



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY VSTŘIKOVACÍ FORMY

TECHNICAL PREPARATION OF PRODUCTION INJECTION MOLD

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jindřich Drbal

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2016



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jindřich Drbal**  
Studijní program: Strojirenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2015/16

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:

### Technická příprava výroby vstřikovací formy

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Rozbor sestavy vstřikovací formy.
3. Řešení vytípané součásti.
4. Sestavení technologického procesu.
5. Simulace procesu výroby.
6. Posouzení výsledku.
7. Diskuze.
8. Závěr.

#### Cíle bakalářské práce:

Zvládnutí návrhu dat pro TPV s využitím programových simulací.


#### Seznam literatury:

- Píška, M. et al. (2009): Speciální technologie obrábění. CERM, s. r. o., Brno.
- Ptáček, L. et al. (2003): Nauka o materiálu I. CERM, s. r. o., Brno.
- Zemčík, O. (2002): Technologická příprava výroby. CERM, s. r. o., Brno.
- Kolektiv autorů. (1997): Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., Praha.
- Leiveber, J., Řasa, J. a Vávra, P. (2000): Strojnické tabulky. Scientia, s. r. o., Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan

## ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je shromáždění dat potřebných pro výrobu součásti vstřikovací formy. V úvodní části je rozebrán vývoj plastů a na něj navazující popis jednotlivých částí vstřikovací formy. Následuje rozvržení nástrojů pro výrobu a poté samotná simulace procesů.

### Klíčová slova

vstřikovací forma, technologický postup, obrábění, vrtání, simulace

## ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is gathering of data needed for manufacturing of a part in injection mold. The initial part deals with progression of plastic as a material followed by description of a parts of injection mold. Ensuing layout of a tools for manufacturing and then the simulation itself.

### Key words

injection mold, technological process, machining, drilling, simulation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRBAL, J. *Technická příprava výroby vstřikovací formy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 46 s. 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technická příprava výroby vstřikovací formy vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-----  
Daum

-----  
Jindřich Drbal

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat vedení firmy Edscha Hradec, s.r.o. za umožnění zpracování bakalářské práce, poskytnutí výkresové dokumentace a modelů. Jmenovitě panu Janu Kyselovi a Jaroslavu Šalandovi.

---

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ .....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 ROZBOR SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	10
1.1 Vstřikovací formy obecně a jejich rozdělení .....	10
1.2 Konstrukční hledisko vstřikovacích forem.....	11
1.3 Vtokový systém .....	11
1.4 Temperační systém.....	13
1.5 Odvzdušňovací systém .....	13
1.6 Vyhazovací systém .....	14
2 ROZBOR VYTIPOVANÉ SOUČÁSTI .....	15
2.1 Charakteristika součástí .....	15
2.2 Použitý materiál.....	16
2.3 Technologický rozbor součástí .....	17
2.4 Volba polotovaru .....	17
2.5 Frézování .....	18
2.5.1 Volba nástroje a VBD pro frézování čel polotovaru.....	18
2.5.2 Volba nástroje a VBD pro frézování boků polotovaru .....	19
2.5.3 Volba nástroje a VBD pro hrubování kapsy .....	20
2.5.4 Volba nástroje pro dokončování kapsy .....	21
2.5.5 Volba nástroje pro frézování zapuštění u závitu G1/8' .....	22
2.5.6 Volba nástroje a VBD pro frézování tvarové části šoupátka .....	23
2.6 Vrtání.....	24
2.6.1 Volba nástroje pro vrtání děr temperačního systému.....	24
2.6.2 Volba nástroje pro vrtání děr pro závit M6 .....	25
2.7 Řezání závitů.....	26
2.7.1 Volba nástroje pro vrtání děr temperačního systému.....	26
2.7.2 Volba nástroje pro vrtání děr pro závit M6 .....	27
2.8 Broušení .....	28
2.8.1 Volba nástroje pro broušení tolerovaných ploch .....	28
2.9 Elektrojiskrové řezání .....	29
2.9.1 Volba drátu pro elektrojiskrové řezání.....	29

---

2.10 Elektrojiskrové hloubení .....	30
2.10.1 Volba elektrody pro elektrojiskrové hloubení.....	30
3 SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU .....	32
4 SIMULACE PROCESU .....	33
4.1 Frézování .....	33
4.1.1 Simulace čelního frézování .....	33
4.1.2 Simulace frézování boků .....	33
4.1.3 Simulace hrubování kapsy .....	34
4.1.4 Simulace dokončování kapsy .....	34
4.1.5 Simulace frézování zahloubení .....	35
4.1.6 Simulace frézování tvarové části .....	35
4.2 Vrtání.....	36
4.2.1 Simulace vrtání děr pro temperační systém.....	36
4.2.2 Simulace vrtání děr pro typovou destičku .....	36
4.3 Řezání závitů.....	37
4.3.1 Simulace řezání závitu G1/8“ .....	37
4.3.2 Simulace řezání závitu M6 .....	37
4.4 Elektrojiskrové řezání .....	38
4.5 Elektrojiskrové hloubení .....	38
5 POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ.....	40
6 DISKUSE .....	41
ZÁVĚR .....	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	46



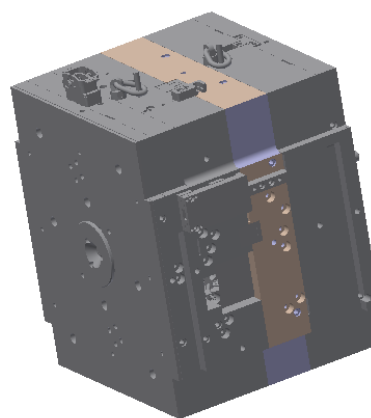
## ÚVOD

V současné době jsme obklopeni výrobky z různých materiálů, jako jsou například kovy, či jejich slitiny, dřevo nebo poměrně nové materiály kompozitního typu. Avšak největší procentuální zastoupení výrobků tvoří plasty. S přibývajícím používáním právě zmiňovaných plastových materiálů rostou nároky jak na materiál samotný, tak na kvalitu, přesnost, rychlost a samozřejmě také finanční stránku celého výrobního procesu. Jako příklad vspělosti plastového materiálu může posloužit vodní pumpa osobního automobilu. Díl, dříve vyráběný výhradně z kovu a později ze slitin hliníku, které byly schopny vydržet velké teplotní rozdíly, pohybující se v řádu stovek stupňů Celsia, vzhledem k umístění pumpy blízko bloku motoru, je dnes vyráběn ve společnosti BMW částečně z plastu. Tento krok samozřejmě šetří náklady na materiál, i když za cenu nižší trvanlivosti dílu. Se zvyšující se kvalitou plastů se zvyšují nároky i na výrobní procesy. Jedním z nejčastějších výrobních procesů pro zpracování plastů je tlakové vstřikování do kovové formy. Tato technologie je hojně užívána především ve zmíněném automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Mezi její výhody se mohou zařadit vysoká výrobnost, dlouhá trvanlivost forem a schopnost vyrábět tvarově složité výrobky.

Tato fakta, spolu se zájmem o nejnovější trendy v oblasti strojírenství, byla motivací pro vytvoření této bakalářské práce. Díky ochotě vedení firmy Edscha Hradec s.r.o., která poskytla výkresovou dokumentaci, bylo možné simulaci výroby převést z teoretické roviny školního zázemí na částečně v praxi využitelný soubor informací.



*Obr. 1 Porovnání vodní pumpy z plastu a železa v osobním autě [1]*



*Obr. 2 Příklad vstřikovací formy*

# 1 ROZBOR SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY

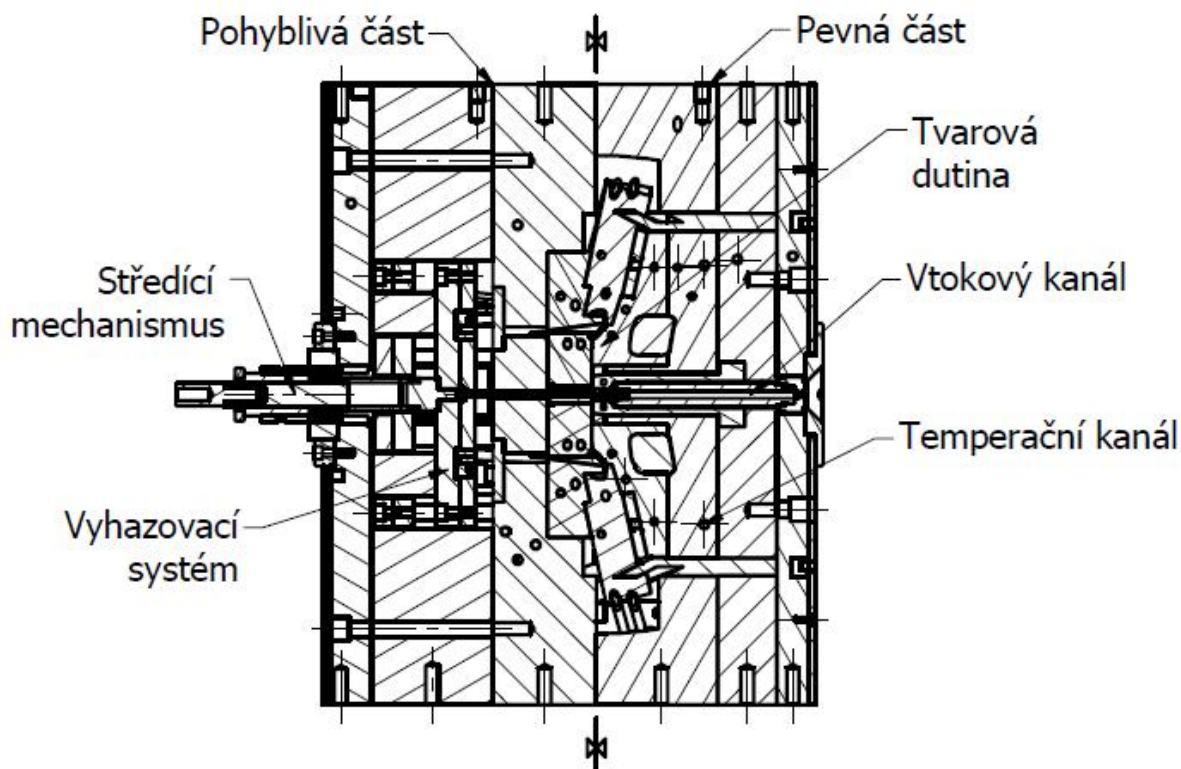
## 1.1 Vstřikovací formy obecně a jejich rozdělení

Vstřikovací forma spolu s plastikační jednotkou jsou nejdůležitější části celého vstřikovacího stroje. Aby celý vstřikovací stroj nesloužil jako jednoúčelový, je forma obvykle vyměnitelná. Dá se tedy považovat za nástroj. Jejím úkolem je zformovat vstřikovaný materiál do předem definovaného tvaru a tento tvar udržet i v průběhu chladnutí a smršťování materiálu, za dodržení předepsaných přesností a tolerancí. Z důvodu nároků na přesnost a životnost formy se vyrábějí z vysoce kvalitních nástrojových ocelí. Tyto materiály po tepelném zpracování odolávají vysokým teplotám a tlakům přítomným při vstřiku roztaveného plastu. Sestava vstřikovací formy se skládá z mnoha částí, které lze rozdělit na části tvarové, středící a dále na vodící, vtokový, temperační, odvzdušňovací a vyhazovací systém. Mnoho těchto částí, nebo jejich elementů, je dnes sestavováno z normalizovaných dílců společných pro mnoho forem. Sestavování formy se tedy ve výsledku podobá stavebnici. Tento systém umožňuje snižování nákladů a zrychlování výroby nástrojů. Vzhledem k diverzitě forem se rozdělují dle několika základních hledisek: [14,15]

- dle počtu dutin
  - jednonásobné
  - vícenásobné
- dle konstrukce
  - jednoduché
  - čelistové
  - s výsuvnými jádry
  - vybrušované
  - etážové
  - vytáčecí
- dle vstřikovaného materiálu
  - termoplasty
  - reaktoplasty
  - elastomery
- dle typu vstřikovacího stroje
  - se vstřikem do osy
  - se vstřikem do dělicí roviny formy
- dle uspořádání vtoku
  - dvoudeskové
  - tříděskové
  - s horkým vtokem
  - s vyhřívanými vtokovými kanály
  - s izolovanými vtokovými kanály

## 1.2 Konstrukční hledisko vstřikovacích forem

Navrhování konstrukce vstřikovací formy je díky své komplexnosti velice složitý proces, který vyžaduje zkušené konstruktéry se znalostmi problematiky a představou interakce jednotlivých dílů formy při jejich pohybu v pracovním procesu. Základní části vstřikovací formy jsou popsány na obr. č. 1.1.

