



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

PRODUCTION TECHNOLOGY OF A PART

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Vlach

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jan Vlach**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

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

## Technologie výroby součásti

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie výroby součásti s preferencí použití frézovacích a vrtacích metod.

### Cíle bakalářské práce:

Teorie strojního obrábění.  
Rozbor technologičnosti součástky.  
Návrh technologického postupu.  
Rozbor strojního času.  
Diskuze výsledků.

### Seznam doporučené literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

SVOBODA, Emil. Technologie a programování CNC strojů. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998, 278 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM Publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

**ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodný technologický postup pro výrobu zadaného dílu. Pro výrobu byl vybrán spodní tvarový díl vstřikovací formy, která je dále využívána k výrobě plastových kazet do elektrotechnického průmyslu. Ve výrobě budou zastoupeny frézovací a vrtací metody. Technologické procesy výroby budou probíhat na konzolové frézce a CNC obráběcím centru, pro které je vytvořen NC program v programu WORK NC. Na základě samotné výroby zadaného kusu a rozboru strojních časů je zhodnocen zvolený technologický postup a jsou navrženy případné podněty ke zlepšení.

**Klíčová slova**

Frézování, vrtání, technologie výroby, obrobek, technologický postup

**ABSTRACT**

The aim of this bachelor's thesis is to suggest a suitable technological process of producing the given piece. This piece is the bottom shaping piece of an injection molding form, which is further used in producing plastic cartridges for the electrotechnical industry. Milling and drilling methods will be used in production. The technological processes will take place on a console milling machine and a CNC milling machine, for which an NC program is made using WORK NC software. On the basis of the manufacturing of the given piece and analysis of the machining times; a technological procedure including recommendations for improvement is chosen.

**Key words**

Milling, drilling, production technology, workpiece, technological process

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VLACH, J. *Technologie výroby součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie výroby součásti vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

-----  
Jan Vlach

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za konzultace, připomínky a cenné rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

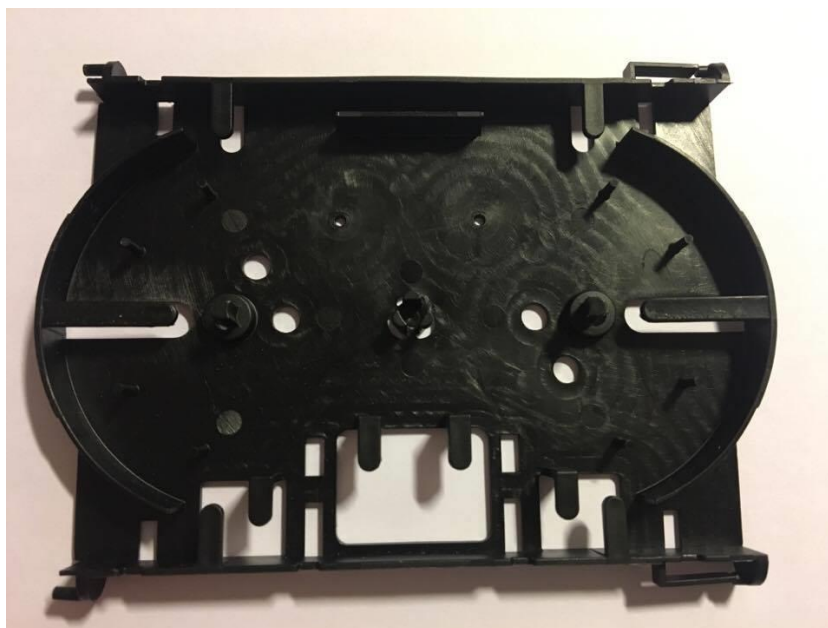
|   |    |
|---|----|
| ABSTRAKT.....                                 | 3  |
| PROHLÁŠENÍ.....                               | 4  |
| OBSAH.....                                    | 6  |
| 1 TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ.....              | 10 |
| 1.1 Obrábění.....                             | 10 |
| 1.1.1 Obrobek.....                            | 10 |
| 1.2 Frézování.....                            | 10 |
| 1.2.1 Válcové frézování.....                  | 11 |
| 1.2.2 Čelní frézování.....                    | 13 |
| 1.2.3 Kinematika řezného pohybu.....          | 13 |
| 1.2.4 Průřez třísky.....                      | 14 |
| 1.2.5 Řezné síly.....                         | 15 |
| 1.2.6 Jednotkový strojní čas.....             | 17 |
| 1.2.7 Nástroje.....                           | 19 |
| 1.3 Vrtání.....                               | 20 |
| 1.3.1 Průřez třísky.....                      | 21 |
| 1.3.2 Řezné síly.....                         | 22 |
| 1.3.3 Jednotkový strojní čas.....             | 22 |
| 1.3.4 Nástroje.....                           | 23 |
| 2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI.....               | 24 |
| 2.1 Tvar součásti.....                        | 24 |
| 2.2 Zvolený materiál 1.2738.....              | 24 |
| 2.3 Obrábění ploch a děr.....                 | 25 |
| 2.4 Další použité technologie.....            | 25 |
| 3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU.....          | 26 |
| 3.1 Volba strojů.....                         | 26 |
| 3.2 Výrobní postup a nástrojové listy.....    | 28 |
| 4 ROZBOR STROJNÍHO ČASU.....                  | 34 |
| 4.1 Výrobní čas na konzolové frézce.....      | 34 |
| 4.2 Výrobní čas pro CNC obráběcí centrum..... | 35 |
| 4.3 Celkový čas výroby kusu.....              | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 5 DISKUZE .....                          | 36 |
| ZÁVĚR .....                              | 37 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....            | 38 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK ..... | 40 |
| SEZNAM PŘÍLOH.....                       | 42 |

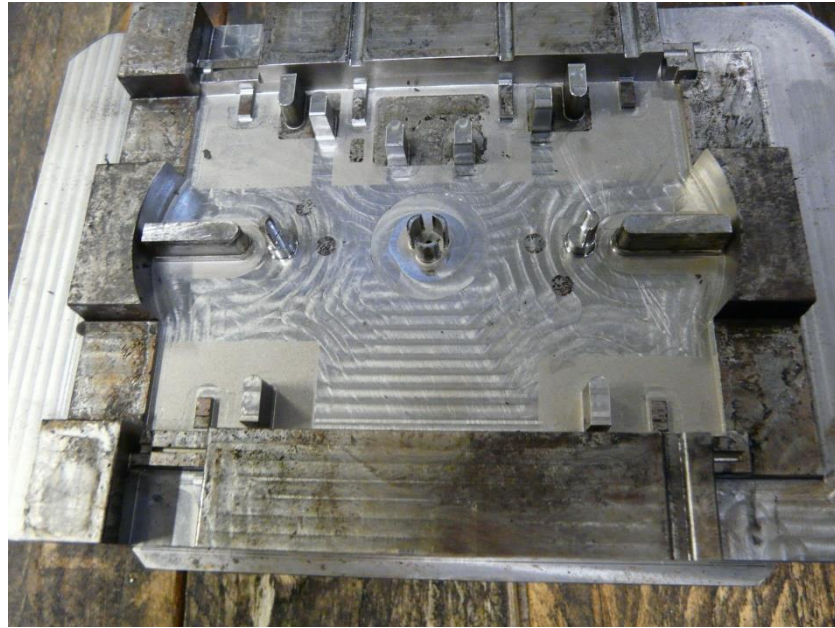
## ÚVOD

Tato bakalářská práce pojednává o výrobě zadaného dílu strojním obráběním a to frézovacími a vrtacími metodami. Obě metody jsou v současné době zastoupeny v celosvětové výrobě jako hlavní procesy strojírenské výroby. Při neustále rostoucích požadavcích na efektivitu, rychlost a kvalitu výroby je zapotřebí zvolit nejvhodnější technologický postup výroby tak, aby byly veškeré požadavky splněny. Výroba se týká spodního tvarového dílu vstřikovací formy na výrobu plastové kazety pro elektrotechnický průmysl. Dílec je dále používán jako zásobník optického kabelu pro další použití. Výrobní série jedné formy činí 200 tisíc plastových dílů.

