



**ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE**

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

**Návrh a výroba upínacích přípravků**

**Design and manufacturing of clamping fixtures**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2019**

**Šimon Petrášek**

**Studijní program:** TZSI

**Studijní obor:** TZSI

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Pitrmuc



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petrášek** Jméno: **Šimon** Osobní číslo: **466581**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh a výroba upínacích přípravků**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design and manufacturing of clamping fixtures**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše o základních technologiích využitých při řešení úkolu
- 2) Návrh upínacího systému segmentů lopatek
- 3) Rámcový postup výroby na konvenčních obráběcích strojích
- 4) Prototypová výroba

Seznam doporučené literatury:

- 1) POSPÍCHAL, Jaroslav. Technické kreslení. 4., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN isbn:978-80-0105-595-3.
- 2) Technologie obrábění - skriptum

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Zdeněk Pítrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

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

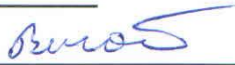
Datum zadání bakalářské práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_



Ing. Zdeněk Pítrmuc  
podpis vedoucí(ho) práce



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



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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

10.4.2019

Datum převzetí zadání

Petrášek

Podpis studenta



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pitrmuce s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze ..... ..

Šimon Petrášek



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval mé rodině, která mě podporoval v průběhu studia i v průběhu vzniku této práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi za odborný dohled, konzultace, vedení a čas, který mi věnoval, a které mi značně pomohly k vypracování této bakalářské práce.





## Anotační list

Jméno autora:	Šimon Petrášek
Název:	Návrh a výroba upínacích přípravků
Title:	Design and manufacturing of clamping fixtures
Akademický rok:	2018/2019
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	Bez oboru
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Zdeněk Pitrmuc
Bibliografické údaje:	Počet stran: 61 Počet obrázků: 35 Počet tabulek: 5 Počet příloh: 9
Klíčová slova:	Upínací přípravky, frézování, soustružení, vrtání, tvorba závitů
Keywords:	Clamping fixtures, milling, turning, drilling, making threads
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou upínacích přípravků pro měření zbytkových napětí. Práce dále obsahuje rešerši technologie frézování použité při výrobě.
Annotation:	This bachelor thesis deals with the design and manufacturing of clamping fixtures for measuring residual stresses. The thesis also contains a research of milling technology used for the manufacturing.



## OBSAH

Prohlášení.....	5
Poděkování.....	7
Obsah .....	11
1. ÚVOD.....	13
2. TEORIE FRÉZOVÁNÍ .....	14
2.1. Základní charakteristiky .....	14
2.2. Druhy frézování.....	14
2.2.1. Sousledné.....	14
2.2.2. Nesousledné.....	15
2.2.3. Frézování obvodem.....	16
2.2.4. Čelní frézování.....	16
2.2.5. Okružní frézování .....	16
2.2.6. Rotační frézování.....	16
2.3. Pracovní veličiny.....	17
2.4. Nástroje – frézy .....	17
2.4.1. Upínání nástrojů.....	19
2.5. Frézovací stroje – frézky.....	20
2.5.1. Konzolové frézky .....	20
2.5.2. Vodorovné konzolové frézky.....	20
2.5.3. Svislé konzolové frézky.....	21
2.5.4. Univerzální konzolové frézky .....	21
2.5.5. Stolové frézky .....	21
2.5.6. Rovinné frézky.....	22
2.6. Upínání obrobků .....	22
3. Realizace úlohy.....	23
3.1. Návrh přípravku .....	23
3.1.1. Volba výrobních technologií.....	25
3.1.2. Volba strojů .....	26
3.1.3. Volba nástrojů .....	26
3.2. Frézování na základní rozměry.....	29
3.3. Výroba drážek a vybrání.....	31
3.4. Soustružení čepu.....	33
3.5. Stříhání a ohýbání plechových součástí .....	33
3.6. Vrtání děr a výroba závitů .....	34

3.7. Výroba L SVĚŘÁKU.....	36
4. MONTÁŽ.....	37
5. ZÁVĚR.....	39
ZDROJE.....	40
Seznam obrázků.....	41
Seznam tabulek.....	42
Seznam příloh.....	43

## 1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a vyrobit upínací přípravek, který bude pevně držet vzorek během měření zbytkových napětí. Zbytkové napětí v povrchu součásti může být dvojího charakteru – tlakového nebo tahové. Zbytkové napětí se navenek součásti neprojevuje, avšak v povrchových vrstvách se skládá s provozním napětím a ovlivňuje tak dynamickou životnost součásti, v případě lopatkových kol jejich bezpečnost a provozní spolehlivost

Konstrukce takového upínače by měla být co nejjednodušší proto, aby byla zaručena dlouhodobá spolehlivost, snadná výroba a přijatelný poměr mezi váhou a tuhostí soustavy.

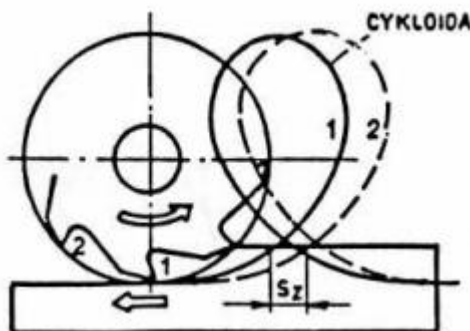
V teoretické části práce se budu detailněji zabývat nejvíce využívanou technologií při výrobě. Navrhovaný přípravek bude sloužit nejen pro upínání segmentů lopatek turbínových kol, ale také prizmatických nosníků a pásků. V další fázi přistoupím k prototypové výrobě upínače. Na základě vyhotovených prototypů se mohou zpětně provádět optimalizační úpravy konstrukčního návrhu a výkresové dokumentace. Poslední fázi tvoří výroba optimalizovaných součástí a finální montáž celé sestavy

## 2. TEORIE FRÉZOVÁNÍ

### 2.1. Základní charakteristiky

Frézování je technologie obrábění, při níž odebíraný materiál odchází z místa řezu v podobě třísek, jedná se tedy o tzv. třískové obrábění. Frézování se realizuje na stroji obecně nazývaném frézka, pracovní nástroj se pak označuje jako fréza. V závislosti na konstrukci frézky lze obrábět plochy rovinné, tvarové, šikmé, nepravidelné, válcové. Touto technologií lze vytvořit ozubení, závity, drážkování a vybrání. [1] [2]

Frézování se sestává ze dvou základních pohybů: rotačního (vykonává nástroj) a posuvného (vykonává obrobek). Fréza se otáčí kolem své osy, za současného posuvu obrobku směrem k nástroji, a po svém obvodu se zařezává do obrobku, čímž dochází k úběru materiálu. Fréza bývá vícebřitá, což znamená, že každý břit vytváří svou vlastní třísku, řez je tedy přerušovaný. Pohyby nástroje a obrobku mají vliv na tloušťku třísky. Každý zub vykonává rotační pohyb a posuvný pohyb ve vztahu k obrobku. Výsledná trajektorie řezu se nazývá cykloida a ukazuje, že tříska nemá v celé své délce konstantní průřez. [1] [2]



Obrázek 1: Cykloidní trajektorie zuby [2]

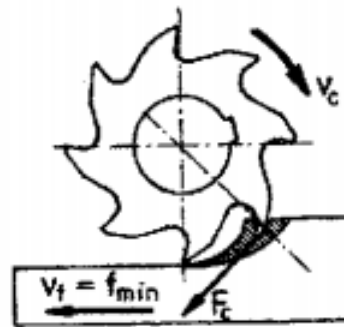
### 2.2. Druhy frézování

Podle směru pohybu nástroje a obrobku můžeme dále frézování dělit na dva typy – sousledné a nesousledné. [3] [11]

#### 2.2.1. Sousledné

Směr otáčení frézy a posuv obrobku jsou stejné. Břit začíná řez v nejsilnějším průřezu třísky a vystupuje na vertikále, v místě nejmenšího průřezu. V praxi to znamená, že počátek záběru je doprovázen silným rázem. Obrobek je v při tomto typu frézování

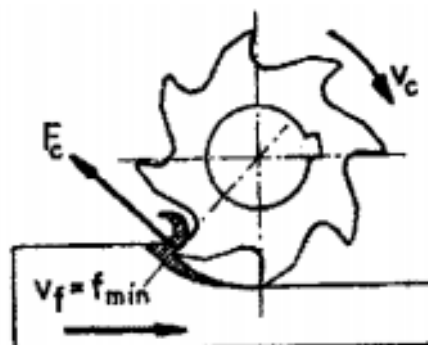
vtahován pod nástroj a řeznou silou přitlačován ke stolu, mohou tak být použity vyšší řezné rychlosti. Stroj však musí být dostatečně tuhý, aby vlivem vtáhnutí obrobku pod frézu nedošlo k posunutí nástroje v radiálním směru, a tudíž ke změně frézovaných rozměrů. Tento typ bývá upřednostňován před nesousledným, jelikož zajišťuje větší stabilitu obráběcího procesu. [1] [2] [3]



Obrázek 2: Schéma sousledného frézování [2]

### 2.2.2. Nesousledné

Fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Břit vstupuje do materiálu v nejmenší průřezu třísky a vystupuje v místě, kde je tloušťka třísky největší. Vstup břitu do materiálu není doprovázen tak silným rázem, jako v případě sousledného frézování. Hřbet zubu se před začátkem řezu tře o obrobenou plochou, která byla vytvořena předchozím zubem, což způsobuje obrušování a otupování nástroje. Řezná síla směřuje vzhůru a zvedá obrobek ze stolu, z toho lze vyvodit, že upínací síly musí být větší než při sousledném frézování. Tento druh obrábění se vyznačuje značným opotřebením nástroje, vyššími obráběcími teplotami a vznikem tahových pnutí. Metodu je vhodné použít v případě značné členitosti obráběné plochy nebo pokud je obráběcí nástroj osazen keramickými břitovými destičkami, jelikož je keramika náchylná k rázům. [1] [2] [3]



Obrázek 3: Schéma nesousledného frézování [2]

Maximální tloušťka třísky je v případě obou typů frézování závislá na  $f_z$  – posuv na zub. [2]

Dále můžeme frézování rozlišovat podle polohy frézy vůči obrobku – čelní, obvodem, okružní a rotační. [1] [2]

### 2.2.3. Frézování obvodem

Osa rotace frézy je rovnoběžná s obrobenou plochou a obrábění je realizované obvodem nástroje. Obrobek koná posuvný pohyb. [1] [2]

### 2.2.4. Čelní frézování

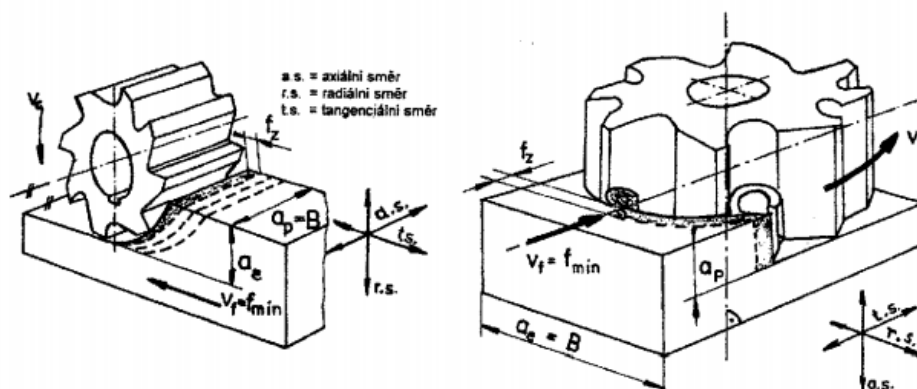
Osa nástroje je kolmá na obrobenou plochu, k úběru materiálu dochází jak obvodem, tak i čelem frézy. Obrobek koná posuvný pohyb. Tento druh je produktivnější, jelikož dochází k obrábění ve dvou rovinách. [1] [2]

### 2.2.5. Okružní frézování

Osy rotace obrobku i nástroje jsou rovnoběžné. Fréza koná jak rotační, tak posuvný pohyb, obrobek rotuje. Tato metoda se používá pro obrábění trubek, závitů nebo klikových a vačkových hřídelí. [1] [2]