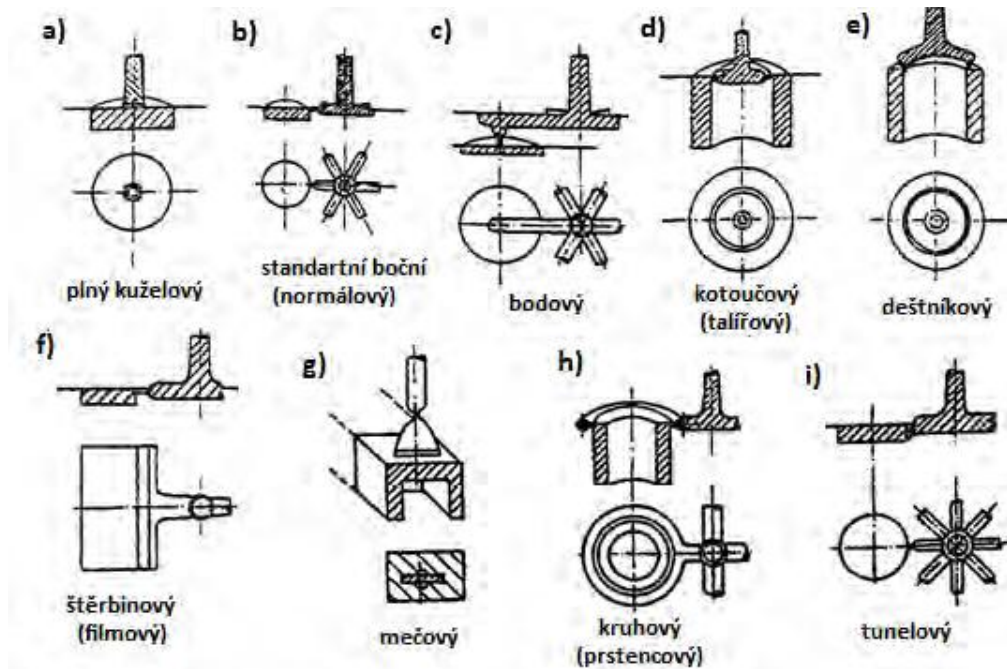


Obr. 1.1 Základní části vstřikovací formy

## 1.3 Vtokový systém

První část vstřikovací formy přicházející do kontaktu s roztaveným plastem je právě vtokový systém. Skládá se ze sítě kanálů, kterými proudí materiál směrem k tvarové dutině a potažmo tryskám. V případě jednoduchých forem může být tento systém zredukován pouze na jeden přívodní kanál. Úkolem této části je správné naplnění dutiny formy termicky stejnorodou roztavenou směsí v co nejkratším čase s co nejmenším odporem proti průchodu. V případě násobné formy se k těmto faktorům přidává navíc zajištění dopravy taveniny ke všem tvarovým kapsám ve stejný čas a při stejných podmínkách pro konstantnost výroby a homogenitu výrobků. Dalším úkolem této části je zformování snadno odstranitelného vtokového zbytku, který je spolu s vlastním výrobkem vytlačen z formy vyhazovacím systémem. Vtokové systémy se dělí: [14,15]

- dle typu vtoku
  - se stejnou délkou toku taveniny
  - s nestejnou délkou toku taveniny
- dle tvaru vtoku



Obr. 1.2 Příklady tvarů vtoků [2]

- dle tepelné bilance vtoku
  - komůrkové vtoky - vtoky používané pro nepřetržitý výrobní proces, kdy tavenina v komůrce vtoku nemá dostatek času na zatuhnutí před dalším cyklem formy.
  - izolované vedení vtoku - tavenina není vyhřívána po vstupu do formy, ale udržuje si teplotu díky izolaci. Tento typ vtoku se používá u velkých průměrů kanálů pro omezení teplotních ztrát.
  - vyhřívané vedení vtoku - tavenina po vstupu do formy udržuje svou teplotu díky vyhříváním kanálům zajišťujícím teplotní stálost směsi po celou dobu její cesty k tvarové dutině
  - vyhřívané trysky formy - po případném poklesu teploty v průběhu dopravy vstřikovaného materiálu se používají vyhřívané trysky, které zaručují ideální teplotu taveniny při vstupu do tvarové kapsy.



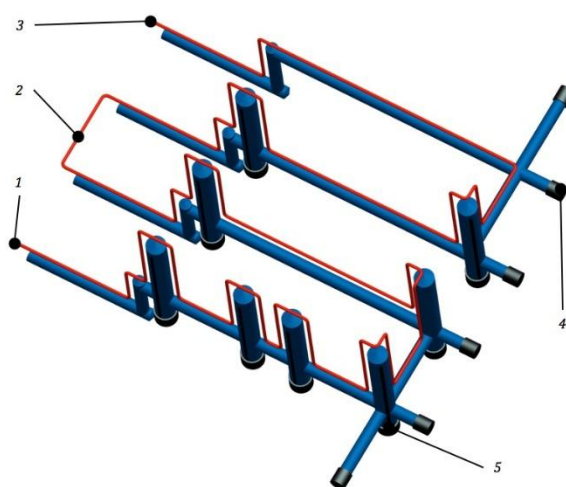
Obr. 1.3 Tryska s vnitřním výhřevem [3]



Obr. 1.4 Tryska s vnějším výhřevem [3]

## 1.4 Temperační systém

Jedná se o systém realizující konstantní tepelný režim formy, kdy se, při opakovaném plnění formy, teplota jednotlivých komponentů značně zvyšuje, což může vést ke snížení kvality výrobku. Je tvořen kanály naplněnými temperovacím médiem, přičemž volí se spíše hustější síť kanálů s menším průměrem z důvodu lepšího pokrytí plochy. V případě vyhřívaného vtokového systému spolupracuje s topnými tělesy pro regulaci výsledné teploty a to, jak ve smyslu zvyšování teploty, tak i jejím snižování. Dále temperace zajišťuje rovnoměrné ochlazování výrobku v celém jeho objemu za udržování předdefinovaných vlastností. Hlavním faktorem pro navrhování těchto systémů je použitý materiál, jeho termické vlastnosti, parametry tvarových dutin a dále odvádění tepla z místa vstřiku. A to zejména z důvodu snížení doby pracovního cyklu, kdy urychluje chladnutí na teplotu, jež umožňuje odstranění výrobku z formy pomocí vyhazovacího systému a tím zvýšení jeho ekonomičnosti. [14,15]



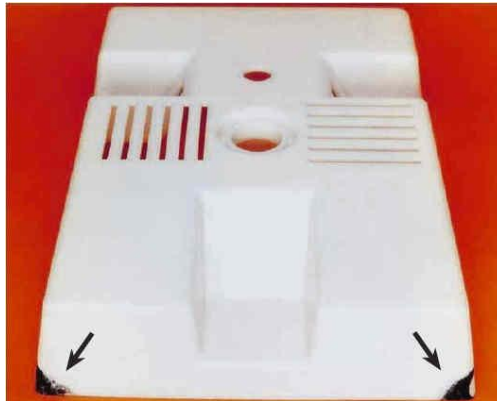
Obr. 1.5 Příklad temperačního systému [4]

1-vstup temperačního média, 2-propojovací větev, 3-výstup temperačního média, 4-ucpávky, 5-přímá přepážka

## 1.5 Odvzdušňovací systém

Při procesu plnění tvarové dutiny formy roztaveným granulátem se vtláče materiál do kapsy, která již obsahuje vzduch, tím pádem se vstříkuje do de facto již plné formy. Pokud by se tento fakt ignoroval, tak dojde k navýšení tlaku do takové míry, že by mohlo dojít k samovznícení vzduchu a následnému spálení výrobku. Tento jev se nazývá Dieselův efekt (obr. 1.6). Dále by mohl vzduch proniknout do taveniny v podobě bublin a snižovat tak mechanické vlastnosti po ztuhnutí, či způsobit nadměrný protitlak a zapříčinit nedostříknutí tvaru. Na druhé straně přílišné odvzdušnění může způsobit únik vstříkovaného materiálu mimo tvarovou dutinu odvzdušňovacími kanály, což by způsobilo vadný výrobek. Ústí odvzdušňovacích otvorů je obvykle umístěno v části dutiny, která se plní jako poslední. U složitějších výrobků není snadné tuto část lokalizovat, proto se poloha určuje pomocí testů, kdy se zkoumá umístění vady a na toto místo se zavede odvzdušnění. Poté se celý test opakuje do doby, než jsou výsledky uspokojivé. Odvzdušňování bývá realizováno v podobě kanálků o velice malém průměru nebo záměrnými netěsnostmi ve vyhazovacím systému.

Jako další příklad tohoto systému je vytvoření vŕle částečným rozevřením formy, kde po naplnění tvarové kapsy z cca 90 % se forma pootevře, aby mohl vzduch uniknout. Poté se forma opět uzavře a probíhá dostřik výrobku. [14,15]

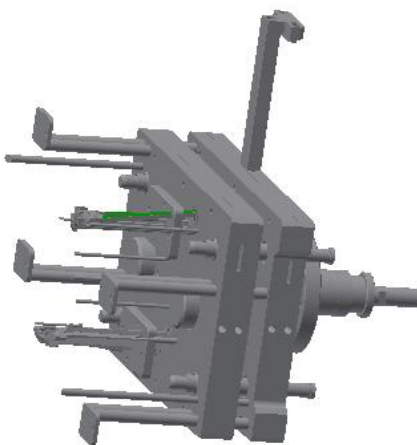


Obr. 1.6 Dieselŕv efekt [5]

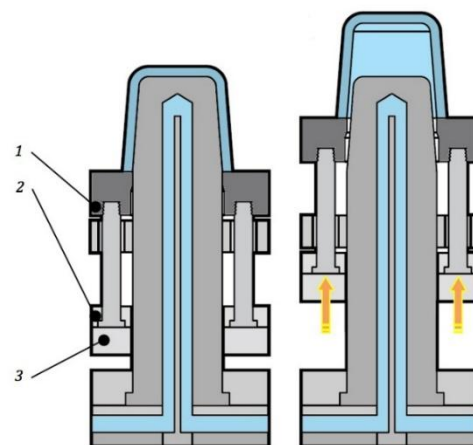
## 1.6 Vyhazovací systém

Tento systém má za úkol vyhození výstřiku a vtokového zbytku ven z tvarové dutiny po zatuhnutí materiálu aniž by ho poškodil či jinak znehodnotil. Dále částečně odebírá lidský faktor z procesu výroby, a tudíž přispívá k její automatizaci.