Práce je rozdělena do několika částí. Teorii strojního obrábění s přiblížením technologií frézování a vrtání, které jsou nejvíce zastoupeny ve výrobě zadaného tvarového dílu, se věnuje první část práce. Tyto technologie jsou dále použity ve výrobním postupu součásti. Prostřední část práce se zabývá technologičností součásti, jejími tvary, volbou materiálu a její vhodností pro dané technologie. Zde je obsažen výrobní postup pro dané operace a mu odpovídající nástrojové listy. Závěr práce je věnován rozboru strojního času při výrobě zadaného kusu a jsou zde uvedeny i strojní časy jednotlivých operací a návrhy na jejich optimalizaci při výrobě.



Obr. 1 Plastová kazeta.



Obr. 2 Spodní tvarový díl vstříkovací formy.

## 1 TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ

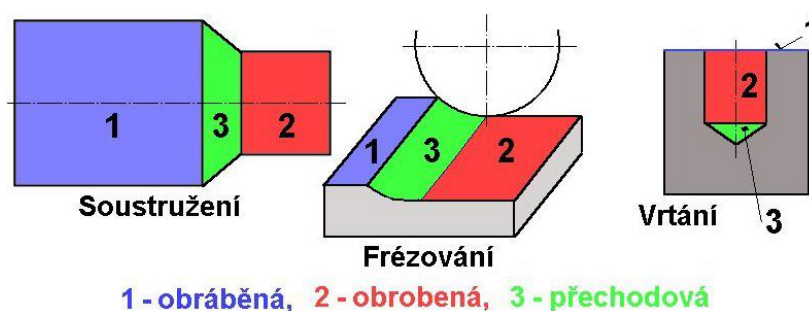
Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí [1]. Samostatný obráběcí proces je realizován v obráběcím systému, který lze dále rozčlenit na další podsystémy. Hlavním vstupním objektem obrábění je obrobek a výstupním objektem je hotová již obrobená součást. Obrábění je systémem obráběcího stroje, nástroje a obrobku.

### 1.1 Obrábění

Technologický proces, kterým vytváříme plochy na obrobku, které mají určitý tvar, rozměr a jakost, odebráním částic materiálu účinky mechanickými, elektrickými, chemickými, případně jejich kombinací [1].

#### 1.1.1 Obrobek

Obrobek můžeme označit jako objekt obráběcího procesu, který je definován třemi plochami a to obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Obráběná plocha, je část povrchu obrobku, která je odstraňována obráběním. Následuje plocha přechodná, což je okamžitá plocha obrobku, vytvářená ostřím rezného nástroje při procesu obrábění. Plocha vzniklá po obrábění rezným nástrojem je nazývána plochou obrobenou.



Obr. 1.1 Plochy na obrobku [1].

### 1.2 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebrán břity rotujícího nástroje (frézy) [1]. Hlavní pohyb koná nástroj, obrobek je upnut ve stroji a koná posuvný pohyb. Při přerušovaném rezném procesu odřezává z obrobku každý zub frézy samostatně krátké třísky proměnné tloušťky.

Frézování můžeme z hlediska technologie rozdělit na frézování válcové a čelní. Dále lze odvodit další způsoby frézování, jako jsou frézování okružní a planetové. Z hlediska kinematických pohybů nástroje a obrobku lze rozlišit frézování na sousledné a nesousledné. Kdy při sousledném frézování je posuvová rychlost obrobku orientována souhlasně s pohybem nástroje. Při nesousledném frézování dochází k pohybu obrobku proti směru pohybu nástroje [1].

V současné době jsou ke frézování využívány CNC obráběcí centra, kde může být obrobek obráběn ve více osách a směrech.

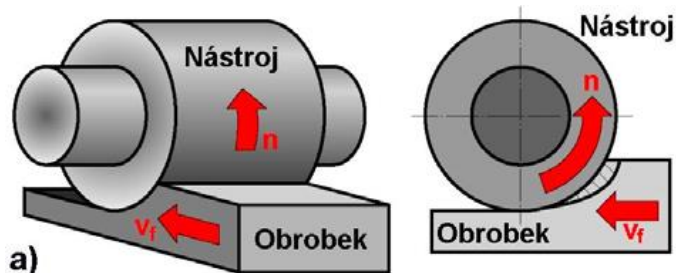
### 1.2.1 Válcové frézování

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování **nesousledné** (protisměrné, nesousměrné) a **sousledné** (sousměrné) [1].

Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při ne-sousledném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu stroje [1].

Hlavními výhodami nesousledného frézování jsou [1]:

- menší opotřebení šroubu a matice frézky,
- není zapotřebí vymezovat vůli mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- záběry zubů frézy nejsou závislé na hloubce řezu,
- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích či písčitém povrchu obrobku,

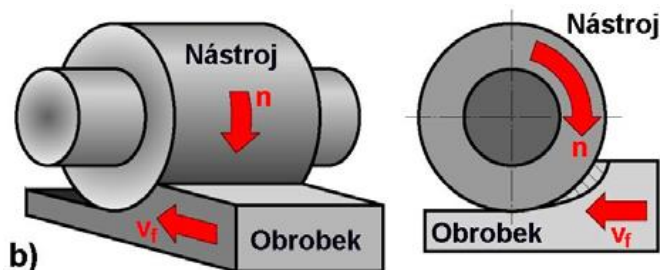


Obr. 1.2 Válcové frézování nesousledné [1].

Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů, proti stolu stroje. Sousedné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje [1].

Hlavními výhodami sousledného frézování jsou [1]:

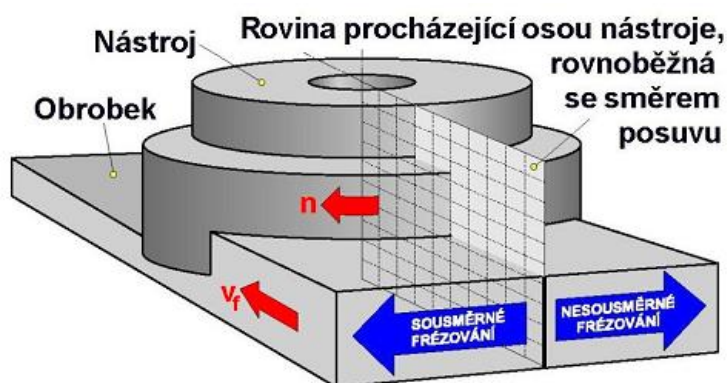
- možné použití vyšších řezných rychlostí při obrábění,
- vyšší trvanlivost nástrojů, které jsou méně opotřebovávány,
- lepší kvalita obrobené plochy,
- potřebný menší řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek k suportu, tudíž má obrobek menší sklony ke kmitání.



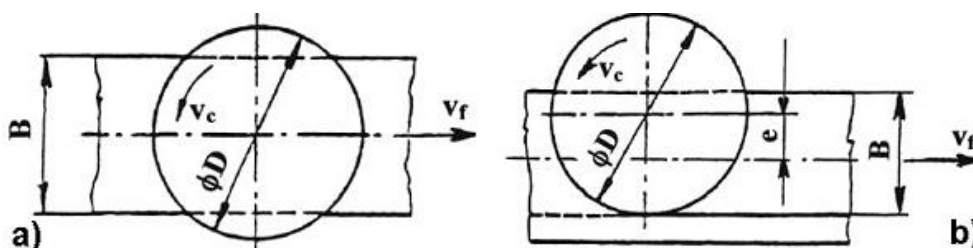
Obr. 1.3 Válcové frézování sousledné [1].

