



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY OBRÁBĚNÉHO DÍLU PŘEDPAŽBÍ

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF PRODUCTION OF MACHINED FRONT PART

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Řezníček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Vojtěch Řezníček</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2017/18

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 diplomové práce:

## **Návrh na zefektivnění výroby obráběného dílu předpažbí**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Cílem diplomové práce bude návrh efektivnějšího procesu výroby obráběného dílu předpažbí pro firmu CZUB a.s. Práce bude obsahovat rozbor stávajícího stavu výroby a návrh možných řešení pro zefektivnění stávajícího stavu. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením spolu s analýzou navrhovaného řešení a srovnáním se stávajícím stavem výroby.

### **Cíle diplomové práce:**

- Rozbor a charakteristika dílu z hlediska konstrukce
- Analýza stávajícího stavu technologie obráběného dílu
- Návrh inovace výrobního procesu – zefektivnění stávajícího stavu
- Technicko–ekonomické zhodnocení

### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia. s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-71-3164-6.

PROCHÁZKA, S. a kol.: Automatické zbraně. Učebnice. FMO Praha, 1991. RDV-51-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Hlavním tématem této diplomové práce je návrh na zefektivnění výroby obráběného dílu předpažbí. Cílem práce je zhodnocení současného obráběcího procesu, návrh možné inovace, volba nejlepší cesty a výroba součásti. Závěr bude věnován technicko-ekonomickému zhodnocení z pohledu času, ceny a spotřeby materiálu.

### Klíčová slova

zbraně, předpažbí, tažený profil, obrábění, rheocasting, FEM analýza

## ABSTRACT

The main topic of this Master thesis is proposal of the streamline the production of the machined part of a handguard. The aim of the work is to evaluate the current machining process, to design possible innovation, to select the best way of construction of a design part. The conclusion will be devoted technical and economic evaluation in terms of time, cost and material consumption.

### Keywords

weapons, handguard, extrusion profile, machining, rheocasting, FEM analysis

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEZNÍČEK, Vojtěch. *Návrh na zefektivnění výroby obráběného dílu předpažbí*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 59 s., 1 příloha. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh na zefektivnění výroby obráběného dílu předpažbí vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25. 5.2018

---

Datum

---

Vojtěch Řezníček

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D., z Ústavu strojírenské technologie, za vedení a cenné připomínky, které mi byly přínosem při vytváření této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Česká Zbrojovka, a.s. Uherský Brod, divizi vojenských zbraní, oddělení technologie, za poskytnutí tématu, a také vedoucímu Danu Kubešovi za ochotu a poskytnutí informací, které byly potřebné k vypracování mé práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 Historie a současnost CZUB a.s. ....	10
1.1 Divize krátkých zbraní.....	10
1.2 Divize dlouhých zbraní.....	11
1.3 Divize vojenských zbraní.....	12
1.4 Export v CZUB a dceřiné společnosti .....	13
2 CHARAKTERISTIKA DÍLU Z HLEDISKA FUNKCE.....	15
3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY .....	16
3.1 Rozbor dílu z hlediska konstrukce.....	16
3.2 Polotovary pro současnou výrobu.....	17
3.3 CNC obráběcí centrum .....	19
3.4 Upínání součástí.....	20
3.5 Nástroje vhodné pro hliník a základní použité nástroje.....	21
4 NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU .....	22
4.1 Metody pro výrobu profilovaného polotovaru.....	22
4.1.1 Metoda lití Semisolid.....	22
4.1.2 Metoda extrudovaného profilu.....	24
4.1.3 Porovnání obou metod .....	26
4.2 Volba technologie, zhotovení polotovaru pro obrábění.....	27
4.3 Volba materiálu.....	29
4.3.1 Simulace pádové zkoušky, porovnání materiálů .....	32
4.3 CNC obráběcí centrum .....	35
4.4 Upínání součástí.....	36
4.4.1 Analýza deformace profilu při upínání .....	38
4.4.2 Upínací moduly firmy Schunk GmbH & Co. KG .....	40
4.5 Obráběcí proces .....	41
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	45
5.1 Ekonomické zhodnocení současné technologie.....	45
5.2 Ekonomické zhodnocení nové technologie .....	48
5.3 Porovnání výrobních variant.....	50

5.4 Úspora na objemu materiálu ve formě třísek.....	51
5.5 Doporučení do budoucna .....	51
ZÁVĚR .....	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

## ÚVOD

Výzkum a vývoj je nedílnou součástí nejen firem zabývajících se zbrojním průmyslem, ale i v i firem z jiných odvětví, a proto je nutné jít neustále vpřed. Cílem všech firem by mělo být zdokonalování se ať už z pohledu vývoje nových produktů nebo vývoje nových technologií. S tím úzce souvisí snižování výrobních nákladů, za účelem zvyšování produktivity práce a tržeb. Jedině tím způsobem mohou být firmy konkurenceschopné.

Jedním ze jmenovaných cílů se zabývá i tato diplomová práce, vytvořena pod záštitou firmy Česká Zbrojovka, a.s. Uherských Brod (CZUB, a.s.).

Prvotním faktorem při koupi zbraně, když pomineme kvalitu, je cena. Zákazníky, ať už v poli fyzických osob nebo právnických osob (států), zajímá zejména cena. Pokud firmy nejsou schopny vyrábět miliony kusů ročně, čímž jistým způsobem snižují i výrobní cenu dílu, musí umět správně zvolit takové technologie, které jim cenu zbraně sníží.

Hlavním úkolem této diplomové práce je návrh nové technologie výroby pro součást s názvem předpažbí. V práci bude provedena charakteristika stávající technologie výroby ve srovnání s návrhy možných technologických vylepšení. Následně bude vybrán nejvhodnější z nich a porovnán se stávající technologií výroby, jak z pozice technické, tak ekonomické.

## 1 Historie a současnost CZUB a.s.

Česká Zbrojovka, a.s. Uherský Brod je firma s více jak osmdesátiletou tradicí a neustálým posunem vpřed. V současné době pracuje v České zbrojovce okolo 1900 zaměstnanců, což staví Českou Zbrojovku, a.s. Uherský Brod mezi největší zaměstnavatele Zlínského kraje.

Vznik firmy se datuje do poloviny roku 1936, kdy se ministerstvo národní obrany rozhodlo přemístit zbrojní průmysl co nejvíc do vnitrozemí. Díky tomu vznikla Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod, v té době ještě jako pobočka České zbrojovky ve Strakonících. Tímto krokem bylo vytvořeno okolo dvou tisíc nových pracovních míst [1].

Se změnou režimu se později měnily i názvy a vlastníci dnešní České zbrojovky. Od názvu *Přesné strojírenství, národní podnik, Uherský Brod*, přes *národní podnik Vsetín, závod 05 Uherský Brod*, až po dnešní podobu *Česká zbrojovka, akciová společnost, Uherský Brod* [1].

Podoba ČZUB se dále měnila, nikoliv však v názvu, nýbrž ve struktuře. Současné rozdělení České zbrojovky je na tři hlavní divize. Divize krátkých, dlouhých a vojenských zbraní. Tři samostatné jednotky, s vlastním výzkumem, vývojem, konstrukcí a technologií. Zaměřují se na výrobu jak civilních zbraní (větrovky, pistole, kulovnice, atd.), tak zbraní pro armádní složky (automatické zbraně, granátometry, atd.) Díky vlastní nástrojárně, kalírně, slévárně a dalším provozům, patří Česká zbrojovka mezi jednu z nejlepších zbrojařských firem na světě [2].

### 1.1 Divize krátkých zbraní

Zabývá se výzkumem, vývojem a konstrukcí krátkých palných zbraní (pistolí). Ve svém portfoliu má nespočet pistolí v provedení – standart, compact, subcompact, competition [1].

Provedení standart je využíváno jak pro civilní trh, tak i pro policii, armádu a speciální složky. Provedení compact je určena především pro osobní obranu. Subcompact jsou rozměrově malé záložní zbraně určené pro skryté nošení. Zbraně v provedení competition získávají uznání po celém světě, díky výhrám ve sportovní střelbě, v kategoriích Open, Production a Standart [1]. Zbraně spadající do jednotlivých kategorií popisuje tab. 1.1 [3].

Tab. 1.1 Část produktů divize krátkých zbraní [3].

PROVEDENÍ	PRODUKTY
Standart	CZ P-09 KADET, CZ SHADOW 2 OR, CZ P-09 FDE, CZ 75 B, CZ 75 SP-01, ...
Compact	CZ P-10 C OR, CZ P-10 C, CZ P-07 KADET, CZ P-07, ...
Subcompact	CZ 2075 D RAMI, CZ 2075 RAMI
Competition	CZ SHADOW 2, CZ 75 TS CZECHMATE, CZ 75 TACTICAL SPORTS, CZ 75 SP-01 SHADOW ORANGE, ...



Obr. 1.1 Pistole produktové řady krátkých zbraní [3].

## 1.2 Divize dlouhých zbraní

Zabývá se výzkumem, vývojem a konstrukcí dlouhých zbraní. Nabízí nepřehledné množství zbraní, které uspokojí každého zákazníka. Do této kategorie spadají kulovnice (Lite, Medium, Magnum, Brno Rifles), brokovnice – (CZ-USA, Brno Rifles), malorážky (Boltaction, Semiautomatic) a vzduchové zbraně (větrovky) [1, 2]. Krátké portfolio produktové řady dlouhých zbraní je v tab. 1.2 [3].

Tab. 1.2 Část produktů divize dlouhých zbraní [3].

PROVEDENÍ	PRODUKTY
Kulovnice	CZ 557 VARMIT, BRNO EXPRESS, CZ 527 VARMIN TMR, CZ 550 SAFARI CLASSIC II., ...
Brokovnice	BRNO COMBO, BRNO COMPETITION, CZ-USA SPORTER, CZ-USA SHARP-TAIL, ...
Malorážky	Multirážové řady CZ 455, CZ 512 TACTICAL, CZ 512 CARBINE, ...
Vzduchové zbraně	Sportovní a Lovecké větrovky z řady CZ 200, zlakovací vzduchové pušky značky SLAVIA, ...



Obr. 1.2 Zbraně produktové řady dlouhých zbraní [3].

### 1.3 Divize vojenských zbraní

Nejmłodší, ale neméně zkušená divize České zbrojovky zabývající se výzkumem, vývojem a konstrukcí speciálních zbraní. Do této kategorie spadají samopaly, útočné pušky a granátometry. Vvívjí zbraně jak v automatickém, tak v semiautomatickém režimu. Čímž je schopna zaujmou širokou škálu zákazníků nejen v poli civilním, ale také např. u ozbrojených složek [1, 2]. Zbraně jednotlivých kategorií popisuje tab. 1.3 [3].

Tab. 1.3 Část zbraní produktové řady Vojenských zbraní [3].

PROVEDENÍ	PRODUKTY
Samopaly	CZ SCORPION A1, CZ SCORPION S1
Útočné pušky	CZ BREN 2, CZ 805 BREN, CZ 805 BREN S1 ...
Granátometry	CZ 805 G1 – použití možné na vlastním nosiči nebo jako podvěsná zbraň útočné pušky



Obr. 1.3 Zbraně produktové řady vojenských zbraní [3].

#### 1.4 Export v CZUB a dceřiné společnosti

Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod patří mezi největší výrobce zbraní. Dokazuje to i fakt, že v současné době dodává zbraně do více jak 90 zemí světa (viz obr. 1.4). Roční výroba zbraní datovaná k roku 2017 byla okolo 300 000 kusů. Z toho export činil okolo 90 % [2].

Dlouhodobým záměrem CZUB, a.s. je rozšiřování firmy o dceřiné společnosti. Ať už z důvodu zvýšení kapacity výroby, či distribuce zbraní v dané oblasti. Díky tomu spadají v současné době pod Českou zbrojovku tři společnosti [2].

Jednou ze společností byla zbrojovka Brno, dnes známá pod názvem Brno Rifles s.r.o. Zabývá se výrobou brokovnic a kombinovaných zbraní pro lovecké účely [4].

Důležitým krokem pro export zbraní do zaoceánských států, bylo zbudování další z dceřiných společností a to CZ-USA. Firma působící v Kansas city zajišťuje distribuci, částečnou výrobu a všechny druhy oprav [5].

Jako poslední byla do tohoto uskupení zapojena firma CZ-Slovensko, hlavně z důvodů, již zmíněného, navýšení výrobních kapacit České zbrojovky a.s., Uherský Brod [6].

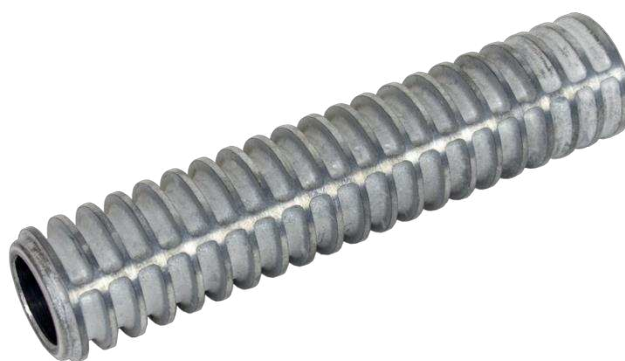
Obr. 1.4 znázorňuje oblasti vývozu zbraní České zbrojovky, a.s. Uherský Brod [2].



Obr. 1.4 Mapa exportu společnosti CZUB a.s. Uherský Brod [2].

## 2 CHARAKTERISTIKA DÍLU Z HLEDISKA FUNKCE

Předpažbí slouží jako prodloužená část pažby (pouzdra). Liší se délkou, která je závislá na délce hlavně nebo na potřebách zákazníka. Slouží zejména pro ochranu střelce před poraněním ruky o horkou hlaveň, která při střelbě může dosahovat teplot až k 80 °C. Tím, že je předpažbí připevněno na hlaveň, např. ve dvou styčných bodech, nedochází zde k většímu přenosu tepla [7, 8]. Někdy také mezi hlaveň a předpažbí bývá umístěn chladič, který tepelný přenos brzdí (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Chladič zbraně CZ Scorpion EVO 3 [9].

Na předpažbí je také možno upnout příslušenství, jako např. laser, světelné zdroje nebo optické zaměřovače. Slouží pro to horní nebo boční upínací lišta (rail), jejíž rozměry jsou definovány normou [7]. Díky tomu má střelec možnost využít širokou nabídku příslušenství, od různých výrobců.

Předpažbí se liší ve tvarech a v použití vstupního materiálu. Mohou být vyráběny z plastu s přidavkem skelného vlákna, hliníkových slitin nebo, dnes v průmyslu hodně používaného, uhlíkového vlákna (viz obr. 2.2).



Obr. 2.2 Ukázka předpažbí z možných materiálů [10, 11].

### 3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY

Kapitola pojednává o současném stavu výroby předpažbí na CNC obráběcím centru. Definují se v ní použité nástroje, upínače a obráběcí stroje.

#### 3.1 Rozbor dílu z hlediska konstrukce

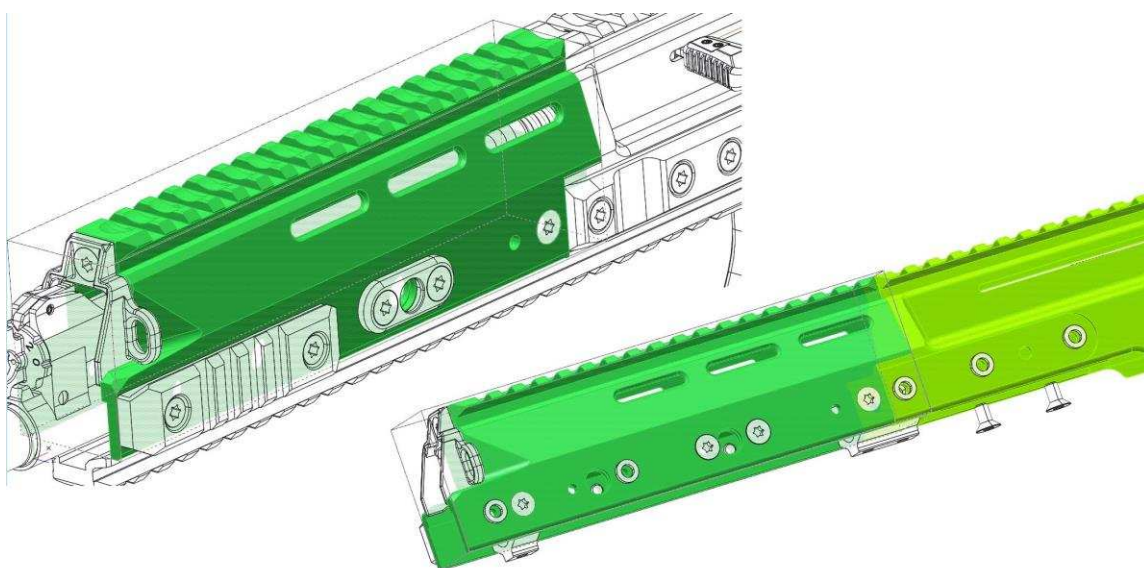
Jak lze vyčíst z předešlé kapitoly, předpažbí není příliš složitý díl. Musí ale splňovat několik zásadních kritérií:

**Funkčnost:** díl musí plnit všechny funkce, které jsou po něm požadovány.

- musí být funkční po předepsanou dobu životnosti,
- musí být jednoduše smontovatelný, nesmí vznikat kolize na protikusech,
- nesmí dojít k poškození (prasknutí) dílu při zatěžovacích zkouškách (pádové zkoušky, mechanické namáhání, atd.),
- díl musí vyhovět v testech na ořezivzdornost, korozivzdornost,
- důležitá je také odrazivost světla od povrchu zbraně. Odrazivost musí být co nejmenší, aby nebyl střelec zpozorován a také, aby mu odražené světlo nepřekáželo v pohledu,
- uživatelská spolehlivost je důležitá při návrhu předpažbí. Předpažbí musí být navrženo tak, aby tok plynů proudící při střelbě ze zbraně, nešlehal střelci do obličejů. Předpažbí tedy musí mít správně navržené otvory pro odvod plynů.