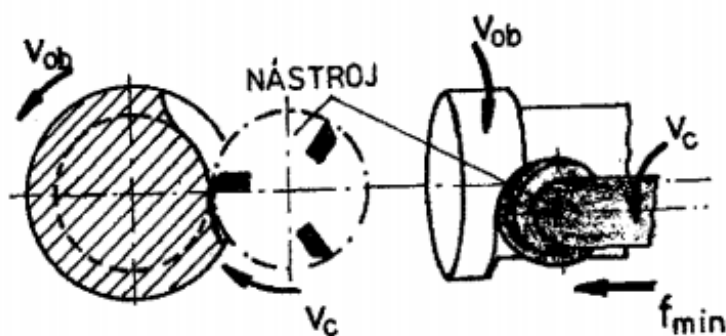
### 2.2.6. Rotační frézování

Osa rotace nástroje je kolmá na osu rotace obrobku. Fréza koná rotační a posuvný pohyb, obrobek rotuje. Aplikace této metody jsou podobné, jako v případě okružního frézování. [1][2]



Obrázek 4: Obrábění obvodem (vlevo) a čelem nástroje (vpravo) [2]





Obrázek 5: Okružní frézování (vlevo) a rotační frézování (vpravo) [2]

### 2.3. Pracovní veličiny

Na obráběcí proces mají vliv následující pracovní veličiny, které se nastavují v takovém rozsahu, aby frézování bylo co možná nejefektivnější. [1] [2]

$v_c$  – řezná rychlost – rychlost hlavního řezného pohybu, který je vykonáván nástrojem [2]

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} [m * min^{-1}]$$

D – průměr frézy

n – otáčky vřetena [ $min^{-1}$ ]

$f_{min} = v_f$  – posuv za minutu = rychlost posuvu – rychlost posuvného pohybu mezi obrobkem a osou pracovního nástroje [ $mm * min^{-1}$ ] [2]

f – posuv na otáčku – posuv nástroje vůči obrobku za jednu otáčku frézy [ $mm$ ] [2]

$f_z$  – posuv na zub – hodnota, o kterou se posune obrobek vůči nástroji mezi záběrem dvou, po sobě jdoucích zubů [ $mm$ ] [2]

Souvislost mezi jednotlivými typy posuvů můžeme zapsat následující rovnicí: [2]

$$f_{min} = f_z * z * n = f * n [mm * min^{-1}]$$

### 2.4. Nástroje – frézy

Frézovací nástroje jsou, co do počtu typů, nejrozsáhlejší skupinou řezných nástrojů. Jednotlivé typy se liší způsobem konstrukce, účelem, tvarem, konstrukčním materiálem a provedením. Z této heterogenity plyne i velký počet možných přístupů k jejich řazení

do skupin nástrojů s podobnými vlastnostmi. Můžeme je dělit podle následujících parametrů. [2]

Konstrukce:

- monolitní
- s pájenými břitovými destičkami
- s vyměnitelnými břitovými destičkami

Umístění břitů na plochách nástroje:

- čelní válcové
- válcové
- kotoučové
- kuželové
- tvarové

Podle způsobu upínání:

- stopkové
- nástrčné

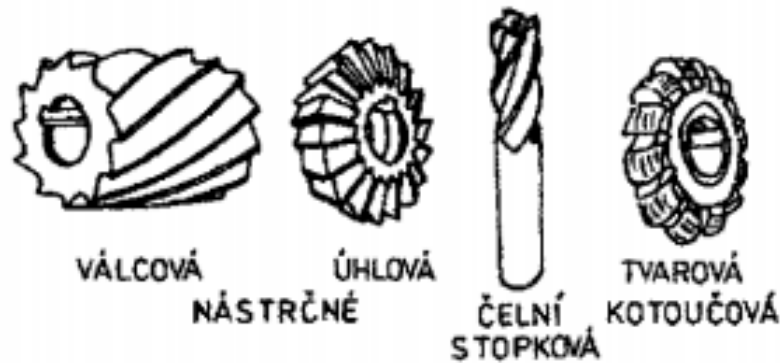
Podle směru rotace:

- pravořezné
- levořezné

Podle povrchové úpravy:

- povlakované
- nepovlakované

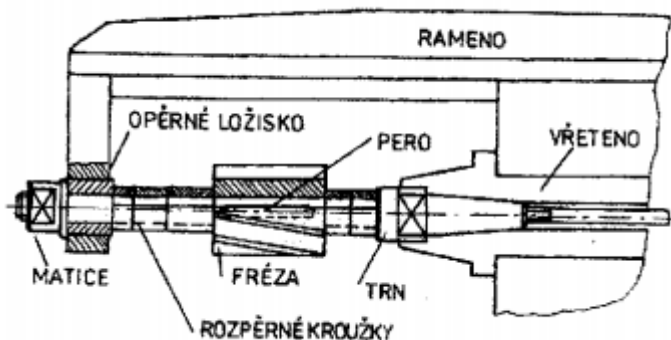
Jako řezné materiály, tvořící břit nástroje, se používají rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezné keramiky a diamant. Rychlořezná ocel se z pravidla užívá pro monolitní frézy, ostatní materiály mohou být také dodávány ve formě vyměnitelných břitových destiček. [2]



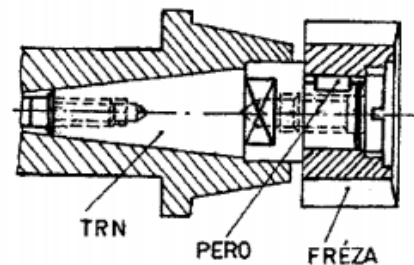
Obrázek 6: Příklad provedení frézovacích nástrojů [2]

### 2.4.1. Upínání nástrojů

Způsob upnutí se odvíjí od typu stroje a provedení frézy. Nástrčné frézy na vodorovných frézách se upínají na dlouhé nástrčné trny s podélným nebo příčným trnem. V tomto případě se pozice nástroje nastavuje vymezovacími kroužky. Čelní frézy a frézovací hlavy se upínají na kratší nástrčné trny nebo letmé upínací trny s perem. [2] [4]

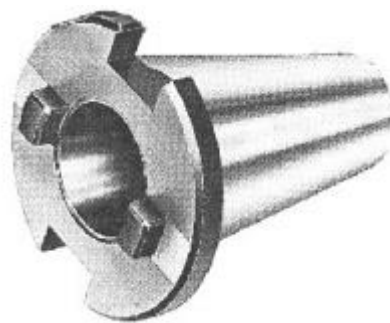


Obrázek 8: Upnutí nástroje na nástrčném trnu [2]



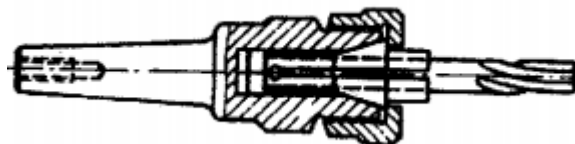
Obrázek 7: Upnutí čelní frézy [2]

Frézky s kuželovou stopkou se mohou, v závislosti na rozměrech kuželu, upínat buďto přímo do vřetenové dutiny, nebo přes redukční pouzdro. [2] [4]



Obrázek 9: Redukční pouzdro [2]

Pro upnutí nástrojů do redukčních pouzder a držáků se využívá upnutí kleštinové, termální, hydraulické nebo pomocí trnu. [2] [4]



Obrázek 10: Kleštinové upnutí nástroje [2]

V případě starších strojů se držáky nástrojů upínají do vřeten stroje za pomoci Morse kuželů nebo ISO upínání. U novějších strojů se častěji využívá upnutí prostřednictvím SK nebo HSK upínačů. [2] [4] [12]

## 2.5. Frézovací stroje – frézky

Frézky se od sebe liší konstrukcí. Rozlišujeme frézky konzolové, stolové, rovinné a speciální typy. [2]

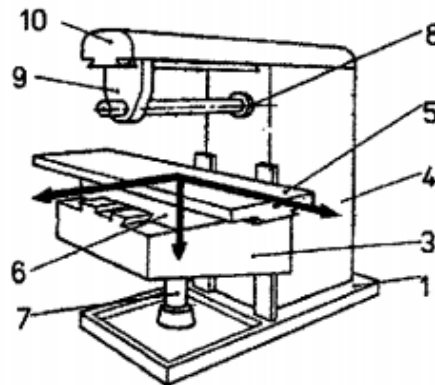
### 2.5.1. Konzolové frézky

Nejběžnější typ frézovacích strojů. Lze s ním obrábět rovinné a tvarové plochy. Vyznačují se konzolou, která se pohybuje po vertikálním vedení na stojanu stroje. Tím je umožněno nastavení stroje ve svislém směru. Saně se pohybují v příčném směru a pracovní stůl v podélném. Poloha obrobku je tedy nastavitelná ve třech směrech a může být realizována ručně, strojním posuvem nebo krokovými elektromotory v případě CNC strojů. [2]

Podle způsobu provedení vřeten lze tyto stroje ještě dělit na vodorovné svislé a univerzální. [2]

### 2.5.2. Vodorovné konzolové frézky

Osa vřeten je rovnoběžná s pracovním stolem a saněmi. Vřeteno je na jedné straně uchyceno do stojanu, na druhé do opěrného ložiska v nastavitelném rameni. Lze jimi obrábět především rovinné plochy a drážky, za použití tvarové frézy i jednodušší tvarové plochy. Stroj je kompatibilní s kotoučovými, válcovými, tvarovými, čelními frézami i s frézovacími hlavami. Tento způsob obrábění je v současnosti vytlačován čelním frézováním frézovacími hlavami s vyměnitelnými břitovými destičkami. [2]



Obrázek 11: Vodorovná konzolová frézka [2]

### 2.5.3. Svislé konzolové frézky

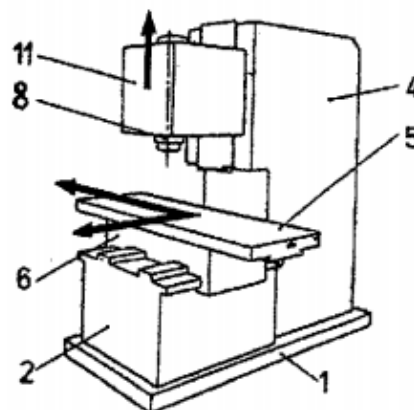
Osa vřetena je kolmá na pracovní plochu stolu. Svislou hlavu, v níž je umístěno vřeteno, lze natáčet do vodorovné polohy v obou směrech. Lze s nimi obrábět rovinné a tvarové plochy. Tyto typy strojů mohou být osazeny CNC řízením. Použitými nástroji jsou čelní, stopkové frézy a frézovací hlavy. [2]

### 2.5.4. Univerzální konzolové frézky

Sdílejí konstrukci s vodorovnými frézkami. Pracovní stůl tohoto stroje může rotovat kolem svislé osy. Univerzální frézka umožňuje volitelně instalovat svislou frézovací hlavu. [2]

### 2.5.5. Stolové frézky

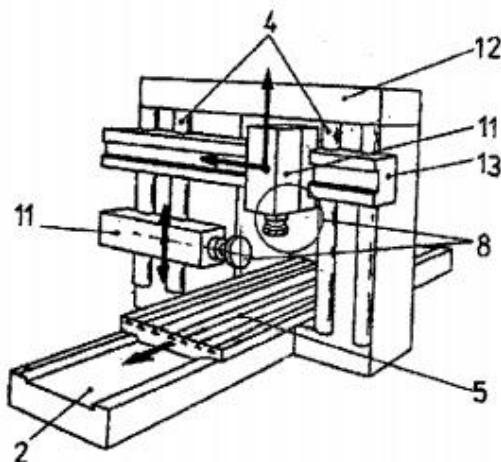
Konzola je nahrazena pevným, nepohyblivým ložem, stůl a saně zajišťují posun obrobku v podélném a příčném směru, ve svislém směru se pohybuje vřeteno s nástrojem, nikoli obrobek. Tato konstrukce je vhodnější pro obrobení hmotnějších polotovarů. [2]



Obrázek 12: Stolová frézka [2]

### 2.5.6. Rovinné frézky

Stroje určené pro frézování velkých, hmotných obrobků. Obrobek připevněný k pracovnímu stolu koná pouze podélný posuv, pohyby v příčném a svislém směru zajišťují vřeteníky. Příkladem takového stroje je portálová frézka. [2]



Obrázek 13: Portálová frézka [2]

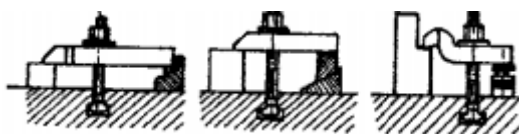
### 2.6. Upínání obrobků

Při frézování působí na obrobek značné síly, proto je nezbytné, aby byl polotovar pevně uchycen k pracovní ploše. [2]

Nejčastěji se polotovar upíná do strojního svěráku. Ty se vyrábí v různých provedeních jako pevné, otočné, sklopné. Jejich ovládání probíhá ručně, pneumaticky nebo hydraulicky. Při použití prizmatických čelistí lze upínat i válcové polotovary. [2] [4]

Dále můžeme obrobky upínat pomocí elektromagnetů a mechanických magnetů. Magnety naleznou své využití např. při frézování rozměrných desek o předepsané minimální tloušťce. Jejich limitem je však omezená upínací síla odvíjející se od počtu pólů, přes něž obrobek leží, v neposlední řadě také čistota styčných ploch magnetu a obrobku. [5]

V případech kdy nelze zvolit upnutí do svěráku tj. obrábění rozměrnějších součástí se používá upínání pomocí upínek. Obrobek je pevně přichycen k desce stolu za pomoci upínek a šroubů s T hlavou. [2] [4] [5]



Obrázek 14: Upnutí obrobku pomocí upínek [2]

### 3. Realizace úlohy

Úkolem mé práce bylo vypracování návrhu, projektové dokumentace, výroby a montáže upínacího přípravku používaného při měření zbytkových napětí stanoveného vzorku.