### 1.2.2 Čelní frézování

Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). Při čelním frézování dochází k tomu, že fréza obrábí v jednom okamžiku sousledně i nesousledně [1].



Obr. 1.4 Čelní frézování [1].



Obr. 1.5 Čelní frézování [1], a) symetrické b) nesymetrické.

### 1.2.3 Kinematika řezného pohybu

Při frézování je hlavní rotační pohyb vykonáván vždy nástrojem (frézou) a vedlejší pohyb translační, který je většinou přímočarý, je vykonáván obrobkem. U frézování planetového nebo okružního může být translační pohyb i rotační a vykonává ho buď obrobek, nebo fréza. Základní veličinou při technologii frézování je řezná rychlost, kterou vypočteme dle vztahu:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [m \cdot mm^{-1}], \quad (1.1)$$

kde:  $D$  [mm] je průměr nástroje,

$n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky stroje.

Jednotkou posuvného pohybu je posuv na zub  $f_z$  [mm], což je délka dráhy, kterou vykoná obrobek po dobu záběru zubu. Z posuvu zubu lze vypočítat posuv za otáčku, což je délka dráhy, kterou vykoná obrobek po dobu jedné otáčky nástroje.

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \quad (1.2)$$

kde:  $z$  [-] je počet zubů (břitů) nástroje.

Posuvová rychlost se vypočítá podle vztahu:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}, \quad (1.3)$$

kde:  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky nástroje.

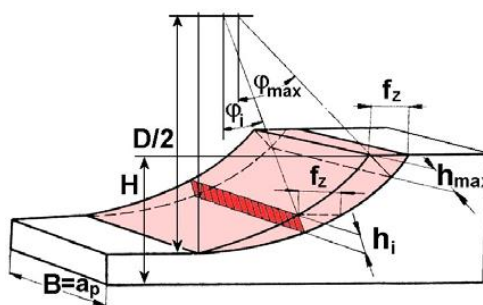
#### 1.2.4 Průřez třísky

Při frézování se mění tloušťka třísky  $h_i$  a to tak, že při frézování válcovém nesousledném z hodnoty nulové do maximální a při sousledném válcovém frézování z maximální do nulové hodnoty. Jmenovitou tloušťku třísky  $h_i$  v libovolné fázi frézování, můžeme vyjádřit dle vztahu:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin(\varphi) \text{ [mm]}, \quad (1.4)$$

kde:  $f_z$  [mm] je posuv na zub,

$\varphi_i$  [°] je úhel posuvového pohybu.



Obr. 1.6 Průřez třísky při válcovém frézování [1].

Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  pro polohu zubu frézy, lze vyjádřit pomocí poměrů naznačených na Obr 1. :

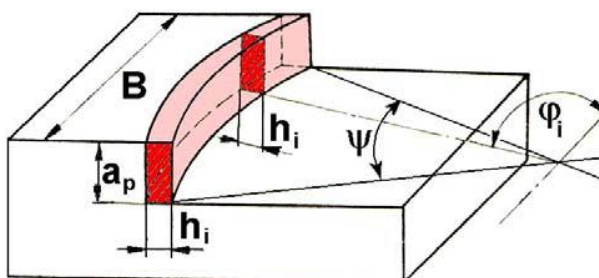
$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_i) \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (1.5)$$

Maximální průřez třísky  $A_{D_{max}}$  nastává, když úhel  $\varphi_i = \varphi_{max}$ :

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_{max}) [mm^2], \quad (1.6)$$

$$\sin(\varphi_{max}) = 0,5 \cdot D \cdot \sqrt{D \cdot H - H^2} [-]. \quad (1.7)$$

Při čelním frézování se nám mění tloušťka třísky  $h_i$  rovněž s úhlem posuvového pohybu  $\varphi_i$ , ale navíc je ovlivněna i úhlem nastavení hlavního ostří nástroje  $\kappa_r$ .



Obr. 1.7 Průřez třísky při čelním frézování (hodnota  $\kappa_r = 90^\circ$ ) [1].

Okamžitá hodnota úhlu nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$h_i = f_z \cdot \sin(\varphi_i) \cdot \sin(\kappa_r) [mm]. \quad (1.8)$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_i$  je pro libovolné  $\varphi_i$  konstantní a vypočítá se dle vztahu:

$$b_i = a_p \cdot \sin(\kappa_r)^{-1} [mm]. \quad (1.9)$$

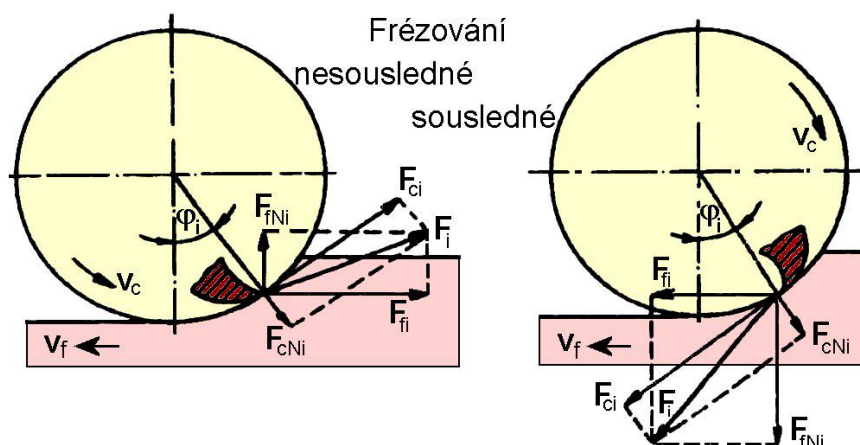
Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  pro  $\kappa_r = 90^\circ$ :

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_i) [mm^2]. \quad (1.10)$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu dosahuje tříska při úhlu  $\varphi_i = 90^\circ$ .

### 1.2.5 Řezné síly

Specifikace řezných sil při frézování vychází ze silových poměrů na jednom břitu, který je v určité poloze pod úhlem  $\varphi_i$ . Při válcové frézování s nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla  $F_i$  rozkládá na složky  $F_{ci}$  a  $F_{cNi}$ , resp. na složky  $F_{fi}$  a  $F_{fNi}$ , které jsou vyobrazeny na obr. 1 [3].



$F_i$ -celková řezná síla,  $F_{ci}$ -řezná síla,  $F_{cNi}$ - kolmá řezná síla,  $F_{fi}$ - posuvová síla,  $F_{fNi}$ - kolmá posuvová síla

Obr. 1.8 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině  $P_{fe}$  [1].

Řezná síla  $F_{ci}$  se vyjádří na základě měrné síly  $k_{ci}$  a průřezu třísky  $A_{Di}$  dle vztahu:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [N]. \quad (1.11)$$

Měrná řezná síla  $k_{ci}$  lze vypočítat dle následujícího vztahu:

$$k_{ci} = \frac{C_{FC}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{FC}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad [MPa], \quad (1.12)$$

kde:  $C_{FC}$  [-] je konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,  
 $x$  [-] je exponent vlivu tloušťky třísky.

Při dosazení vztahu (1.12) pro měrnou řeznou sílu  $k_{ci}$ , do rovnice řezné síly  $F_{ci}$  (1.11) a její následné úpravě dostaneme výsledný vztah:

$$F_{ci} = C_{FC} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \quad [N]. \quad (1.13)$$

Při vyjadřování vztahů řezných sil pro čelní frézování postupujeme podobně jako při vyjadřování vztahů pro válcové frézování a to následně:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [N], \quad (1.14)$$

$$k_{ci} = \frac{C_{FC}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{FC}}{(f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad [MPa], \quad (1.15)$$

$$F_{ci} = C_{FC} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin^x \varphi_i \quad [N]. \quad (1.16)$$

Při frézování ovšem dochází k tomu, že v důsledku vícebřitých nástrojů je v záběru vždy několik zubů současně. Celková řezná síla pak závisí na okamžité poloze zubů frézy vůči obrobku a na počtu zubů v záběru [1, 3].

