLE800. Jedná se natočení stolu kolem vertikální osy o  $90^\circ$  a kolem horizontální osy o  $90^\circ$ . Frézováním na hrubo se odebere část materiálu a připraví se povrch na dokončovací operace. Pomocí funkce CYCLE77 je provedeno dokončovací frézování této strany obrobku. Mezi poslední operace patří vrtání díry pro válec, který přivádí vzduch, frézování tohoto otvoru na požadovaný průměr a sražení hran této díry. K tomu jsou využity funkce CYCLE82, POCKET4 a POCKET4. Posledním úkonem je natočení roviny do počáteční polohy pomocí funkce CYCLE800 [27,28].



Obr. 23 Ukázka obrobených ploch  
opracovaných během druhého upnutí.

Simulace jednotlivých upnutí jsou součástí přílohy 12.

## ZÁVĚR

Cílem této práce je inovace komponenty do airsoftové pušky vzor AK-47 a tvorba ISO-kódu. Tato inovace se skládá z navržení úprav dané součástky a analýzy používaného materiálu. Na základě získaných výsledků lze konstatovat:

- Po zkušenostech s původní komorou lze navrhnout změny v součástce u průměrů, které přímo ovlivňují výkon zbraně. Zmenšení průměru, do kterého je vsunut válec pro přívod vzduchu z pístu, vede ke zmenšení ztrát hnacího plynu. Při změně průměru, kde je vsunuta hlaveň, dojde ke snížení náročnosti montáže hlavně.
- Používaný materiál 6061-T6 nebo 7075 lze nahradit materiálem 5083-H111, který je vhodnější pro danou součástku svými mechanickými a chemickými vlastnostmi. Tento materiál je dále upravitelný tzv. eloxováním.
- Obráběcí centrum MCV 1210, které by bylo použito k výrobě, má maximální hodnotu otáček  $18000 \text{ min}^{-1}$ . S ohledem na maximální výkon stroje a vlastnosti daného materiálu je vhodné použít nástroje z rychlořezných ocelí a slinutých karbidů.
- Při obrábění je brán ohled na strategii obrábění tenkostěnných součástí. Je nutné součástku nepoškodit během samotného obrábění. Proto jsou operace provedeny v souladu s touto strategií. Výsledné ISO-kódy lze využít ve výrobě.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] AIRSOFT STATION LTD. *Airsoft Station: The History of Airsoft* [online]. Oakdale, California, 2015 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.airsoftstation.com/the-history-of-airsoft/>
- [2] RYJO TRADE S.R.O. *Airsoft House: STTi AK-47 - celokov* [online]. 2008 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.airsofthouse.cz/STTi-AK-47---celokov-detail-zbozi-6002.html>
- [3] AK-47. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/AK-47>
- [4] UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ FAKULTA. *Kontinuum: 4.6 Odpor prostředí* [online]. Praha, Česká Republika, 2013 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/4\\_6](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/4_6)
- [5] AIRSPAT LTD. *AIRSPAT: GENERAL AIRSOFT GUN INFORMATION & DEFINITIONS* [online]. Irwindale, California, 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.airspat.com/airsoft-definition>
- [6] NĚMEC, Filip. *Airsoft Team Chrudim: Recenze hop-up komory od firmy SHS* [online]. Chrudim, Česká Republika, 2010 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: [http://www.airsoftchrudim.cz/recenze/shs\\_komora\\_2.html](http://www.airsoftchrudim.cz/recenze/shs_komora_2.html)
- [7] PTÁČEK, Luděk a kolektiv. 1999. *Nauka o materiálu II.* Brno, Česká Republika: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. ISBN 80-7204-130-4.
- [8] ASM AEROSPACE SPECIFICATION METALS, INC. 2015. *ASM: ASM Aerospace Specification Metals, Inc.* [online]. 5. Pompano Beach, Florida [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.aerospacemetals.com/aluminum-distributor.html>
- [9] BE GROUP S.R.O. 2015. *BE Group: ZNAČENÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN* [online]. Česká Republika [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.begroup.com/cz/BE-Group-Czech-Republic/Produkty/Hlinik-1/znaeni-hliniku-a-jeho-slitin-v-stav/>
- [10] GASCHA, Heinz a Stephan PFLANZ. 2008. *Kompedium fyziky. 1.* Česká Republika: Euromedia Group, k. s. - Universum. ISBN 978-80-242-2013-0.
- [11] INKOSAS A.S. 2008. *INKOSAS: Speciální materiály - kapilární trubky, zirkonium, tantal, niob, hafnium, tombaky a jiné* [online]. Česká Republika [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.inkosas.cz/templates/kapilarni-trubky-tantal-zirkonium-niob-hafnium-indium-tombaky.php>
- [12] HUMÁR, Anton. 2003. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1. část* [online]. Brno, Česká republika [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf). Studijní opory pro magisterskou formu studia. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie
- [13] VERLANG DASHÖFER, NAKLADATELSTVÍ, SPOL. S R. O. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty* [software]. 1997-2015