Při navrhování součástí jsem vycházel z tvaru zkoumaného vzorku a z použité metody měření. Metodou měření zbytkových napětí je elektrochemické odleptávání, vyvinuté na Fakultě strojní ČVUT v Praze, zkoumaný vzorkem pak lopatka turbínového kola.

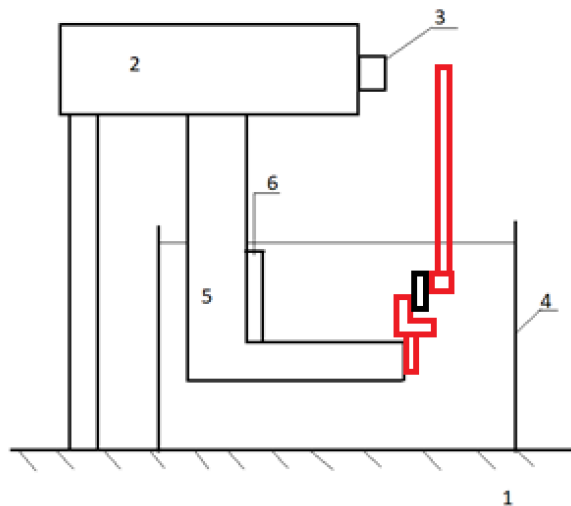


Obrázek 15: Zkoumaný vzorek lopatky

#### 3.1. Návrh přípravku

Během měření probíhá elektrochemické odleptávání tenkých vrstev povrchu čímž dochází k uvolnění zbytkových napětí a deformacím lopatky. Tyto deformace zaznamenává indukční senzor na vrchní části přístroje, následně je počítačový program převede na dále zpracovatelná data požadovaného formátu. Z popsaného principu měření, vyšel i můj návrh, aby upínač byl dvojdílný. Spodní část bude držet lopatku vůči spodnímu rameni v pevně dané pozici a připnutý vrchní díl se bude pohybovat s deformující se lopatkou.

Při bližším prohlédnutí měřicího přístroje jsem zjistil, že by navržená sestava měla překonávat značnou délku (zhruba 100 mm) tak, aby sahala od upnutí na spodním rameni až k hornímu měřicímu senzoru. Povaha upnutí na spodním rameni umožnila použití čepu na pro snadné nastavení úhlu odklonu vzorku vůči katodě.

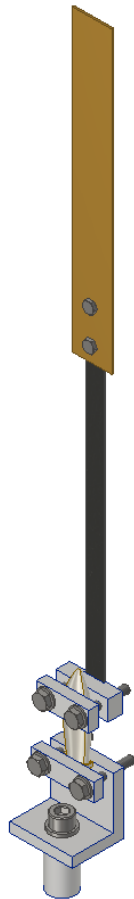


Obrázek 16: Schéma měřicího přístroje s naznačeným umístěním upínače

Lopatka není v průběhu měření zatěžována žádnou vnější silou, což nám do jisté míry ovlivňuje druh použitého materiálu. Při jeho volbě jsem se rozhodoval mezi titanovou a hliníkovou slitinou, jež byly pro tento projekt dostupné ve skladech materiálu. Konečná volba padla na slitinu hliníku nesoucí označení EN AW 7075. Jedná se o lehký, pevný materiál, který lze snadno obrobit, díky čemuž byl upřednostněn před titanovou slitinou. Slitiny titanu bývají pevnější, časy obráběcích operací by byly tedy delší, stejně tak by byla náročnější i výroba konstrukční prvků např. závitů. Z těchto předpokladů jsem v dalším kroku vytvořil 3D modely jednotlivých komponent za použití modelovacího programu Autodesk Inventor Professional 2017. Pro představu o výsledném vzhledu a rozměrech upnutí bylo nutno vytvořit celkovou sestavu, skládající se z navržených součástí, normalizovaných konstrukční součástí a zkoumaného vzorku. Navrženy byly dva konstrukčně odlišné upínače, jeden pro upínání vzorku za čelní stranu, jeden pro upnutí za boční stranu. O použití konkrétního typu upínače při měření rozhodne geometrie a tloušťka měřené součásti.



Po vizuální kontrole následovala tvorba výkresové dokumentace, jež dále sloužila k volbě obráběcích technologií a při samotné výrobě. Výkresová dokumentace je dostupná v přílohách této bakalářské práce.



*Obrázek 18: Upínací  
přípravek varianta 1*



*Obrázek 17: Upínací  
přípravek varianta 2*

### **3.1.1. Volba výrobních technologií**

Většina dílčích součástí není nikterak tvarově komplikovaná, povětšinou se skládají z rovinných, na sebe kolmých ploch, proto jsme jako hlavní výrobní technologii zvolili frézování. Tato obráběcí metoda je vhodná z hlediska strojního vybavení využívaného pracoviště, finální kvality povrchu i dodržení předepsaných rozměrových tolerancí.

Jedinou součástí, která si vyžadovala použití jiné technologie, a sice soustružení, byl čep. Pokud bych tento díl chtěli vyrobit pomocí frézování, musel bych použít frézku s CNC řízením.

Dalšími použitými technologickými procesy bylo řezání pro dělení polotovarů, stříhání a ohýbaní pro části vyrobené z plechu, vrtání otvorů pro šrouby a závity a řezání závitů pomocí závitníků.

### 3.1.2. Volba strojů

Při výběru strojů rozhodovalo především strojním vybavení halových laboratoří Fakulty strojní ČVUT, kde byla výrobní fáze projektu realizována. Dalšími hledisky, která vstupovala do výběru strojů, byla tvarová složitost vyráběných součástí, časová náročnost přípravných prací a výroby.

Pro frézování byla použita konzolová frézka TOS F2V s číslicovým odměřováním ovládaná ručně nebo strojním posuvem. Stroj splňoval mé nároky na přesnost obráběných rozměrů. Složitější frézovací operace probíhaly na stroji VMC 500.

Soustružnické operace byly prováděny na konvenčním soustruhu značky TOS Trenčín SV18 RA1.

Pro dělení základního polotovaru byla použita pásová pila OPTIMUM OPTISAW S181G, zakracování na menší, přesnější rozměry probíhalo na pile STRUERS Labotom 3.

Práce s plechovými součástmi probíhala na dílenských tabulových nůžkách a ohýbačce.

### 3.1.3. Volba nástrojů

Hodnoty provozních veličin jsem po konzultaci s vedoucím práce zvolil tak, aby bylo dosaženo přijatelného kompromisu mezi kvalitou povrchu a obráběcím časem.

Jako hlavní frézovací nástroj sloužila frézovací hlava PRAMET TOOLS 50A07R-S90AD11E-C o průměru 50 mm, se 7 vyměnitelnými břitovými destičkami PRAMET ADEX 11T308FR-FA. Používaná za následujících provozních parametrů

Tabulka 1: Provozní parametry frézovací hlavy

Řezné parametry	$v_c [m * min^{-1}]$	$n [min^{-1}]$	$f_{min} [mm * min^{-1}]$	$f_z [mm]$
Nastavené hodnoty	134	850	112	0,02



Obrázek 19: Frézovací hlava PRAMET



Obrázek 20: Vyměnitelná břitová destička PRAMET ADEX [6]

Na dodatečné frézování drážek a vybrání byla použita monolitní fréza DORMER S933 o průměru 10 mm, se třemi zuby.

Tabulka 2: Provozní parametry stopkové frézy

Řezné parametry	$v_c [m * min^{-1}]$	$n [min^{-1}]$	$f_{min} [mm * min^{-1}]$	$f_z [mm]$
Nastavené hodnoty	134	1000	112	0,01



Obrázek 21: Stopková fréza DORMER S 933 [7]

Pro soustružnické operace zarovnání čela a opracování vnějšího průměru čepu byl k dispozici nůž ISCAR DCLNR 2020K-12 s upnutou vyměnitelnou břitovou destičkou CNMG 120404ER-SI: T8330

Tabulka 3: Provozní parametry při soustružení čepu

Řezné parametry	$v_c [m * min^{-1}]$	$n [min^{-1}]$	$f_{min} [mm * min^{-1}]$	$f_n [mm * ot.^{-1}]$
Nastavené hodnoty	18	450	90	0,2



Obrázek 23: Soustružnický nůž ISCAR [8]


 Obrázek 22: Vyměnitelná břitová  
destička PRAMET [9]

Pro tvorbu děr se měnily průměry vrtáků v závislosti na požadovaných rozměrech a funkci příslušného otvoru. Vsouvání vrtáku do otvoru jsem prováděl ručně, proto není možné stanovit hodnoty lineárního posuvu.

Díra pro tvorbu závitu M3 vyžadovala použití vrtáku o průměru 2,5 mm, závity M4 zase průměr 3,3. Oba nástroje byly vybrány ze sady pro tvorbu závitů.

Tabulka 4: Provozní parametry při vrtání děr pro závity

$\varnothing D$ [mm]	Řezné parametry	$v_c [m * min^{-1}]$	$n [min^{-1}]$
<b>2,5</b>	<b>Nastavené hodnoty</b>	5	630
<b>3,3</b>	<b>Nastavené hodnoty</b>	7	630

Otvory pro šrouby velikosti M3 a M4 mají předepsáno v tabulkách průměr 3,2 mm potažmo 4,3 mm.

Tabulka 5: Provozní parametry při vrtání děr pro šrouby

$\varnothing D$ [mm]	Řezné parametry	$v_c [m * min^{-1}]$	$n [min^{-1}]$
<b>3,2</b>	<b>Nastavené hodnoty</b>	6	630
<b>4,3</b>	<b>Nastavené hodnoty</b>	9	630



*Obrázek 24: Vrták do kovu [10]*

### **3.2. Frézování na základní rozměry**

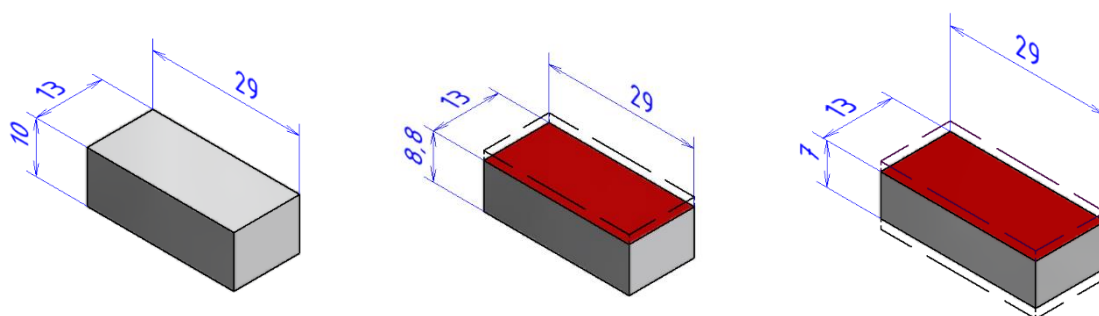
Při výrobě jsem se rozhodl vyrábět nejprve vrchní části upínacích přípravků a jejich frézované součásti. Prvním krokem byla vhodná volba polotovarů z materiálového skladu. Jako optimální obráběcí přídavek se u frézovaných součástí jevíly 3 mm, nejméně však 2 mm, aby stále existovala možnost zarovnat případné nerovnosti polotovaru, zároveň abych šetřil materiálem.

Ve skladu se vyskytovaly kvádry a odřezky ze slitiny hliníku EN AW 7075, které bylo nutno nařezat na příslušnou délku. K tomuto účelu byla využita pásová pila OPTIMUM, pro dělení větších kusů materiálů. Finální dělení materiálu bylo provedeno na metalografické pile schopné vytvořit relativně kolmý řez s malým úběrem materiálu.