Pro válcové frézování se celková řezná síla  $F_c$  vypočte dle následujícího vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad [N]. \quad (1.17)$$

Počet zubů v záběru se pro válcové frézování stanoví dle vztahu:

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \quad [-], \quad (1.18)$$

kde:  $\varphi_{max} [^\circ]$ - je maximální úhel posuvového pohybu,

$z [-]$ - je počet zubů frézy.

Pro čelní frézování se celková řezná síla  $F_c$  vypočte dle vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad [N]. \quad (1.19)$$

Počet zubů v záběru se pro čelní frézování stanoví dle vztahu:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \quad [-], \quad (1.20)$$

kde:  $\psi [^\circ]$ - je maximální úhel posuvového pohybu,

$z [-]$ - je počet zubů frézy.

Při výpočtu počtu zubů v záběru dle vztahu (1.20) je nutno výsledek zaokrouhlovat vždy na celá čísla nahoru, jelikož se počítá i zub, který není celý v záběru.

### 1.2.6 Jednotkový strojní čas

Pro získání jednotkového strojního času pro daný případ frézování musíme stanovit poměry, které jsou naznačeny na obr. č. 1 až 1.



Hodnoty  $L$  pro válcové a čelní frézování se vyjádří dle následujících vztahů:

- válcové frézování (obr. 1.9)

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} [mm], \quad (1.22)$$

kde: 
$$l_{p_f} = \sqrt{H \cdot (D - H)} [mm]. \quad (1.23)$$

- čelní hrubé frézování asymetrické (obr. 1.10)

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{p_f} [mm], \quad (1.24)$$

kde: 
$$l_{p_f} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} [mm]. \quad (1.25)$$

- čelní frézování na čisto asymetrické (obr. 1.11)

$$L = l + l_n + l_p + D [mm]. \quad (1.26)$$

Pro určení vztahu pro hrubé čelní frézování symetrické dosadíme do vztahu (1.25) hodnotu  $e=0$  [3].

### 1.2.7 Nástroje

Nástroje pro frézování, dále jen frézy, jsou vícebřité nástroje, které jsou v současnosti při velkém rozsahu technologie frézování používány k různým typům operací. Z toho důvodu rozlišujeme několik typů fréz a řadíme je do jednotlivých skupin a to podle následujících hledisek [5]:

- Podle nástrojového materiálu břitů lze rozlišit frézy z rychlořezné oceli a slinutých karbidů,
- Podle tvaru zubů lze rozlišit frézy se zuby frézovanými nebo podsoustruženými.
- Podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby přímými a se zuby v pravé nebo levé šroubovici,
- Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé,

- Podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy celistvé, frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, frézy dělené a sdružené,
- Podle geometrického tvaru se dělí frézy na frézy válcové nástrčné nebo se stopkou, čelní válcové frézy nástrčné nebo se stopkou, kotoučové frézy s přímými zuby nebo se zuby ve šroubovici levé a pravé, se zuby pouze na válcové ploše nebo na jedné či obou čelních plochách, na úhlové frézy jednostranné nebo dvoustranné a tvarové frézy,
- Podle způsobu upnutí fréz jsou frézy nástrčné a frézy s válcovou nebo kuželovou stopkou,
- Podle smyslu otáčení se rozlišují frézy pravořezné a levořezné.

### 1.3 Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zplna, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované, atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb, ve směru své osy, vykonává vrták [3, 10].

Charakteristickou veličinou všech vrtacích metod je řezná rychlost, která se podél hlavního ostří nástroje a ve směru od obvodu ke středu nástroje, zmenšuje (v ose nástroje je řezná rychlost nulová). Za řeznou rychlost považujeme tedy obvodovou rychlost na největším průměru vrtáku. Výpočty řezné rychlosti  $v_c$ , posuvové rychlosti  $v_f$  a rychlosti řezného pohybu  $v_e$ , se stanoví dle následujících vztahů [10]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot mm^{-1}], \quad (1.27)$$

$$v_f = f_n \cdot n [m \cdot mm^{-1}], \quad (1.28)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} [m \cdot mm^{-1}], \quad (1.29)$$

kde:  $D$  [mm] je průměr obráběné díry,

$n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky nástroje, případně obrobku,

$f_n$  [mm] je posuv nástroje na jednu otáčku.

Vrtáky a další nástroje zhotovující díru, jako jsou výstružníky, výhrubníky a záhlubníky jsou vždy vícebřité, tudíž je možno definovat i hodnotu posuvu na jeden zub  $f_z$  [1]:

$$f_z = f_n \cdot z^{-1} [\text{mm}], \quad (1.30)$$

kde:  $z$  [-] je počet zubů (břitů) nástroje.

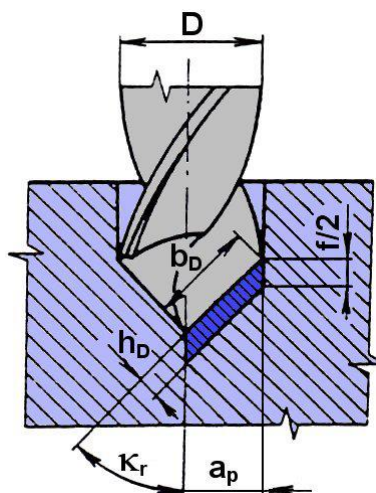
### 1.3.1 Průřez třísky

Jmenovitý průřez třísky, odebíraný jedním břitem nástroje (šroubovitého vrtáku), se vyjádří podle vztahu [1]:

$$A_{Di} = b_i \cdot h_i = a_p \cdot 0,5 \cdot f [\text{mm}^2], \quad (1.31)$$

kde:  $b_D$  [mm] je jmenovitá šířka třísky,

$h_D$  [mm] je jmenovitá tloušťka třísky.



Obr. 1.12 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem [10].

Jmenovitá tloušťka třísky  $h_D$  a jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu  $b_{D1}$  a do předvrtané díry  $b_{D2}$  se spočítají dle následujících vztahů:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r [\text{mm}], \quad (1.32)$$

$$b_{D1} = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} [\text{mm}], \quad (1.33)$$

$$b_{D2} = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} [\text{mm}]. \quad (1.34)$$

### 1.3.2 Řezné síly [3,10]

Při vrtání dochází k oddělování třísky v jednom okamžiku dvěma hroty šroubovitého vrtáku zároveň. Síly jsou postaveny symetricky k ose vrtáku. Pro výpočet řezných sil  $F_c$  a  $F_f$  je možno využít následujících vztahů.

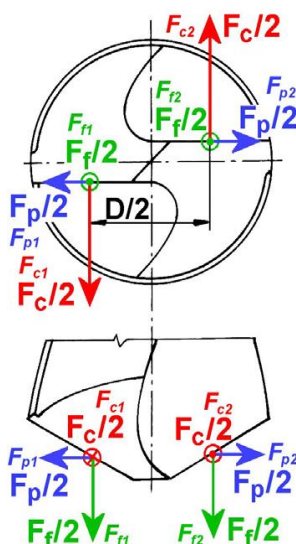
$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} [N], \quad (1.35)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} [N], \quad (1.36)$$

kde:  $C_{F_c}$ ,  $C_{F_f}$  [-] jsou konstanty, vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu,

$x_{F_c}$ ,  $x_{F_f}$  [-] jsou exponenty, vyjadřující vliv průměru vrtáku,

$y_{F_c}$ ,  $y_{F_f}$  [-] jsou exponenty, vyjadřující vliv posuvu na otáčku.



Obr. 1.13 Řezné síly při vrtání [10].