Je nutné zajistit držení výrobku v pohyblivé části formy, kde se obvykle vyhazovací soustava nachází, což je zajištěno silou vyvolanou smršťováním plastu při tuhnutí. Pokud by tato síla nebyla dostatečná, dá se použít různých výstupků, drážek a zápichů. Pro vyvinutí vyhazovací síly se nejčastěji používají mechanické vyhazovače, ale dá se také aplikovat stlačený vzduch, či vyjmutí pomocí manipulátoru. Mechanický pohyb vyhazovače zajišťuje pohyb části formy, působení pružin nebo hydrauliky. Samotné vyhazovače mohou mít tvar válce nebo trubek, ale používají se také stírací desky či stírací kroužky. [14,15]



Obr. 1.7 Příklad vyhazovacího systému

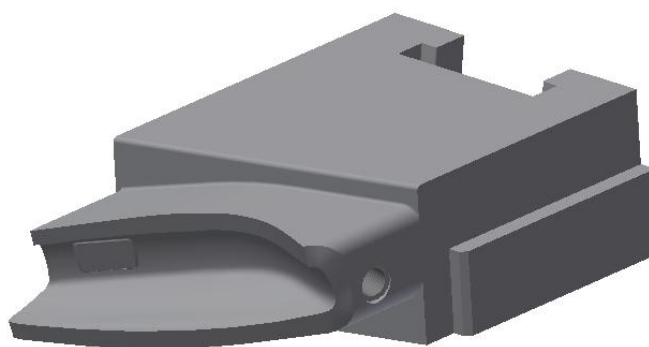


Obr. 1.8 Princip funkce stírací desky  
1-stírací deska, 2- pŕidrřovací deska,  
3- hlavní vyhazovací deska [4]

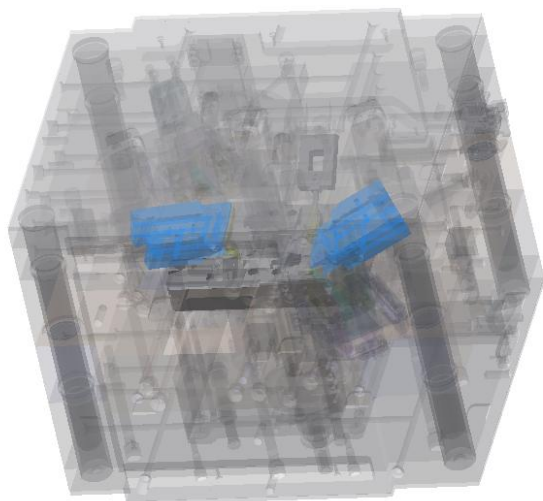
## 2 ROZBOR VYTIPOVANÉ SOUČÁSTI

### 2.1 Charakteristika součásti

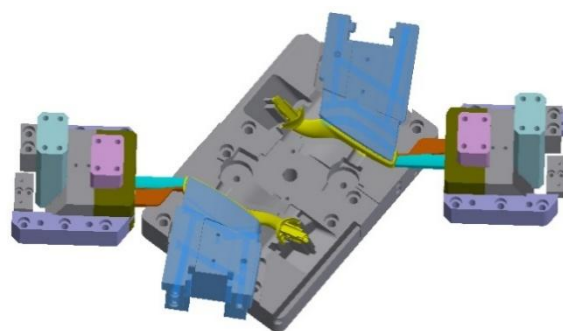
Jako vytipovaná komponenta bylo zvoleno šoupátko. Tato pohyblivá součástka se nachází pouze u složitějších forem, kde je třeba zajistit tvary, které by byly jinak nemožné vytvořit jako pevnou část dutiny nebo by se nedal výrobek po odstříknutí vyjmout z formy ven. Šoupátko zajíždí do své provozní polohy až po uzavření formy a dotváří tak finální tvar celé kapsy pro výstřik. Některé složité výrobky vyžadují užití více šoupátek najednou. Vzhledem k tomu, že šoupátko přichází do kontaktu přímo s finálním výrobkem, je třeba u něj kontrolovat v dotykové části tvarovou přesnost a jakost povrchu. Je do něj napojen temperační systém pomocí sítě kanálů, kterými proudí temperační médium. To zaručuje rovnoměrné chladnutí výrobku i v složitě tvarovaných částech.



Obr. 2.1 Model šoupátka



Obr. 2.2 Lokalizace šoupátka  
ve vstříkovací formě



Obr. 2.3 Poloha šoupátka v  
tvarové dutině

## 2.2 Použitý materiál

Jako materiál bude použita nástrojová ocel 1.2343, která má ekvivalentní označení v soustavě ČSN jako 19 552. Jedná se o chrom-molybden-křemík-vanadovou ocel ke kalení a to jak na vzduchu, tak i v oleji. Vyznačuje se velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností za tepla a má vyšší teplotu popouštění oproti jiným ocelím. Dalšími vlastnostmi tohoto materiálu jsou velmi dobrá houževnatost a plastické vlastnosti za normálních teplot, ale zároveň i při zvýšených teplotách. Dobře odolává vzniku trhlinek způsobených tepelnou únavou, je rezistentní vůči prudkým změnám teplot a je snadno lešitelná. Je vhodná pro tepelné zpracování s maximální pevností až 1600 MPa a může se použít i pro nástroje chlazené vodou. Z těchto charakteristik vyplývá, že je vhodná k použití pro vysoce namáhané nástroje pro práci za tepla, velmi namáhané zápustky menších až středních rozměrů, lisovací třmeny či nože nůžek pro stříhání. V případě vyšších požadavků na čistotu a strukturu materiálu je možno jí elektrostruskově přetavit pro dosažení těchto vlastností. [7]

Tabulka 2.1 Chemické složení oceli 1.2343 [6]

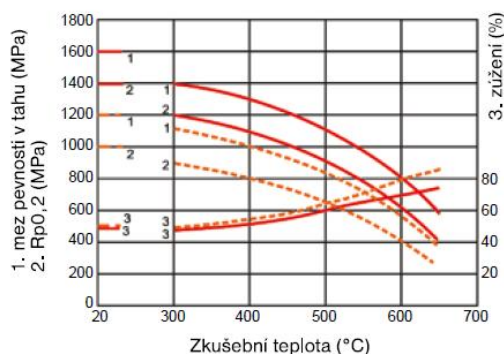
Název oceli	Obsah prvků v %							
	C	Cr	Mo	Si	Mn	V	S	P
19 552	0,36	4,80	1,10	0,90	0,30	0,25	0,030	0,030
	až 0,42	až 5,50	až 1,40	až 1,20	až 0,50	až 0,50	max.	max.

Tabulka 2.2 Tepelné zpracování oceli 1.2343 [7]

Teplota operace		Tvrdość po operaci
Žihání na měkko	750-800 °C	max. 229 HB
Odstranění vnitřních pnutí	600-650 °C	-
Kalení	1000-1040 °C	pro olej 52-56 HRC pro vzduch 50-54 HRC
Popouštění	450-550 °C	-

Diagram meze pevnosti při zvýšených teplotách

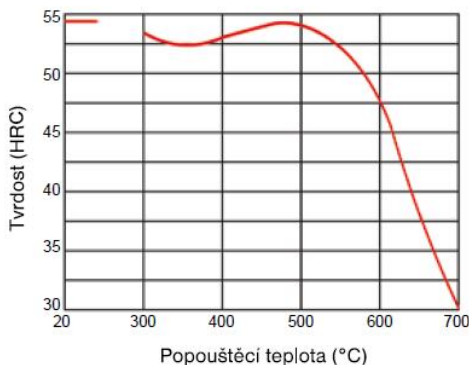
zušlechtné na 1600 MPa —————  
zušlechtné na 1200 MPa - - - - -



Obr. 2.4 Diagram meze pevnosti při zvýšených teplotách [7]

Popouštěcí diagram BÖHLER W300

kalící teplota 1020 °C  
průřez zkušební vzorku: čtyřhran 50 mm



Obr. 2.5 Popouštěcí diagram [7]



## 2.3 Technologický rozbor součásti

Jedná se o značně tvarově složitou součást. Pro zajištění funkčnosti součásti je nutné dodržet tolerance pro funkční plochy, uložení a geometrické vazby.

- Nejvyšší požadovaná jakost je pro plochu, která bude v dotyku s platem v tvarové dutině, proto bude leštěna na hodnotu  $Ra=0,4 \mu\text{m}$ . Zbylé tolerované plochy budou broušeny na hodnotu  $Ra=1,6 \mu\text{m}$ .
- Tolerance uložení pro pohyblivou část je  $g6$ .
- Plochy řezané na drátořezu mají toleranci H7.
- Zbylé netolerované rozměry se řídí normou ISO 2768-m.
- Používá se dvojích závitů a to G1/8“ na připojení temperačního systému a M6 na přidržení typového štítku s informacemi o sérii výroby.

## 2.4 Volba polotovaru

Za polotovar byl zvolen hranol o rozměrech 120x60 mm s délkou 175 mm, přičemž je zde již počítáno se všemi potřebnými přídávky na jednotlivé operace. Největší přídavek bude použit na frézování a úhlování z důvodu možné nepřesnosti při řezání polotovaru na rozměr. Na broušení po kalení je volen přídavek 0,2 mm na plochu, který je již obsažen při výrobě polotovaru. Výrobek má hmotnost 4,294 kg a polotovar 9,828 kg. Hmotnosti byly vypočítány pomocí softwaru Autodesk Inventor 2016, kde byla jako materiál zvolena legovaná ocel, což hustotou nejbližší odpovídá použitému materiálu 1.2343.

Výpočet spotřeby materiálu dle vztahu 1.1 [16]

$$Z_m = Q_p - Q_o \text{ [kg]} \quad (1.1)$$

Kde:

$Z_m$  ...ztráty [kg]  
 $Q_p$  ...hmotnost polotovaru [kg]  
 $Q_o$  ...hmotnost výrobku [kg]

$$Z_m = 9,828 - 4,294 = 5,534 \text{ kg}$$

Norma spotřeby materiálu dle vztahu 1.2 [16]

$$N_m = Q_o + Z_m \text{ [kg]} \quad (1.2)$$

Kde:

$N_m$  ...norma spotřeby [kg]  
 $Q_o$  ...hmotnost výrobku [kg]  
 $Q_p$  ...hmotnost polotovaru [kg]

$$N_m = 4,294 + 5,534 = 9,828 \text{ kg}$$

Stupeň využití materiálu dle vztahu 1.3 [16]

$$k_m = \frac{Q_o}{N_m} [-] \quad (1.3)$$

Kde:

- $k_m$  ...stupeň využití materiálu [-]
- $Q_o$  ...hmotnost výrobku [kg]
- $N_m$  ...norma spotřeby [kg]

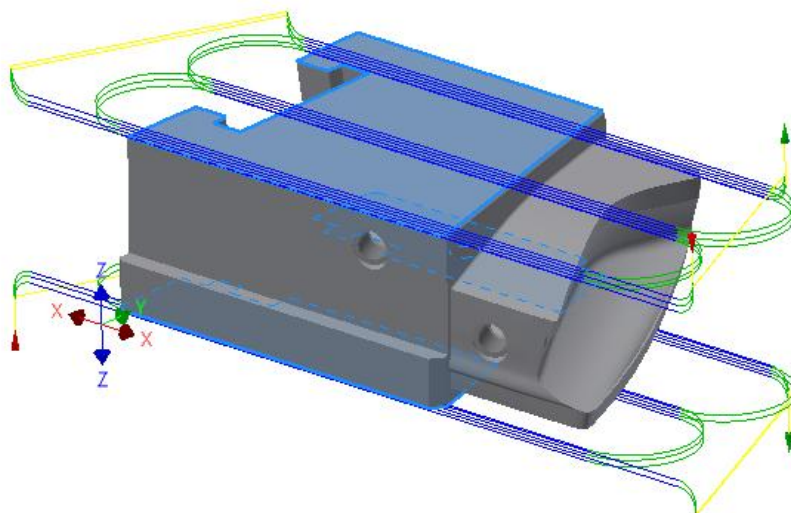
$$k_m = \frac{4,294}{9,828} = 0,437$$

V ideálním případě by měl být stupeň využití materiálu roven 1. Typicky se u výrobních procesů tato hodnota pohybuje mezi 0,8 a 0,4. Vzhledem k tomu, že se výsledek blíží spodní hranici, bude nutno pro výrobu vynaložit vyšší množství pracovního času strojů. Tento fakt je však nevyhnutelný vzhledem k tvarové složitosti výrobku.