Po přípravě polotovarů přišly na řadu přípravné práce nezbytné pro frézování. Pro upínání obrobků byl použit pevný svěrák, jehož čelisti bylo nutno vyrovnat s osami posuvu konzoly frézky v rovinách X a Y. Vyrovnání proběhlo tak, že jsem upevnil přesně broušený kvádr do svěráku tak, aby horní hrana kvádrů vyčnívala nad horní hranu čelistí. Tak vznikla referenční plocha upnutí, která mohla být zarovnána s osami posuvu. Svěrák byl připevněn ke stolu pomocí šroubů s T hlavou, matice zůstaly mírně povoleny. Další krok spočíval v připevnění analogového úchylkoměru za pomoci magnetu na pevnou, nepohybující se část stroje, tak, aby kulička na konci měřícího ramene zůstala v kontaktu s referenční plochou upnutí. Samotné vyrovnání svěráku pak probíhalo za posuvu konzoly ve směru osy X, kulička se pohybovala po referenční ploše upnutí, ciferník zobrazoval odchylky referenční upínací roviny a mírným poklepáním na svěrák se odchylky v délce posuvu redukovaly až na nulovou hodnotu. Poté již stačilo dotáhnout matice upevňovacích šroubů. Tímto jsem zarovnal svěrák i v ose Y, díky kolmosti čelistí svěráku.

Dále bylo nutno správně upevnit hranoly připraveného materiálu do svěráku. Polotovary jsem umísťoval mezi čelisti svěráku na přesně broušené hranoly tak, aby rovina řezu nezasahovala do čelistí svěráku. Mírným utažením svěráku, doklepním obrobku na podložku a dotažením svěráku došlo k pevnému usazení polotovaru v upnutí.

Po zapnutí pohonu vřetene jsem, pomocí ručního ovládání, najel polotovarem v ose Z k nástroji a bedlivě sledoval, kdy z obráběné plochy, odlétne první tříška. Ve chvíli, kdy k tomuto došlo, jsem odjel obrobkem v rovině X mimo záběr nástroje a na číslíkovém odměřování resetoval hodnotu polohy v rovině Z na nulu. Dále stačilo ručně nastavit příslušnou tloušťku odebírané vrstvy na hrubovací hodnotu 1,2 mm, pákou aktivovat posuv konzoly ve směru osy X a zapnout strojní posuv. Po ofrézování vrchní plochy a vyjetí obrobku mimo zastavěný prostor stolu v osách X, Y bylo možno vyjmout obrobek z upnutí. Z bezpečnostních i estetických důvodů jsem srazil hrany opracované plochy. Také to umožnilo přeměření nově vzniklých rozměrů obrobku bez toho, aniž by otřepy hran jakkoli ovlivnily měření. Takto upravený obrobek již bylo možné změřit posuvným měřítkem a zjistit tak jeho skutečné rozměry. Od naměřených rozměrů jsem odečetl požadované rozměry a výsledek udával přídavek na obrábění, který bude muset být ještě odebrán. V souladu s technologickými zásadami jsem výsledný přídavek na obrábění rozdělil na hodnotu odebranou hrubováním a dokončovacím průchodem nástroje.



Obrázek 25: Schéma postupu frézování svěráčku

Obrobek byl znovu upnut do svěráku podle předchozího postupu s tím rozdílem, že obrobená plocha byla nyní přitisknuta na podložku, aby bylo možné opracovat protější plochu. Konzole s obrobkem byla přesunuta před nástroj mimo jeho záběr, nastavil jsem kladnou hodnotu odebrané vrstvy materiálu pro hrubovací operaci v ose Z a zapnul strojní posuv v horizontální rovině. Po prvním průchodu nástroje a jeho vyjetí mimo záběr došlo k nastavení tloušťky odebírané vrstvy dokončovacím průchodem a opětovným ofrézováním plochy byl teoreticky dosažen požadovaný rozměr součásti.

Po opětovném vyjmutí obrobku ze svěráku a sražení jeho hran, bylo nezbytné přeměřit nově vytvořený rozměr, zdali splňuje předepsané hodnoty výkresové dokumentace.

Při obrábění zbývajících 4 ploch jsem postupoval stejně jako při obrábění prvních 2 ploch. Obrobek jsem upínal vždy za již obrobené plochy, tak aby byla dosažena kolmost všech sousedících ploch.

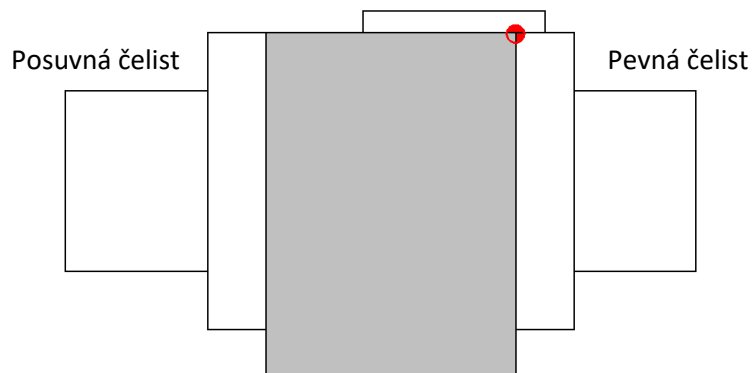
### **3.3. Výroba drážek a vybrání**

Po opracování vnějších rozměrů obrobků přišla na řadu výroba drážek a vybrání na součástech označených jako SVĚRÁČEK 1 A SVĚRÁČEK 2. Pro tuto operaci byla použita monolitní, třízubá fréza.

Předně bylo nezbytné vytvořit referenční bod v pracovním prostoru, kde se hodnoty poloh X a Y rovnaly nule. Tento bod musí být umístěn na takovém místě, aby bylo možné opakovaně upnout roh obrobku do nově zvoleného referenčního bodu roviny XY.

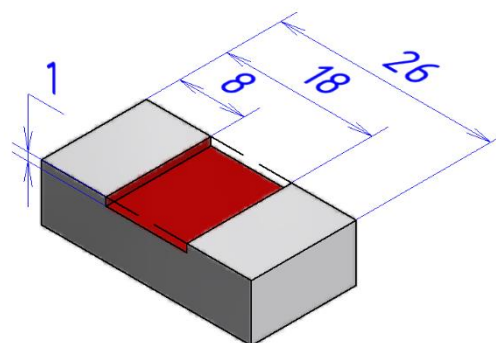
Do vřetene nástroje bylo přes redukční pouzdro zavedeno tříčelistové vrtačkové sklíčidlo. Do sklíčidla byl upnut rovný váleček o průměru 4 mm tak, aby vyčníval z čelistí sklíčidla. Ve svěráku upnutý přesně broušený kvádr po doražení na boční, otočnou zářku sloužil jako kalibrační těleso. Válečkem najetým do těsné blízkosti plochy kvádrů, která byla přitížena na nepohyblivě se čelist upnuté a za použití cigaretového papírku o tloušťce 0,02 mm, vsunutým mezi obě tělesa, jsem nastavil hodnotu osy X. Pomalým najížděním obrobku k válečku a posuvného pohybu papírku jsem dojel až do té vzdálenosti, kdy nebylo již možno pohnout papírkem. V této chvíli byla hodnota

polohy ve směru Y vynulována. Poodjetím obrobku od válečku, sjetím s ním v ose Z směrem dolů a ručním najetím ve směru X na hodnotu polohy 2 mm a opětovným vynulováním pozice X, došlo ke kompenzaci průměru válečku, osa vřetene nyní procházela hranou statické čelisti svěráku. Stejný postup byl aplikován i při nastavování nulové pozice ve směru osy Y, podle plochy přitisknuté na boční zarážku. Tímto postupem došlo k nastavení referenčního bodu na roh statické čelisti.



Obrázek 26: Znárodnění polohy referenčního bodu v rohu čelisti svěráku

Obrobek byl znovu upnut a podložen přesně broušenou podložkou s tím rozdílem, že nyní bylo nutno obrobek dorazit na podložku, statickou čelist a boční zarážku. K upnutí pracovního nástroje posloužil kleštinový upínač. Nástroj by naveden na souřadnice X-5, Y-13. Po spuštění vřetene jsem opět v ose Z najížděl k rotujícímu nástroji až do doby, kdy odlétla první tříška. Tato výška mohla být považována za nulovou, proto došlo k vynulování souřadnice osy Z. Poté stačilo odjet obrobkem mimo záběr nástroje, nastavit hodnotu tloušťky řezu na 1 mm a zapnout strojní posuv v ose X.



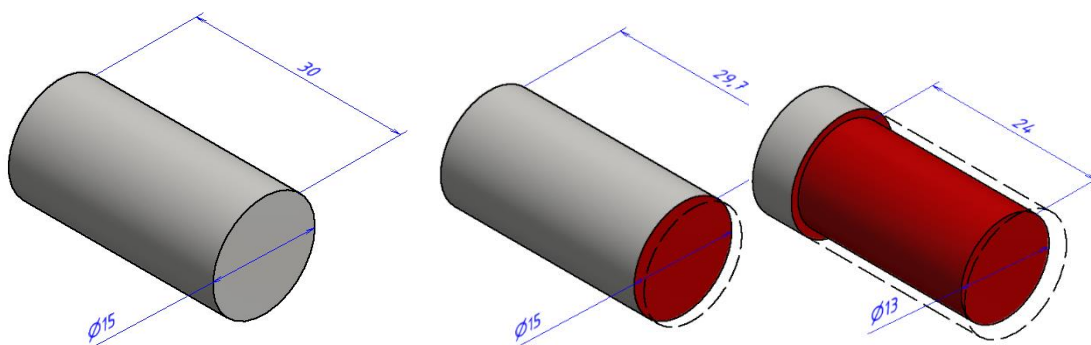
Obrázek 27: Schéma tvorby drážky



Při výrobě součásti SVĚŘÁČKU 2 byl postup zcela stejný, s tím rozdílem, že množství odebraného materiálu bylo větší, proto se hodnoty odebíraných vrstev materiálu pohybovaly v rozmezí od 1,5 mm pro hrubovací operace, do 0,6 mm pro dokončovací průchod nástroje.

### 3.4. Soustružení čepu

Soustružení čepu probíhalo na konvenčním soustruhu TOS. Stroj byl nastaven na 450 otáček, posuv na 0,01 mm. Nejprve bylo zarovnáno čelo obrobku soustružnickým nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou, posléze vnější průměr čepu.



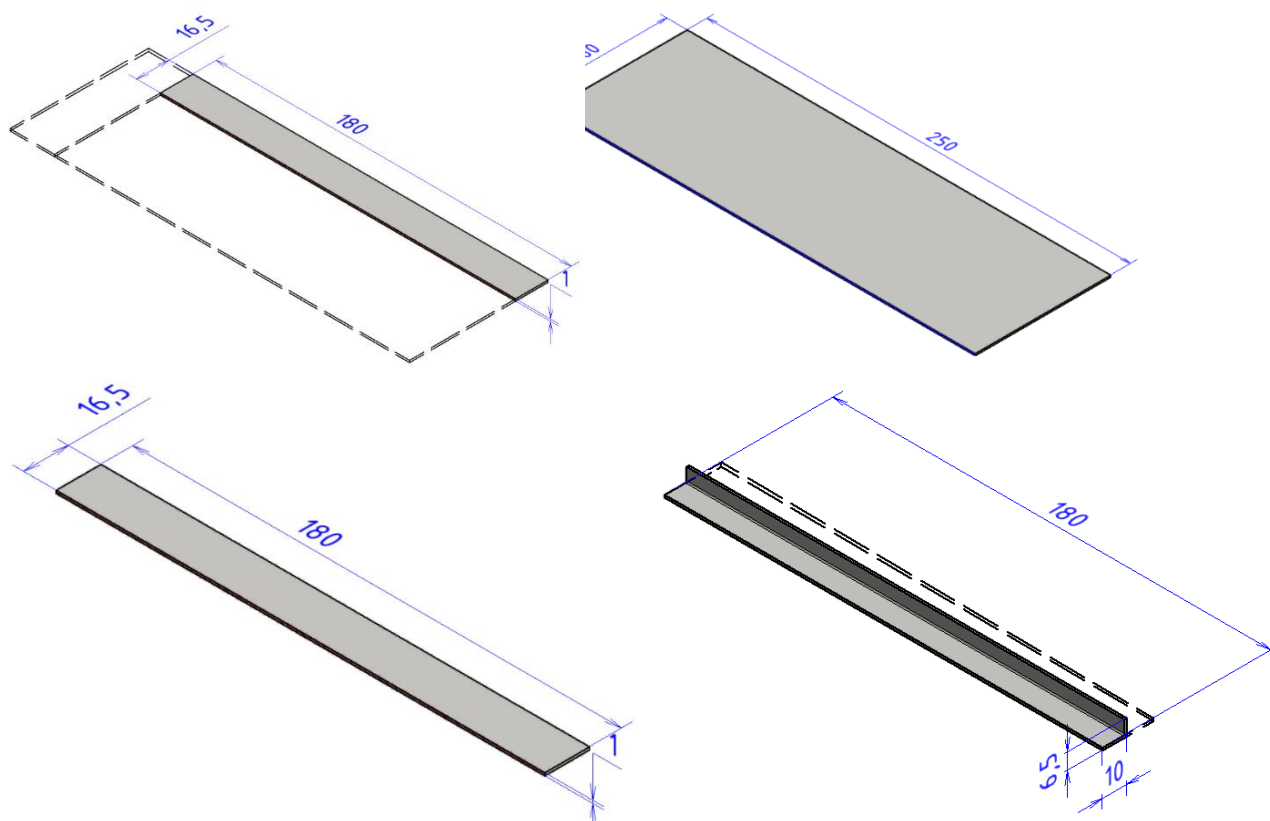
Obrázek 28: Schéma soustružení čepu

### 3.5. Stříhání a ohýbání plechových součástí

Pro výrobu profilovaných součástí L PROFIL a U PROFIL sloužil plech o tloušťce 1 mm, pro PRAPOREK plech o tloušťce 0,6 mm. K dělení těchto polotovarů byly zvoleny stolní tabulové nůžky s průchozím přitlačným držákem, jehož aktivací došlo ke stabilizaci plechové tabule a přesnému nadělení materiálu.