### 1.3.3 Jednotkový strojní čas

Pro výpočet jednotkového strojního času šroubovitým vrtákem použijeme následující vztahy:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} [min], \quad (1.37)$$

kde: hodnota  $l_n$  je volena v rozsahu (0,5 až 1),

hodnotu  $l_p$  pro úhel  $2\kappa_r=180^\circ$  dostaneme podle vztahu:

$$l_p = 0,5 \cdot D \cdot \tan 31^\circ + (0,5 \text{ až } 1) \sim 0,3 \cdot D + (0,5 \text{ až } 1) [mm]. \quad (1.38)$$

### 1.3.4 Nástroje

Nástroje pro vrtání lze rozdělit do dvou skupin, a to jsou nástroje pro vrtání krátkých děr a nástroje pro obrábění hlubokých děr.

a) Obrábění krátkých děr [3]:

- Šroubovité vrtáky- jsou nejpoužívanější skupinou pro vrtání krátkých děr, vyráběny většinou z rychlořezné oceli,
- Frézovací vrtáky- mají vyměnitelné břitové destičky, umožňují větší záběr materiálu než vrtáky z rychlořezné oceli,
- Kopinaté vrtáky- tuhé nástroje, které umožňují vrtat díru v poměru  $L:D = 3:1$ , bez navrtání.

b) Obrábění hlubokých děr [3]:

- Hlavňové vrtáky- připájeny na vrtací tyč, mimo řezné plátky, má i plátky vodící, což je charakteristický znak,
- Korunové trepanační vrtáky- několikabřité, s možností použití pro průměry od 30 až 500 mm,
- Nástroje BTA- jsou velmi produktivní nástroje pro vrtání do plného materiálu, jádra i předvrtané díry,
- Vrtací hlava do plna- pro rozsah průměrů 20 až 60 mm a je přišroubována k vrtací tyči.

## 2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI

Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky nejen z hlediska funkce, spolehlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých součástí, musí být ovšem zohledněna i efektivnost výroby. Technologičnost je relativní vlastnost výrobku, která je ovlivněna několika konkrétními podmínkami daného výrobního procesu. Správně pojatá konstrukce musí přihlížet ke konstrukčním i technologickým vlastnostem výrobku, ale také k provozním možnostem firmy, kde je součást vyráběna [2].

### 2.1 Tvar součástí

Přesný tvar vyráběné součásti, je přiložen v příloze 1. Díl je obdélníkového tvaru, obvodové stěny jsou obrobeny v přesnosti H7 z Polotovaru o velikosti 135x185x85 z nástrojové oceli. Budeme obrábět konvenčním frézováním na hotové rozměry obrobku 130x180x80 dle výkresové dokumentace. Obrobek má sražené čtyři rohové hrany na hodnotu 10x45. Pro uchycení do rámu formy jsou vyfrézovány dvě aretační plochy na podélných stranách v přesnosti H7. Ze zadní strany tvarového dílu je vyhotoveno uložení pro vstřikovací trysku s aretační drážkou a vybráním pro přívodní kabely. Na téže ploše jsou vyfrézovány aretační drážky pro tvarová jádra. Na přední straně je zhotoven samotný tvar plastového dílu. Technologií vrtání vyhotovíme chladicí otvory  $\varnothing 8$  mm a zakončené závitěm pro ucpávky M10x1 a dvakrát M14x1,5 pro přívod chladicí kapaliny. Otvory jsou vrtány ze tří bočních stran. Tvarovou plochu obrobku budeme obrábět na CNC obráběcím centru, což je z hlediska náročnosti tvaru nejvhodnější technologie.

### 2.2 Zvolený materiál 1.2738

Jako materiál byla zvolena Chrom - mangan - nikl - molybdenová ocel (označení 1.2738 ISO-BM dle normy EN 10083 / DIN 7527) ke kalení na vzduchu nebo v oleji s dobrou prokalitelností a dobrou pevností za tepla. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko a má výbornou leštitelnost. Ocel má vysokou schopnost zušlechtnění do velkých hloubek, s rovnoměrným průběhem pevnosti po celém průřezu. Je vhodná k nitridaci a k tvrdochromování. Převážně zušlechtněná na pevnost

od  $1\,050\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  až  $1\,250\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  se používá na velké formy pro vstřikování plastů a velké rámy forem [4].

Pro naše použití má materiál pevnost HRC 35 a 1230. Vzhledem k počtu 200 tisíc zdvihů a použitému materiálu ke vstřikování, kterým je plast bez skelných vláken, nebudeme dále tvarový díl tepelně zpracovávat.

| Značka oceli   | Chemické složení v % |           |           |           |           |           |   |        |       |        | Tvrдость ve stavu |         |
|----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--------|-------|--------|-------------------|---------|
|                | C                    | Mn        | Si        | Cr        | W         | Mo        | V | Ni max | Co    | P max. | S max.            | HB max. |
| DIN 54NiCrMoV6 | 0,35-0,45            | 1,30-1,60 | 0,20-0,40 | 1,80-2,10 | 0,15-0,25 | 0,90-1,20 |   |        | 0,035 | 0,035  | 235               | 51      |

Obr. 2.1 Chemické a pevnostní vlastnosti materiálu [4].

### 2.3 Obrábění ploch a děr

Vzhledem k velké četnosti rovinných ploch na obrobku je nejvhodnější volit pro obrábění technologii frézování. Pro výrobu otvorů je z ekonomického hlediska vhodná technologie vrtání.

Vylisovaný plastový díl není pohledovou součástí, tudíž není za potřebí broušení či dalšího ručního polírování vnitřních rovinných ploch k dosažení lepší hrubosti. Výjimkou jsou rovné stěny ve směru vyhazování, které se polírují do technického lesku, z důvodu odformování vylisku z tvarových vložek. Kvalita vnějších obrobek ploch zůstává po frézování na hodnotě Ra 3,6.

### 2.4 Další použité technologie

Pro dokončení tvarového dílu, je za potřebí využití dalších technologií obrábění. Pro zhotovení závitů je nutno využít závitování. Závitky jsou vyřezány strojně na CNC frézce. Elektroerozivním obráběním s využitím grafitových elektrod se vyostří kolmé, ostré hrany a žebra na tvarové části. Předvrtané díry pro jádra jsou dokončeny technologií elektroerozivního drátování z důvodu přesnosti průměrů děr.

### 3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

#### 3.1 Volba strojů

Pro základní obrábění polotovaru byla zvolena konzolová frézka TOS FNK2 (obr. 3.1) a to z ekonomických a časových důvodů. Budou zde provedeny operace frézování a veškeré vrtací operace. Pro další operace bude obrobek již obráběn CNC obráběcím centrem Haas vf 3 (obr. 3.2), zde budou vyfrézovány tvarové a funkční plochy obrobku. Stroj byl zvolen s ohledem na složitost tvarových ploch a rychlostí jejich obrábění.



Obr. 3. 1 Konzolová frézka TOS FNK 2.



Obr. 3.2 CNC obráběcí centrum Haas vf 3.

Požadavky na strojní obrábění při výrobě naší součásti vyžaduje frézování, které je řízeno NC systémem, a tudíž nám přibývá i CNC programování pro stroj HAAS. Využijeme již vytvořený 3D tvar viz příloha 6, podle kterého v programu WORK NC vypočítáme a nasimulujeme dráhy pro všechny výrobní operace. Programovací systém WORK NC vytvoří obráběcí dráhy, které jsou přepočítány posprocesorem pro stroj HAAS. Tento program přeneseme do stroje a spustíme frézování. Část vytvořeného NC kódu je přiložena v příloze 7 [12, 13].

Strojní programování NC kódu můžeme rozdělit do tří fází [3, 9]:


- vytvoření a uložení modelu obrobku,
- vytvoření a správa NC operací drah nástroje,
- zpracování posprocesorem a komunikace s NC strojem.