## 2.5 Frézování

Tato metoda obrábění je charakteristická odebíráním materiálu pomocí otáčejícího se nástroje s břity, kdy břity realizují vlastní úběr materiálu. Posuvy jsou u starších strojů řešeny šnekovými trny, které se otáčejí v loži stroje. U novějších strojů je posuv řešen pomocí přesných elektromotorů ve všech směrech. Samotný řezný proces je přerušovaný vzhledem k vícebřitým nástrojům, kdy vždy část úběru provádí každý zub, což snižuje opotřebování jednotlivých zubů a tím zvyšuje životnost nástroje. [17]

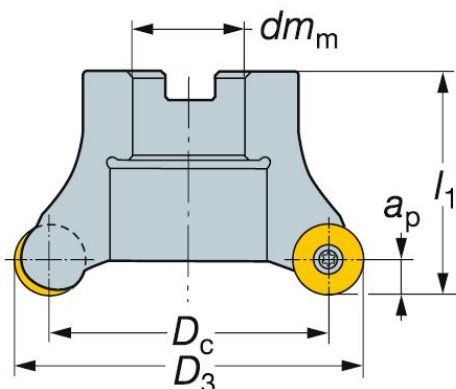
### 2.5.1 Volba nástroje a VBD pro frézování čel polotovaru



Obr. 2.6 Plochy pro čelní frézování s dráhami nástroje

Tabulka 2.3 Parametry frézovací hlavice [8]

Frézovací hlavice	Kód	Počet břitů	$D_c$ [mm]	$D_3$ [mm]	$dm_m$ [mm]	$l_1$ [mm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]	Průměr VBD [mm]
	R200-051Q22-12M	4	63	51	22	50	16200	12



Obr. 2.7 Čelní fréza [8]



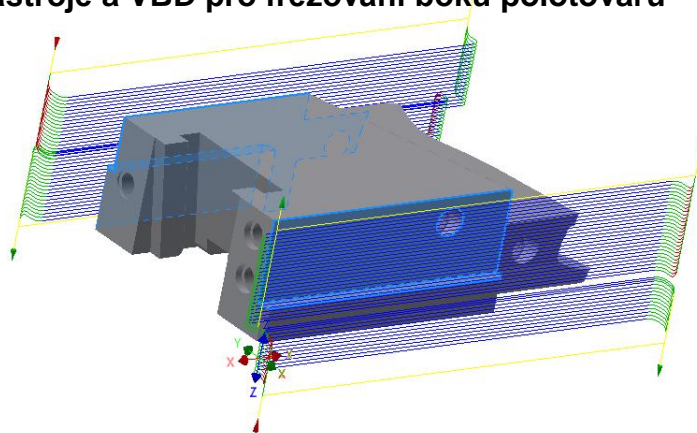
Obr. 2.8 Vyměnitelné břitové destičky [8]

Tabulka 2.4 Řezné parametry VBD [8]

Vyměnitelná břitová destička	Kód	Řezná rychlost $v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	Posuv na zub $f_z$ [mm]
	RCKT1204MO-MM 2030	185	0,28

Operace čelního frézování odebrává velké množství materiálu, což značně namáhá břitovou destičku. Důvod volby této frézy je velikost její funkční plochy, kdy je možné po otupení částí pouze destičku pootočit, což výrazně zvyšuje její životnost oproti čtyřhranným VBD. Použití těchto VBD také umožňuje fakt, že u těchto ploch není třeba frézovat rohé tvary, ale pouze plochy. Z hlediska náročnosti se jedná o středně náročné frézování vzhledem k legovanému materiálu.

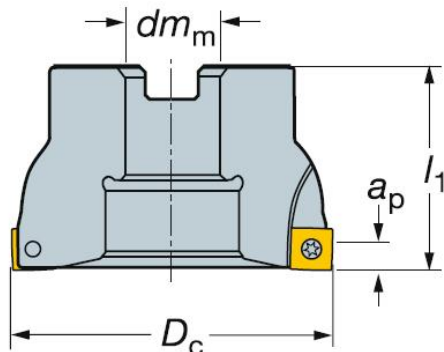
### 2.5.2 Volba nástroje a VBD pro frézování boků polotovaru



Obr. 2.9 Plochy pro boční frézování s dráhami nástroje

Tabulka 2.5 Parametry frézovací hlavice [8]

Frézovací hlavice	Kód	Počet břitů	$D_c$ [mm]	$dm_m$ [mm]	$l_1$ [mm]	$n_{max}$ [min <sup>-1</sup> ]	Výška VBD [mm]
	490-032B25-08M	4	32	25	66,5	33900	8



Obr. 2.10 Čelní fréza [8]



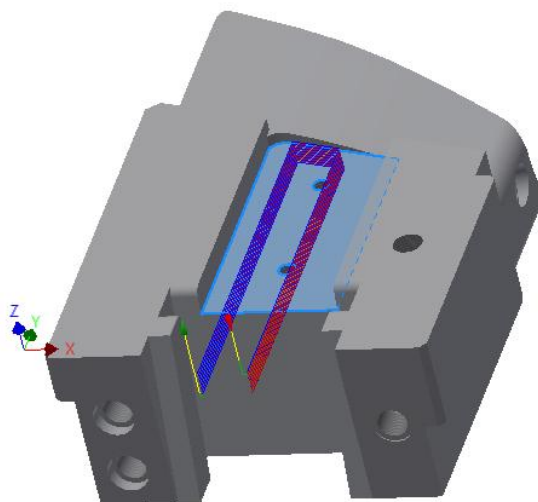
Obr. 2.11 Vyměnitelné břitové destičky [8]

Tabulka 2.6 Řezné parametry VBD [8]

Vyměnitelná břitová destička	Kód	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na zub $f_z$ [mm]
	490R-08T312E-MM 2030	190	0,18

Hlavním aspektem frézování boků je udržení kolmosti rohů k čelním plochám a příslušným tolerancím, proto byl volen nástroj osazen VBD s úhlem 90°. V případě užití kulatých VBD pro hrubování by bylo třeba další operace pro zarovnání ploch.

### 2.5.3 Volba nástroje a VBD pro hrubování kapsy



Obr. 2.12 Plochy pro hrubování kapsy s dráhami nástroje

Tabulka 2.7 Parametry frézovací hlavice [8]

Frézovací hlavice	Kód	Počet břitů	$D_c$ [mm]	$d_{m_m}$ [mm]	$l_1$ [mm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]	Výška VBD [mm]
	490-025C5-08M	3	25	25	70	28000	8

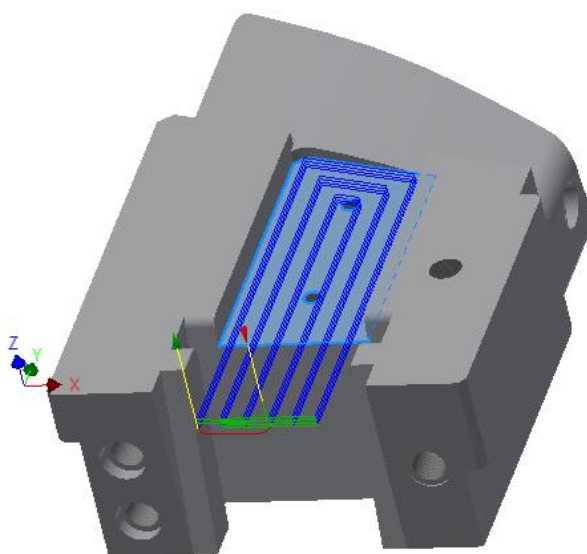
Vyobrazení této frézovací hlavice a VBD odpovídají obr. 2.10 a 2.11.

Tabulka 2.8 Řezné parametry VBD [8]

Vyměnitelná břitová destička	Kód	Řezná rychlost $v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	Posuv na zub $f_z$ [mm]
	490R-08T312E-MM 2030	190	0,18

Volba hrubovací operace pro kapsu je z důvodu nižšího výsledného strojního času. Vzhledem k rozměrům kapsy nebylo možno použít frézovací hlavici z operace frézování boků.

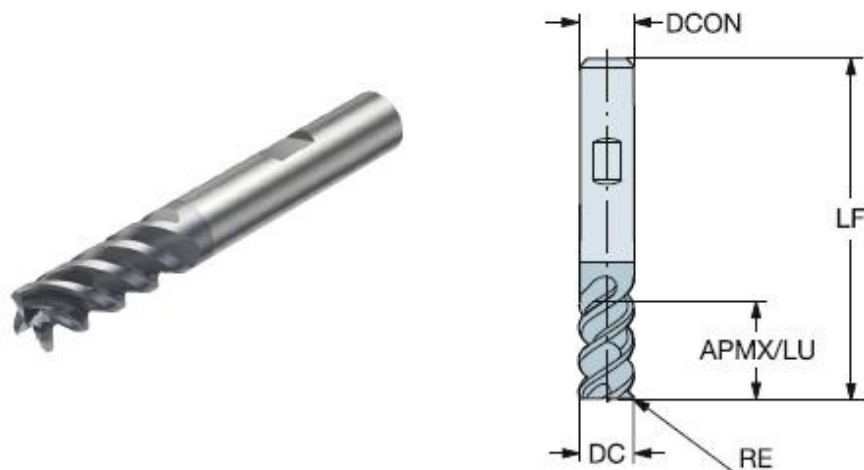
#### 2.5.4 Volba nástroje pro dokončování kapsy



Obr. 2.13 Plochy pro dokončování kapsy s dráhami nástroje

Tabulka 2.9 Parametry monolitní frézy [9]

Monolitní karbidová fréza	Kód	DC [mm]	RE [mm]	LF [mm]	LU [mm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]
	R216.24-08050EBC19P	8	2	63	19	15000



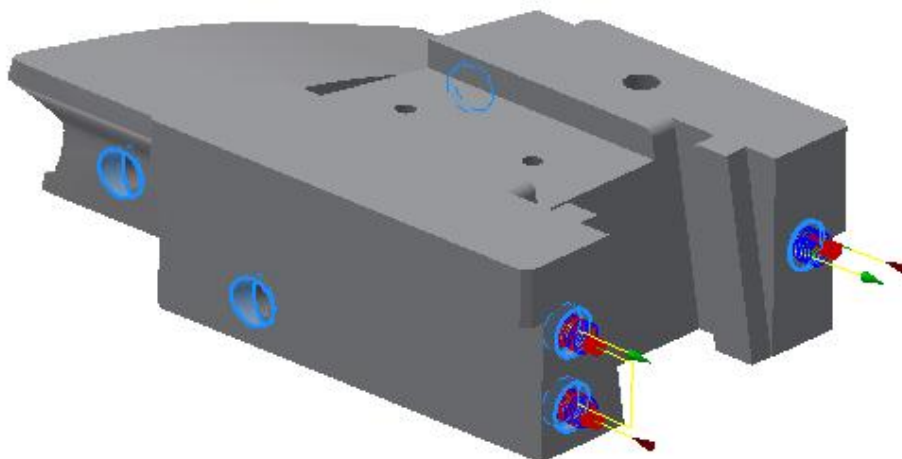
Obr. 2.14 Monolitní karbidová fréza spolu s rozměry [9]

Tabulka 2.10 Řezné parametry monolitní karbidové frézy [8]

Řezné podmínky frézování	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
	85	0,08

Tato karbidová fréza byla volena z důvodu potřeby dodržení rádiusu dle výkresové dokumentace. Tento fakt však podstatně prodlužuje strojní čas vzhledem k malé ploše záběru.

### 2.5.5 Volba nástroje pro frézování zapuštění u závitu G1/8“



Obr. 2.15 Plochy pro frézování zapuštění závitu G1/8“

Tabulka 2.11 Parametry monolitní frézy [9]

Monolitní karbidová fréza	Kód	DC [mm]	RE [mm]	LF [mm]	LU [mm]	$n_{\max}$ [min <sup>-1</sup> ]
	R216.24-06050EBC13P	6	1	57	13	15000

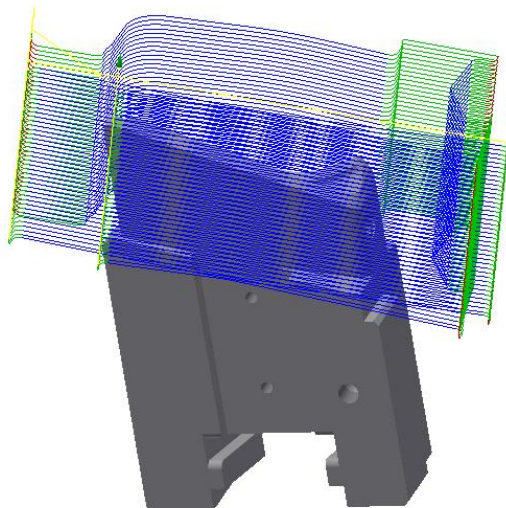
Vyobrazení frézy se shoduje s obr. 2.14

Tabulka 2.12 Řezné parametry monolitní karbidové frézy [8]

Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
	80	0,06

Volba této frézy proběhla v souvislosti s průměrem vrtané kapsy a frézovaným materiálem.