Po nastříhání plechu tloušťky 1 mm bylo nutno příslušné plechové pásy ohnout do tvaru konstruovaných profilů. Tato operace probíhala na ruční ohýbačce plechu. Jednalo se o nejobtížnější operaci z hlediska dodržení předepsaných rozměrů z důvodu opotřebení ohýbacího stroje a tím způsobených výrobních nepřesností.

Součást PRAPOREK stačilo pouze nastříhat z plechové tabule o tloušťce 0,4 mm.

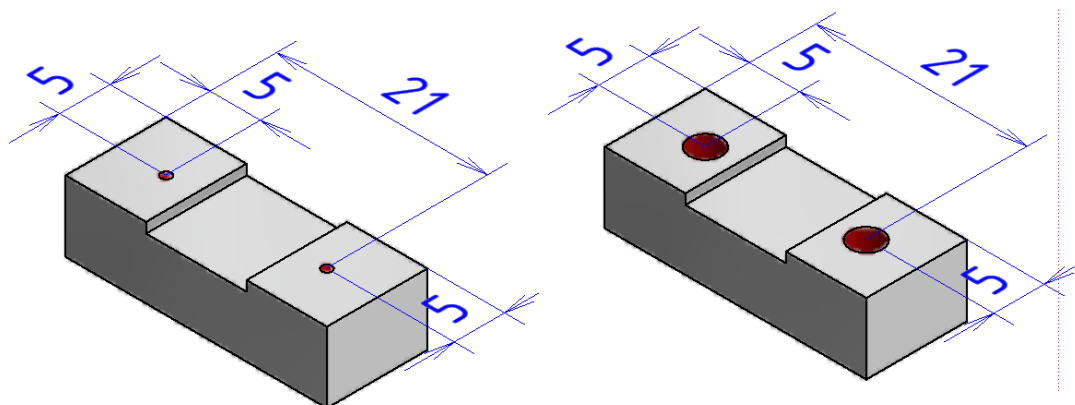


Obrázek 29: Schéma postupu při výrobě profilovaných součástí

### 3.6. Vrtání děr a výroba závitů

Pro tyto technologické operace se jevil jako nejvhodnější stroj, již dříve používaná a seřízená frézka. Nastavená nulová souřadnice os X a Y v rohu čelisti svěráku mi do značné míry ulehčila práci na tomto stroji. Po upevnění tříčelistového vrtačkového sklíčidla přes redukční pouzdro do vřetene konzolové frézky již nebylo nutno stroj nikterak seřizovat a dalo se přímo přistoupit k výrobě děr a závitů.

Výroba otvorů pro šrouby byla jednodušší z obou operací, proto přišla na řadu jako první. Opracovávanou součástku stačilo zespodu podpořit podložkou, dorazit na boční zarážku a čelist svěráku, svěrák pevně dotáhnout a podložku vytáhnout. Vytažením podložky vznikl volný prostor pod součástí pro vyjetí vrtáku. Dále již zbývalo středícím vrtákem připravit otvory pro další vrtání. Výsledné otvory byly vyvrtány vrtáky o rozměrech stanovených ve výkresové dokumentaci. Pro vyšší kvalitu vrtaných otvorů jsem vyjžděl, po vyvrtání každých 2mm hloubky díry, vrtákem ze záběru.



Obrázek 30: Schéma vrtání děr

Pro výrobu závitů bylo zapotřebí nejprve vyvrtat díry. Rozměry děr pro závit, respektive velikosti používaných vrtáků, byly odečteny z tabulky na zadní straně dílenského posuvného měřítka. Postup výroby děr pro závity se shodoval s výše uvedeným postupem. Po vyvrtání otvoru byl vrták vyňat ze sklíčidla, čelisti sklíčidla dotaženy tak, aby mezi nimi byla mezera zhruba 1 mm. V případě zhotovení závitů pomocí sadového závitníku jsem nejprve použil nástroj s jedním proužkem na dřívku. Tento závitník jsem lehce vložil do předpřipraveného otvoru a mírně pootočili do pozice, kdy byl cítit odpor materiálu, což znamenalo, že břity nástroje začaly řez. Sjetím sklíčidla v ose Z až do místa, kde dosedla špička závitníku mezi čelisti, jsem zaručil souosost vyvrtané díry a osy rotace závitníku. Pak už stačilo závit jen vyřezat a profil závitů dotvořit průchody dalších dvou závitníků ze sady. Po vytvoření jsem přistoupil k výrobě dalších děr, jejich vnitřních závitů. Tato operace se mi jevila jako kritická z hlediska trpělivosti a přesnosti výroby. Takto malé závity jsou choulostivé na destrukci prvních několika závitů, ať už nesouosostí závitníku a díry nebo přílišným tlakem vyvinutým na závitník při vstupu do řezu.

Pro řezání závitů v součásti ČEP jsem použil strojní závitník. Součást upnutá ve sklíčidle byla roztočena na 14 otáček, nástroj upevněný v koníku jsem mírným tlakem navedl do řezu a zbytek řezu již vykonal stroj. Tento krok vyžadoval značnou obezřetnost a včasné zastavení rotace obrobku, aby závitník nezajel až na dno díry a nedošlo k jeho zalomení.

### 3.7. Výroba L SVĚŘÁKU

Součást na výrobních výkresech označená jako L SVĚŘÁK byla na výrobu nejkomplicovanější. Množství materiálu určeného k úběru bylo mnohonásobně větší než v případě ostatních součástí. Použití konvenční frézky by znamenalo neúměrnou náročnost na obsluhu a čas. Po zvážení všech kladů a záporů jsem se rozhodl tento díl vyrobit pomocí konvenční a CNC frézky.

Na konvekčním stroji byla opracována vnější kontura dílu o obdélníkovém půdorysu. Díl byl posléze přenesen na CNC frézku VMC 500, kde byl v dalším kroku odstraněn větší objem materiálu z kapsy a vytvořen tvar písmene L svěřáku. Po nastavení počátku pomocí dotykové sondy, jsme společně s vedoucím práce začali programovat stroj pomocí G kódu. Následným spuštěním programu v posunutém souřadném systému jsme zkontrolovali, zda program běží hladce. Se správně umístěným souřadným systémem nezbývalo nic jiného než spustit NC kód.

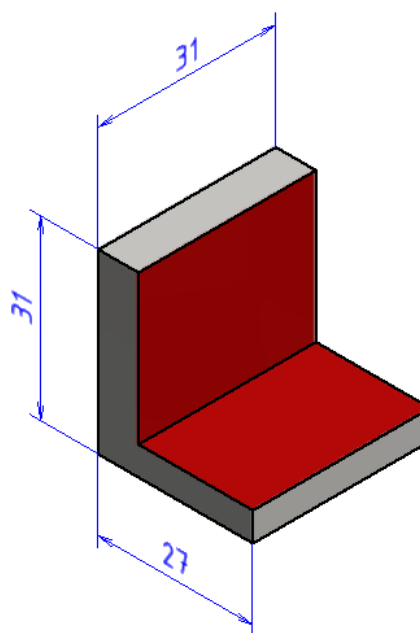
Použitím CNC frézky bylo dosaženo výrazně větší efektivity práce a kratšího obráběcího času než v případě využití konvenčního stroje.

```

m6 t31
m3 s400
g0 x-45 y5.5 z20
g1 z-5 f150
g1 x150
g1 z-10
g1 x-45
g1 z-15
g1 x150
g1 z-20
g1 x-45
g0 z200

m2|
    
```

Obrázek 32: Ovládací skript



Obrázek 31: CNC obráběný díl

## 4. MONTÁŽ

Posledním krokem realizace byla montáž celé sestavy. Jednotlivé součásti byly spojeny šrouby zakoupenými v železářství. První řešenou překážkou byla přílišná délka šroubů, spojující součásti SVĚŘÁČKU 1/2 A PROFILU U/L. Tyto šrouby jsou standardně příliš dlouhé, musel jsem je tedy zbrousit na požadované délky tak, aby pevně spojily obě součásti.

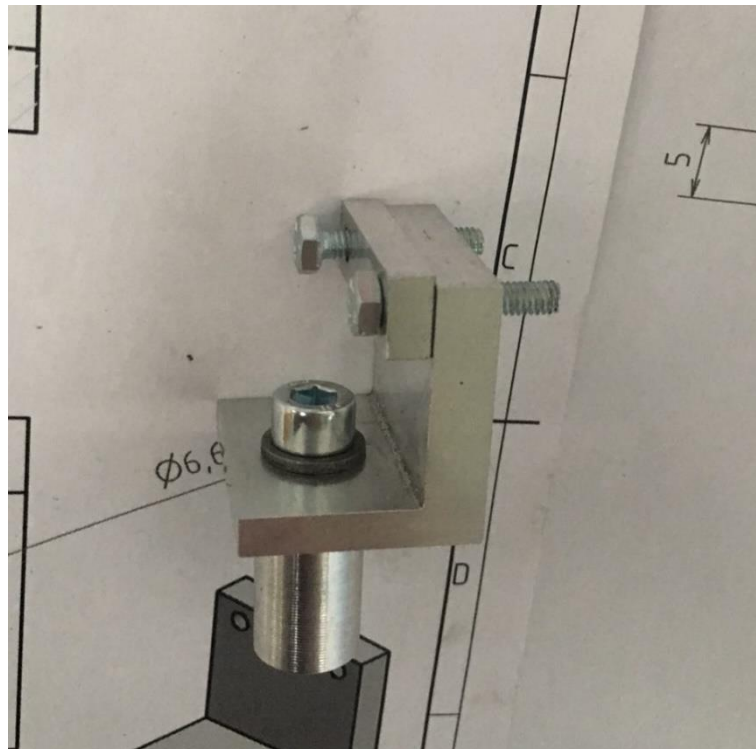
Součásti U PROFIL jsem nalisoval na součást SVĚŘÁČEK 2. Vlivem opotřebení ohýbačky byl rozměr uvnitř U profilu příliš velký, čímž by tuhost soustavy nebyla dostatečná. Tato operace probíhala na mechanickém lisu.

Při montáži byly také sraženy hrany vybraným součástem, které bude uživatel brát do rukou, tak aby se o ostré hrany nezranil.

Po sešroubování všech dílů byla dále otestována funkčnost těchto přípravků na reálném vzorku.



Obrázek 33: Smontovaná vrchní část



Obrázek 34: Smontovaná spodní část



Obrázek 35: Aplikace upínacího přípravku při měření

## 5. ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabýval návrhem a výrobou upínacích přípravků pro laboratorní měření. Ze znalosti použité metody měření a konstrukce měřicího stroje jsem zkonstruoval dva rozdílné typy upínačů, které byly posléze vyrobeny podle výkresové dokumentace.

V teoretické části jsem se věnoval frézování, což byla během tohoto projektu nejvíce využívaná výrobní technologie. Nastínil jsem základní problematiku, pojmy a typy této technologie. Na závěr jsem se zaměřil na širší souvislosti, jako je upínání nástrojů, typy strojů nebo upínání obrobků.

Po prvotním seznámení s metodou měření jsem systematicky vypracoval návrh a výkresovou dokumentaci pomocí CAD softwaru. Při návrhu sestavy byl kladen důraz na nízkou hmotnost, dostatečnou tuhost a snadnou vyrobiteľnost. Tyto požadavky se stejně tak promítly do výběru materiálu, kterým byla slitina hliníku EN AW 7075. Výsledkem konstrukčního procesu byly dvě varianty upínačů, které byly dále vyrobeny v souladu s výkresovou dokumentací. Poslední fází byla montáž součástí dohromady.