**Vizuální stránka:**

- předpažbí musí navazovat na pouzdro obdobného tvaru a musí také lícovat s jeho upínací částí pro příslušenství (viz obr. 3.1),
- je důležité si uvědomit, že funkce je úzce spojená se vzhledem, a že součástka typu předpažbí docílí svých konstrukčních rozměrů až při smontování do sestavy.



Obr. 3.1 Napojení předpažbí v sestavě zbraně [1, 2].

### 3.2 Polotovar pro současnou výrobu

V současné době je jako polotovar použit hranol o rozměrech 75 x 42 mm s délkou 228 mm. Použitý materiál je hliníková slitina ze skupiny 7000, přesněji EN AW 7075 T6 (AlZn5,5MgCu), dodávána firmou Constellium Extrusions Děčín s. r. o. Materiál je dodáván v délkách 3000 mm.

Technické slitiny Al-Zn obvykle obsahují 5 až 7 % Zn a maximálně do 1 % Mg. Jsou samovolně vytvrditelné za studena. V intervalu 20 až 30 dní dosahují pevnosti v tahu okolo 250 MPa, s tvrdostí okolo 70 HB a tažností nad 5 %. Tyto slitiny jsou dobře obrobitelné, po obrobení vykazují výbornou kvalitu povrchu. Mají špatné slévárenské vlastnosti. Tendenci k praskání za tepla a horší těsnost. Za použití správných legur a vytvrzování je možné dosáhnout pevností až okolo 500 MPa [12]. Tab. 3.1 definuje zkratky pro tepelné zpracování.

Tab. 3.1 Část zkratk pro tepelné zpracování [12].

T4	Rozpouštěcí žíhání a následné vytvrzení za studena
T5	Umělé stárnutí při nízkých teplotách, bez homogenizačního žíhání
T6	Vytvrzování spojené z homogenizačního žíhání, rychlého ochlazení a precipitačního vytvrzení za tepla. Používá se pro zvýšení pevnosti. Teplota vytvrzování 145 až 160 °C/3 až 5 hod.
T7	Podobné jako T6, ale s přestárnutím. Stabilizují se tak rozměry a mechanické vlastnosti. Teplota zpracování 190 až 225 °C/4 až 6 hod.

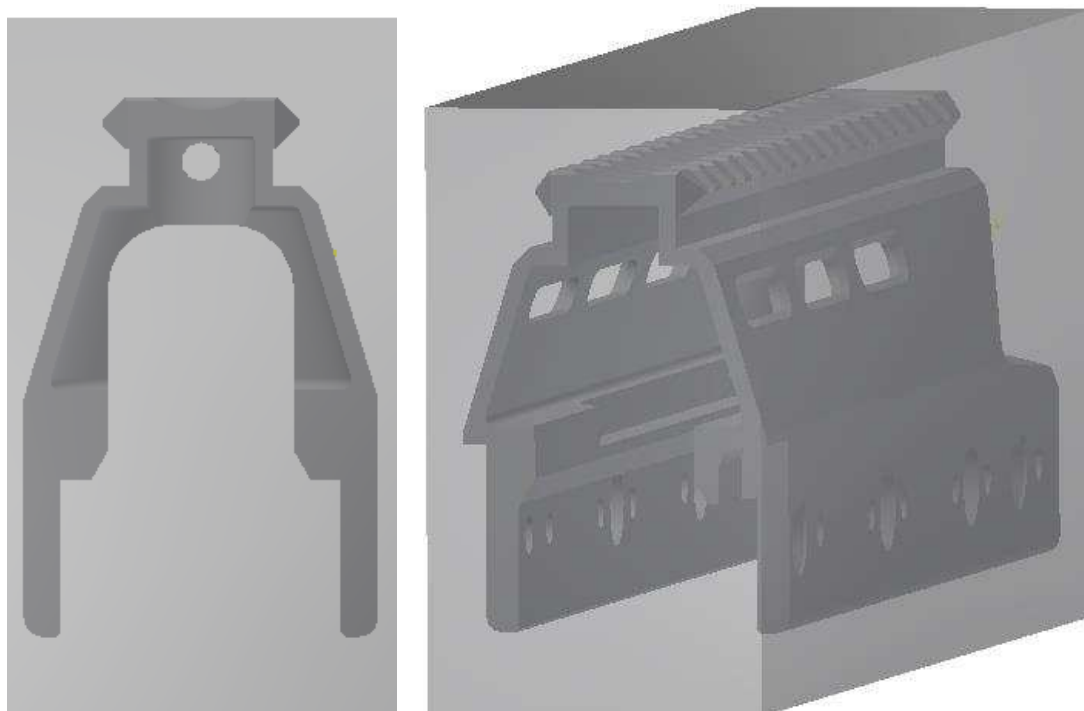
Materiál EN AW 7075 T6 je tepelně vytvrditelná slitina s vysokou pevností. AlZnMg jsou slitiny náchylné ke korozi z vnitřního prnutí. Přidáním mědi se koroze snižuje. Nevýhodou je náchylnost slitiny k vrubům, hlavně v ostrých rozích a při měnícím se silovém zatížení [13]. Tato slitina je používána v automobilovém a leteckém průmyslu. Mechanické a chemické vlastnosti hliníkové slitiny, jsou popsány v tab. 3.2 a tab. 3.3 [13, 14].

Tab. 3.2 Chemické složení slitiny EN AW 7075 T6 [13].

Značení [hm. %]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
ENAW 7075 T6	≤0,40	≤0,50	1,20 až 2,00	≤0,30	2,10 až 2,90	0,18 až 0,28	5,10až 6,10	≤0,20

Tab. 3.3 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW 7075 T6 [14].

Značení	Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A5 [%]
EN AW 7075 T6	530	460	10



Obr. 3.2 znázornění pozice polotovaru vůči dílu [1].

### 3.3 CNC obráběcí centrum

Nyní obráběcí proces probíhá na obráběcím centru Heller H2000. Nespornou výhodou horizontálních center je fakt, že třísky z obráběcího procesu padají gravitací směrem dolů. Třísky tak nezůstávají zaklíněny např. v upínačích a zvyšuje se tak bezpečnost obráběcího procesu. Horizontální centra jsou velmi vhodná pro těžké obrábění s vysokými dynamickými silami. Díky těmto strojům se dosahuje optimálních výsledků obrábění, vyšší životnosti nástrojů a tím se zvyšuje hospodárnost procesu [15]. Jedná se o čtyřosý obráběcí stroj s horizontální pozicí vřetene. Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.4 [16].

Tab. 3.4 Parametry obráběcího centra Heller H2000 [16].

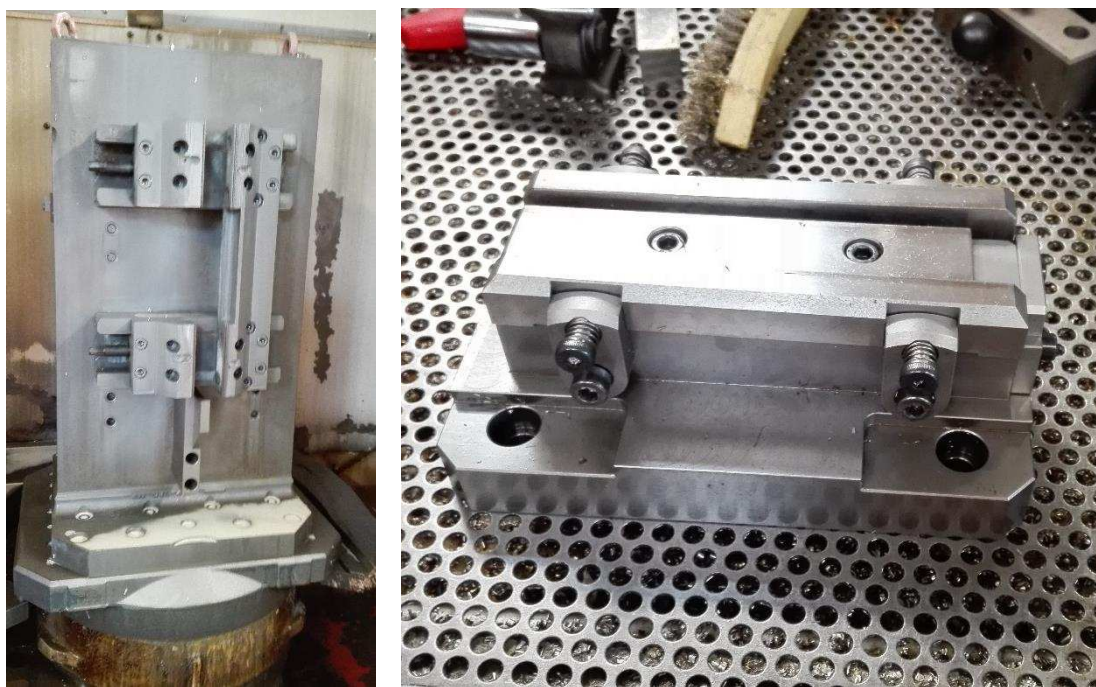
Pracovní prostor (X, Y, Z)	[mm]	630 x 630 x 630
Maximální hmotnost polotovaru	[kg]	800
Hmotnost stroje	[kg]	9 800
Velikost pracovního stolu	[mm]	400 x 500
Rychloposuv	[m.min <sup>-1</sup> ]	90
Eco Cutting	[kW],[Nm],[min <sup>-1</sup> ]	17, 81, 10 000
Power Cutting	[kW],[Nm],[min <sup>-1</sup> ]	38, 242, 10 000
Speed Cutting	[kW],[Nm],[min <sup>-1</sup> ]	40, 96, 16 000
High-Speed Cutting	[kW],[Nm],[min <sup>-1</sup> ]	25, 40, 24 000
Cena stroje	[EUR], ([Kč])	cca 400 000 (cca 10 000 000)



Obr. 3.3 Obráběcí horizontální centrum Heller H2000 [16].

### 3.4 Upínání součásti

Součástka je upnuta mechanicky v upínacích, které jsou připevněny na upínací věži. Upínací věž je navržena tak, aby proces probíhal plynule a nevznikaly při něm vibrace, které by mohly narušit kvalitu a rozměr obrobených ploch. Díky upínací věži se zvýší provozní doba obráběcích center a také se zrychlí proces obrábění. Stroj HELLER má v sobě zabudovány dva stoly [17]. Z toho vyplývá, že pokud je jeden stůl s věží v obráběcím cyklu, druhý stůl s věží je v překrytém čase seřizován. Ve věži jsou vyvrtány otvory pro upínače, což zabraňuje špatnému seřízení stroje při prvovýrobě a také zrychluje proces. Cyklus probíhá na dvě upnutí. V prvním upnutí se obrábí vnitřní tvary, v druhém vnější. Hotová součást je obrobena v cyklu 26,5 minut. Obr. 3.4 znázorňuje současné upínání dílu [1].



Obr. 3.4 Upínací věž pro Heller H2000 s upínací pro předpažbí (vlevo I. upnutí) [1].

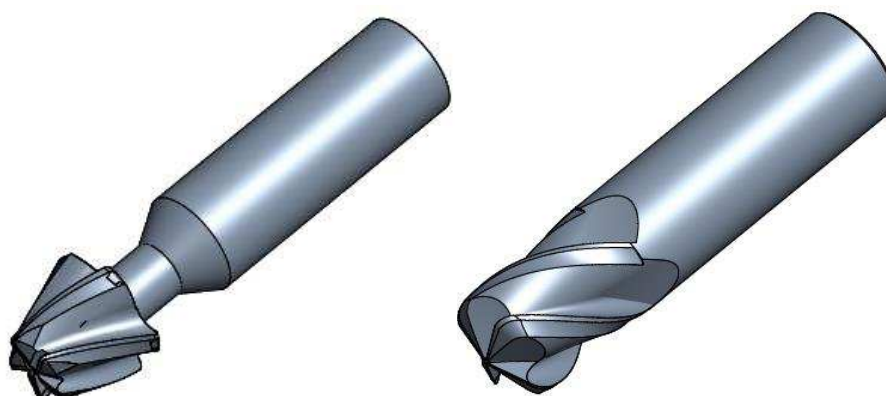
### 3.5 Nástroje vhodné pro hliník a základní použité nástroje

Jelikož je obrábění hliníkových slitin, hlavně za sucha, poměrně náročné, je nutné zvolit ty správné nástrojové materiály. Hliník má sice nízké mechanické vlastnosti, ale také má vysokou tepelnou vodivost, což zapříčiňuje značnou adhezi obráběného materiálu na břit nástroje. S tepelnou vodivostí úzce souvisí i fakt, že velké množství tepla odchází z místa řezu do obrobku, což způsobuje jeho deformaci. Problém přilnutí hliníku na řezný nástroj se týká např. slinutých karbidů. Adheze roste se zvyšující se zrnitostí karbidu wolframu, obsahu kobaltu a drsností povrchu nástroje [18].

Pro snížení adheze napomáhá povrchové úprava nástrojů diamantovým mikroleštěním, případně povlaky s nízkým koeficientem tření ( $\text{TiB}_2$ ,  $\text{MoS}_2$ , atd.) [18]. Dalším možným materiálem je polykrystalický diamant (PKD). PKD nelze použít pro obrábění ocelí nebo litin, protože má nízkou teplotní stálost (při  $800\text{ }^\circ\text{C}$   $\rightarrow$  přeměna na grafit). PKD lze tedy hlavně použít pro obrábění neželezných materiálů. Při obráběcím procesu, mohou dosahovat řezné rychlosti hodnot  $5\ 000\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Nutností tedy je, používat stroje s vysokými výkony na vřetenu a vysokou tuhostí [19]. V tab. 3.5 je vypsáno několik základních nástrojů, použitých pro obrobení součásti předpažbí.

Tab. 3.5 Použité nástroje obráběného dílu předpažbí.

Typ frézy	Značení	Materiál	Řezné rychlosti
Fréza tvarová monolitní	5z-26-R1-34°R1	SK AF K40UF	$n = 2500\ \text{min}^{-1}$ , $v_f = 600\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
Fréza tvarová monolitní	4z-20-150°R3	SK AF K40UF	$n = 2500\ \text{min}^{-1}$ $v_f = 600\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
Fréza tvarová		PKD	$n = 9900\ \text{min}^{-1}$ $v_f = 7000\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$



Obr. 3.5 3D pohled základních tvarových fréz [1].

## 4 NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU

Jelikož je současné obrábění předpažbí voleno z plného materiálu, zdá se, že jedna z citelných úspor bude navrhnout profilovaný polotovár. Ušetří se tak na objemu materiálu, který odchází z procesu formou třísek.

Také se nabízí možnost snížení ceny dílu na základě úpravy obráběcího procesu, respektive změnou obráběcího stroje. Je potřeba zvážit, zda by nebylo možné přesunout výrobu dílu na tříosý obráběcí stroj, s nižší pořizovací cenou. A uvolnit tak kapacity na obrábění složitějších dílů.

Je důležité si uvědomit, že při návrhu nové technologie výroby vstupního polotovaru pro obrábění předpažbí, bude nutné vytvořit i nový způsob upínání. Nelze využít současného upínacího způsobu, který je navrhnout jen na upínání z plného materiálu. Výhodou je, že pro obráběcí proces lze využít stávající obráběcí nástroje. Ušetří se tak nemalé náklady, které by musely být použity na výrobu nových tvarových fréz.