### 2.5.6 Volba nástroje a VBD pro frézování tvarové části šoupátka



Obr. 2.16 Plochy pro frézování tvarové části šoupátka

Tabulka 2.13 Parametry frézovací hlavice [8]

Frézovací hlavice	Kód	Počet břitů	$D_c$ [mm]	$d_{mm}$ [mm]	$l_1$ [mm]	$n_{\max}$ [min <sup>-1</sup> ]	Výška VBD [mm]
	490-032B25-08M	4	32	25	66,5	33900	8

Vyobrazení této frézovací hlavice a VBD odpovídají obr. 2.10 a 2.11.

Tabulka 2.14 Řezné parametry VBD [8]

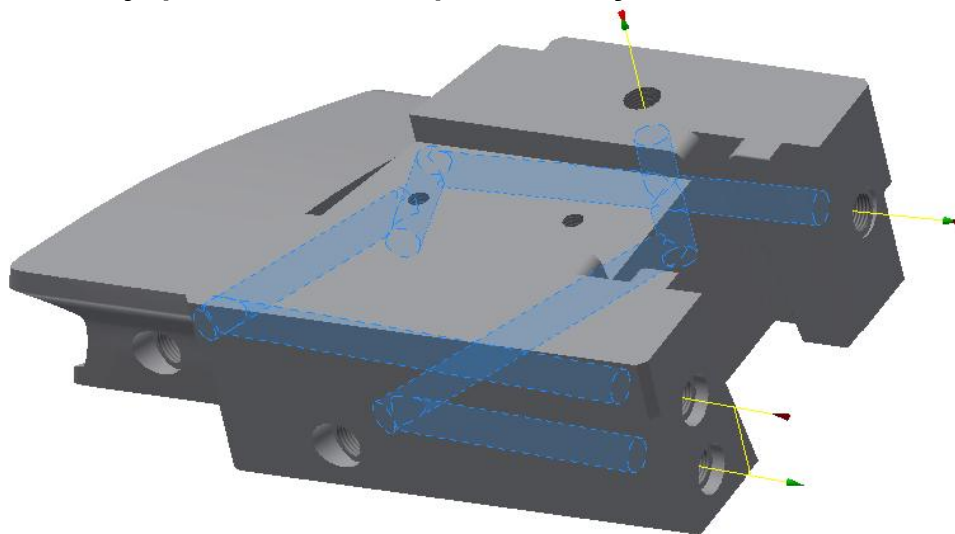
Vyměnitelná břitová destička	Kód	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na zub $f_z$ [mm]
	490R-08T312E-MM 2030	190	0,18

Nástroj byl volen z důvodu udržení kolmosti tvaru vůči podstavě. Frézovací hlavice byla použita stejná jako v operaci frézování kvůli úspoře počtu frézovacích hlavice a také z toho hlediska, že by měla být schopna udržet tolerance tvaru a při tom pracovat velice efektivně.

## 2.6 Vrtání

Tato výrobní operace se používá pro zhotovení děr a to jak do plného materiálu, tak i do předem připravených děr, které mohou být předvrtané, předlité, předkované, či předlisované. Pro tento proces je charakteristická řezná rychlost, která se směrem ke středu nástroje snižuje až na nulu ve špičce. Hlavním pohybem této operace je rotace nástroje (vrtáku) při stacionárním obrobnku, nebo vzácněji rotací obrobnku vůči stacionárnímu nástroji. Osa nástroje je většinou kolmá k ploše obrábění, kudy se vřezává vrták do materiálu. Osový pohyb je zpravidla vykonáván nástrojem, který zajišťuje vnořování do obrobnku. [18]

### 2.6.1 Volba nástroje pro vrtání děr temperačního systému

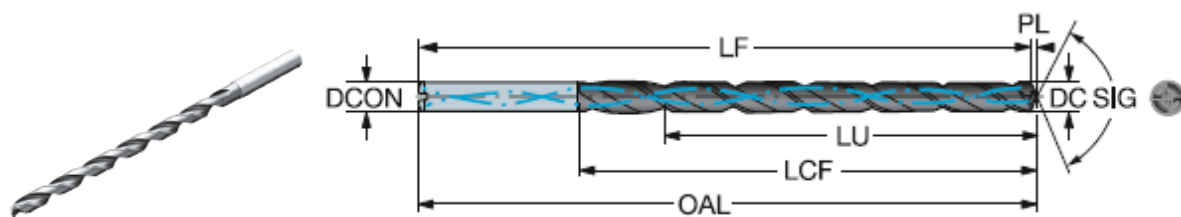


Obr. 2.17 Plochy děr pro vrtání temperačního systému

Tabulka 2.15 Parametry vrtáku 861.1 [9]

Vrták	Kód	DC [mm]	OAL [mm]	LU [mm]	LCF [mm]
	861.1-0800-160A1-GM	8	226	161,5	184





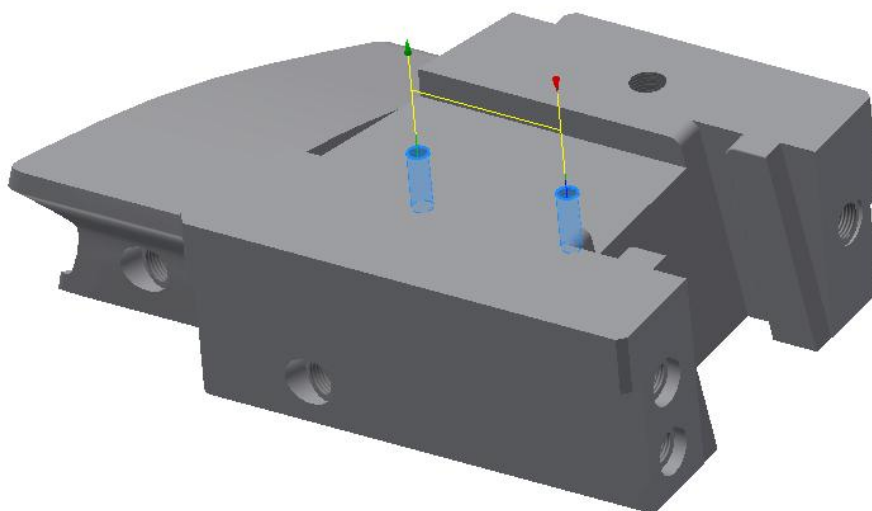
Obr. 2.18 Vrták 861.1[9]

Tabulka 2.16 Řezné parametry vrtáku 816.1 [8]

Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
		40

Tento vrták je použit pro vrtání děr pro temperační médium. Vzhledem k značným hloubkám musel být volen dlouhý vrták s vnitřním přívodem chladicí kapaliny z důvodu nutnosti chlazení a pro lepší odvádění třísek z místa řezu.

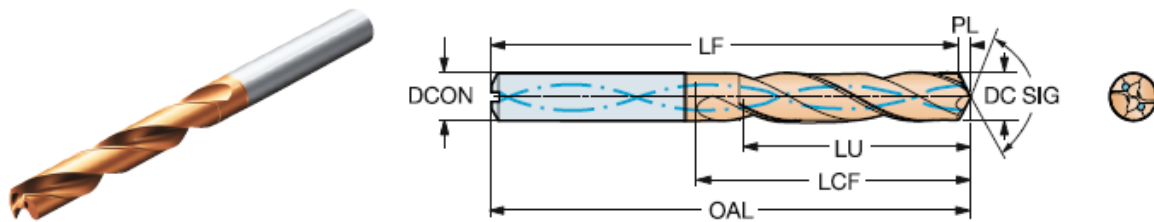
### 2.6.2 Volba nástroje pro vrtání děr pro závit M6



Obr. 2.19 Plochy děr na předvrtání děr závit pro M6

Tabulka 2.17 Parametry vrtáku 860.1 [9]

Vrták	Kód	DC [mm]	OAL [mm]	LU [mm]	LCF [mm]
	860.1-0600-037A1-PM	5	97	40,8	57



Obr. 2.20 Vrták 860.1 [9]

Tabulka 2.18 Řezné parametry vrtáku 816.1 [8]

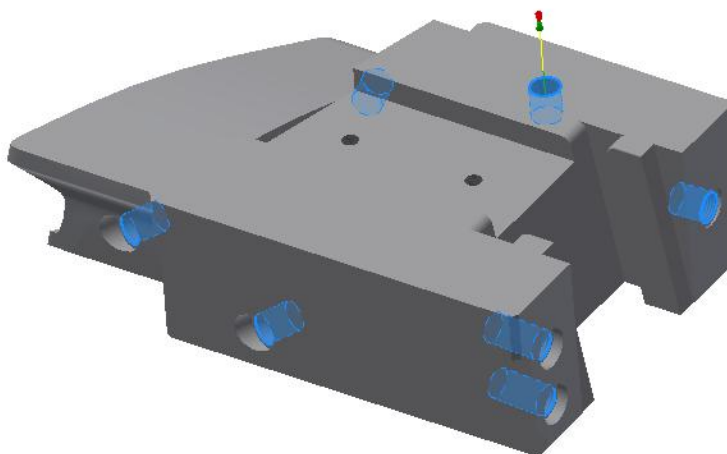
Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
	60	0,16

Hloubky děr jsou podstatně menší než u minulé operace vrtání, což umožňuje použití kratšího a díky tomu výrazně levnějšího vrtáku. Vrták má vnitřní přívod chladicí kapaliny pro lepší odvádění tepla z místa řezu spolu s odebraným materiálem.

## 2.7 Řezání závitů

Závit je jedním z nejdůležitějších konstrukčně-technologických prvků výrobků. Plní funkce spojovací či pohyblivé, kdy jeho jakost a přesnost ovlivňuje jeho správnou funkci a spolehlivost. Z technologického hlediska se dá výroba závitů rozdělit na výrobu vnitřních a vnějších závitů. [18]

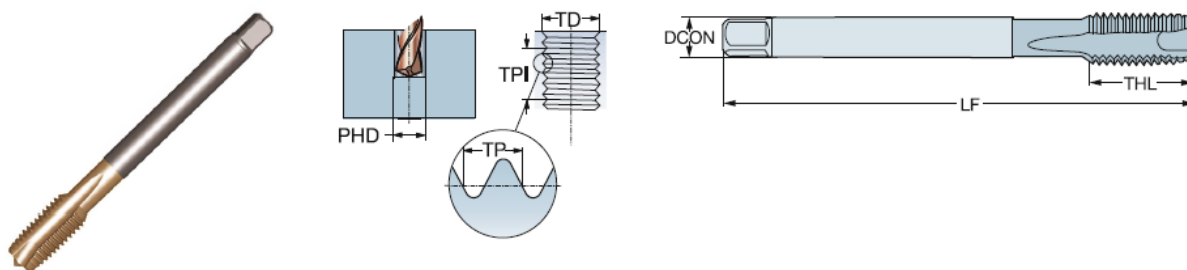
### 2.7.1 Volba nástroje pro řezání závitu G1/8“



Obr. 2.21 Plochy závitů G1/8“

Tabulka 2.19 Parametry závitníku T200

Řezací závitník	Kód	THL [mm]	LF [mm]	TD [mm]	TP [mm]
	T200- XM100DK- 1/8-C110	18	90	9,73	0,907



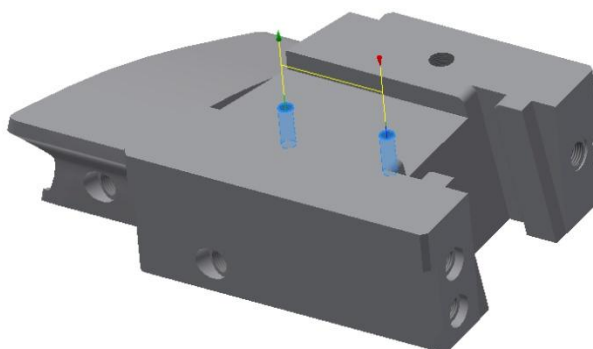
Obr. 2.22 Závitník T200

Tabulka 2.20 Řezné parametry závitníku T200 [8]

Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
		10

Závitník byl volen na základě vlastností materiálu, kdy se jedná o legovanou ocel, a tedy je nutné použít vyšší kvalitu závitníku.