|         |                  |         |
|---------|------------------|---------|
| FSI VUT | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | List 37 |
|---------|------------------|---------|

- [14] NPS PROAL S.R.O. 2009. *PROAL: Hliníkové slitiny* [online]. Ostrava, Česká republika [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/slitiny.htm>
- [15] REMEŠOVÁ, M. *Anodická oxidace hliníku a jeho slitin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Čelko, Ph.D.
- [16] ZEMČÍK, Oskar. *TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění* [online]. Brno [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>. Učební texty kombinovaného bakalářského studia. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie
- [17] PÍŠKA, Miroslav, Aleš POLZER a Martin SLANÝ. *Programování moderních CNC strojů: Výukové texty ke kurzům*. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství Ústav strojírenské technologie, 2012. ISBN 978-80-214-4519-2.
- [18] MICHOVSKÝ - TOOLS S.R.O. *MICHOVSKÝ TOOLS: Upínání* [online]. Praha, Česká Republika [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.nastroje.cz/upinani>
- [19] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I.: ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ - 1. část* [online]. Brno, 2004 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl\\_met\\_obr/zakl\\_met\\_obr\\_1.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf). Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie
- [20] NAROS, SPOL. S R. O. *NAROS: Svěráky* [online]. 2009 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.naros.cz/view.php?cislocianku=2011060002>
- [21] PRAMET TOOLS, S.R.O. *PRAMET: Katalog monolitních fréz* [online]. 2012 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.pramet.cz/cz/produkty/frezovani/monolitni-frezy.html>
- [22] M&V, SPOL. S R.O. *M&V: M&V KATALOGY* [online]. Vsetín, Česká Republika, 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.mav.cz/data/katalog/k\\_frez.pdf](http://www.mav.cz/data/katalog/k_frez.pdf)
- [23] M&V, SPOL. S R.O. *M&V: M&V KATALOGY* [online]. Vsetín, Česká Republika 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.mav.cz/data/katalog/k\\_otvory.pdf](http://www.mav.cz/data/katalog/k_otvory.pdf)
- [24] NAREX ŽDÁNICE, SPOL. S R.O. *Narex Ždánice: KATALOG 27* [online]. Ždánice, Česká Republika 2006 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.narexzd.cz/files/catalogue27.pdf>
- [25] NOVÁČEK, Pavel. *Moderní chladicí kapaliny pro obrábění*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 43, s. 2 přílohy. Vedoucí práce: Ing. Oskar ZEMČÍK, Ph.D.
- [26] SANDVIK CZ S.R.O. *Frézování: Frézování do rohu v případě tenkých a poddajných stěn* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application\\_overview/shoulder\\_milling/shoulder\\_milling\\_thin\\_walls/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/shoulder_milling_thin_walls/Pages/default.aspx)
- [27] SIEMENS AG. *SINUMERIK 810/840D/840Di: Příručka pro začínající uživatele: Frézování a soustružení*. 10.03. Erlangen, Německo, 2003.