### 3.2 Výrobní postup a nástrojové listy


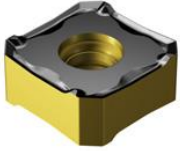



Výrobní postup byl vytvořen pro vybrané stroje, na nichž bude probíhat výroba zadaného kusu. Pro tento postup byly vytvořeny pro každý stroj i nástrojové listy. Nástroje na obrábění byly voleny s ohledem na tvar součásti, její technologické a konstrukční vlastnosti, ale také z ekonomického hlediska celkové výroby.



Začátek výroby na klasickém stroji české výroby, konzolové frézce TOS, bude probíhat na základě vytvořeného výrobního postupu, podle kterého bude postupovat obsluha stroje. Polotovar obrábí dle přiložené výkresové dokumentace (příloha 1) a obrobí veškeré 2D plochy a vrtání. Příslušné posuvy a otáčky nástroje, jsou dány vybranými nástroji, které byly vybrány na základě dodavatelů a jejich nástrojových katalogů, a jsou přiloženy v nástrojovém listu.







Tvarové plochy budeme obrábět na stroji HAAS, podle již vytvořených drah a výrobních návodek v programu WORK NC, pro tvarové plochy obrobku, které jsou přiloženy v příloze 8.

|  |                                   | <b>VÝROBNÍ POSTUP</b>   |  | Název celku:<br>Spodní tvarový díl formy | List: 1              |
|---|-----------------------------------|-------------------------|--|--|----------------------|
| Datum:<br>28. 4. 2017   |                                   | Vyhotovil:<br>JAN VLACH | Kontroloval:   | Polotovar:<br>135x185x85                 |                      |
| Pořadové číslo operace  | Označení stroje                   | Dílna                   | Popis práce v operaci  | Výrobní nástroje, přípravky, pomůcky     |                      |
| Orientační  | Třídící číslo                     |                         |  |  |                      |
| 01/01   | Konzolová frézka<br>FNK2<br>05226 | Nástrojárna             | Upnout polotovar do svěráku<br>Ofrézování polotovaru na hotové rozměry<br>130x180x80<br>Vyfrézování přesného středění po stranách obrobku<br>5H7x120 H7  | T1                                       | T2                   |
| 02/02   | Konzolová frézka<br>FNK2<br>05226 | Nástrojárna             | Otočení obrobku ve svěráku<br>Srazit 4 hrany na rozměru 80 mm 10x45  | T2                                       |                      |
| 03/03   | Konzolová frézka<br>FNK2<br>05226 | Nástrojárna             | Upnutí ve svěráku<br>Vrtat chladicí otvory Ø8<br>Vrtat otvory Ø9 pro závit M 10x1<br>Vrtat otvory Ø12,5 pro závit M 14x1<br>Vrtat odlehčené otvory pro vyhazovače Ø9<br>Předvrtat otvor pro Ø24H7 skrz obrobek | T3                                       | T4<br>T5<br>T3<br>T6 |
| 04/04   |                                   | Kontrola                | Kontrolovat obvodové rozměry<br>Dodržení pravoúhlosti obrábění<br>Kontrolovat kalibrické rozměry 5H7, 120H7<br>Kontrolovat průměry a hloubku vrtaných děr  |  |                      |

|  |   | <b>VÝROBNÍ POSTUP</b>   |  | Název celku:<br>Spodní tvarový díl formy | List: 2 |
|---|---|-------------------------|--|--|---------|
| Datum:<br>28. 4. 2017   |   | Vyhotovil:<br>JAN VLACH | Kontroloval:   | Polotovar:<br>135x185x85                 |         |
| Pořadové číslo operace  | Označení stroje                               | Dílna                   | Popis práce v operaci  | Výrobní nástroje, přípravky, pomůcky     |         |
| Orientační  | Třídící číslo                                 |                         |  |  |         |
| 05/05   | CNC<br>Obráběcí centrum<br>HAAS VF 3<br>35326 | Nástrojárna             | Upnout, vyrovnat obrobek a seřídít nulový bod<br><br>Hrubovat tvar s přídávkem 0,2 na stěnu<br><br>Dohrubovat s přídávkem 0,2 na stěnu<br><br>Dohrubovat s přídávkem 0,2 na stěnu<br><br>Obrobit čelní plochy na hotový rozměr<br><br>Obrobit čelní stěny na hotový rozměr<br><br>Obrobit zbytkový materiál v rozích tvaru po nástroji | T1                                       | T2      |
| 06/06   | CNC<br>Obráběcí centrum<br>HAAS VF 3<br>35326 | Nástrojárna             | Otočit obrobek pro frézování základny<br><br>Hrubovat otvory pro trysku s přídávkem 0,2<br><br>Obrobit otvory a čelní plochy pro trysku<br><br>Obrobit drážku šířky 6mm pro aretaci trysky<br><br>Obrobit aretace drážek na hotový rozměr<br><br>Obrobit vybrání pro kabely na hotový rozměr   | T4                                       | T1      |
| 07/07   |   | Kontrola                | Konečná kontrola tvarových ploch na 3D měřidle<br><br>Naměřené hodnoty porovnat s 3D datovou dokumentací   | T3                                       | T2      |

| VUT FSI ÚST BRNO        |   | NÁSTROJOVÝ LIST                              |         | DATUM VYDÁNÍ:                    | 9. 4. 2017   |
|-------------------------|---|--|---------|----------------------------------|--|
| Vyhotožil:<br>JAN VLACH |   | Stroj:<br>Poloautomatická<br>frézka TOS FNK2 |         | Číslo výkresu<br>součásti:       | Číslo listu:<br>1.   |
| Pozice<br>nástroje      | Znázornění  | Název<br>držáku                              | Výrobce | Objednací<br>číslo VBD           | Znázornění<br>VBD  |
|                         | Označení<br>výrobce   | Název<br>destičky                            |         | Objednací<br>číslo nástro-<br>je | Materiál   |
| T1                      |   | Upínací trn                                  | SANDVIK | 345-<br>040Q22-<br>13L           |  |
|                         | Ø 54<br>CoroMill®345-<br>DC 50  | 345R-1305                                    |         | 345R-<br>1305E-PL                | SK   |
| T2                      |  | Weldon                                       | GARANT  | -                                | -  |
|                         | Stopková<br>fréza 20 mm   | -  |         | 191340 20                        | HSS  |
| T3                      |  | Vrtací<br>hlavička                           | GARANT  | -                                | -  |
|                         | Spirálový<br>vrták HSS N<br>8 mm  | -  |         | 114150 8                         | HSS  |
| T4                      |  | Vrtací<br>hlavička                           | GARANT  | -                                | -  |
|                         | Krátký vrták<br>FS HSS-E 9<br>mm  | -  |         | 113020 9                         | HSS  |

|                                 |   |   |               |                          |                           |
|---------------------------------|---|---|---------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>VUT FSI ÚST BRNO</b>         |   | <b>NÁSTROJOVÝ LIST</b>                                |               | DATUM VYDÁNÍ:            | 9. 4. 2017                |
| <b>Vyhotovil:<br/>JAN VLACH</b> |   | <b>Stroj:<br/>Poloautomatická<br/>frézka TOS FNK2</b> |               | Číslo výkresu součásti:  | Číslo listu:<br><b>2.</b> |
| Pozice nástroje                 | Znázornění  | Název držáku  | Výrobce       | Objednací číslo VBD      | Znázornění VBD            |
|                                 | Označení výrobcem   | Název destičky  |               | Objednací číslo nástroje | Materiál                  |
| <b>T5</b>                       |    | Vrtací hlavička                                       | <b>GARANT</b> | -                        | -                         |
|                                 | Krátký vrták FS HSS-E 12,5 mm   | -   |               | <b>113020 12,5</b>       | HSS                       |
| <b>T6</b>                       |  | Vrtací hlavička                                       | <b>GARANT</b> | -                        | -                         |
|                                 | Spirálový vrták HSS N 24 mm   | -   |               | <b>114150 20</b>         | HSS                       |