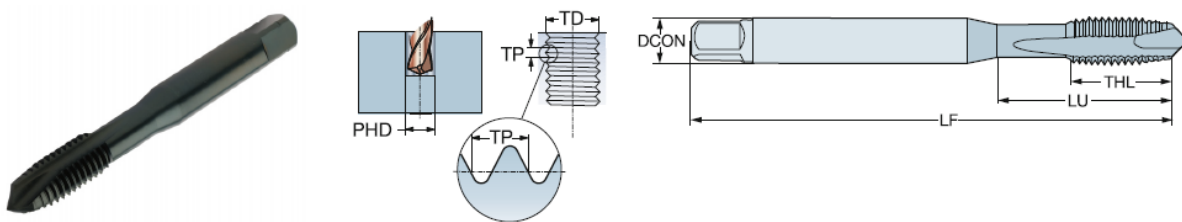
### 2.7.2 Volba nástroje pro řezání závitu M6



Obr. 2.23 Plochy závitu M6

Tabulka 2.21 Parametry závitníku E006M6 [9]

Řezací závitník	Kód	THL [mm]	LF [mm]	TD [mm]	TP [mm]	LU [mm]
	E006M6	15,3	63,5	6	1	25,59



Obr. 2.24 Závitník E006M6 [9]

Tabulka 2.22 Řezné parametry závitníku E006M6 [8]

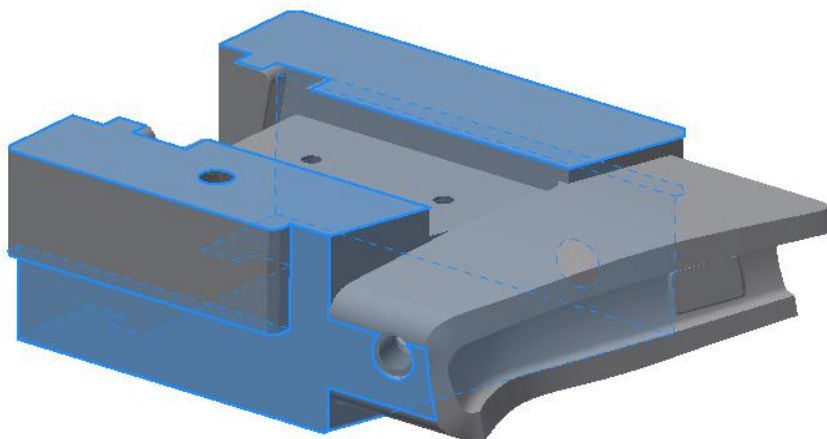
Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [m*min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku $f_n$ [mm]
	5	dle stoupání závitu

Závitník byl volen na základě typu materiálu, který vyžaduje vyšší kvalitu nástrojů.

## 2.8 Broušení

Tato technologie je využívána předně u výrobků, kde je nutné dodržet přesné tolerance a jsou vyšší požadavky na kvalitu povrchu a jeho jakost, proto se jedná většinou o dokončovací metodu. Broušení se začleňuje metod využívajících abrazí. Při kontaktu nástroje s obrobkem dochází k vnikání tvrdých brousicích zrn do povrchu materiálu a tím pádem tvoření velmi jemné třísky. Po otupení zrna se zvyšují jeho odporové síly, které následně zrna vylomí z matrice brousicího kotouče a do záběru se dostávají zrna spodní vrstvy. Tomuto jevu u brousicích nástrojů se říká samoostření. Jako nástroj je použit již zmiňovaný brousicí kotouč, který může být případně tvarován do profilů pro tvarové broušení. [19]

### 2.8.1 Volba nástroje pro broušení tolerovaných ploch



Obr. 2.25 Plochy pro broušení

Tabulka 2.23 Parametry brousícího kotouče [10]

Brousící kotouč	Kvalita brousícího kotouče	Průměr brousícího kotouče [mm]	Šířka brousícího kotouče [mm]
	99BA 36 K 12 V	300	40

Tabulka 2.24 Řezné parametry brousícího kotouče [10]

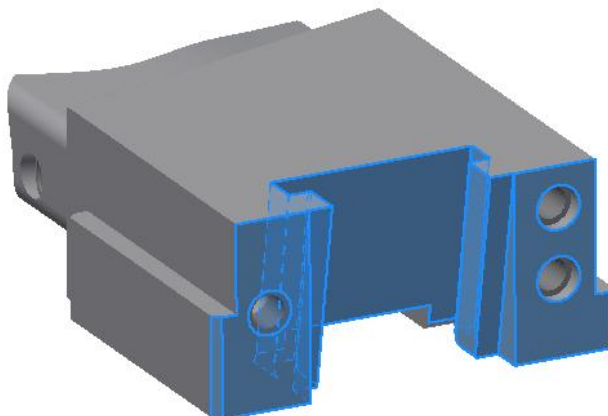
Řezné podmínky	Řezná rychlost $v_c$ [m*s <sup>-1</sup> ]	Otáčky n [min <sup>-1</sup> ]	Posuv f [mm]	Přísuv na zdvih stolu h [mm]
	20	1500	12	0,019

Brousící kotouč byl volen vzhledem ke kvalitě broušeného materiálu a potřebných tolerancí, kterých se má dosáhnout. Průměr brousícího kotouče je volen jako normalizovaný pro případné využití na více bruskách.

## 2.9 Elektrojiskrové řezání

Charakteristickým znakem této metody je minimální šířka řezu za zachování přesných tolerancí. Používá se hlavně u obrábění velmi pevných a tvrdých materiálů, používaných například u lisovacích či střížných nástrojů. Elektrodoou je zde odvíjející se drát o průměru 0,3 až 0,07 mm, který je předepnutý pro zachování přesnosti. Jako materiál pro elektrodu se nejčastěji používají slitiny mědi, na které je následně nanesen povlak obsahující vysoké procento zinku, kdy jádro umožňuje vysoké řezné rychlosti a povlak zaručuje vysokou kvalitu řezu v rámci této metody. Celý proces probíhá v dielektriku.[19]

### 2.9.1 Volba drátu pro elektrojiskrové řezání



Obr. 2.26 Plochy řezané drátořezem

Tabulka 2.25 Parametry řezacího drátu [12]

Řezací drát	Kód	Průměr [mm]	Délka [m]	Váha [kg]	Pevnost [N*mm <sup>-2</sup> ]	Materiál [%]
	K200	0,25	36970	15	900	Cu/Zn 60/40

Tabulka 2.26 Řezné parametry drátořezu [12]

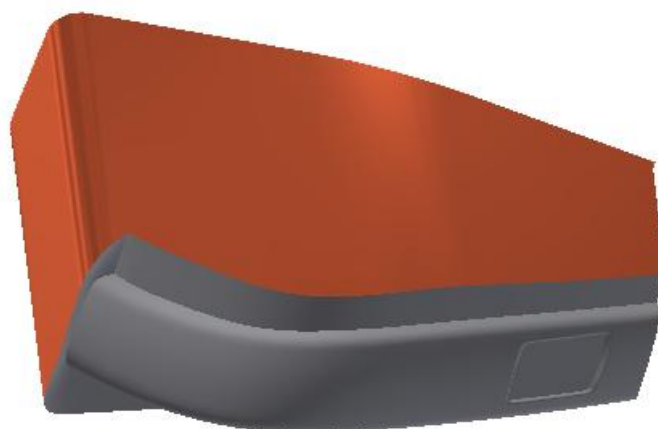
Řezné podmínky	Úběr materiálu [mm <sup>2</sup> *min <sup>-1</sup> ]	Rychlost odvinu drátu [m*min <sup>-1</sup> ]	Napnutí drátu [g]	Přesnost řezu [mm]
	300	10	2000	0,001

Drát byl volen na základě kvality řezu, jakožto i řezné podmínky, kdy značné předpětí drátu zaručuje vysokou přesnost.

## 2.10 Elektrojiskrové hloubení

Jedná se o jednu z metod využívající princip elektroerozivního obrábění, kde se nástroj posouvá ve směru hloubené plochy a zároveň vibruje pro vytvoření mezery, která zaručí vytvoření oblouku a následné navrácení nástroje o určitou vzdálenost, kdy je oblouk přerušen a dielektrikum může vypláchnout vypálený materiál. Jako nástroj se používají elektrody, které mají tvar negativu hloubené plochy. [19]

### 2.10.1 Volba elektrody pro elektrojiskrové hloubení



Obr. 2.27 Hloubicí elektroda

Tabulka 2.27 Parametry elektrody [11]

	Materiál	Výhody	Nevýhody
Elektroda	Měď	Dobrá vodivost, nízké opotřebení, vhodné na obrábění karbidu wolframu, Ra lepší než 0,5 $\mu\text{m}$	nižší produktivita než grafit a mosaz

Tabulka 2.28 Řezné parametry hloubičky [13]

Řezné podmínky	Úběr materiálu [ $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Obráběcí mezera [mm]
	800	0,2	0,01

Materiál elektrody byl volen na základě nízkého opotřebení a malé kontaminace dielektrika.

### 3 SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Technologický postup součásti			
Datum:23.4 2016	Vytvořil: J. Drbal	Součást: Šoupátko	
Číslo operace	Název operace	Stroj	Popis operace
1	Řezání	Pásová pila	Odříznutí polotovaru v rozměrech 120x60 mm s délkou 175 mm
2	Frézování	5-ti osá CNC frézka	Frézovat čelní plochy obrobku spolu s hranami s přídavkem 0,4 mm na rozměr.
3	Frézování	5-ti osá CNC frézka	Hrubovat a následně dokončovat tvarovou kapsu „na hotovo“
4	Frézování	5-ti osá CNC frézka	Frézovat vnější tvarovou část šoupátka
5	Vrtání	5-ti osá CNC frézka	Vrtat díry pro chladicí médium vrtákem $\phi 8$ a předvrtat díru pro závit M6 vrtákem $\phi 5\text{mm}$
6	Frézování	5-ti osá CNC frézka	Frézovat zahloubení pro závity G1/8''
7	Frézování	5-ti osá CNC frézka	Frézování tvarové části šoupátka
8	Frézování závitů	5-ti osá CNC frézka	Frézovat závity pro chladicí médium G1/8'' a závity M6 pro uchycení typového štítku
9	Kalení	-	Kalit materiál na HRC 48-50 a 3x popustit
10	Broušení	Vertikální bruska	Brousit tolerované plochy
11	Drátové řezání	Drátořez	Řezat tvar na uložení do pohybové části formy
12	Hloubení	Hloubička	Vypálit tvarovou plochu dle modelu
13	Leštění	-	Leštit tvarovou plochu ve směru vyjímání

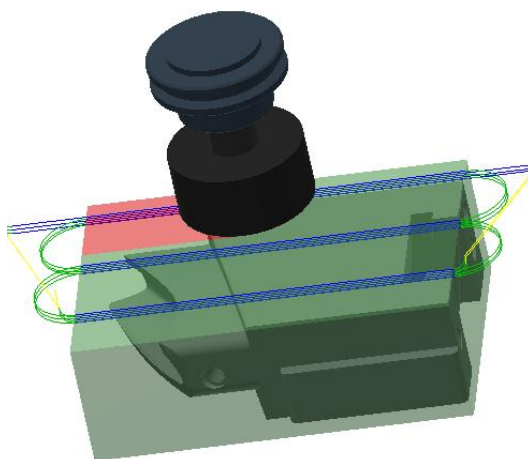


## 4 SIMULACE PROCESU

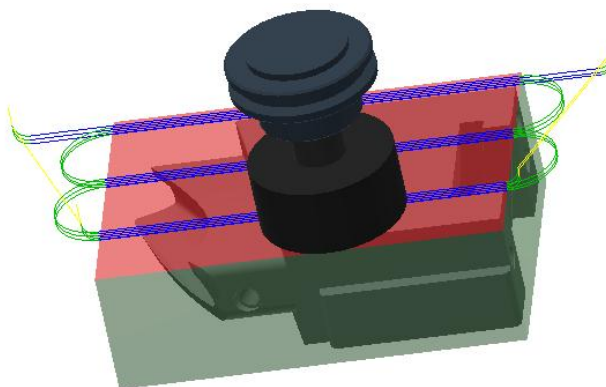
Celá simulace procesu byla vytvořena ve studentské verzi programu Autodesk Inventor HSM. Tento software se jevil jako velice srozumitelný a v rámci možností intuitivní oproti jiným zkoušeným variantám. Řezné podmínky by měli v simulaci odpovídat realitě.