- [28] SIEMENS AG. *My SINUMERIK Operate: User Guide* [online]. Erlangen, Německo, 2013 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/cnc\\_downloads/sinumerik-documentation/Documents/SINUMERIK-Operate-UserGuide-2013-09-color-en.pdf](http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/cnc_downloads/sinumerik-documentation/Documents/SINUMERIK-Operate-UserGuide-2013-09-color-en.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka     | Jednotka | Popis                       |
|-------------|----------|-----------------------------|
| <b>PKNB</b> | [-]      | polykrystalický nitrid bóru |
| <b>PVC</b>  | [-]      | Polyvinylchlorid            |
| <b>RO</b>   | [-]      | rychlořezné oceli           |
| <b>SK</b>   | [-]      | slinutý karbid              |

| Symbol                  | Jednotka               | Popis                                                                                |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta T$              | [K]                    | rozdíl teplot                                                                        |
| $V_0$                   | [m <sup>3</sup> ]      | původní objem při výpočtu objemové tepelné roztažnosti                               |
| $V_T$                   | [m <sup>3</sup> ]      | nový objem při výpočtu objemové tepelné roztažnosti                                  |
| $d$                     | [mm]                   | průměr nástroje                                                                      |
| $f$                     | [mm]                   | posuv nástroje na otáčku                                                             |
| $f_z$                   | [mm]                   | posuv na jeden zub                                                                   |
| $i_0$                   | [-]                    | index obrobitelnosti                                                                 |
| $l_0$                   | [m]                    | původní délka při výpočtu lineární tepelné roztažnosti                               |
| $l_t$                   | [m]                    | nová délka při výpočtu lineární tepelné roztažnosti                                  |
| $n$                     | [min <sup>-1</sup> ]   | otáčky                                                                               |
| $r_i$                   | [mm]                   | konečný rozměr po obrábění                                                           |
| $v_c$                   | [m.min <sup>-1</sup> ] | řezná rychlost                                                                       |
| $v_{c15}$               | [m.min <sup>-1</sup> ] | řezná rychlost při trvanlivosti nástroje 15 minut                                    |
| $v_{c \text{ etalonu}}$ | [m.min <sup>-1</sup> ] | řezná rychlost při obrábění etalonového materiálu při trvanlivosti nástroje 15 minut |
| $v_f$                   | [m.min <sup>-1</sup> ] | rychlost posuvu                                                                      |
| $x$                     | [mm]                   | průměr nástroje                                                                      |
| $x_0$                   | [mm]                   | dolní hranice intervalu průměru nástroje                                             |
| $x_1$                   | [mm]                   | horní hranice intervalu průměru nástroje                                             |
| $y$                     | [mm]                   | posuv na otáčku                                                                      |
| $y_0$                   | [mm]                   | dolní hranice intervalu posuvu na otáčku                                             |
| $y_1$                   | [mm]                   | horní hranice intervalu posuvu na otáčku                                             |

|          |                    |                                 |
|----------|--------------------|---------------------------------|
| $z$      | [-]                | počet zubů nástroje             |
| $z_c$    | [mm]               | rozměr s přídavkem na obrábění  |
| $\alpha$ | [K <sup>-1</sup> ] | součinitel délkové roztažnosti  |
| $\gamma$ | [K <sup>-1</sup> ] | součinitel objemové roztažnosti |

**SEZNAM PŘÍLOH**

|            |                                                                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Příloha 1  | Ashbyho mapa                                                                                                                               |
| Příloha 2  | Ceny materiálů                                                                                                                             |
| Příloha 3  | Výňatek z katalogu firmy M&V spol. s.r.o. - frézy                                                                                          |
| Příloha 4  | Výňatek z katalogu firmy Pramet Tools s.r.o. - frézy                                                                                       |
| Příloha 5  | Výňatek z katalogu firmy M&V spol. s.r.o. - vrtáky                                                                                         |
| Příloha 6  | Výňatek z katalogu firmy M&V spol. s.r.o. - záhlubník                                                                                      |
| Příloha 7  | Výňatek z katalogu firmy NAREX Ždánice spol. s r.o. – strojní závitník                                                                     |
| Příloha 8  | Výňatek z katalogu firmy Pramet Tools s.r.o. – upínací jednotky nástrojů                                                                   |
| Příloha 9  | Výňatek z internetové nabídky firmy NAROS, spol. s r.o. - upínací příložka, velikost 3/12                                                  |
| Příloha 10 | Výňatek z internetové nabídky firmy T-LAB, s.r.o. - chladicí kapalina TRIM C272 a TRIM C355                                                |
| Příloha 11 | Výkres vyráběné komponenty                                                                                                                 |
| Příloha 12 | CD-ROM obsahující technologické postupy pro první i druhé upnutí, ISO-kód pro první i druhé upnutí a simulaci obrábění jednotlivých upnutí |