| VUT FSI ÚST BRNO               |   | NÁSTROJOVÝ LIST                                     |               | DATUM VYDÁNÍ:            | 9. 4. 2017  |
|--------------------------------|---|---|---------------|--------------------------|---|
| Vyhotožil:<br><b>JAN VLACH</b> |   | Stroj:<br><b>CNC obráběcí centrum<br/>HAAS vf 3</b> |               | Číslo výkresu součásti:  | Číslo listu:<br><b>1.</b>   |
| Pozi-<br>ce ná-<br>stroje      | Znázornění  | Název držáku  | Výrobce       | Objednací číslo VBD      | Znázornění VBD  |
|                                | Označení  | Název destičky                                      |               | Objednací číslo nástroje | Materiál  |
| <b>T1</b>                      |    | Upínací trn   | <b>FETTE</b>  | 1069025                  |    |
|                                | Ø16<br>Univex Premium screw-on type mills 90°                                       | ADHX 060202<br>FR-ALC                               |               | 7012582                  | SK  |
| <b>T2</b>                      |  | Weldon  | <b>GARANT</b> | -                        | -   |
|                                | Stopková fréza 8 mm   | -   |               | 191340 8                 | HSS   |
| <b>T3</b>                      |  | Weldon  | <b>GARANT</b> | -                        | -   |
|                                | Stopková fréza 4 mm   | -   |               | 191320 4                 | HSS   |
| <b>T4</b>                      |  | Upínací trn   | <b>FETTE</b>  | 1069055                  |  |
|                                | Ø32<br>Univex Premium end mills 90°   | ADKX 090308<br>SR-TR                                |               | 1045076                  | SK  |

## 4 ROZBOR STROJNÍHO ČASU

Strojní čas výroby zadané součásti záleží již na technologickém postupu, který by měl být navržen tak, aby byly splněny všechny technologické parametry součásti a výroba byla co nejefektivnější. Délka celkového strojního času  $t_{celk}$ , se skládá z jednotlivých časových operací. Jednotkové strojní časy jednotlivých operací záleží na několika aspektech [5]:

- trvanlivost nástroje,
- řezné rychlosti,
- druh obráběného materiálu,
- technologické požadavky vyráběného kusu (např. kvalita povrchu)

Celkový čas výroby dostaneme sečtením jednotlivých operačních časů dle následujícího vztahu:

$$t_A = t_{AS} + t_N + t_{AV} [min], \quad (4.1)$$

$$t_{celk} = \frac{t_A}{60} [hod], \quad (4.2)$$

kde:

$t_A$  [min]- je celkový strojní čas výroby kusu,

$t_{celk}$  [hod]- je celkový čas výroby přepočten na hodiny,

$t_{AS}$  [min]- je jednotkový strojní čas,

$t_N$  [min]- je čas na výměnu nástroje,

$t_{AV}$  [min]- je jednotkový vedlejší čas.

Tedy pro námi vyráběnou součást, dosáhneme celkového strojního času, sečtením časů ze všech výrobních operací na konzolové frézce a následně i všech frézovacích operací na CNC centru.

### 4.1 Výrobní čas na konzolové frézce

Výroba začíná přípravou polotovaru na konzolové frézce TOS FNK2 a jsou na ní provedeny operace dle výrobních postupů. Pro každou operaci na frézce vypočteme jednotkové strojní časy, které zahrnují obráběcí procesy, čas na výměnu nástroje a také jednotkový vedlejší čas, kde jsou zahrnuty manipulace s obrobkem, jako je vyrovnání kusu a jeho upnutí nebo najetí nástrojem na obrobek. Jednotkové strojní časy byly vypočítány dle uve-

dených vztahů v kapitole 1.2.6 a 1.3.3, jsou uvedeny spolu s jednotkovými strojními časy pro CNC v příloze 5.

$$t_{A1} = t_{AS1} + t_{N1} + t_{AV1} \text{ [min]} \quad (4.3)$$

$$t_{A1} = 94,94 + 13 + 122 = 229,94 \text{ min}$$

#### 4.2 Výrobní čas pro CNC obráběcí centrum

Program WORK NC nám dokáže vykalkulovat časy na základě vytvořených drah pro veškeré výrobní operce. Získáme tak celkový čas pro výrobu na CNC centru. Časy všech šestnácti operací jsou uvedeny v příloze 5.

Když přičteme k jednotkovému strojnímu času na CNC  $t_{A2}$  i čas jednotkový vedlejší  $t_{AV2}$ , který nastává při manipulaci s materiálem mezi stroji a poté při otáčení a upínání obrobku ve stroji. Tak dostaneme celkový strojní čas  $t_{A2}$ . Neuvažujeme zde čas na výměnu nástroje, jelikož postprocessor HAAS počítá do jednotkového strojního času i čas na výměnu nástroje, tudíž  $t_{N2} = 0$  min. Výpočet výrobního vztahu pro CNC provedeme podle následujícího vztahu:

$$t_{A2} = t_{AS2} + t_{N2} + t_{AV2} \text{ [min]}, \quad (4.4)$$

$$t_{A2} = 29,28 + 0 + 20 = 49,282 \text{ min.}$$

#### 4.3 Celkový čas výroby kusu

Celkový strojní čas výroby kusu  $t_{celk}$  je roven součtu časů  $t_{A1}$  a  $t_{A2}$ , které zahrnují veškeré výrobní operace na vyráběném kusu. Výpočet provedeme podle následujícího vztahu:

$$t_{celk} = \frac{t_{A1} + t_{A2}}{60} \text{ [hod]}. \quad (4.5)$$

$$t_{celk} = \frac{229,94 + 49,282}{60} = 4,66 \text{ hod}$$

## 5 DISKUZE

K výrobě dílu musel být jako první zvolen odpovídající materiál a proto byla vybrána nástrojová ocel s označením 1.2738, která je vhodná pro výrobu rámu vstřikovacích forem a jejich součástí. Poté byl proveden rozbor technologičnosti součásti, který se týkal analýzy tvaru vyráběného dílu. Na jeho základě byly zvoleny vhodné technologie k jeho výrobě a to frézování a vrtání. Na dílu se objevují i tvary, které těmito metodami nelze vyrobít a proto je nutné použití dalších obráběcích metod k úplnému dokončení dílu. Jedná se o přesné tvary žeber a poloměry na tvarové ploše, které musí být obrobena elektroerozivně pomocí grafitových elektrod a elektroerozivním drátováním se vyhloubí přesné díry pro jádra. Pro tyto technologie je opět nutné vytvořit technologický postup výroby, ovšem tím se tato práce nezabývá.

K výrobě byly vybrány dva stroje a to konzolová frézka TOS FNK2 a CNC centrum HAAS vf3. K výrobě bylo vybráno deset nástrojů, a to vrtáky od firmy Garant a frézy od firem Sandvik, Fette a Garant, pro tyto nástroje byly vytvořeny i nástrojové listy. Následně byl navržen polotovar s rozměry 135x185x85 mm, který byl postupně obráběn na vybraných strojích dle výrobního postupu, ke kterému byla také vyprojektována příslušná výkresová dokumentace a NC program v aplikaci WORK NC.

Práce obnášela i výpočet celkového času výroby, pro který bylo nutno provést kalkulaci a následný součet strojních časů jednotlivých výrobních operací. Výsledný čas výroby vyšel na 4,66 hodin. Tento čas by bylo možné optimalizovat například minimalizováním přejezdů při pracovních posunech, upravením řezných podmínek nebo změnou kvality nástrojů a v neposlední řadě i kvalifikací obsluhy strojů.