Tato úloha byla velmi komplexní a vyžádala si použití technologie frézování, ohýbání, stříhání, vrtání, soustružení. Všechny součásti byly vyrobeny v souladu s výkresovou dokumentací dostupnou v přílohách této práce. Funkčnost přípravků byla ověřena použitím při reálném měření zbytkových napětí. Veškeré cíle této bakalářské práce byly tedy splněny.

## ZDROJE

- [1] *Technologie frézování* [online]. Šumperk: Střední odborná škola a Střední odborné učiliště Šumperk, 2007 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: [http://www.sszts.cz/stary\\_web/stary\\_web/esf/TEC\\_fr.pdf](http://www.sszts.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf)
- [2] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03733-1.
- [3] *Sousledné a nesousledné frézování* [online]. Sandvik Coromat, 2019 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
- [4] *Základy frézování* [online]. Kroměříž: Střední škola – Centrum odborné přípravy technické Kroměříž, 2011 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=45753&revision=-1&instance=2>
- [5] *Upínání obrobků* [online]. Elektronická učebnice, 2011 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1211>
- [6] *Katalog MaV* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=95636&lang=0>
- [7] *Fabory* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=90311>
- [8] *Tools United* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=90311>
- [9] *MaV katalog* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=90311>
- [10] *A KOTLE* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.a-kotle.cz/projahn-spiralovy-vrtak-hss-g-eco-3-5mm-levy-18035l-118140.html>
- [11] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
- [12] *ELUC – Nástroje, upínání nástrojů a ostření* [online]. [cit. 2019-06-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1228>



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Cykloidní trajektorie zubu [2] .....	14
Obrázek 2: Schéma sousledného frézování [2] .....	15
Obrázek 3: Schéma nesousledného frézování [2] .....	15
Obrázek 4: Obrábění obvodem (vlevo) a čelem nástroje (vpravo) [2].....	16
Obrázek 5: Okružní frézování (vlevo) a rotační frézování (vpravo) [2] .....	17
Obrázek 6: Příklady provedení frézovacích nástrojů [2] .....	19
Obrázek 7: Upnutí nástroje na nástrčném trnu [2].....	19
Obrázek 8: Upnutí čelní frézy [2] .....	19
Obrázek 9: Redukční pouzdro [2].....	19
Obrázek 10: Kleštinové upnutí nástroje [2] .....	20
Obrázek 11: Vodorovná konzolová frézka [2].....	21
Obrázek 12: Stolová frézka [2] .....	21
Obrázek 13: Portálová frézka [2].....	22
Obrázek 14: Upnutí obrobku pomocí upínek [2] .....	22
Obrázek 15: Zkoumaný vzorek lopatky .....	23
Obrázek 16: Schéma měřicího přístroje.....	24
Obrázek 17: Upínací přípravek varianta 2.....	25
Obrázek 18: Upínací přípravek varianta 1.....	25
Obrázek 19: Frézovací hlava PRAMET .....	27
Obrázek 20: Vyměnitelná břitová destička PRAMET ADEX [6] .....	27
Obrázek 21: Stopková fréza DORMER S 933 [7].....	27
Obrázek 22: Vyměnitelná břitová destička PRAMET [9] .....	28
Obrázek 23: Soustružnický nůž ISCAR [8].....	28
Obrázek 24: Vrták do kovu [10] .....	29
Obrázek 25: Schéma postupu frézování svěráčků .....	30
Obrázek 26: Znázornění polohy referenčního bodu v rohu čelisti svěráku .....	32
Obrázek 27: Schéma tvorby drážky.....	32
Obrázek 28: Schéma soustružení čepu .....	33
Obrázek 29: Schéma postupu při výrobě profilovaných součástí.....	34
Obrázek 30: Schéma vrtání děr .....	35
Obrázek 31: CNC obráběný díl .....	36
Obrázek 32: Ovládací skript .....	36
Obrázek 33: Smontovaná vrchní část.....	37
Obrázek 34: Smontovaná spodní část.....	38
Obrázek 35: Aplikace upínacího přípravku při měření.....	38

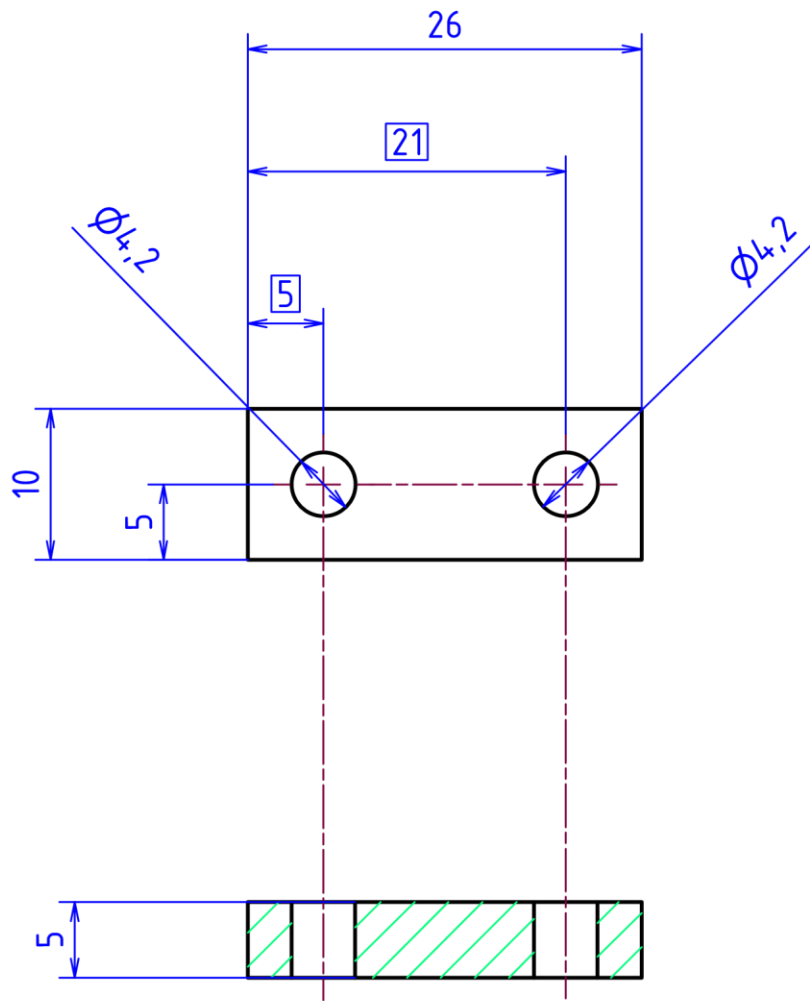
## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Provozní parametry frézovací hlavy .....	26
Tabulka 2: Provozní parametry stopkové frézy.....	27
Tabulka 3: Provozní parametry při soustružení čepu.....	27
Tabulka 4: Provozní parametry při vrtání děr pro závit.....	28
Tabulka 5: Provozní parametry při vrtání děr pro šouby .....	28

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – výkresová dokumentace





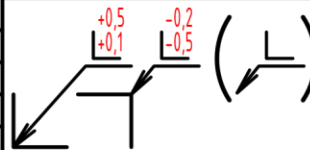
MATERIÁL: Hliník 7075

POLOTOVAR:

TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015

PŘESNOST ISO 2768 - mK

VŠEOB. TOL. ISO 8062 -



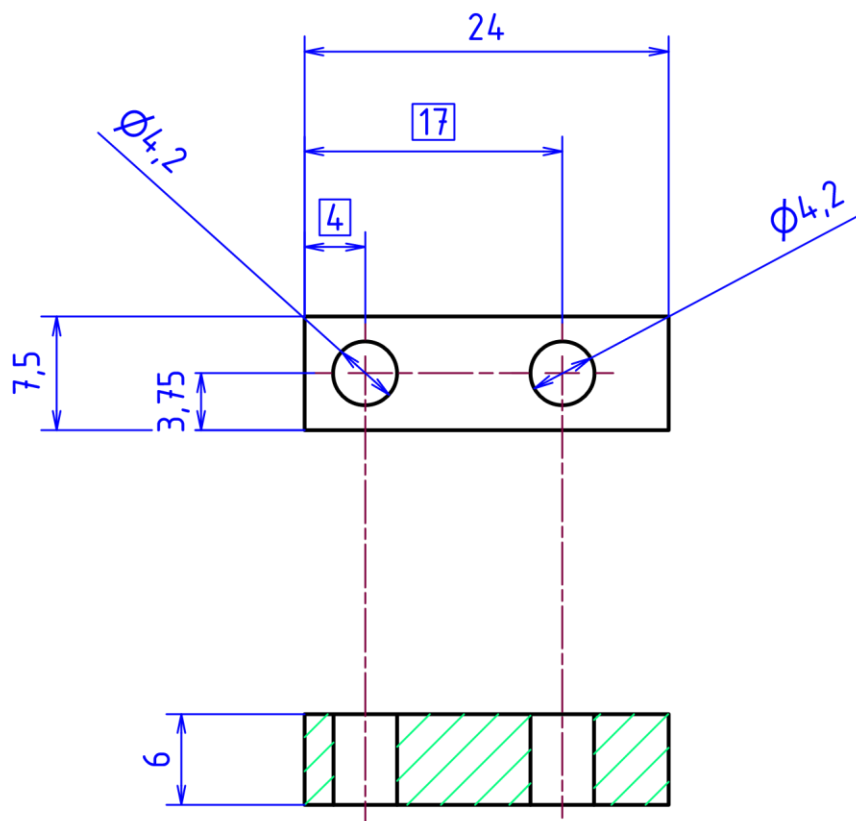
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘÍTKO
NAVRHL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	PŘEZK.		SESTAVA		2:1
KRESLIL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL		KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \triangleleft \\ \oplus \end{matrix}$ (ISO E)

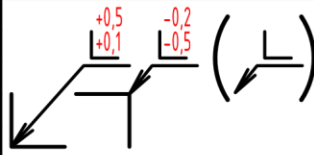
<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ</p>	NÁZEV	ČELIST DRŽÁKU
	ČÍSLO VÝKRESU	102

LIST: 1 / 1





MATERIÁL: Hliník 7075							
POLOTOVAR:							
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015							
PŘESNOST ISO 2768 - mK							
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -							



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

NAVŘHL	Šimon Petrášek	Datum	5. 3. 2019	PŘEZK.		HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘÍTKO	2:1
KRESLIL	Šimon Petrášek	Datum	5. 3. 2019	SCHVÁLIL		SESTAVA		PROMÍTÁNÍ:	☐ (ISO E)
						KUSOVNÍK		TYP:	



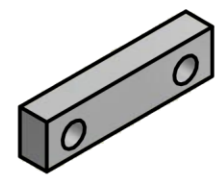
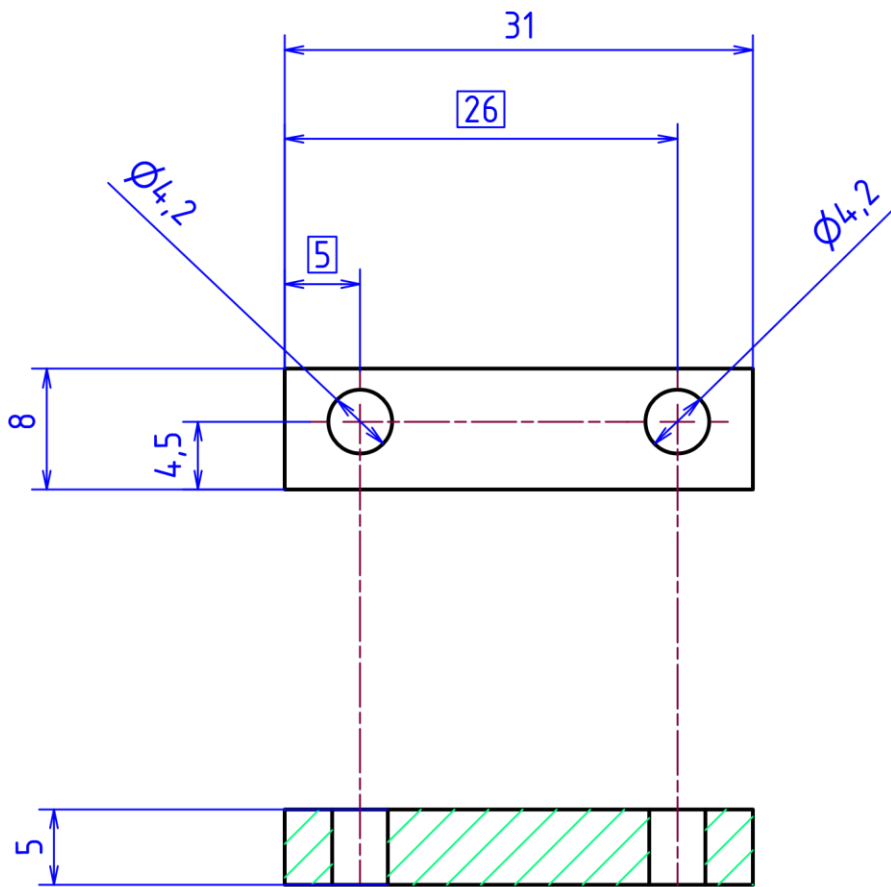
NÁZEV  
**ČELIST DRŽÁKU 2**