### 4.1 Metody pro výrobu profilovaného polotovaru

Existuje nepřehledné množství metod, kterými se dá polotovár vyrobit. Ať už jedná o tváření (tažení, kování, válcování, lisování), odlévání, práškovou metalurgii atd. [20]. Ne všechny varianty mohou být ale vhodné, pokud se nám jedná o úsporu. Důležitá je hlavně počáteční nákladovost a návratnost. S tím je také úzce spojené maximální roční výrobní množství daného dílu. Pro účely zefektivnění výroby, jsme se rozhodli pracovat s dvěma technologiemi, popsány níže v kapitolách.

#### 4.1.1 Metoda lití Semisolid

Jednou z metod pro výrobu tvarového polotovaru z hliníku, je metoda lití materiálu v polotuhém stavu. Jedná se o metodu tlakového lití, hojně využívanou v automobilovém průmyslu. Trendem dnešní doby je neustálé snižování hmotnosti součástí, spojenou se zvyšováním jejich užitných a mechanických vlastností. Jednou z variant je zavádění nových odolných slitin s vysokou pevností a tažností. Bohužel tyto slitiny jsou dražší, a také náročnější na výrobu [21].

Proto se automobilky čím dál častěji přiklání k zavádění metody tlakového lití slitin v polotuhém stavu. Takzvané metody rheocasting a thixocasting jsou metody odlišující se ve způsobu přípravy polotuhého materiálu. Metoda thixocasting ohřívá materiál, který již má vlastní globulární strukturu, zatímco rheocasting pracuje se zchlazeným tekutým kovem [21].

První jmenovaná metoda (thixocasting) je dnes méně používanou, neboť má vyšší nákladovost výroby spojenou se speciálními materiály a náročností rovnoměrného prohřátí materiálu [21].

O metodě rheocasting lze říci, že je díky svým neomezeným možnostem přetavování materiálu výhodnější. Touto metodou můžeme také lít slitiny určené k tváření. Při plnění formy nedochází k víření a rozstříku kovu, čímž je proces plnění plynulejší. Odlitek je také méně pórovitý, díky použití dotlaku. Lze jej tepelně zpracovávat pro zvýšení meze kluzu a meze pevnosti. Odlitky vyráběné touto metodou dosahují tažnosti více jak 10 % [21].

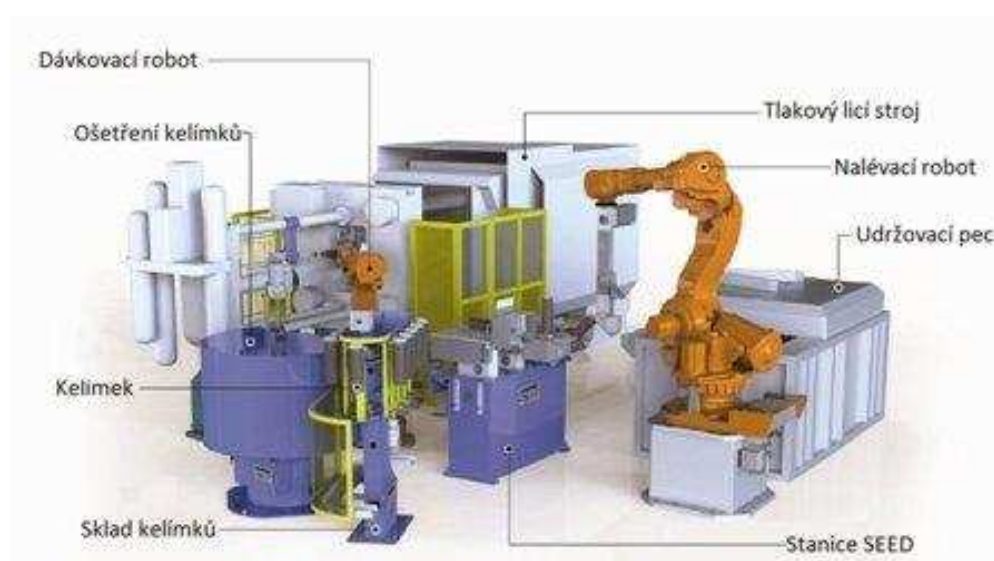
Pokud bychom chtěli získat polotovár touto metodou, musel by být konstrukčně uzpůsoben. Bylo by nutné:

- rohy a kouty zaoblit,
- přidat úkosy na stěnách ve směru vyjímání z formy, min. 1°,
- definovat dělicí rovinu,
- zvolit správný materiál.

Tab. 4.1 definuje počáteční nacenění výroby prototypu součástky firmou Kovolis Hedvikov a.s. metodou rheocasting [22].

Tab. 4.1 Základní cena výroby prototypu polotovaru pro obdobnou součástku [22].

Cena prototypové formy	1 200 000 Kč
Informativní cena kusu prototypu	2 000 Kč/ks
Cena formy (životnost cca 180 000 ks)	1 800 000 Kč
Řez vč. ořezu vtoku	720 000 Kč
Přípravky pro liti	100 000 Kč
Cena kusu v sérii	250 až 350 Kč/ks



Obr. 4.1 Schéma hnízda pro tlakové liti [21].

#### 4.1.2 Metoda extrudovaného profilu

Jedná se o metodu výroby extrudované (vytlačené) polotovaru z hliníkové slitiny. Materiál je tlačěn beranem skrz matrici o daných rozměrech za účelem dosažení požadovaného tvaru polotovaru. Vstupní materiál může být tlačěn za tepla nebo za studena. Proces může probíhat přímým (pohyb materiálu přes matrici zajišťuje beran) nebo nepřímým způsobem (pevnou částí je beran, pohybuje se matrice) [23]. Proces probíhá v několika fázích [23]:

- volba vstupního materiálu,
- ohřev vstupního materiálu,
- založení do lisu,
- tlačení beranem přes matrici,
- rovnání,
- tepelné zpracování.

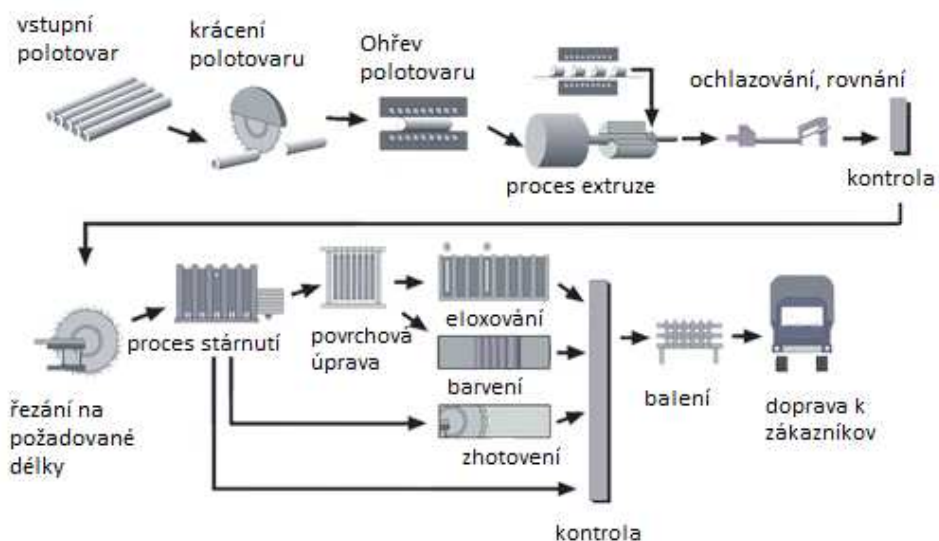
Volba vstupního materiálu je důležitá pro plynulý chod extruze profilu. Materiál může být ve formě válce nebo prstence. Většinou se jedná o odlitek, který je řezán na rozměry dané samotným lisem [24]. Důležitou částí je volba průměru vstupujícího materiálu. Je potřeba nalézt nejmenší možný průměr (opsanou kružnici) materiálu, který opíše definovaný tvar profilu. Je také nutné se vyhnout ostrým rohům, u hliníku se jedná o minimální poloměr zaoblení 0,4 mm [23].

Ohřev vstupního materiálu se liší v závislosti na extrudované slitině. U hliníkových slitin se pohybujeme od 350 °C do 500 °C [23].

Proces začíná, jakmile začne beran tlačit vstupní materiál přes matrici. Hydraulické lisy jsou schopny vyvinout síly od 100 do 15 000 tun [25]. Rychlost vytlačování se řídí většinou mechanickými vlastnostmi materiálu, čím vyšší mech. vlastnosti, tím pomalejší je proces vytlačování. Důležitým faktorem procesu je tzv. extrudovaný poměr. Jedná se o poměr plochy vstupního materiálu, ku ploše výstupního tvaru. Tento poměr nesmí být ani velký, ani příliš malý, neboť jsou tímto poměrem ovlivňovány mechanické vlastnosti výstupní součásti. Ideální extrudované poměry jsou v rozmezí 10:1 až 35:1 u tvrdých slitin a 10:1 až 100:1 u měkkých slitin [24].

Po ochlazení výtlačku, ať už řízeným procesem nebo ochlazením na vzduchu, bývá do procesu zařazeno rovnání.

Některé hliníkové slitiny dosahují svých maximálních mechanických vlastností tzv. přírodním stárnutím, které probíhá za pokojové teploty. Ostatní slitiny jsou dále zpracovány řízeným ohřevem, pro zvýšení pevnosti [25]. Schéma procesu výroby a vzhled matrice je zobrazen na obr. 4.2 a obr. 4.3 [23, 26].



Obr. 4.2 Schéma procesu výroby extrudovaného profilu [26].



Obr. 4.3 Příklad dvojdišné hliníkové matrice [23].

V tab. 4.2 se nachází základní cenové údaje, pro výrobu prototypové formy, získané od firmy Constellium Extrusions Děčín s.r.o.

Tab. 4.2 Základní nacenění extrudovaného profilu a informace od výrobce.

Cena matrice	907 EUR => 22 675 Kč (1 EUR=25 Kč)
Cena materiálu	85,46 Kč/kg => 2,388 x 83,46 = 204,1 Kč/m
Informativní cena prototypu	41 Kč
Minimální roční odběrové množství	cca 5 tun
Doba dodání prvních vzorků	6 až 8 týdnů

### 4.1.3 Porovnání obou metod

Obě z výše uvedených metod mají své výhody i nevýhody, tab. 4.3 srovnává obě varianty, pro lepší přehlednost.

Tab. 4.3 porovnání obou variant výroby polotovaru.

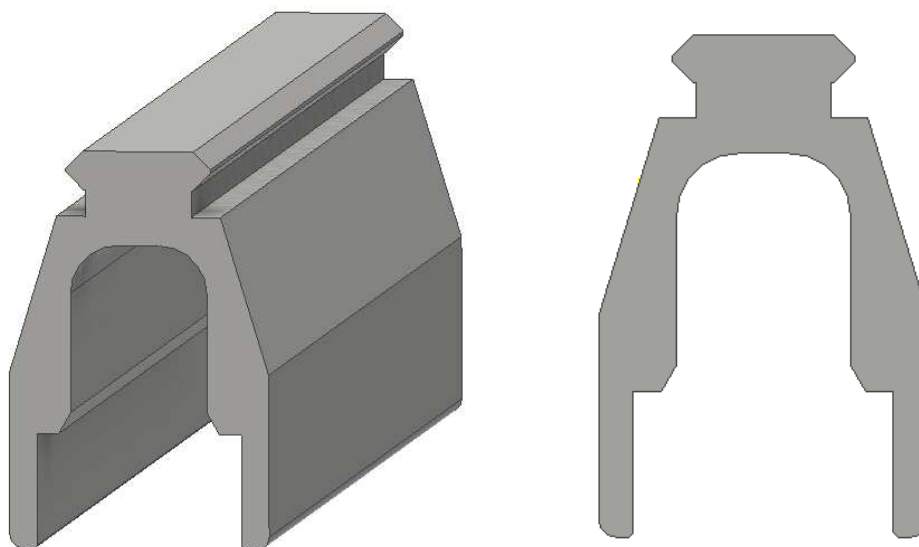
Metoda Rheocasting	Metoda extrudovaného profilu
<p><b>Výhody</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- možnost vytvoření polotovaru bez další nutnosti obrábění (neověřeno, nutno odzkoušet na prototypové formě),</li> <li>- životnost formy (cca 180 000 ks).</li> </ul>	<p><b>Výhody</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- materiál je dodáván v různých délkách a na příslušné rozměry je řezán až při plánování výroby daného kusu,</li> <li>- cena matrice (viz tab. 10),</li> <li>- cena za jeden kus (viz tab. 10),</li> <li>- kvalita vnější vytlačené plochy (dovoluje vnější plochy na čisto),</li> <li>- rychlá výroba prvních vzorků (6-8 týdnů).</li> </ul>
<p><b>Nevýhody</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- cena prototypové a sériové formy a další náklady při úpravě hotové součásti,</li> <li>- při více délkových variantách dílu je nutné vytvořit novou formu,</li> <li>- cena za kus (při vyšší sériovosti klesá),</li> <li>- nutný konstrukční zásah do tvaru předpažbí (vyjímání z formy),</li> <li>- poréznost dílů (nutno odzkoušet na prototypové formě),</li> <li>- nutno odzkoušet vyrobiteľnost.</li> </ul>	<p><b>Nevýhody</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- je potřebná velká vytlačovací síla při začátku procesu,</li> <li>- rychlejší opotřebení matrice,</li> <li>- kvalita povrchu je ovlivněna vstupním materiálem (jeho mechanickými a chemickými vlastnostmi).</li> </ul>

Pokud bychom nechtěli obrábět vnější plochy, to znamená mít vnější plochy na čisto již po extruzi případně po odlití, museli by být definovány přejímací podmínky, které by popisovaly další zacházení s materiálem.

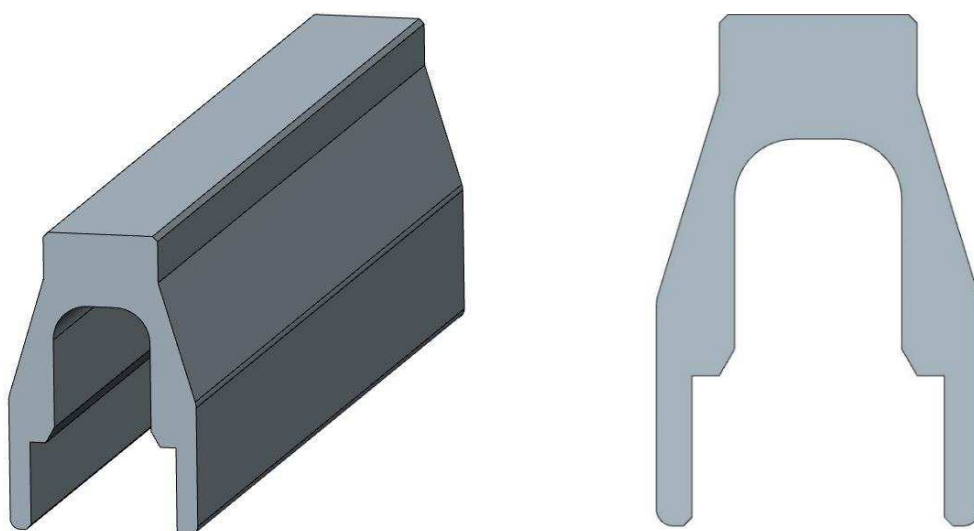
## 4.2 Volba technologie, zhotovení polotovaru pro obrábění

Z výše uvedených technologií a z porovnání metod v tab. 4.3 bylo rozhodnuto, vybrat technologii výroby extrudovaného polotovaru. Hlavním faktorem je nízká počáteční nákladovost pro výrobu prototypové matrice a také rychlá výroba prvních vzorků (viz tab. 4.2 na předchozím listu).

Díky dlouhodobé spolupráci CZUB a.s., při dodávání materiálu EN AW 7075 T6, s firmou Constellium Extrusions Děčín s.r.o., jsme mohli rychle vytvořit dva základní tvary matrice pro polotovar předpažbí (viz obr. 4.4 a obr. 4.5).