## ZÁVĚR

Výsledkem bakalářské práce je navrhnutý technologický postup výroby pro spodní tvarový díl vstřikovací formy. Návrh tohoto postupu byl rozdělen do několika navazujících kroků, které ovlivnily technologické a konstrukční vlastnosti vyráběné součásti. Kompletní technologický postup tedy obsahuje:

- technologický a konstrukční rozbor součásti,
- výběr materiálu pro vyráběnou součást,
- volba nástrojů a sestavení nástrojových listů pro stroje,
- výběr strojů pro výrobu (konzolová frézka FNK2, CNC centrum HAAS vf3),
- sestavení výrobního postupu pro CNC i konzolovou frézku,
- vytvoření 3D modelu v programu WORK NC,
- vygenerování drah a strojních časů pro frézování na CNC,
- vytvoření NC programu pro zadané dráhy obrábění,
- vygenerování návodek pro výrobu na CNC a vytvoření návodek pro frézku.

Součástí práce je i výpočet strojních časů všech výrobních operací a z nich odvození celkového času celé výroby. Na základě výroby součásti a vypočtených časů jsou navržena zlepšení, která by přispěla ke zvýšení efektivity výroby.

Navržený technologický postup byl aplikován ve výrobě a zadaná součást byla fyzicky vyrobena. Nyní je spodní tvarový díl součástí funkční vstřikovací formy, která je již zařazena do výrobního procesu plastových kazet.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [vid. 2011-05-17], 95 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/>

[2] ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy- část obrábění: Učební texty kombinovaného bakalářského studia*. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

[3] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

[4] *Chemické složení oceli* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://jkz.jb-webshare.com/node/283>

[5] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

[6] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

[7] *Katalog firmy Sandvik* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://sandvik.ecbook.se/se/cs/rotating\\_tools\\_2015/](http://sandvik.ecbook.se/se/cs/rotating_tools_2015/)

[8] *Katalog firmy Hoffman Group* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Mono-obrabeni>

[9] *Výukový materiál: Strojní programování* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?search=strojni+programovani&instance=2>

[10] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [vid. 2011-05-17], 95 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/>

[11] *Katalog firmy Fette* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z:

[http://www.lmtfette.cz/Files/katalogy/frézování/LMT\\_Fraesen\\_V1\\_01.pdf](http://www.lmtfette.cz/Files/katalogy/frézování/LMT_Fraesen_V1_01.pdf)

[12] ŠTULPA, Miroslav. *CNC obráběcí stroje*. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

[13] SVOBODA, Emil. *Technologie a programování CNC strojů*. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998, 278 s. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vyd. Praha: MM Publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka    | Popis   |
|------------|---|
| <b>BTA</b> | Bohring and Trepanning association  |
| <b>CNC</b> | Computer Numerical control  |
| <b>ČSN</b> | Česká technická norma   |
| <b>DIN</b> | Deutsche Industrie Norm (Německá průmyslová norma)                                      |
| <b>EN</b>  | Evropská norma  |
| <b>HRC</b> | Tvrlost dle Rockwella   |
| <b>HSS</b> | High speed steel (rychlořezná ocel)   |
| <b>ISO</b> | International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci) |
| <b>NC</b>  | Numerical control   |
| <b>SK</b>  | Slinutý karbid  |
| <b>VBD</b> | Vyměnitelná břitová destička  |

| Symbol     | Jednotka            | Popis  |
|------------|---------------------|--|
| $A_{Di}$   | [mm <sup>-2</sup> ] | jmenovitý průřez třísky                          |
| $A_{Dmax}$ | [mm <sup>-2</sup> ] | maximální průřez třísky                          |
| <b>B</b>   | [mm]                | šířka obráběné plochy                            |
| $C_{Fc}$   | [-]                 | konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu |
| $C_{Ff}$   | [-]                 | konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu |
| <b>D</b>   | [mm]                | velký průměr                                     |
| $F_i$      | [N]                 | celková řezná síla                               |
| $F_{ci}$   | [N]                 | řezná síla                                       |
| $F_{Cni}$  | [N]                 | kolmá řezná síla                                 |
| $F_{Fi}$   | [N]                 | posuvová síla                                    |
| $F_{Fni}$  | [N]                 | kolmá posuvová síla                              |
| <b>H</b>   | [mm]                | výška záběru ostří                               |
| $K_{ci}$   | [MPa]               | měrná řezná síla                                 |
| <b>L</b>   | [mm]                | dráha nástroje při frézování                     |
| $a_p$      | [mm]                | šířka záběru ostří                               |
| $b_i$      | [mm]                | jmenovitá šířka třísky                           |

|                         |                         |  |
|-------------------------|-------------------------|--|
| <b>e</b>                | [mm]                    | vzdálenost osy nástroje od osy obráběné plochy       |
| <b>d</b>                | [mm]                    | malý průměr  |
| <b>f<sub>n</sub></b>    | [mm]                    | posuv na otáčku                                      |
| <b>f<sub>z</sub></b>    | [mm]                    | posuv na zub   |
| <b>h<sub>i</sub></b>    | [mm]                    | jmenovitá tloušťka třísky                            |
| <b>l</b>                | [mm]                    | délka obráběné plochy                                |
| <b>l<sub>n</sub></b>    | [mm]                    | délka přeběhu nástroje                               |
| <b>l<sub>p</sub></b>    | [mm]                    | délka náběhu nástroje                                |
| <b>l<sub>pf</sub></b>   | [mm]                    | délka náběhu při asymetrického nájezdu               |
| <b>n</b>                | [min <sup>-1</sup> ]    | otáčky   |
| <b>n<sub>z</sub></b>    | [-]                     | počet zubů v záběru                                  |
| <b>t<sub>AS</sub></b>   | [min]                   | jednotkový strojní čas                               |
| <b>t<sub>AV</sub></b>   | [min]                   | jednotkový vedlejší čas                              |
| <b>t<sub>celk</sub></b> | [hod]                   | celkový čas výroby                                   |
| <b>t<sub>N</sub></b>    | [min]                   | čas na výměnu nástroje                               |
| <b>v<sub>c</sub></b>    | [m·min <sup>-1</sup> ]  | řezná rychlost                                       |
| <b>v<sub>e</sub></b>    | [m·min <sup>-1</sup> ]  | rychlost řezného pohybu                              |
| <b>v<sub>f</sub></b>    | [mm·min <sup>-1</sup> ] | posuvová rychlost                                    |
| <b>x</b>                | [-]                     | exponent vlivu tloušťky třísky                       |
| <b>x<sub>FC</sub></b>   | [-]                     | exponent vyjadřující vliv průměru vrtáku             |
| <b>x<sub>FF</sub></b>   | [-]                     | exponent vyjadřující vliv průměru vrtáku             |
| <b>y<sub>FC</sub></b>   | [-]                     | exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku           |
| <b>y<sub>FF</sub></b>   | [-]                     | exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku           |
| <b>z</b>                | [-]                     | počet zubů   |
| <b>κ<sub>r</sub></b>    | [°]                     | úhel nastavení hlavního ostří nástroje               |
| <b>φ<sub>i</sub></b>    | [°]                     | úhel posuvového pohybu                               |
| <b>φ<sub>max</sub></b>  | [°]                     | maximální úhel posuvového pohybu válcového frézování |
| <b>ψ</b>                | [°]                     | maximální úhel posuvového pohybu čelního frézování   |

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Výrobní výkres součásti

Příloha 2 Náhled 3D modelu celé formy

Příloha 3 Náhled 3D modelu vyráběné součásti

Příloha 4 Sestavená vstřikovací forma

Příloha 5 Strojní dráhy výroby pro CNC

Příloha 6 Návodky pro výrobu

Příloha 7 Ukázka NC kódu

Příloha 8 Přehled jednotkových strojních časů