ČÍSLO VÝKRESU  
**202**

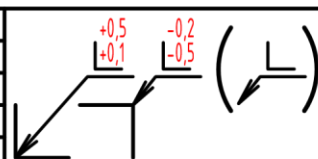
LIST: 1 / 1







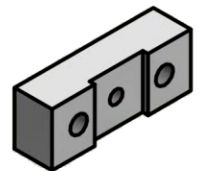
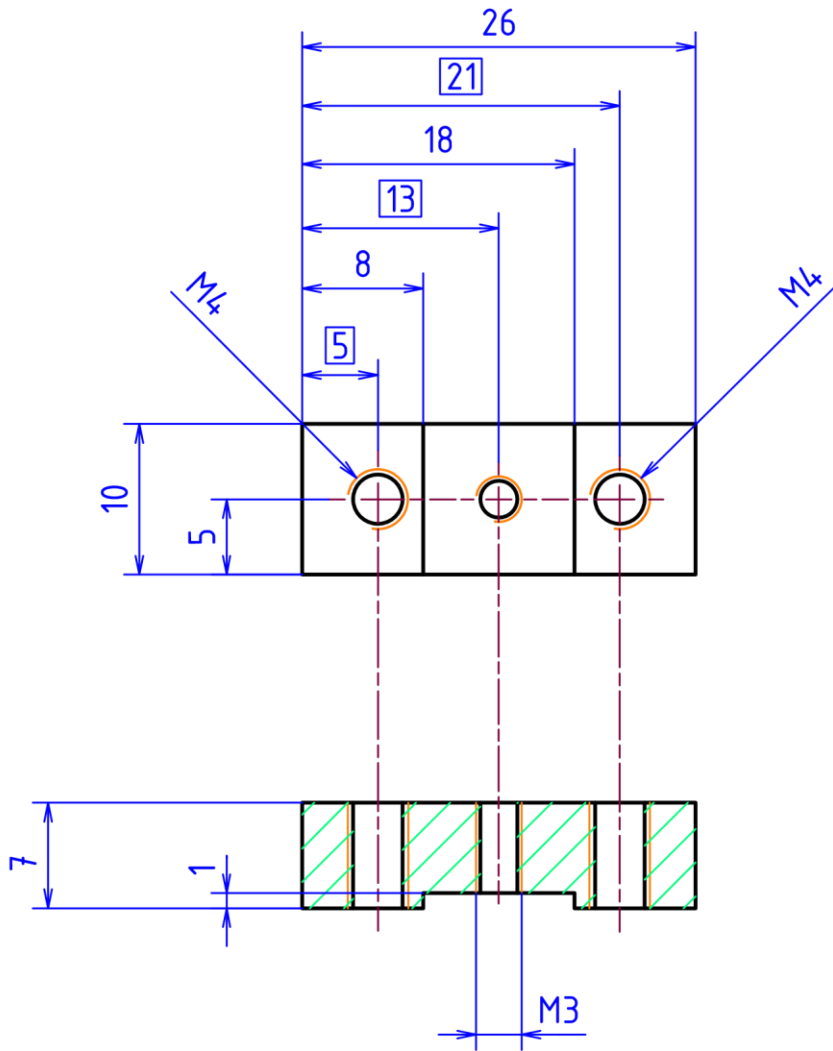
MATERIÁL: Hliník 7075								
POLOTOVAR:								
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015								
PŘESNOST ISO 2768 - mK								
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -								



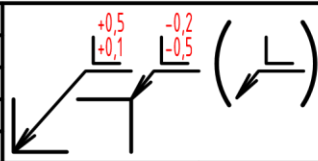
	Autor	Datum		Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘÍTKO	
NAVRHL	Šimon petrášek	5. 3. 2019	PŘEZK.			SESTAVA		2:1	
KRESLIL	Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL			KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ: $\triangleleft$ $\oplus$ (ISO E)	

<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ</p>	NÁZEV	ČELIST SVĚŘÁKU	
	ČÍSLO VÝKRESU	302	





MATERIÁL: Hliník 7075									
POLOTOVAR:									
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015									
PŘESNOST ISO 2768 - mK									
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -									



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Autor	Datum	PŘEZK.	Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘITKO
NAVRHL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL			SESTAVA		2:1
KRESLIL Šimon Petrášek	5. 3. 2019				KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ: $\ominus$ (ISO E)
				NÁZEV <b>DRŽÁK 1</b>			
				ČÍSLO VÝKRESU <b>101</b>			
				LIST: 1 / 1			



1 2 3 4 5 6 7 8

A

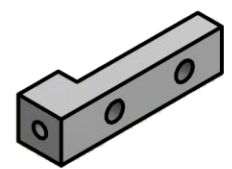
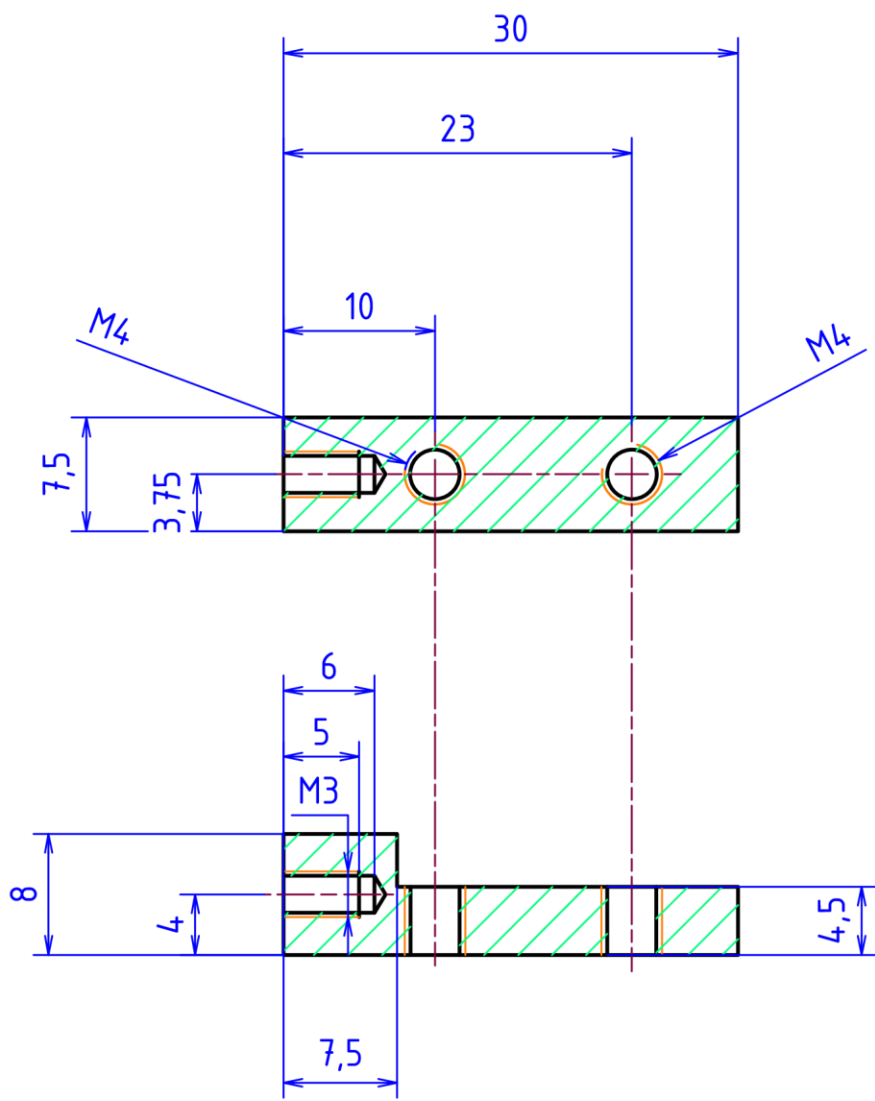
B

C

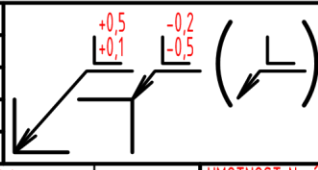
D

E

F



MATERIÁL: Hliník 7075  
 POLOTOVAR:  
 TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015  
 PŘESNOST ISO 2768 - mK  
 VŠEOB. TOL. ISO 8062 -



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

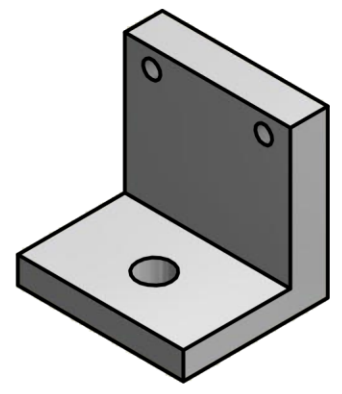
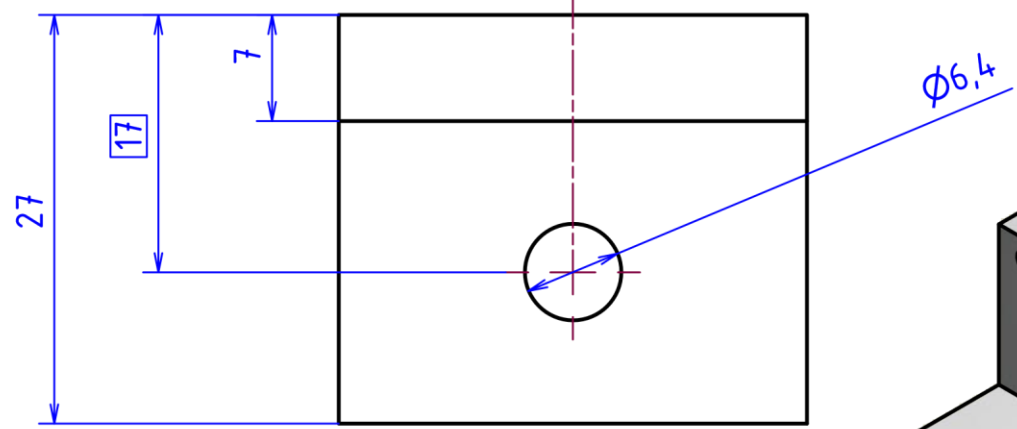
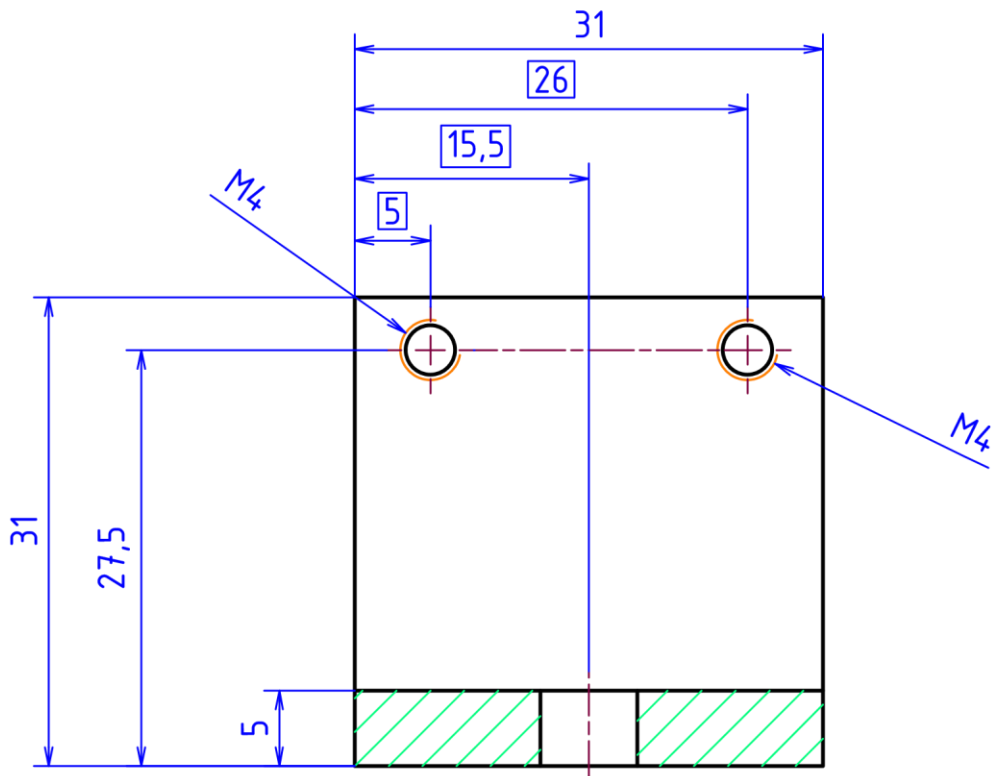
NAVRL	Autor	Datum	PŘEZK.	Podpis	Datum	HMOTNOST	SESTAVA	MĚŘÍTKO
KRESLIL	Simon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL			Nejí k dispozici	KUSOVNÍK	2:1