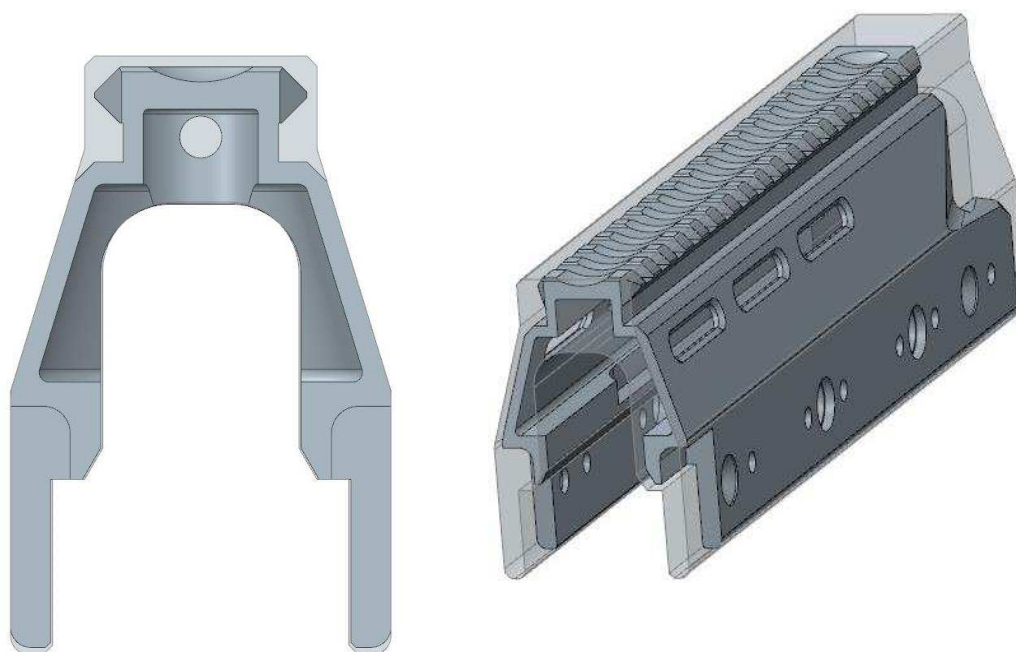


Obr. 4.4 Varianta I. polotovar pro předpažbí s obdobným tvarem matrice.



Obr. 4.5 Varianta II. polotovar pro předpažbí s obdobným tvarem matrice.





Obr. 4.7 Sestava polotovaru s předpažbím.

### 4.3 Volba materiálu

Volba materiálu pro následný proces extruze, je velice důležitá. Je důležité si uvědomit, co od materiálu očekáváme. Jelikož se nám nejedná pouze o vzhled (kvalita obrobené plochy, drsnost plochy po extruzi), ale hlavně o mechanické vlastnosti, je nezbytné zvolit správný druh hliníkové slitiny.

V tomto případě se nelze spolehnout na již dobře známou slitinu z třídy 7000, tedy EN AW 7075 T6. Jelikož slitina vykazuje vysoké mechanické vlastnosti, byl by celý proces extruze velmi náročný. Pro srovnání snadno extrudované slitiny, dosahují rychlostí extruze i přes 300 m/min. Pokud bychom extrudovali mechanicky složitější slitiny (např. EN AW 7075 T6), byla by rychlost extruze okolo 0,6 m/min [27]. Tímto procesem by mohla být ohrožena i výsledná kvalita povrchu (zvýšené tření na stěnách).

Tab. 4.4 znázorňuje procentuální poměr extruze vybraných typů slitin se slitinou EN AW 6063.

Tab. 4.4 Porovnání hliníkových slitin se slitinou 6063 [27].

Slitiny	Schopnost extruze [% poměr se slitinou 6063]
1350	160
1060	135
3003	120
6063	100
6061	60
2011	35
5086	25
7075	9
7178	8

Jak lze vyčíst z tabulky, slitina EN AW 6063 je jakýmsi etalonem procesu vytlačování. Obecně všechny slitiny z řad 6000 jsou hojně používány v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, při výrobě rámu jízdních kol atd. [27].

Pro náš případ bylo nutné najít alternativu k slitině EN AW 7075 T6. Na základě zkoušek materiálu (viz kap. 4.3.1) a doporučení byla zvolena slitina EN AW 6061 T6 (AlMg1SiCu). Jedná se o slitinu s vysokou pevností, s odolností vůči korozi a vhodností ke svařování. Vykazuje také dobré vlastnosti pro eloxování [28]. V tab. 4.5 a tab. 4.6 jsou uvedeny chemické a mechanické vlastnosti této slitiny [29, 35].

Tab. 4.5 Chemické vlastnosti slitiny EN AW 6061 T6 [35].

Značení [hm. %]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
EN AW 6061 T6	0,40 až 0,80	Max. 0,70	0,15 až 0,40	Max 0,15	0,80 až 1,20	0,04 až 0,35	Max. 0,25	Max. 0,15

Tab. 4.6 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW 6061 T6 [29].

Značení	Rm [MPa]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	A5 [%]
EN AW 6061 T6	260	240	9

Pro výše uvedený materiál, bylo vytvořeno několik ověřovacích zkoušek, aby byla zjištěna správnost výběru. V rámci této kontroly byly na vybraném materiálu vytvořeny pevnostní zkoušky a výpočty (viz kap. 4.3.1), a také byl tento výběr materiálu srovnán s konkurencí metodou benchmarkingu.

**Benchmarking** je metoda nebo postup porovnání produktu, v našem případě materiálu, s produkty, které představují na trhu to nejlepší. Na základě této metody si společnosti dlouhodobě zjišťují informace o konkurenci. Díky tomu pak zvyšují své znalosti. Nejedná se o kopírování, nýbrž o analýzu, která je nutná pro posun vpřed. Firmy si tuto analýzu částečně převezmou a upraví k obrazu svému. Tato metoda má své zastoupení ve všech odvětvích průmyslu [30]. Mezi základní prvky této analýzy se řadí několik nutných kroků (poznatků) [30]:

- znát důkladně vlastní produkt, znát jeho pozici na trhu, odhalit jeho slabiny,
- srovnat produkt s konkurencí, poznat jejich slabiny a kvality,
- definovat důvody, proč je konkurence lepší, zjistit jejich metody výroby, použité materiály a implementovat je do vlastní společnosti,
- získat převahu a nové zákazníky.

Benchmarking se dá aplikovat nejen na konkurenci. Existují totiž dva typy benchmarkingu (interní, externí). Interní benchmarking je používán u velkých firem, které mají několik útvarů. Jedná se o zjištění důvodů, proč daný útvar pracuje lépe. Naopak externí benchmarking, jak již bylo výše řečeno, se zabývá znalostmi jiných firem a odhaluje jejich přednosti a slabiny [30].

Na základě této metody, byl metalurgií vyhodnocen konkurenční díl. Bylo zjištěno chemické složení a definována hliníková slitina. V tab. 4.7 jsou vypsány všechny důležité parametry po analýze spektrometrem.

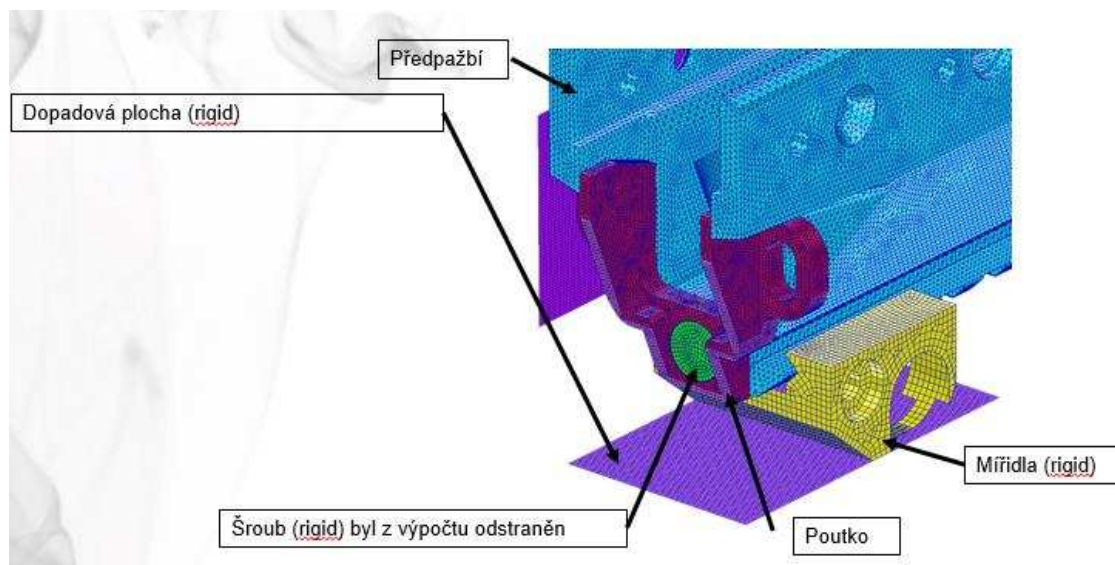
Tab. 4.7 Zjištěné hodnoty konkurenčního dílu [1].

Prvky	Mn	Si	Cr	Mg	Cu	Fe	Zn	Ti
Vzorek [hm. %]	0,03	0,43	0,20	0,87	0,23	0,17	0,02	0,01
<b>Vyjádření:</b> Chemické složení odpovídá Al slitině EN AW 6061								

Chemické složení bylo zjištěno ručním spektrometrem NITON XL3T GOLDD, metodou XRF (rentgenfluorescenční) spektrometrie.

### 4.3.1 Simulace pádové zkoušky, porovnání materiálů

Na základě výše uvedeného výběru materiálu, byla výpočtovým střediskem České zbrojovky, a.s., vytvořena simulace (FEM analýza) pádové zkoušky pro součást předpažbí. Simulován byl pád z výšky 1,5m při dopadové rychlosti 5,4 m. s<sup>-1</sup> na mířidla. Důvodem simulace byla kontrola na prasknutí v místě poloměru R7 (viz obr. 4.6). Pozice pádu zbraně znázorňuje obr. 4.8.



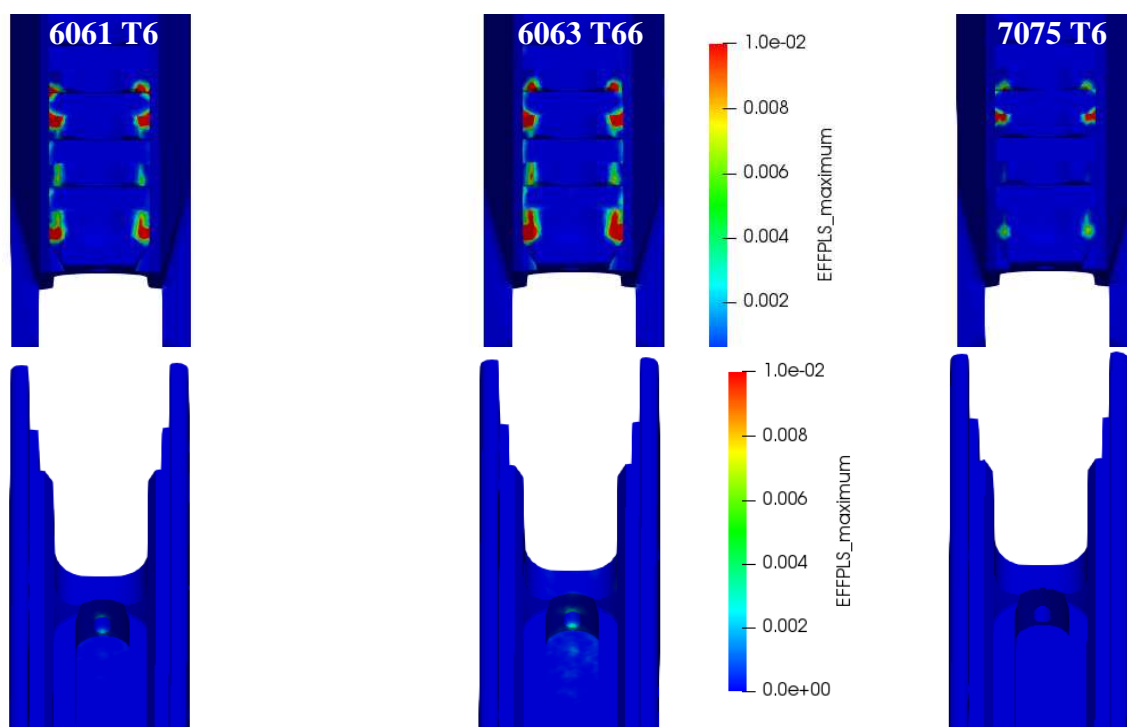
Obr. 4.8 Pozice zbraně při simulačním pádu.

Zbytek zbraně, který není na snímku, byl uvažován jako hmotný bod. Sestava byla připojena přes dokonale tuhé elementy, v místě šroubů pro předpažbí. Vlastnosti materiálů EN AW 6061 T6, EN AW 7075 T6 a EN AW 6063 T66 byly voleny dle dostupných materiálových listů (viz tab. 4.8).

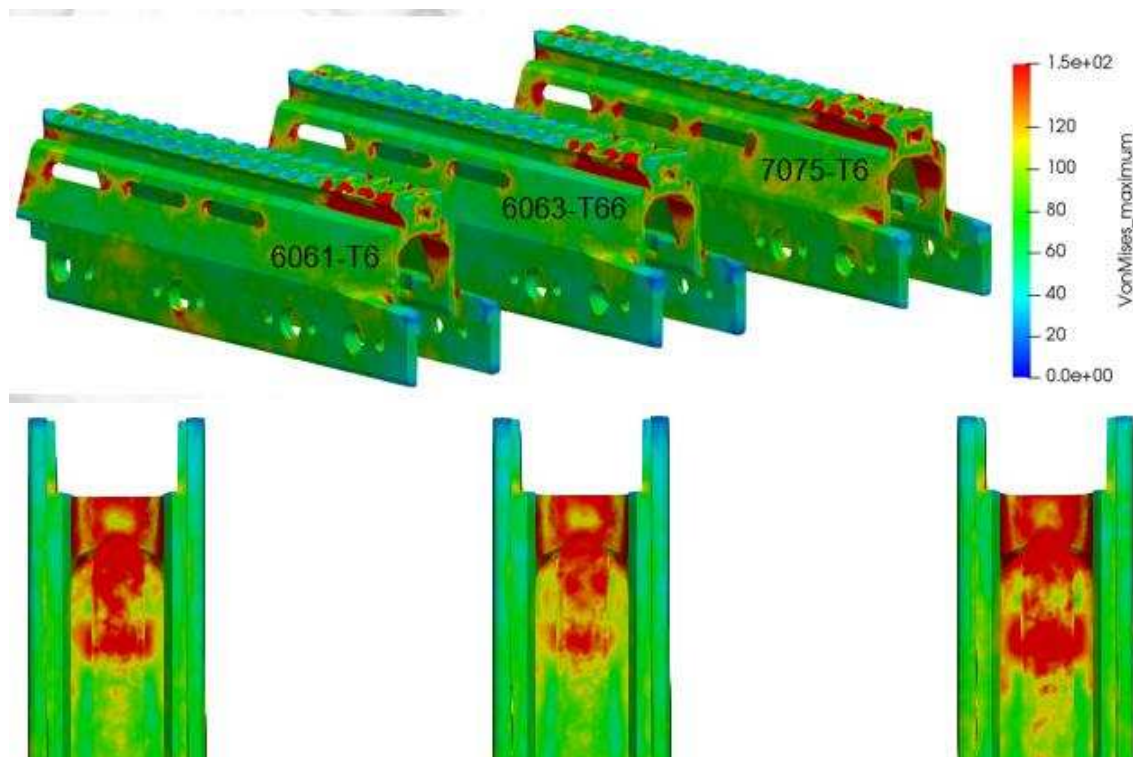
Tab. 4.8 Uvažované vlastnosti materiálu

Označení materiálu	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
EN AW 7075 T6	240	260	10
EN AW 6061 T6	460	540	8
EN AW 6061 T66	180	220	8

Na základě FEM analýzy vzešly výsledky maximální ekvivalentní plastické deformace dílu při simulačním pádu (viz obr. 4.9 a obr. 4.10).



Obr. 4.9 Maximální ekvivalentní plastická deformace dílu předpažbí.



Obr. 4.10 Maximální ekvivalentní napětí von Mises.

Z výše uvedených výsledků FEM analýzy je zřejmé, že materiály 6061 T6 a 6063 T66 mají vyšší plastické deformace v místech, kde jsou uchycena mířidla, než u materiálu 7075 T6. Důležité ale je, že hodnoty těchto deformací u žádného z materiálů nejsou překročeny [2].

Jelikož byly výsledky založeny na materiálových hodnotách dostupných z materiálových listů, nelze s jistotou říci, zda materiál 6061 T6 vydrží reálné pádové zkoušky. Nicméně se současných dat lze říci, že by nemělo u materiálu 6061 T6 dojít k prasknutí a materiál by měl být vhodný pro díl předpažbí [2].