### 4.1 Frézování

#### 4.1.1 Simulace čelního frézování



Obr. 4.1 Začátek čelního frézování

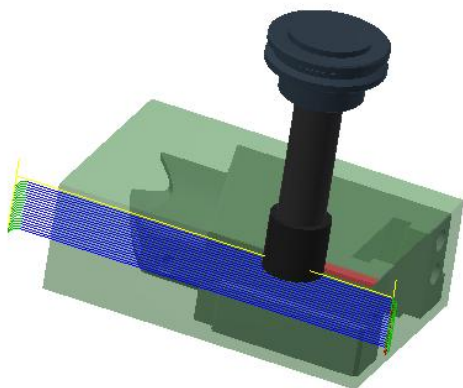


Obr. 4.2 Konec čelního frézování

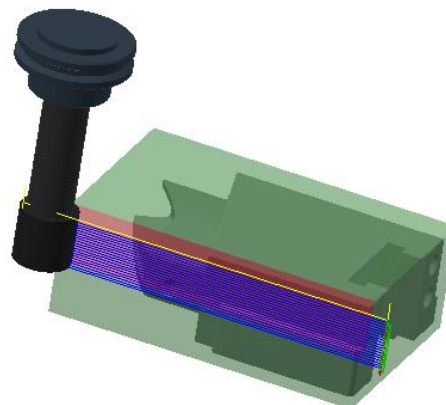
Tabulka 4.1 Parametry simulace čelního frézování

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí
	8,53	8,62	2

#### 4.1.2 Simulace frézování boků



Obr. 4.3 Začátek frézování boků

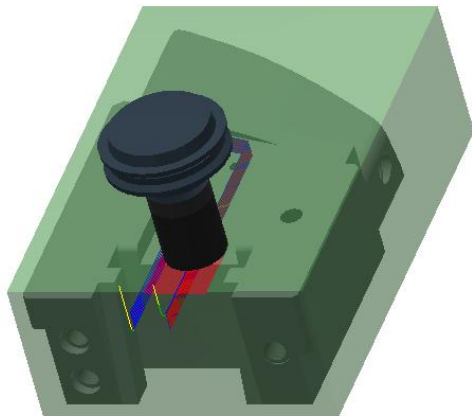


Obr. 4.4 Konec frézování boků

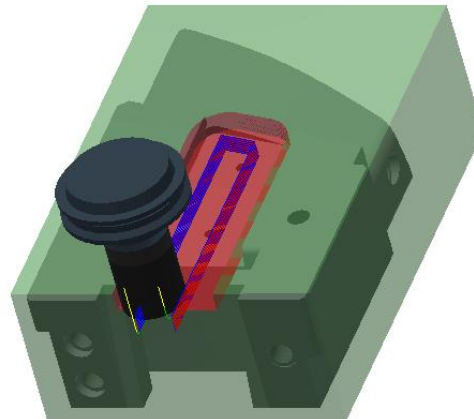
Tabulka 4.2 Parametry simulace frézování boků

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí
	34,85	38,26	2

#### 4.1.3 Simulace hrubování kapsy



Obr. 4.5 Začátek hrubování kapsy

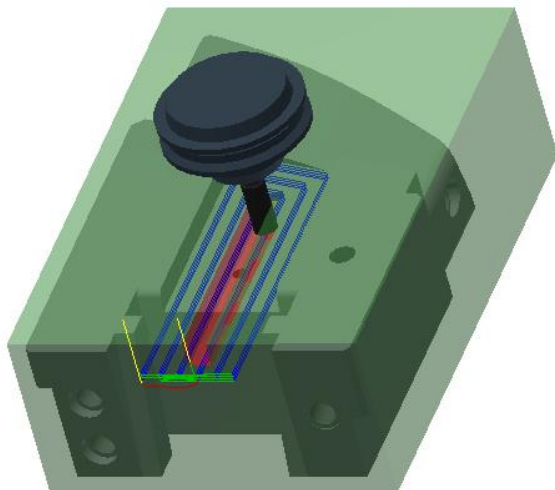


Obr. 4.6 Konec hrubování kapsy

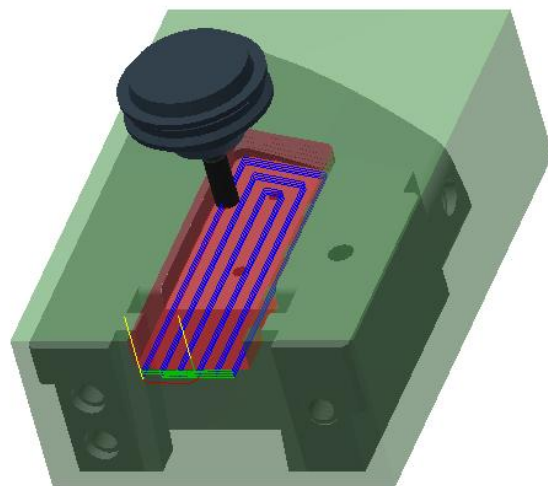
Tabulka 4.3 Parametry simulace hrubování kapsy

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí
	6,55	3,51	1

#### 4.1.4 Simulace dokončování kapsy



Obr. 4.7 Začátek dokončování kapsy

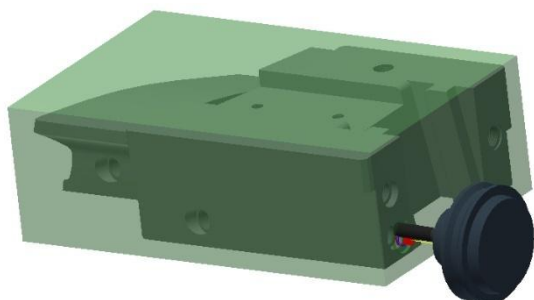


Obr. 4.8 Konec dokončování kapsy

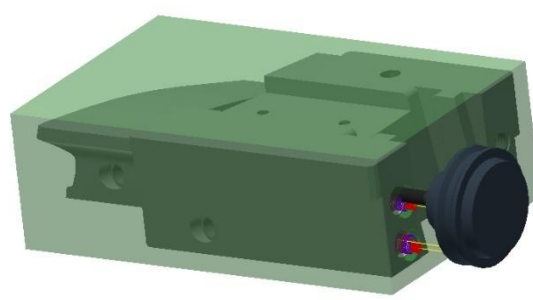
Tabulka 4.4 Parametry simulace dokončování kapsy

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí
	6,55	2,96	1

## 4.1.5 Simulace frézování zhloubení



Obr. 4.9 Začátek frézování zhloubení

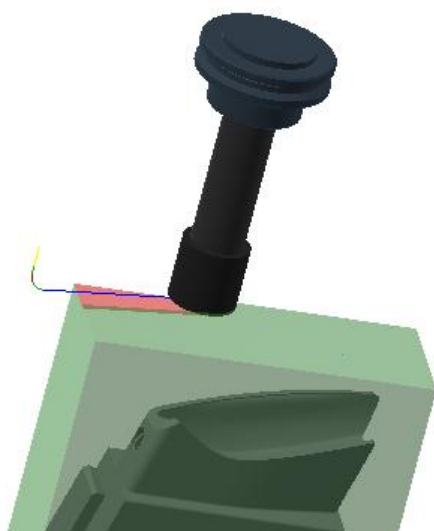


Obr. 4.10 Konec frézování zhloubení

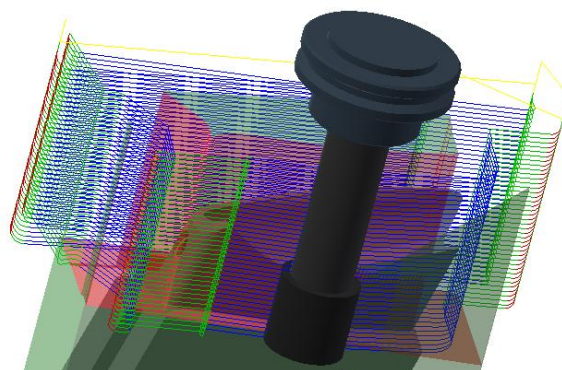
Tabulka 4.5 Parametry simulace dokončování kapsy

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí	Počet zhloubení
	8,2	3,51	2	6

## 4.1.6 Simulace frézování tvarové části



Obr. 4.11 Začátek frézování tvaru



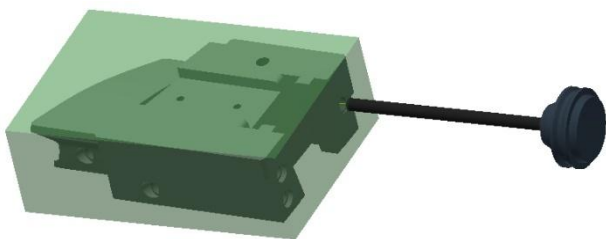
Obr. 4.12 Konec frézování tvaru

Tabulka 4.6 Parametry simulace frézování tvarové části

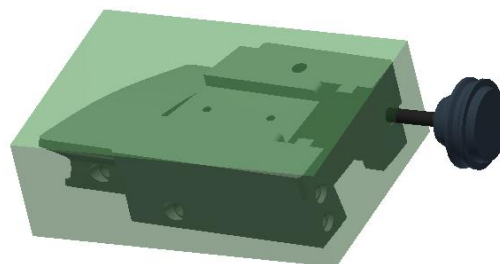
Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí
	42,43	46,36	1

## 4.2 Vrtání

### 4.2.1 Simulace vrtání děr pro temperační systém



Obr. 4.13 Začátek vrtací operace G1/8“

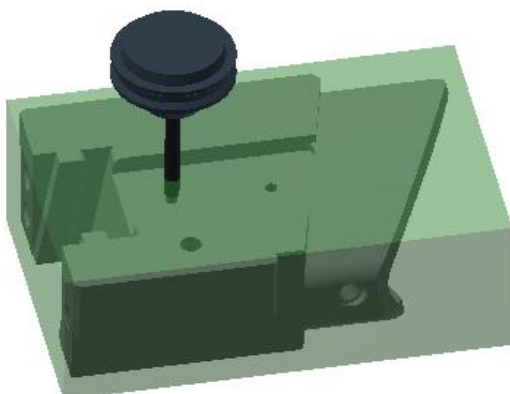


Obr. 4.14 Konec vrtací operace G1/8“

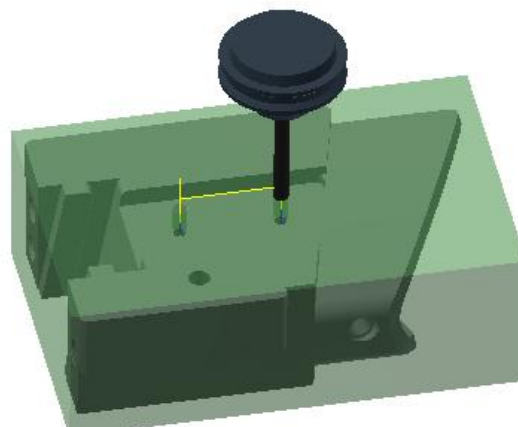
Tabulka 4.7 Parametry simulace vrtání děr temperačního systému

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí	Počet vrtaných děr
	19,7	17,06	2	7

### 4.2.2 Simulace vrtání děr pro typový štítek



Obr. 4.15 Začátek vrtací operace pro M6



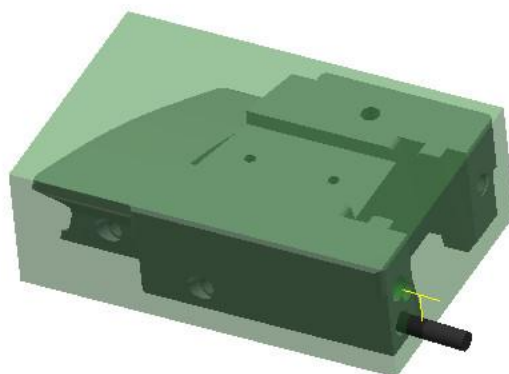
Obr. 4.16 Konec vrtací operace pro M6

Tabulka 4.8 Parametry simulace vrtání děr pro M6

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí	Počet vrtaných děr
	19,7	17,06	2	7