NÁZEV: DRŽÁK 2  
 ČÍSLO VÝKRESU: 201  
 TYP: PROMÍTÁNÍ:  $\nabla$   $\oplus$  (ISO E)  
 LIST: 1 / 1

1 2 3 4 5 6 7 8





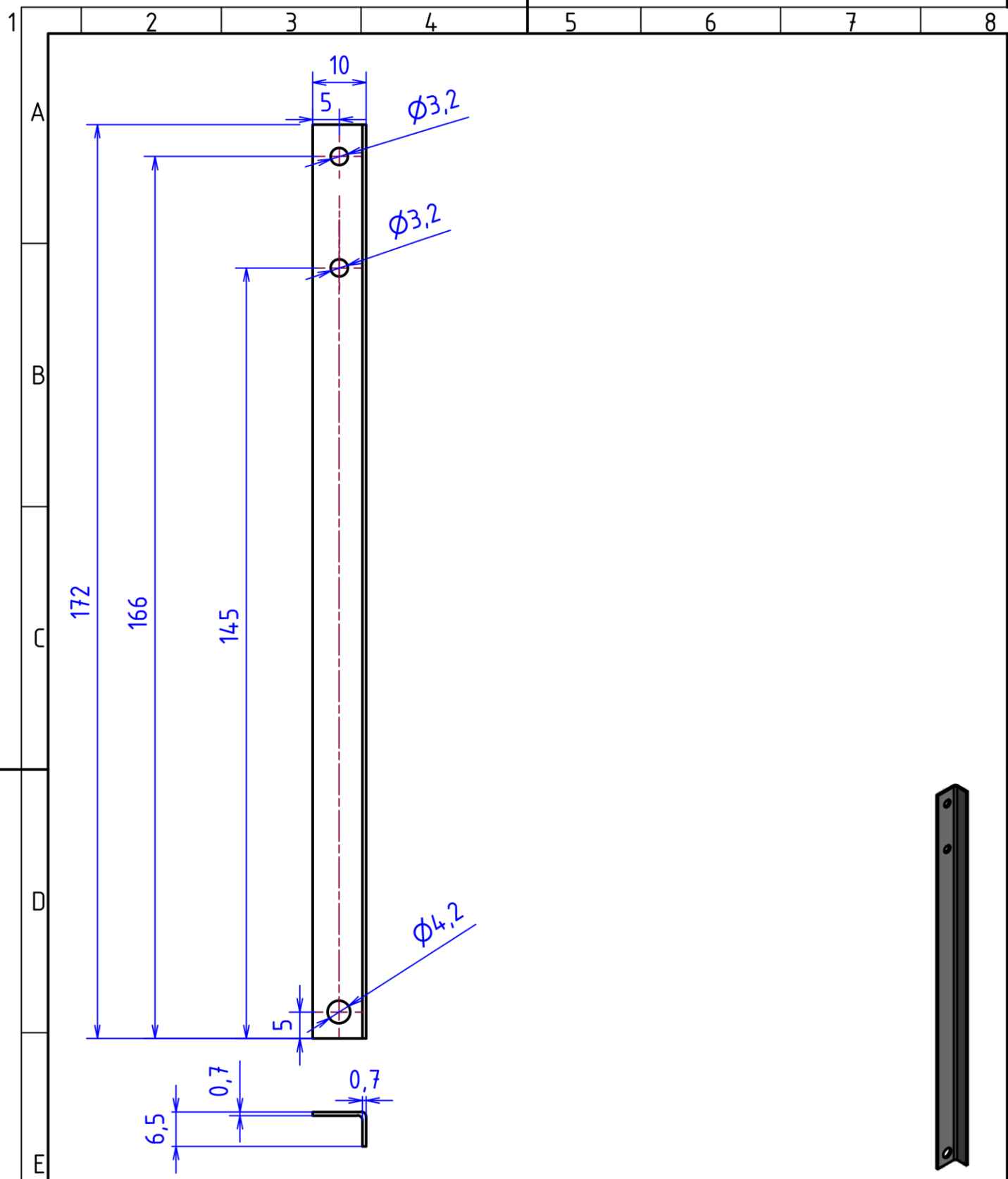
MATERIÁL: Hliník 7075		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR:					
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015					
PŘESNOST ISO 2768 - mK					
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -					

Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘÍTKO
NAVRHL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	PŘEZK.		SESTAVA		2:1
KRESLIL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL		KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)

	NÁZEV	L SVĚRÁK
	ČÍSLO VÝKRESU	301
		LIST: 1 / 1





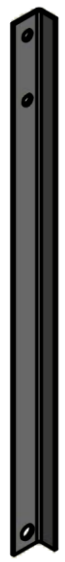
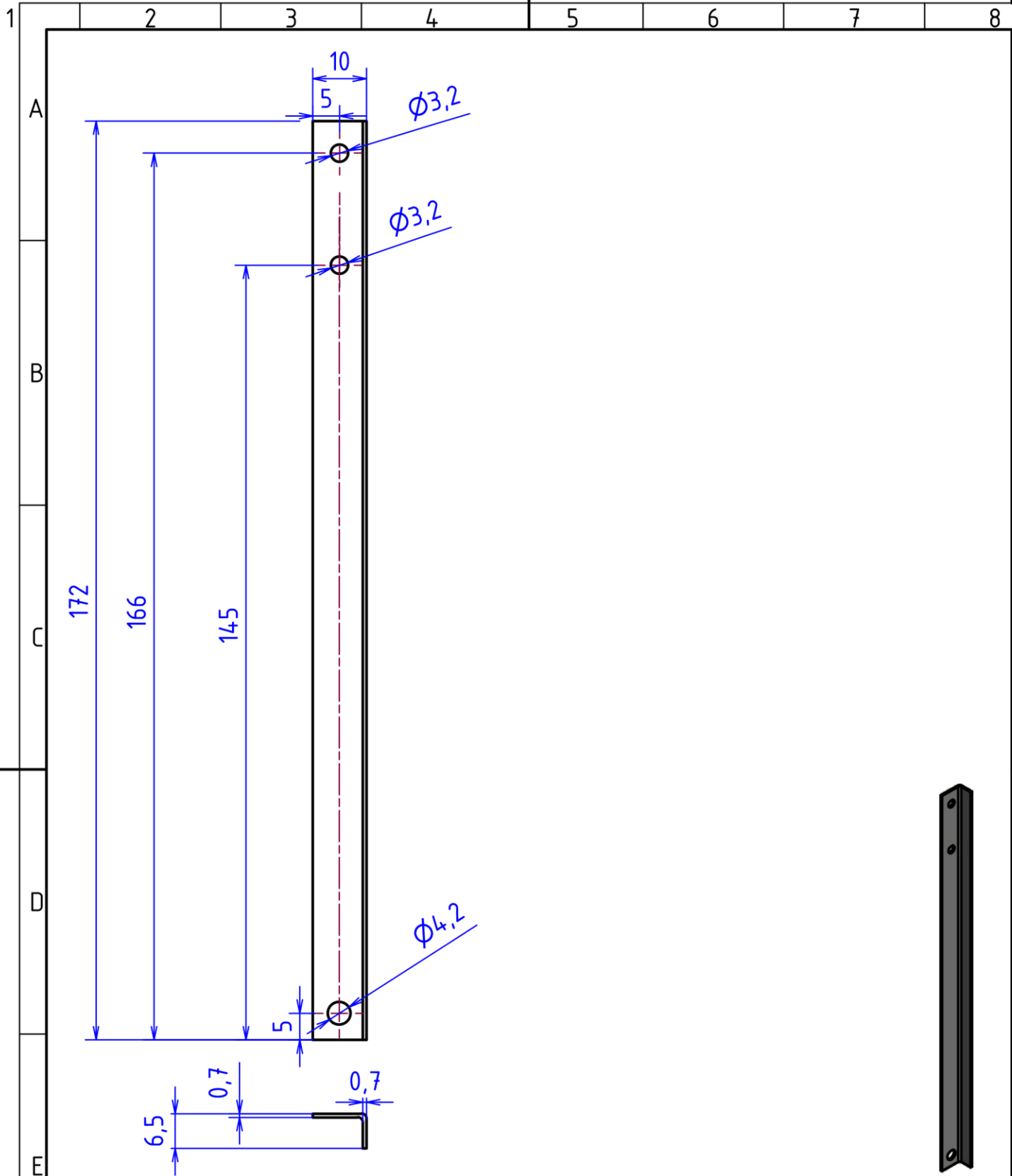


MATERIÁL: E295 (11 500)				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR:							
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015							
PŘESNOST ISO 2768 - mK							
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -							

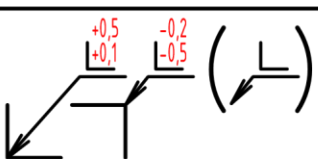
Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘÍTKO
NAVRHL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	PRÉZK.		SESTAVA		1:1
KRESLIL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVALIL		KUSOVNIK		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)

	NÁZEV	L PROFIL
	ČÍSLO VÝKRESU	103
		LIST: 1 / 1





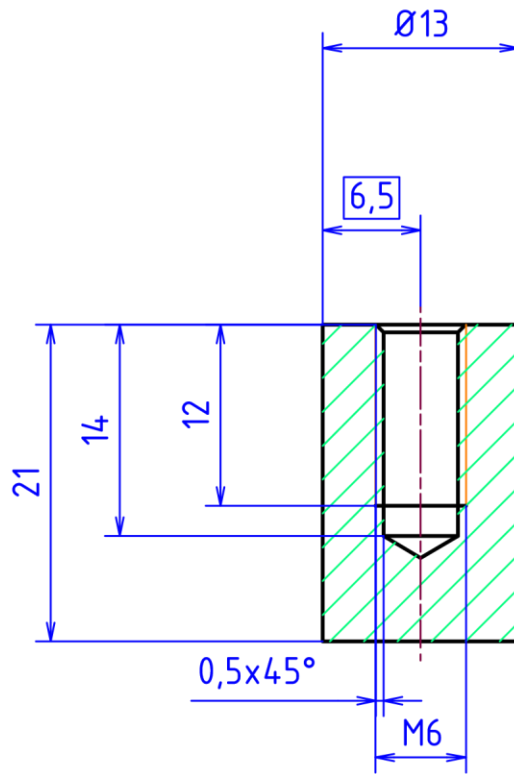
MATERIÁL: E295 (11 500)									
POLOTOVAR:									
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015									
PŘESNOST ISO 2768 - mK									
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -									



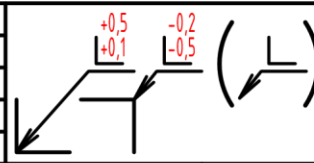
	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS
NAVRHL	Šimon Petrášek	5. 3. 2019	PŘEZK.		Není k dispozici				
KRESLIL	Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVÁLIL		SESTAVA				
					KUSOVNÍK				

	NÁZEV	L PROFIL
	ČÍSLO VÝKRESU	103
	MĚŘÍTKO	1:1
	PROMÍTÁNÍ:	☐ (ISO E)
	TYP:	
		LIST: 1 / 1





MATERIÁL: Hliník 7075  
 POLOTOVAR:  
 TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015  
 PŘESNOST ISO 2768 - mK  
 VŠEOB. TOL. ISO 8062 -



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Autor	Datum	PŘEZK.	Podpis	Datum	HMOTNOST	Není k dispozici	MĚŘITKO
NAVRHL Šimon Petrášek	5. 3. 2019	SCHVALIL			SESTAVA		2:1
KRESLIL Šimon Petrášek	5. 3. 2019				KUSOVNÍK		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E.)



NÁZEV: ČEP SVĚŘÁKU  
 ČÍSLO VÝKRESU: 303  
 LIST: 1 / 1