Dalším důležitým faktem je to, že materiál EN AW 6061 T6 vykazuje třikrát vyšší rázovou houževnatost, než materiál EN AW 7075 T6 (viz tab. 4.9) [31].

Tab. 4.9 Rázová houževnatost testovaných materiálů [31].

<b>Materiál</b>	<b>Počet zkoušených vzorků</b>	<b>Průměrná absorbovaná energie [J]</b>	<b>Standartní odchylka [J]</b>	<b>Variační koeficient</b>
4340	3	4,441	0,100	0,023
2014-T6	3	2,894	0,105	0,036
2024-T351	3	1,868	0,088	0,047
2219-T87	3	1,316	0,069	0,052
6061-T6	3	3,110	0,300	0,097
7075-T6	3	1,172	0,058	0,050

K výše uvedeným hodnotám v tab. 4.8, je nutné přistupovat s jistou dávkou nadhledu, neboť testy byly provedeny pouze na třech vzorcích od každého materiálu. Proto jsou také v tabulce definovány další dva sloupce (standartní odchylka a variační koeficient), které umožní lepší srovnání průběhu měření absorbované energie [31].

### 4.3 CNC obráběcí centrum

Jak již bylo zmíněno v kapitole číslo 4, snížení nákladů na výrobu obráběného dílu předpažbí, je možno docílit i změnou obráběcího stroje. Tento zásah do procesu výroby, může uspořit počáteční náklady, tedy náklady na nákup stroje, ale také náklady na režie (režie na stroj, na výrobu, atd.).

S tímto základním faktem bylo navrženo změnit nejen polotovary, ale s ním i obráběcí stroj, z původního Heller H2000 (viz kap. 3.3), na Feeler VMP-30A. Jedná se o tříosý obráběcí stroj s přídatnou čtvrtou osou. Čtvrtá osa je řízena NC dělicím přístrojem s přímým pohonem (viz obr. 4.11). Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 4.10 [32].

Tab. 4.10 Parametry obráběcího centra Feeler VMP-30A [32].

Pracovní prostor (X, Y, Z)	[mm]	760 x 420 x 510
Maximální hmotnost polotovaru	[kg]	300
Maximální hmotnost nástroje	[kg]	7
Hmotnost stroje	[kg]	3 300
Velikost pracovního stolu	[mm]	890 x 420
Rychloposuv	[m.min <sup>-1</sup> ]	36
Maximální výkon vřetene	[kW]; [min <sup>-1</sup> ]	7,5; 10 000
Počet nástrojů	[ks]	20
Cena stroje	[EUR], ([Kč])	cca 130 000 (cca 3 250 000)



Obr. 4.11 Stroj Feeler VMP-30A [32].

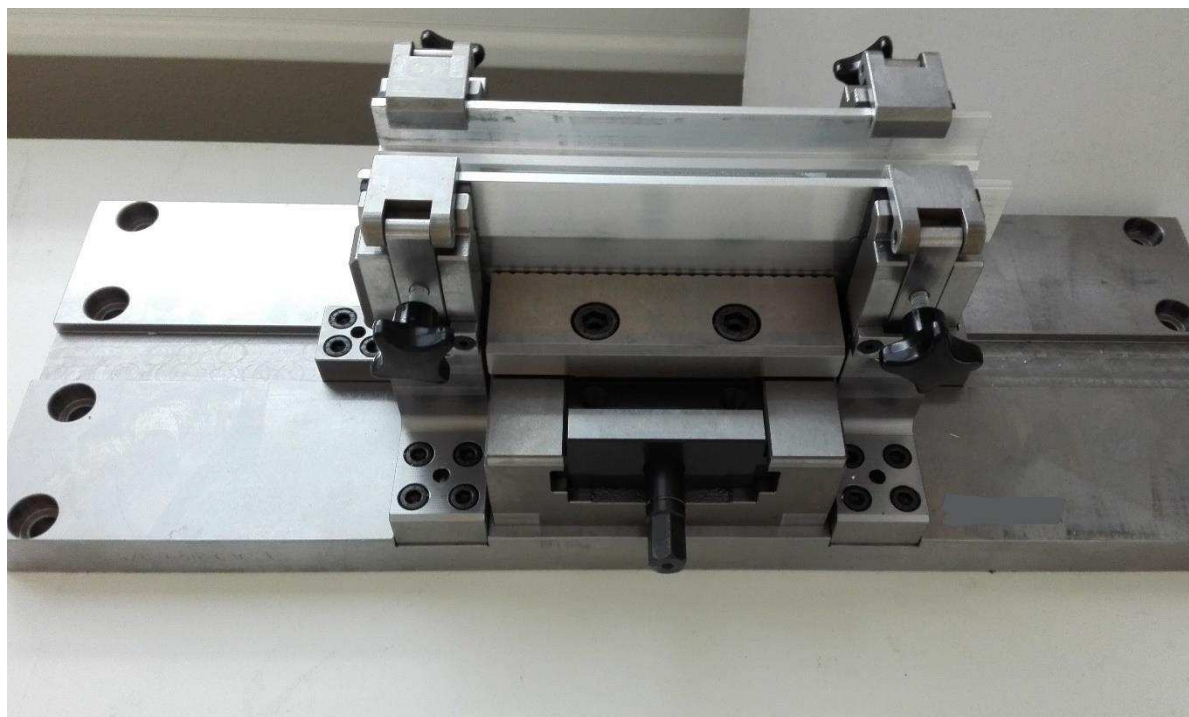
#### 4.4 Upínání součásti

Jak již bylo uvedeno, změnou tvaru výchozího polotovaru, bylo nutné změnit i současné upínání součásti. Jelikož se u polotovaru zatím jedná o prototyp, taktéž se přistupovalo i k návrhu nových upínačů. Do budoucna, při sériové výrobě budou upínače změněny.

Součást předpažbí se bude obrábět na tři upnutí. V prvním upnutí budou obrobena vnitřní tvary, v druhém a třetím vnější tvary. Při návrhu bylo nutné vyřešit středění součásti, neboť nám hodně záleží na symetrii obou stran. Jelikož jsou tolerance definované firmou Constellium extrusion Děčín s.r.o. mimo tolerance definované na konstrukčním výkrese (viz obr. 4.6), musela být správně definována základna, od které budou rozměry vycházet. Jak je vidět na obr. 4.6 vlevo, dle současného konstrukčního výkresu vychází rozměry od spodní strany dílu. Z toho plyne, že k nám mohou být polotovary dodávány s tolerancí až +/- 1 mm, tím pádem není možné zaručit dorazy a kotování od spodní strany dílu.

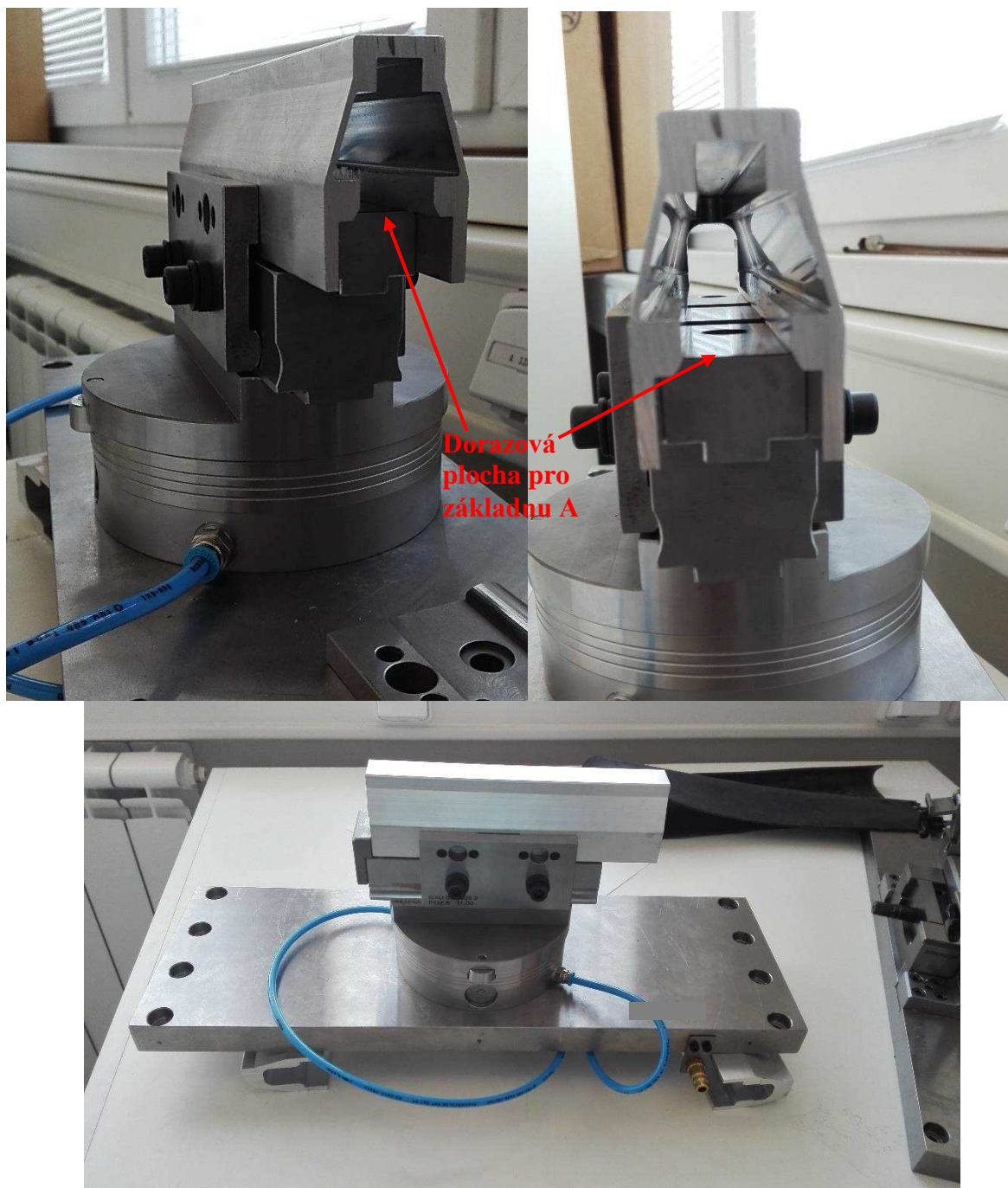
Tedy středění a dorážení součásti na upínače vychází od nově zvolené základny A a B. Takto definované základny nám zaručí vždy přesné vystředění součásti na upínači a také zajistí při montáži na zbraň lícování všech prvků.

První prototypový upínač byl navržen se středěním na samostředícím svěráku firmy SCHUNK GmbH & Co. KG. V tomto svěráku je součástka nejdříve vystředěna a následně přitáhnuta na dorazy, které součástku, z důvodu stažení, roztáhnou do rozměru definovaného na konstrukčním výkrese.



Obr. 4.12 Prototypový upínač pro první upnutí.

Upínač pro druhé a třetí upnutí byl volen na základě definování základny A (viz obr. 4.6 vpravo). Funkci základny nám plní vložka, která je vyrobena na šířku vnitřního konstrukčního rozměru 30 mm. Díl je tedy roztahován na konstrukční rozměr zatlačením na vložku (viz obr. 4.13). Díky správně zvolené podstavě, modulu VERO-S od firmy SCHUNK GmbH & Co. KG jsem schopni obrábět na jednou upínači dvě upnutí. Funkce a princip upínání modulu VERO-S je popsán níže.



Obr. 4.13 Upínač pro druhé a třetí upnutí.

#### 4.4.1 Analýza deformace profilu při upínání

Na základě výkresu polotovaru, byla výpočetním střediskem České zbrojovky a.s. zhotovena analýza deformace profilu z materiálu EN AW 6061 T6 pro první upnutí. Zjišťovalo se dorovnání staženého dílu do rozměru 30,5 mm. Vypočtené hodnoty jsou silně závislé na materiálových parametrech, a proto je nutné brát výsledky s mírným nadhledem. Pro ověření deformace dílu, byly použity hodnoty z materiálových listů. Pro větší zpřesnění materiálových vlastností extrudovaného profilu, by pomohlo udělat na vzorcích destruktivní tahové zkoušky. Na základě těchto zkoušek a parametrů vycházejících z nich, by poté byly výpočty předefinovány.

##### Zadání pro analýzu deformace profilu předpažbí:

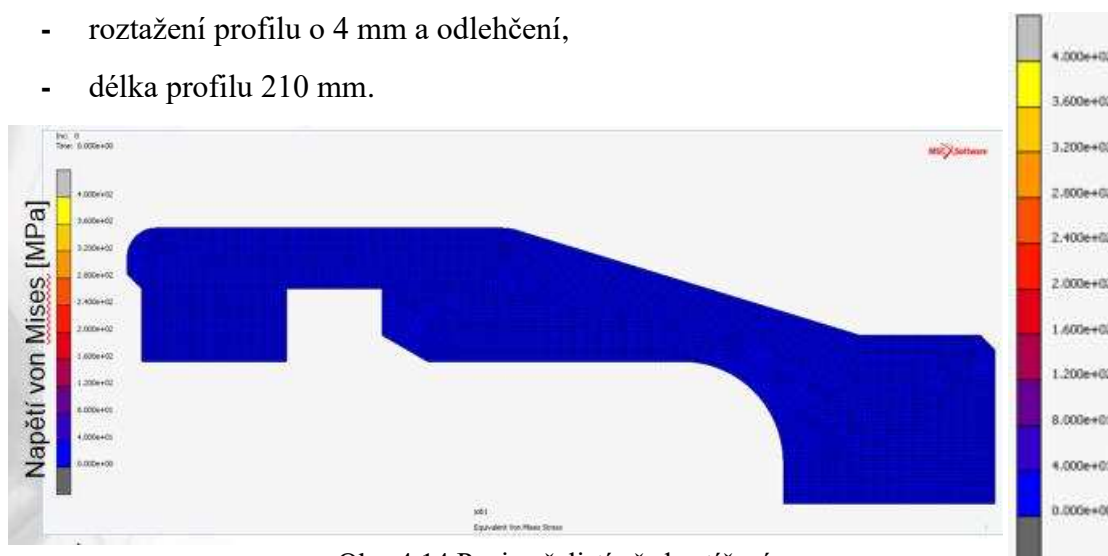
- určení síly potřebné pro narovnání profilu do rozměru 30,5 mm (elasticky, elasticko-plasticky),
- deformace profilu o 0,1 mm (elasticky, elasticko-plasticky).

##### Řešení analýzy [1]:

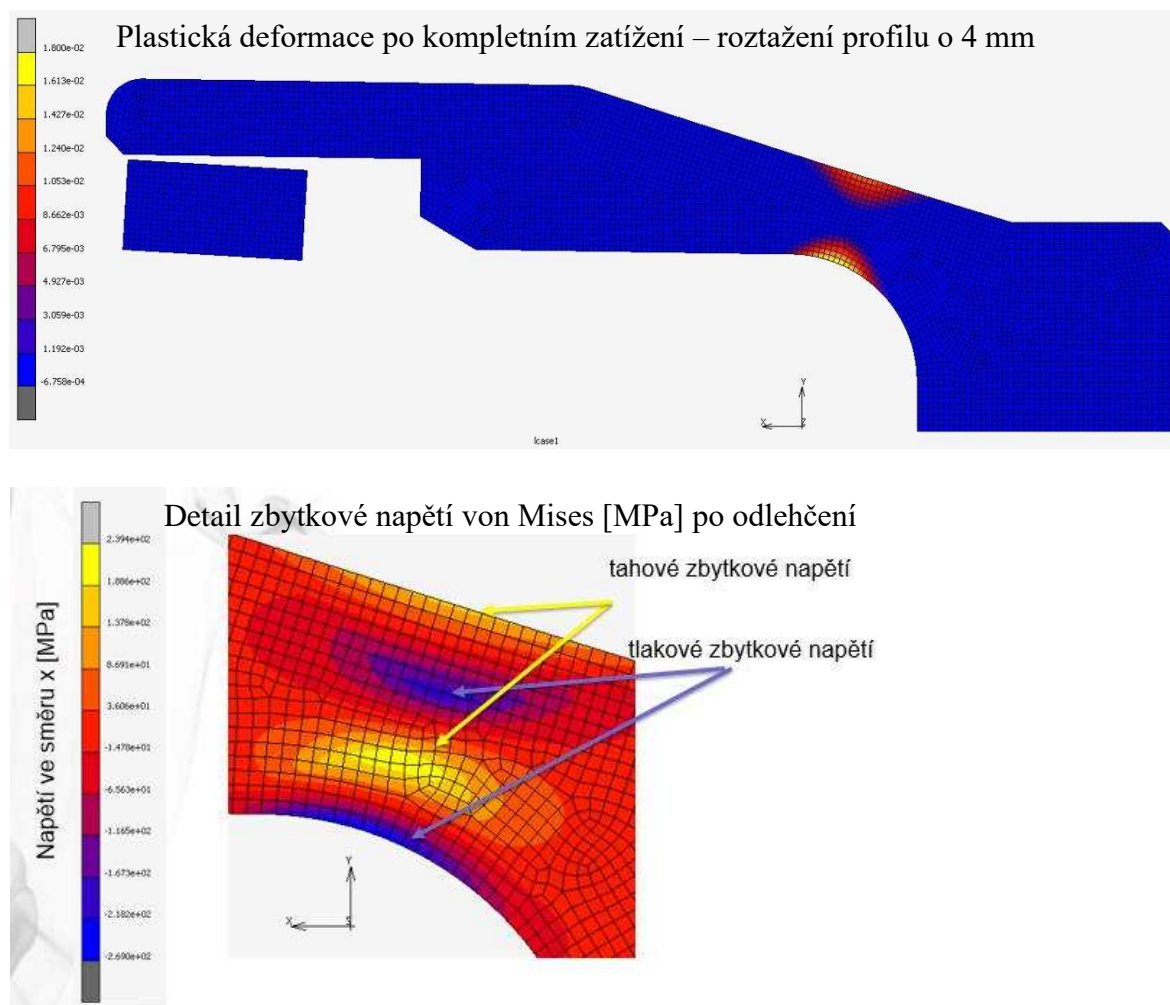
- pro zadané výpočty je nutná detailní znalost vývoje plasticity. Z tohoto důvodu byly využity parametry pro Johnson-Cookův model. Použité J-C parametry jsou  $A = 324,1$  MPa,  $B = 113,8$  MPa,  $N = 0,42$  [33]. Specifikují tužší materiál, ale jsou ideální pro konzervativní odhad potřebných sil (viz následná simulace tahové zkoušky s uvedenými parametry).

##### Popis výpočtu [1]:

- ocelová čelist o šířce 10 mm – pozice dle obrázku 4.14,
- předepsaný posuv ve směru „nahoru“, umožněna rotace čelisti v rovině,
- využita symetrie modelu – počítána pouze jedna polovina profilu,
- roztažení profilu o 4 mm a odlehčení,
- délka profilu 210 mm.



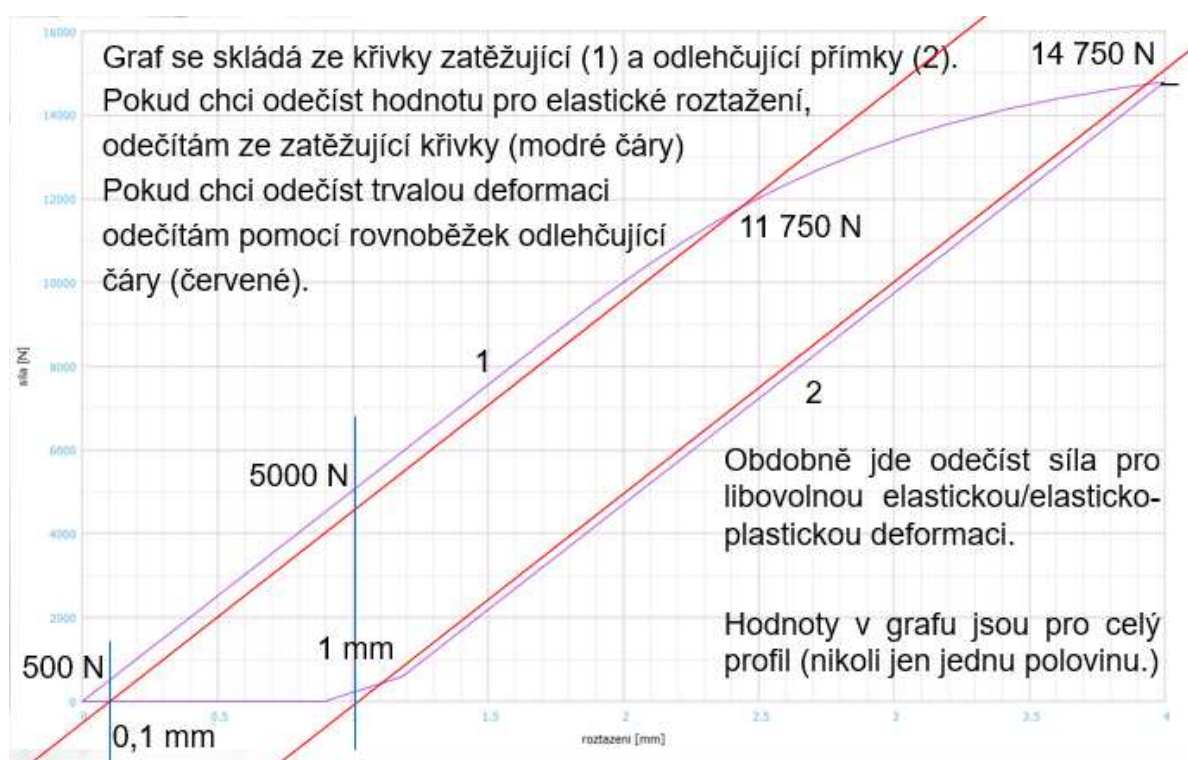
Obr. 4.14 Pozice čelistí před zatížením.



Obr. 4.15 Stav plastické deformace a zbytkového napětí von Mises po zatížení.

### Výsledky [1]:

- byl proveden elastoplastický výpočet polotovaru z duralu za účelem zjištění potřebných sil pro danou jak elastickou, tak plastickou deformaci,
- výsledky jsou prezentovány formou grafické závislosti, která umožní odečítat široké spektrum hodnot sil pro deformaci v rozsahu elasticky 4 mm a plasticky 1 mm (viz obr. 4.16) [1],
- pokud bude docházet k výraznějšímu obrábění v místech zbytkového pnutí, bude docházet k deformaci profilu.

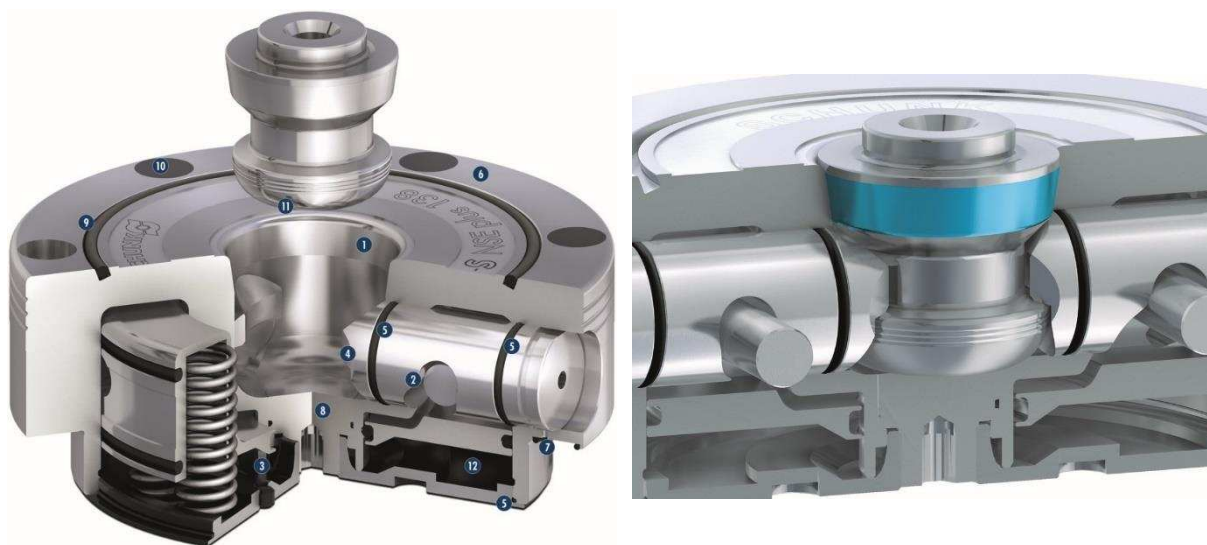


Obr. 4.16 Grafická závislost síly na deformaci [1].

#### 4.4.2 Upínací moduly firmy Schunk GmbH & Co. KG

Upínací moduly Vero-S jsou navrženy pro rychlou manipulaci s obrobkem. Princip upínání je přes čep, který je vsazen do modulu a vystředěn. Tento čep (kolík) je namontován na upínači a modul většinou na paletě, která se nemění po celý proces výroby.

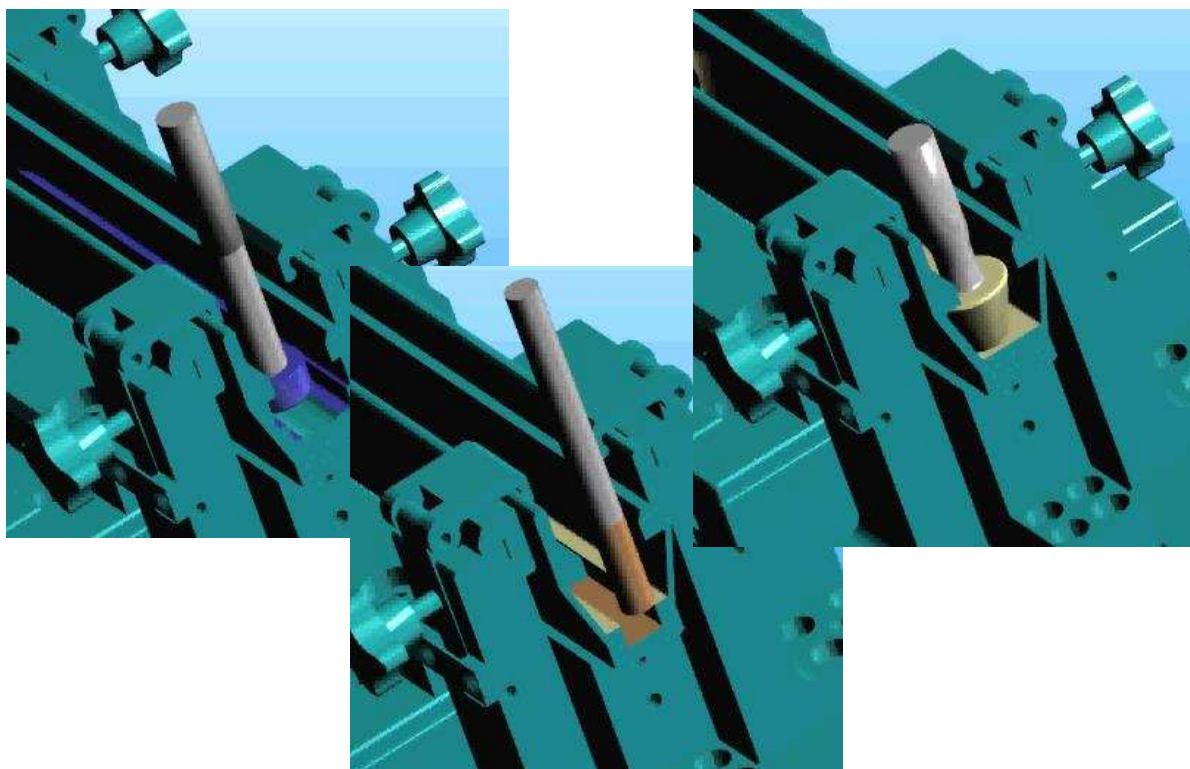
Vero-S moduly jsou řízeny hydraulicky a jsou primárně neustále sevřeny. Pro odepnutí dílu musí obsluha připojit k modulu vzduch a část upínače s čepem odepnout. Síla pro držení dílu v primárně zavřeném stavu dosahuje hodnot 7,5 kN (NSE plus 138 V1). Za použití např. vícecestných ventilů je možné upínací část s čepem nejen odepínat, ale i „přiturbovat“ až na hodnoty 25 kN [34]. Princip upínání modulu Vero-S je zobrazen na obr. 4.17 [34].



Obr. 4.17 Princip upínání modulu Vero-S NSE od firmy Schunk [34].

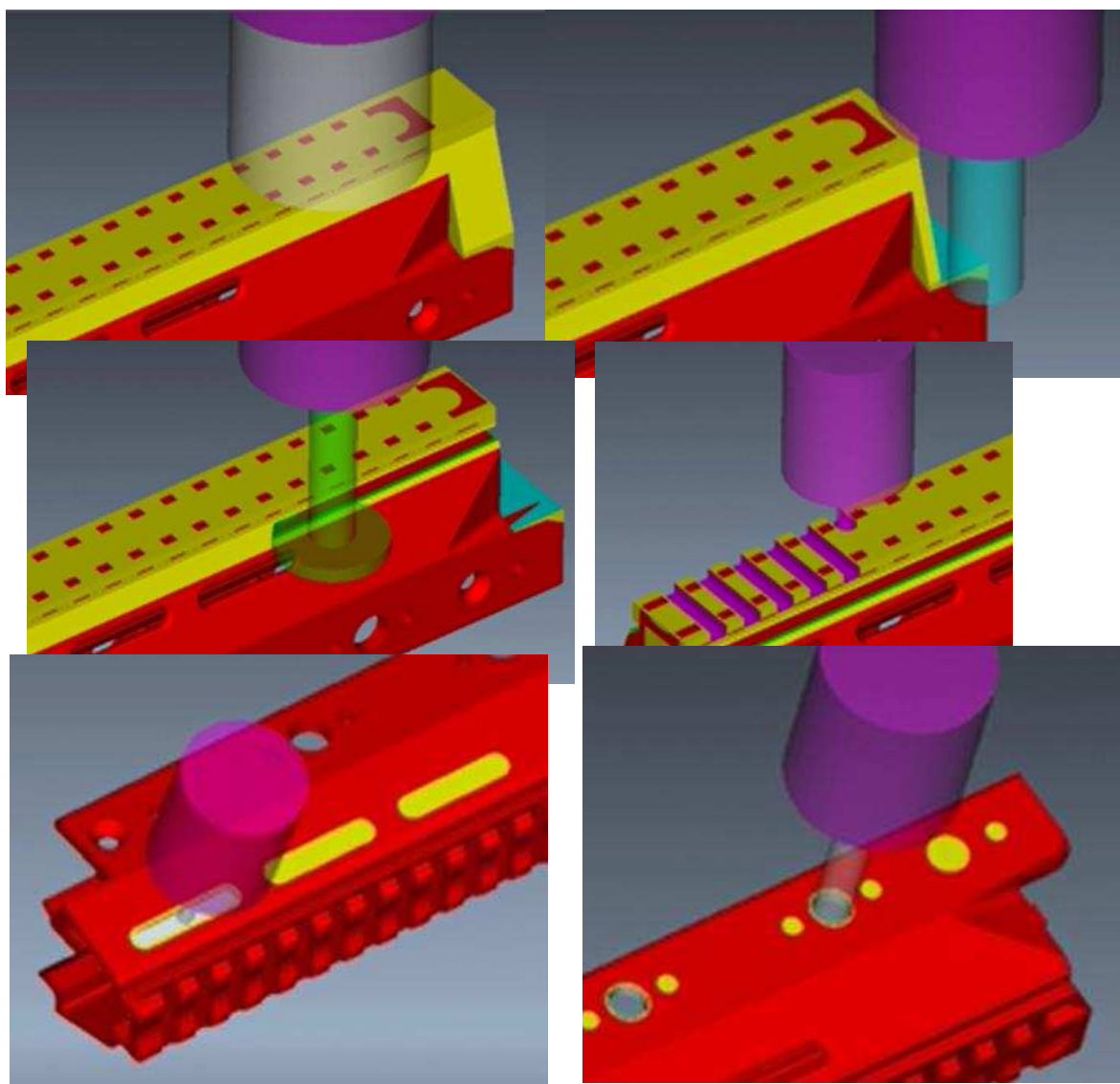
#### 4.5 Obráběcí proces

První upnutí probíhá na upínači dle obr. 4.12. Nejprve je hrubována korunkovou frézou vnitřní kapsa a odlehčení na vnitřní straně. Následně je tvarovou frézou vytvořena vnitřní kapsa s úhlem  $34^\circ$ . Poté je vřezovou frézou vytvořena drážka průměru 10 mm. Nakonec je vřezovou frézou průměru 16 mm zarovnáno jedno čelo, které bude sloužit jako dorazová plocha pro druhé a třetí upnutí. Označené plochy obrábění jsou na obr. 4.18.



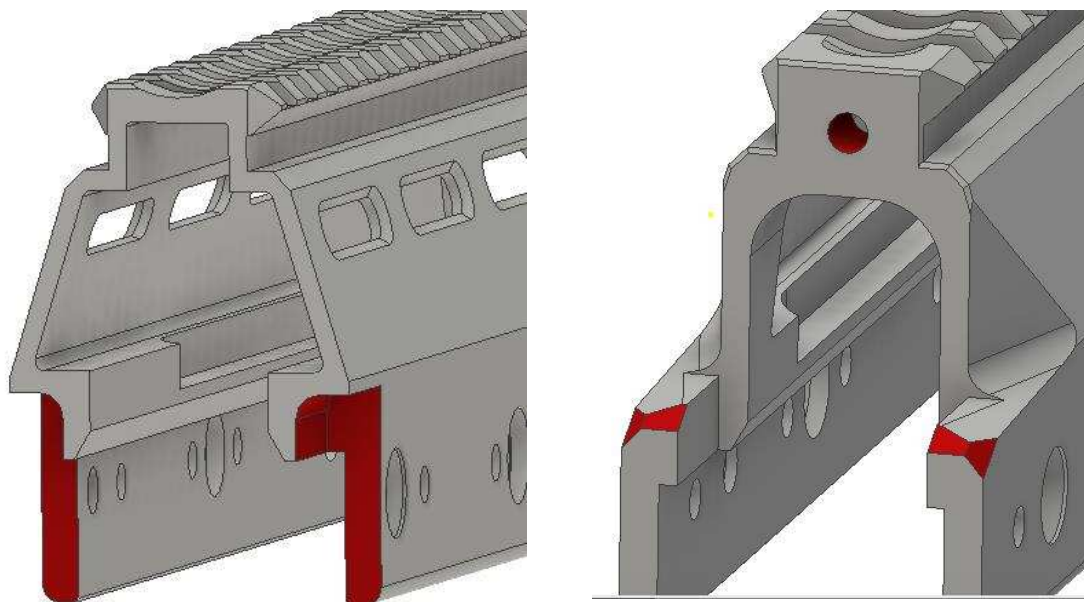
Obr. 4.18 Simulace procesu obrábění pro I. upnutí.

Druhé upnutí probíhá na upínači dle obr. 4.13. Upínač je připevněn na čtvrtou osu řízenou NC dělicím přístrojem. Součást je upnuta rovnoběžně s osou rotace dělicího přístroje. Nejprve je čelní válcovou frézou průměru 50 mm zarovnána horní plocha dílu. Dále je válcovou frézou průměru 16 mm frézováno vybrání od strany dorazu upínače a poté je do rozměru 200 mm frézována druhá strana dílu. Poté je kulovou frézou průměru 20 mm vyfrézováno odlehčení na upínací liště. Následuje tvarová fréza průměru 75 mm, která vytvoří kompletní vnější tvar lišty. Poté jsou válcovou frézou průměru 5,28 mm frézovány příčné drážky na liště. Po odfrézování dojde k pootočení děličky o 90° a jsou vrtány všechny boční otvory, z obou stran. Následně je dělička pootočená o úhel 73° a jsou frézovány odlehčení na zkosené vnější ploše. Označené plochy jsou na obr. 4.19.



Obr. 4.19 Simulace pro II. Upnutí.

Třetí upnutí probíhá na stejném upínači jako druhé upnutí, jen je část upínače s dílem otočena v modulu VERO-S o 90° a ustavena za aretační kolík. V této operaci se frézuje vybrání na čele (viz obr. 4.20 vlevo), vrtá závit M5 a sráží hrany pod úhlem 30° a 45° (viz obr. 4.20 vpravo).



Obr. 4.20 Frézované tvary pro III. Upnutí.

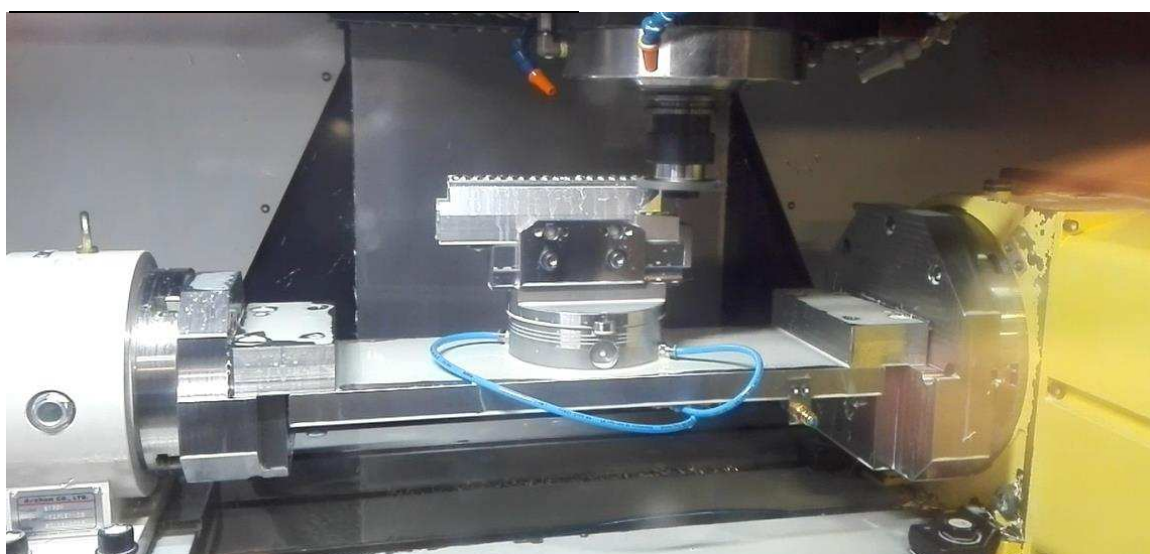
Tab. 4.11 a tab. 4.12 znázorňují časy odladění při frézování na stroji Feeler VMP-30A.

Tab. 4.11 Strojní časy pro obrobení prvního upnutí.

Simulace I. upnutí	Obrábění I. upnutí
Korunková fréza/hrubovat vnitřní kapsu	
$n = 6000 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 650 \text{ mm/min}$ 1 min 25 s	$n = 6000 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 650 \text{ mm/min}$ , cyklus 1 min 25 s
Tvarová fréza/frézovat vnitřní kapsu	
$n = 2500 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 660 \text{ m/min}$ 2 min 45 s	$n = 9500 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 3000 \text{ mm/min}$ Cyklus 1 min 15 s
Fréza válcová čelní D10 MAPAL/frézovat vnitřní drážku	
$n = 4200 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 650 \text{ mm/min}$ 2 min	$n = 4200 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 950 \text{ mm/min}$ Cyklus 1 min 5 s
Fréza válcová D16/zarovnat čelo od dorazu	
$n = 3200 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 450 \text{ mm/min}$ Cyklus 0 min 20 s	$n = 8000 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 2000 \text{ mm/min}$ Cyklus 0 min 20 s
<b>Celkový strojní čas dle simulace 6 min 30 s</b>	<b>Celkový strojní čas po odladění na stroji 4 min 5 s</b>

Tab. 4.12 Strojní časy pro druhé a třetí upnutí.

Obrábění II. upnutí	Obrábění III. upnutí
Čelní fréza D50/zarovnat horní plochu $n = 3900 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 3000 \text{ mm/min}$ Cyklus 0 min 10 s	Čelní fréza D16/zarovnat čelo Cyklus 0 min 30 s
Fréza válcová čelní D16/frézovat vnější vybrání Cyklus 0 min 50 s	Fréza válcová D8/frézovat vnější vybrání na čele Cyklus 1 min 0 s
Tvarová fréza D75/frézovat finální tvar lišty $n = 9900 \text{ m}^{-1}$ , $v_f = 7000 \text{ mm/min}$ Cyklus 0 min 10 s	Fréza válcová čelní D8/Zarovnat čelo od dorazu na čisto Cyklus 1 min 19 s
Kulová fréza D20/frézovat vylehčení na liště Cyklus 0 min 6 s	Celkový strojní čas po odladění <b>2 min 49 s</b>
Fréza válcová D5,28/frézovat příčné drážky Cyklus 0 min 48 s	
Frézovat boční otvory + drážky Cyklus 3 min 2 s	
Celkový strojní čas po odladění <b>5 min 6 s</b>	



Obr. 4.21 Část cyklu obrábění druhého upnutí.

## 5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Součásti technicko – ekonomického zhodnocení je srovnání současné varianty obrábění, s variantou obrábění z profilovaného, respektive extrudovaného polotovaru. Dále pak procentuální úspory materiálu, odcházejícího z procesu ve formě třísek, stanovení vlastních nákladů výroby pro obě varianty, tedy náklady při změně polotovaru a změně stroje a číselné a procentuální vyjádření celkové úspory na jeden kus.

### 5.1 Ekonomické zhodnocení současné technologie

Současná technologie výroby součásti z plného materiálu je zhodnocena v tab. 5.1, tab. 5.2 a tab. 5.3.

Tab. 5.1 Výchozí hodnoty pro výpočet normy na 100 ks.

<b>Stroj</b>	Heller H2000
<b>Celkový strojní čas 1 kusu (<math>t_{as}</math>)</b>	26,5 min
<b>Celkový vedlejší čas (<math>t_{ar}</math>)</b>	0,167 min
<b>Počet obsluhovaných strojů (<math>K_{stroj}</math>)</b>	1
<b>Koeficient obsluhovosti (<math>k_{obsluhovosti}</math>)</b>	1 (1 stroj), 0,6 (2 stroje), 0,4 (3 stroje)
<b>Počet spoluvyráběných kusů (<math>K_{kusů}</math>)</b>	1
<b>Koeficient pracoviště (<math>k_{pracoviště}</math>)</b>	1,065
<b>Koeficient směnového času (<math>k_c</math>)</b>	1,041

#### Výpočet celkového strojního času dle vzorce (5.1)

$$t_{ascelk} = k_{pracoviště} * t_{as} \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.1)$$

$$t_{ascelk} = 1,065 * 26,5 = 28,223 \text{ min. ks}^{-1}$$

#### Výpočet celkového času dle vzorce (5.2)

$$t_c = k_c * (t_{ascelk} + t_{ar}) \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.2)$$

$$t_c = 1,041 * (28,223 + 0,167) = 29,553 \text{ min. ks}^{-1}$$

#### Výpočet normy na 1 ks dle vzorce (5.3)

$$t_{normy} = t_c * k_{obsluhy} \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.3)$$

$$t_{normy} = 29,553 * 1 = 29,553 \text{ min. ks}^{-1}$$

**Výpočet normy na 100 ks dle vzorce (5.4)**

$$t_{normy/100} = t_{normy} * 100 \text{ [min]} \quad (5.4)$$

$$t_{normy/100} = t_{normy} * 100 = 2955 \text{ min}$$

Tab. 5.2 Výchozí hodnoty pro výpočet vlastních nákladů výroby (režie pro rok 2018).

<b>Cena materiálu (C<sub>m</sub>)</b>	139 Kč/kg
<b>Hmotnost jednoho kusu polotovaru (m)</b>	2,6 kg
<b>Norma na 100 Ks (t<sub>norma/100</sub>)</b>	2955 min
<b>Výrobní režie variabilní (VRV)</b>	440,26 Kč
<b>Výrobní režie fixní (VRF)</b>	218,19 Kč
<b>Náklady stroje variabilní (NSV)</b>	81,29 Kč
<b>Náklady stroje fixní (NSF)</b>	261,89 Kč
<b>Tarifní třída (TT)</b>	55 (koeficient TT = 1,705)

**Výpočet ceny materiálu na 100 ks dle vzorce (5.5)**

$$C_{m/100} = C_m * m * 100 \text{ [Kč/100ks]} \quad (5.5)$$

$$C_{m/100} = 139 * 2,6 * 100 = 36140 \text{ Kč/100ks}$$

**Výpočet strojních hodin dle vzorce (5.6)**

$$Sh = t_{norma/100} * k_{obsluhovosti} \text{ [min]} \quad (5.6)$$

$$Sh = 2955 * 1 = 2955 \text{ min}$$

**Výpočet mzdy na 100 ks dle vzorce (5.7)**

$$Mzda = t_{norma/100} * \text{koeficient}(TT) \text{ [Kč/100ks]} \quad (5.7)$$

$$Mzda = 2955 * 1,705 = 5038,28 \text{ Kč/100ks}$$

Výpočet výrobních režii variabilních na 100 ks dle vzorce (5.8)

$$VRV_{100ks} = \frac{t_{norma/2000}}{60} * VRV [Kč/100ks] \quad (5.8)$$

$$VRV_{100ks} = \frac{2955}{60} * 440,26 = 21682,81 [Kč/100ks]$$

Výpočet nákladů stroje variabilních na 100 ks dle vzorce (5.9)

$$NSV_{100ks} = \frac{S_h}{60} * NSV [Kč/100ks] \quad (5.9)$$

$$NSV_{100ks} = \frac{2955}{60} * 81,29 = 4003,53 Kč/100ks$$

Tab. 5.3 Sumarizace výsledků nákladů výroby na současném stroji.

Cena materiálu na 100 ks	[Kč]	3 6140		
Mzdy na 100 ks	[Kč]	5 038,28		
Sociální zabezpečení	[Kč]	1 713,01		
Výrobní režie variabilní na 100 ks	[Kč]		21 682,81	
Výrobní režie fixní na 100 ks	[Kč]			10 745,86
Náklady stroje variabilní na 100 ks	[Kč]		4003,53	
Náklady stroje fixní na 100 ks	[Kč]			12 898,08
<b>ΣPřímé náklady celkem</b>	<b>[Kč]</b>	<b>42 891,29</b>	42 891,29	
<b>ΣPřímé a variabilní náklady celkem</b>	<b>[Kč]</b>		<b>68 577,63</b>	68 577,63
<b>ΣVlastní náklady výroby na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>			<b>92 221,57</b>

## 5.2 Ekonomické zhodnocení nové technologie

Navrhovaná varianta výroby z extrudovaného polotovaru je zhodnocena v tab. 5.4, tab. 5.5 a tab. 5.6.

Tab. 5.4 Výchozí hodnoty pro výpočet normy na 100 ks.

<b>Stroj</b>	Feeler VMP 30A
<b>Celkový stojní čas (<math>t_{as}</math>)</b>	12 min
<b>Celkový vedlejší čas (<math>t_{ar}</math>)</b>	2 min
<b>Počet obsluhovaných strojů (<math>K_{stroj}</math>)</b>	1
<b>Koeficient obsluhovosti (<math>k_{obsluhovosti}</math>)</b>	1 (1 stroj); 0,6 (2 stroje); 0,4 (3 stroje)
<b>Počet spoluvyráběných kusů (<math>K_{kusů}</math>)</b>	1
<b>Koeficient pracoviště (<math>k_{pracoviště}</math>)</b>	1,065
<b>Koeficient směnového času (<math>k_c</math>)</b>	1,041

### Výpočet celkového strojního času dle vzorce (5.10)

$$t_{ascelk} = k_{pracoviště} * t_{as} \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.10)$$

$$t_{ascelk} = 1,065 * 12 = 12,780 \text{ min. ks}^{-1}$$

### Výpočet celkového času dle vzorce (5.11)

$$t_c = k_c * (t_{ascelk} + t_{ar}) \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.11)$$

$$t_c = 1,041 * (12,780 + 2) = 15,386 \text{ min. ks}^{-1}$$

### Výpočet normy na 1 ks dle vzorce (5.12)

$$t_{normy} = t_c * k_{obsluhy} \text{ [min. ks}^{-1}\text{]} \quad (5.12)$$

$$t_{normy} = 15,386 * 1 = 15,386 \text{ min. ks}^{-1}$$

### Výpočet normy na 100 ks dle vzorce (5.13)

$$t_{normy/100} = t_{normy} * 100 \text{ [min]} \quad (5.13)$$

$$t_{normy/100} = 15,386 * 100 = 1539 \text{ min}$$

Tab. 5.5 Výchozí hodnoty pro výpočet vlastních nákladů výroby (režie pro rok 2018).

<b>Cena materiálu (<math>C_m</math>)</b>	85,46 Kč/kg
<b>Hmotnost jednoho kusu polotovaru (<math>m</math>)</b>	0,478 kg
<b>Norma na 100 Ks (<math>t_{norma/100}</math>)</b>	1 539 min
<b>Výrobní režie variabilní (VRV)</b>	156,34 Kč
<b>Výrobní režie fixní (VRF)</b>	119,96 Kč
<b>Náklady stroje variabilní (NSV)</b>	28,67 Kč
<b>Náklady stroje fixní (NSF)</b>	59,68 Kč
<b>Tarifní třída (TT)</b>	55 (koeficient TT = 1,705)

Tab. 5.6 Sumarizace výsledků nákladů výroby při změně stroje.

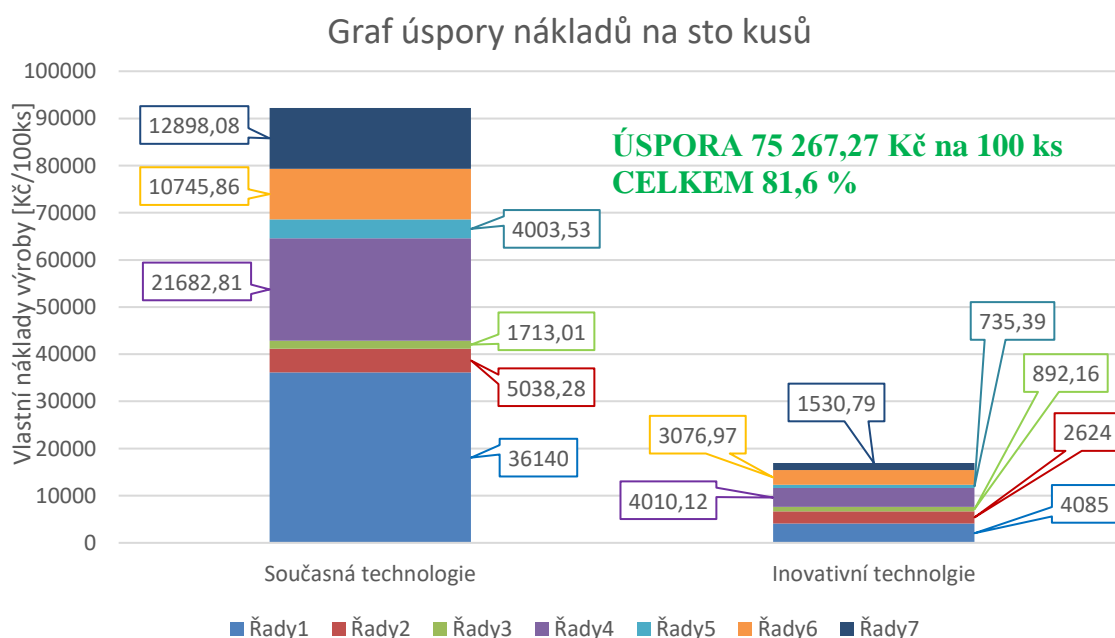
<b>Cena materiálu na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>	4 085		
<b>Mzdy na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>	2 624,00		
<b>Sociální zabezpečení</b>	<b>[Kč]</b>	892,16		
<b>Výrobní režie variabilní na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>		4 010,12	
<b>Výrobní režie fixní na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>			3 076,97
<b>Náklady stroje variabilní na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>		735,39	
<b>Náklady stroje fixní na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>			1 530,79
<b>ΣPřímé náklady celkem</b>	<b>[Kč]</b>	<b>7 601,15</b>	7 601,15	
<b>ΣPřímé a variabilní náklady celkem</b>	<b>[Kč]</b>		<b>12 346,66</b>	12 346,66
<b>ΣVlastní náklady výroby na 100 ks</b>	<b>[Kč]</b>			<b>16 954,43</b>

### 5.3 Porovnání výrobních variant

Porovnání nákladů jednotlivých variant je vypsáno v tabulce 5.7 a také vizuálně zobrazeno v grafické závislosti na obr. 5.1.

Tab. 5.7 Srovnání výrobních variant.

Stroj	Jednotkový strojní čas [min]	$t_{norma/100ks}$ [min/100ks]	$K_{stroj}$	$k_{obsluhovosti}$	VNV [Kč/100 ks]
Heller H2000	26,5	2 955	1	1	<b>92 221,57</b>
Feeler VMP 30A	12	1 539	1	1	<b>16 954,3</b>
Celková úspora na 100 ks					<b>75 267,27 Kč</b>
Celková úspora na 1 ks					<b>752,67 Kč</b>
Celková procentuální úspora na 1 ks					<b>81,6 %</b>



Obr. 5.1 Úspory nákladů výroby závislé na změně tvaru polotovaru a změně stroje.

## 5.4 Úspora na objemu materiálu ve formě třísek

Nedílnou součástí úspory nákladů výroby, je i úspora ve formě úběru třísek, tedy materiálu, který z procesu odchází. Objem třísek ze současného polotovaru a z extrudovaného profilu popisuje tab. 5.8.

Tab. 5.8 Celkový objem polotovarů a součásti získaný z programu Autodesk Inventor.

	Součást předpažbí délka 200 mm	Současný polotovar 75x42-228 mm	Extrudovaný profil délka 210 mm
Objem materiálu (V) [mm <sup>3</sup> ]	83 407,2	718 200	190 532,9
Hmotnost dílu [kg]	0,225	2,6	0,478
Rozdíl objemu (třísky) [mm <sup>3</sup> ]	-	<b>634 792,8</b>	<b>107 125,7</b>
Úspora na objemu třísek [mm <sup>3</sup> ]	-	-	<b>527 667,1</b>
Úspora objemu třísek [%]	-	-	<b>83,1 %</b>

## 5.5 Doporučení do budoucna

Výroba extrudovaného profilu a odladění obráběcího procesu na něm ukázala, že je možné tímto způsobem ušetřit nemalé náklady. Je zde ale možnost jít ještě dále. Stojí za zvážení vytvoření CNC obráběcího hnízda, kterým bychom byli schopni pokrýt výrobu nejen jednoho dílu předpažbí, ale další obdobných součástek z hliníku.

Jelikož bylo inovací vytvořeno obrábění na tři upnutí, bylo by vhodné zakoupit např. tři obráběcí čtyřosé stroje, s případným paletovým systémem zakládání obrobků a tím snížit výrobu jednoho dílu na reálné 4 minuty. Díky snížení strojních časů na jeden kus, by se ušetřily nejen náklady na výrobu, ale také bychom byli připraveni na stav, kdy by bylo potřeba vyrábět větší série jednotlivých dílů. Je důležité si uvědomit, že tuto součástku je reálné vyrábět na vertikálních 4osých strojích, případně 3osých. a že za cenu jednoho stroje Heller H2000 (10 mil. Kč), bychom mohli koupit tři 4osé vertikální obráběcí stroje v ceně 3 mil. Kč za jeden, což je reálně možné.

## ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo vytvořit návrh na zefektivnění výroby obráběného dílu předpažbí pro společnost Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod.

První část diplomové práce byla věnována České zbrojovce a.s., a také popisu a charakteristice předpažbí, společně s funkcí, kterou představuje v sestavě zbraně. Další kapitoly byly rozděleny do dvou částí.

Část analýzy stávajícího stavu popisuje současné obrábění dílu na horizontálním CNC obráběcí stroji Heller H2000 z plného materiálu. Dále byl popsán samotný polotovár, jeho chemické a mechanické vlastnosti, způsob jeho upínání na horizontálním obráběcím stroji a v neposlední řadě také nejdůležitější obráběcí nástroje potřebné pro finální podobu obrobku.

Druhou částí byl návrh inovace výrobního procesu, který byl zaměřen z větší části na variantní řešení metody výroby z profilovaného polotovaru. Obsahem bylo také základní nacenění obou variant, výsledné porovnání a volba nejvhodnější varianty. Následně byl zhotoven ve spolupráci s firmou Constelium Extrusions Děčín, s.r.o. výkres extrudovaného profilu a jeho prototypová výroba. Na základě správně definovaných funkčních a vizuálních rozměrů polotovaru, byly navrhnuty a zhotoveny upínače. V návrhu inovace výroby obráběného dílu, bylo také naznačeno možné snížení ceny dílu v závislosti na změně obráběcího stroje, který bude mít nižší pořizovací a režijní náklady, proto byl pro odladění výroby zvolen stroj Feeler VMP 30A, který je součástí strojního parku České zbrojovky a.s., Uherský Brod.

Výběrem polotovaru z extrudovaného profilu a změnou CNC obráběcího stroje bylo dosaženo:

- úspory na vstupním materiálu definované na 100 kusů o celkové hodnotě převyšující 30 tis. Kč,
- úspory na objemu materiálu odcházející z procesu ve formě třísek o více než 83 %,
- vlastní náklady výroby definované na 100 kusů, závislé jak na ceně materiálu, tak na režijních nákladech na daný stroj sníženy o 81 % (přes 75 tis. Kč).

V poslední kapitole s názvem Technicko-ekonomické zhodnocení byla blíže rozebrána úspora výše uvedených změn a popsáno doporučení do budoucna, které by mělo přinést další snížení cen na obráběném dílu předpažbí.

Všechny body diplomové práce byly splněny.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CZUB [online]. [vid. 10.2.2018]. Dostupné z: [www.czub.cz](http://www.czub.cz)
- [2] CZUB. Prezentace firmy CZUB. Prezentace. [vid. 10.2.2018]
- [3] CZUB. Produkty firmy CZUB. [online]. [vid. 10.2.2018]. Dostupné z: <https://www.czub.cz/cz/produkty/pistole.html>
- [4] Zbrojovka Brno [online]. [vid. 10.2.2018]. Dostupné z: [www.zbrojovka-brno.cz](http://www.zbrojovka-brno.cz)
- [5] CZ\_USA [online]. [vid. 13.2.2018]. Dostupné z: [www.cz-usa.com](http://www.cz-usa.com)
- [6] Česká zbrojovka expanduje na Slovensku. Vstupuje do státního podniku. In: E15 [online]. 2014 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/ceska-zbrojovka-expanduje-na-slovensku-vstupuje-do-statniho-podniku-1086265>
- [7] Tactical Handguards--Function, Form, and Firepower!. In: RAP4 [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.rap4usa.com/tactical-handguardsfunction-form-firepower-a-30.html>
- [8] USPatent [online]. In: . 2005 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8b/90/21/85110eca709d08/US6945154.pdf>
- [9] CZ Scorpion Barrel Cooler. In: TFB [online]. 2016 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <http://www.thefirearmblog.com/blog/2016/12/19/cz-scorpion-barrel-cooler>
- [10] CZCUSTOM [online]. [vid. 25.2.2018]. Dostupné z: <https://czcustom.com/evo-handguard-pistol-blk.html>
- [11] Brigand Arms Carbon Fiber Handguard. In: TFB [online]. 2016 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.thefirearmblog.com/blog/2016/09/07/brigand-arms-carbon-fiber-handguard/>
- [12] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno, 2004. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] EN AW-7075 T6 (AlZnMgCu1,5). Alunet [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-7075>
- [14] CHEMICKÉ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI. Bematech [online]. [vid. 6.3.2018]. Dostupné z: <http://www.bematech.cz/Bematech/media/content/Chemicke-a-mechanicke-vlastnosti.pdf>
- [15] *Výhody horizontálních obráběcích center* [online]. 6.8.2012 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/obrabeni/vyhody-horizotalnich-obrabecich-center>

- [16] 4-axis horizontal machining centres for highly productive machining in all disciplines: The H series. Heller[online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.heller.biz/en/products/4-axis-machining-centres-h/>
- [17] Quick-Tower [online]. In: Lang technik. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.lang-technik.de/en/produkte/gruppen/50931.quick-tower.html>
- [18] Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 17.4.2002 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem.html>
- [19] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2018-03-15]. 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. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] POLOTOVARY. In: *Studijní materiály nejen do strojírenství* [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/04/31-polotovary.html>
- [21] *Rheocasting otevírá nové možnosti tlakově litých odlitků* [online]. 12.2.2014 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rheocasting-otevira-nove-moznosti-tlakove-litych-odlitku.html>
- [22] Kovolís Hedvíkov [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://kovolis-hedvikov.cz/>
- [23] Extrusion. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Extrusion>
- [24] Aluminum Extrusion Process [online]. In: Bonlalum. [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: [https://www.bonlalum.com/education/aluminum\\_extrusion\\_process.shtml](https://www.bonlalum.com/education/aluminum_extrusion_process.shtml)
- [25] AEC [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: [http://www.aec.org/?page=dres\\_extrusion](http://www.aec.org/?page=dres_extrusion)
- [26] ALUMINIUM EXTRUSION [online]. In: Alumix. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://www.alumix.me/extrusion.html>
- [27] MISIOLEK, Wojciech a Richard KELLY. Extrusion of Aluminum Alloys [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/164/Extrusion%20of%20Al%20Alloys.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [28] 6061 aluminium alloy. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/6061\\_aluminium\\_alloy](https://en.wikipedia.org/wiki/6061_aluminium_alloy)
- [29] Alfun [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/hlinik/tyce-a-profil>

- [30] Co vlastně znamená Benchmarking...model efektivního učení se a zlepšování?. In: Ligsuniversity [online]. 2016 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.ligsuniversity.cz/blogpost/co-vlastne-znamenava-benchmarking-model-efektivniho-uceni-se-a-zlepsovani>
- [31] Performance Verification of Impact Machines for Testing Plastics. Ncbi [online]. 1999 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4882149/>
- [32] VMP Series: VMP-30(A). Feeler [online]. [cit. 2018-04-6]. Dostupné z: <https://www.feeler.com/pdtdetail.php?c=126&id=175>
- [33] Numerical Simulation of the Aluminum 6061-T6 Cutting and the Effect of the Constitutive Material Model and Failure Criteria on Cutting Forces' Prediction. Sciencedirect [online]. 2016 [cit. 2018-04-7]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816313406>
- [34] Individual modules NSE plus. Schunk [online]. [cit. 2018-04-9]. Dostupné z: [https://schunk.com/de\\_en/clamping-technology/series/individual-modules-nse-plus/](https://schunk.com/de_en/clamping-technology/series/individual-modules-nse-plus/)
- [35] ALLOY DATA SHEET EN AW-6061 [AlMg1SiCu]. In: Nedal [online]. 2005 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.nedal.com/wp-content/uploads/2016/11/Nedal-alloy-Datasheet-EN-AW-6061.pdf>
- [36] What is profile Extrusion? [online]. In: Plastic Technology. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/knowledgecenter/Profile-Extrusion/profileextrusion-fundamentals/Typical-Extrusion-Profiles>
- [37] SKOTNICOVÁ, Kateřina a Miroslav KURSA. *Prášková metalurgie* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: [https://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-3-materialove-izenyrstvi/praskova-metalurgie/Skotnicova\\_Praskova-metalurgie.pdf](https://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-3-materialove-izenyrstvi/praskova-metalurgie/Skotnicova_Praskova-metalurgie.pdf). Studijní opory. Technická univerzita Ostrava.
- [38] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření* [online]. Brno, 2006 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/obsah.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/obsah.htm). Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně.
- [39] FOREJT, M. a PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [40] PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [41] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [42] *Příručka obrábění-kniha pro praktiky*. Přel. KUDELA, M. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia. s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.

[43] LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-718-3164-6.

[44] PROCHÁZKA, S. a kol.: Automatické zbraně. Učebnice. FMO Praha, 1991. RDV-51-1.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

ZKRATKA	VÝZNAM
a.s.	Akciová společnost
atd.	a tak dále
CAD	Computer Aided design
CNC	Computer Numerical Control
Cr	Chrom
Cu	Měď
CZUB	Česká zbrojovka
FE	Železo
FEM	Finite Elements Methods
hm.	Hmotnost
hm. %	Hmotnostní procenta
J-C	Johnson-Cook
Mg	Hořčík
Mn	Mangan
např.	například
NC	Numerical Control
NSF	Náklady na stroj fixní
NSV	Náklady na stroj variabilní
PKD	Polykrystalický diamant
s.r.o.	Společnost s ručeným omezeným
Si	Křemík
SK	Slinutý karbid
Ti	Titan
TT	Tarifní třída
tzn.	to znamená
VNV	Vlastní náklady výroby
VRF	Výrobní režie fixní
VRV	Výrobní režie variabilní
Zn	Zinek

SYMBOL	Jednotka	VÝZNAM
A <sub>5</sub>	[%]	Tažnost
C <sub>m</sub>	[Kč/kg]	Cena materiálu
k <sub>c</sub>	[-]	Koeficient směnového času
k <sub>obsluhovosti</sub>	[-]	Koeficient obsluhovosti
k <sub>pracoviště</sub>	[-]	Koeficient pracoště
K <sub>stroj</sub>	[ks]	Počet spoluvyráběných strojů
n	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky
R <sub>m</sub>	[MPa]	Mez pevnosti
R <sub>p0,2</sub>	[MPa]	Smluvní mez kluzu
t <sub>ar</sub>	[min]	Vedlejší čas ruční
t <sub>as</sub>	[min]	Jednotkový strojní čas
t <sub>c</sub>	[min]	Celkový obráběcí čas
t <sub>normy</sub>	[min]	Čas normy na jeden kus
v <sub>f</sub>	[mm.min <sup>-1</sup> ]	Posuvová rychlost

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Obrazová příloha odlad'ování výroby dílu s názvem předpažbí