## 4.3 Řezání závitů

### 4.3.1 Simulace řezání závitu G1/8“

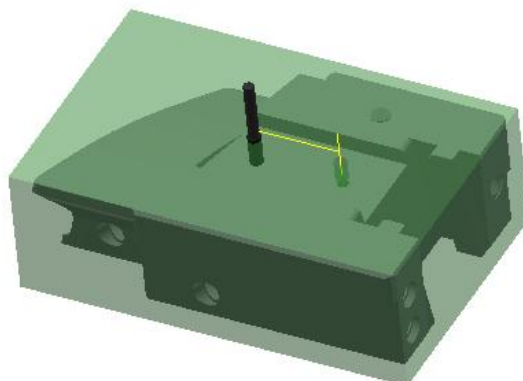


Obr. 4.17 Řezání závitu G1/8“

Tabulka 4.9 Parametry simulace řezání závitu G1/8“

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí	Počet frézovaných závitů
	3,15	0,413	2	7

### 4.3.2 Simulace řezání závitu M6

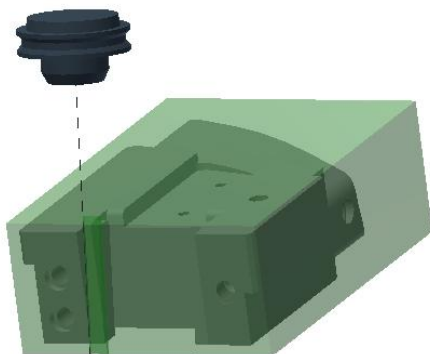


Obr. 4.18 Řezání závitu M6

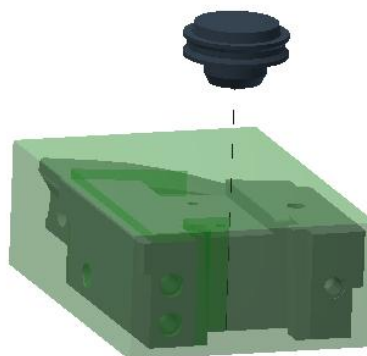
Tabulka 4.9 Parametry simulace řezání závitu M6

Simulace	Čas operace [min]	Vzdálenost obrábění [m]	Počet upnutí	Počet frézovaných závitů
	0,85	0,188	1	2

#### 4.4 Elektrojiskrové řezání



Obr. 4.19 Drát při řezání plochy pod úhlem



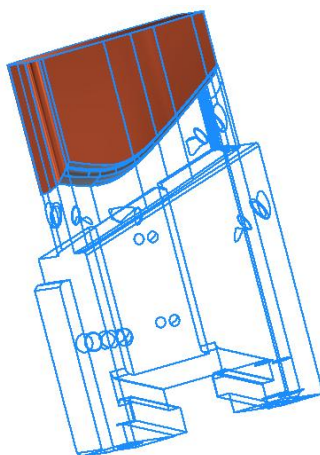
Obr. 4.20 Drát při řezání kolmé plochy

Tabulka 4.10 Parametry simulace řezání ploch drátořezem

Simulace	Čas operace [min]	Řezaná plocha [mm <sup>2</sup> ]	Počet upnutí
	29,09	8725,97	1

Řezaná plocha byla naměřena z modelu v programu Autodesk Inventor.

#### 4.5 Elektrojiskrové hloubení



Obr. 4.19 Poloha elektrody vůči obrobku

*Tabulka 4.11 Parametry simulace elektroerozivního hloubení*

Simulace	Čas operace [min]	Odebíraný objem [mm <sup>3</sup> ]	Počet upnutí
	321,46	257167,63	1

Objem je teoretický, vypočítaný pomocí programu Autodesk Inventor, kde se proložil polotovar objemem obdélníkového tvaru. Tato hodnota by přibližně měla odpovídat reálnému odebíranému objemu.

## 5 POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ

Z tabulky 5.1 je zřejmé, že výroba součásti se dá považovat za časové náročnou, což již naznačoval stupeň využití materiálu z kapitoly 2.4.

Do vysokého strojního času zasahuje také nutnost použití nekonvenčních metod obrábění, které mají vysoké kvality výsledného povrchu, ale podstatně menší úběry než konvenční metody.

Dalším aspektem dlouhého času výroby byla volba rezných podmínek, kdy byla volena spíše směrem k nižšímu opotřebení nástrojů a tím pádem možnosti delšího použití.

Z přibližných nákladů na výrobu jedné součástky vstříkovací je zřejmé, že forma jako celek je velice finančně náročná na výrobu. Proto jsou tyto zařízení vyráběny pouze pro sériovou výrobu se značným počtem výrobků, jako například automobilový průmysl, kde jsou často dílce přenášeny na nové modely, a je tedy možné použití stávající formu, čímž se docílí úspory nákladů.

*Tabulka 5.1 Celkové časy operací v simulaci*

Stroj	Chod stroje [min]	Přibližná cena hodiny [Kč]	Přibližné náklady na výrobu [Kč]
5-ti osá frézka	150,51	500	1254,25
Drátořez	29,09	600	290,9
Hloubička	321,46	750	4018,25
Celkem	501,06	-	5563,4



---

## 6 DISKUSE

Výroba vstříkovacích forem je velice komplexní proces, který vyžaduje značné znalosti pracovníků, a to jak konstruktérů navrhujících tvary formy a vnitřní mechanismy pro její správné fungování, technologů řešících výrobní postupy, které mají odpovídat výkresové dokumentaci, či přímo pracovníků výroby, kteří se starají o vyhotovení daných součástí. Zároveň klade nároky na vzájemnou spolupráci při řešení vyvstalých problémů v procesu výroby a jejich adekvátnímu řešení.

Jako u každého projektu se i u tvorby této práce vyskytly komplikace, které nebyly řešeny z důvodu nedostatečných znalostí či kvůli omezenému rozsahu práce. A to:

- problematika upínání obrobku v průběhu operací, kdy v této práci je pouze zmíněn počet upnutí a není řešeno konkrétní místo upínání či jeho forma. Řešení této problematiky by se dala věnovat samostatná bakalářská práce.
- necelistvost modelu, vycházející z nekompatibility různých 3D softwarů. To způsobilo, že některé plochy byly rozdělené a při simulaci je nebylo možné zanést do programu, díky čemuž byly výrobní časy aproximovány dle ploch, které poškozené nebyly.
- samotný software Autodesk Inventor HSM, který ač je velice intuitivní a práce v něm je přehledná, tak pro studentské účely je omezen pouze na 3-osé stroje, což způsobilo skokové přechody nástrojů mezi jednotlivými operacemi, vzhledem k tomu, že součást je navrhována na 5-tiosé CNC.
- vygenerování NC programu do CNC stroje, kdy nebyl problém v programu samotném, ale v jeho délce, která čítala 60 stran A4, což způsobilo, že se v práci se nachází pouze jeho část a to v příloze č. 1, která zachycuje řezání jednoho závitu G1/8“ temperačního systému.

---

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout data, pro postup výroby součásti vstříkovací formy včetně výběru vhodného materiálu, výrobních postupů a jednotlivých nástrojů pro každou operaci za využití simulačního softwaru.

V úvodní části je uveden pokrok plastů, jak materiálu samotného, tak i jeho porovnání s výrobky z jiných materiálů.

Následný úsek práce se zabývá volbou polotovaru a jeho objemovým využitím. Na tu navazuje rozbor součásti, z něhož se poté vyvozují jednotlivé technologické operace výroby.

Další část se zabývá již samotnými technologickými operacemi a hlavně nástroji, které se při výrobě používají a jejich provozními podmínkami. Zároveň jsou zde ukázány jednotlivé plochy pro lepší vizualizaci problematiky.

Na základě těchto operací následuje technologický postup sepsaný do formy průvodky, kde jsou uvedeny jednotlivé operace se stroji. Zároveň je v ní nastíněna náplň těchto operací.

Následující pasáž se zabývá samotnou simulací výrobních procesů a jejich délkou, jejichž součástí jsou jednotlivé časy na základě volených výrobních podmínek.

V posledním segmentu práce je zahrnuto částečné ekonomické zhodnocení výroby z hlediska nákladů na obrábění výrobku. Toto zhodnocení je pouze teoretické, vzhledem k nezahrnutí např. prostojů způsobených manipulací, ceny materiálu a nákladů spojených s technickou dokumentací.

---

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] *Pelican Parts Inc.* [online]. 2014 [cit. 2016-03-20] Vodní pumpy BMW E36. Dostupné z: <http://www.pelicanparts.com/BMW/techarticles/E36-Water-Pump/pic7.jpg>
- [2] KERBS, Josef; SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
- [3] *Melt design Inc.* [online]. 2012 [cit. 2016-03-20] Vyhřívání trysky. Dostupné z: <http://www.meltdesign.com/news/wp-content/uploads/Internally-Heated-vs.-Externally-Heated1.jpg>
- [4] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. [online] 2015 [cit. 2016-03-20]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [5] *Seaskytooling Inc.* [online]. 2015 [cit. 2016-03-20] Dieselův efekt. Dostupné z: <http://seaskytooling.com/plastic-injection-molding-diesel-effect-issue-solution/>
- [6] *Preciz s.r.o. & g.class gruppe.* [online]. 2012 [cit. 2016-03-20] Chemické složení oceli 1.2343. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2343>
- [7] *Böhler Uddeholm CZ s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2016-03-20] Oceli pro tváření za tepla. Dostupné z: [http://www.bohler.cz/czech/nastrojove\\_oceli\\_za\\_tepla.php](http://www.bohler.cz/czech/nastrojove_oceli_za_tepla.php)
- [8] *Sandvik Coromat* [online]. 2010 [cit. 2016-03-25] Corokey. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/downloads/Pages/search.aspx?q=catalogues>
- [9] *Sandvik Coromat* [online]. 2015 [cit. 2016-03-25] Rotační nástroje. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/default.aspx>
- [10] *ÚST VUT.* [online]. 2012 [cit. 2016-03-25] Broušení. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/zadani/10\\_brouseni.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/zadani/10_brouseni.pdf)
- [11] *MM spektrum.* [online]. 2016 [cit. 2016-03-25] Nekonenční metody obrábění. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [12] *Penta trading s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2016-03-25] Dráty do drátořezu. Dostupné z: [http://www.penta-edm.cz/dokumenty/spotrební\\_material/drat\\_pc\\_eco03.jpg](http://www.penta-edm.cz/dokumenty/spotrební_material/drat_pc_eco03.jpg)
- [13] *LM-eroze.* [online]. 2015 [cit. 2016-03-25] Elektrochemická hloubička SFE-4000M. Dostupné z: <http://www.lm-eroze.cz/sfe-4000m>
- [14] LENFELD, Petr; Technická univerzita Liberec. *Technologie II: Část II. – Zpracování plastů*. [online]. 2009 [cit. 2016-03-27] Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
- [15] HERALT, Aleš. VUT ÚST. [online]. [cit. 2016-03-27] Vstřikování plastických hmot. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni\\_soubory/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)
- [16] ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy část obrábění*. [online]. 2002 [cit. 2016-03-27] Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

- [17] HUMÁR, Anton. VUT ÚST. *Technologie I – technologie obrábění 1. část* [online]. [cit. 2016-03-27] Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [18] HUMÁR, Anton. VUT ÚST. *Technologie I – technologie obrábění 2. část* [online]. [cit. 2016-03-27] Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
- [19] HUMÁR, Anton. VUT ÚST. *Technologie I – technologie obrábění 3. část* [online]. [cit. 2016-03-27] Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C	-	uhlík
CNC	-	Computer Numeric Control
Cr	-	chrom
HB	-	tvrdost dle Brinella
HRC	-	tvrdost dle Rockwella
Mn	-	mangan
Mo	-	molybdem
P	-	fosfor
S	-	síra
Si	-	křemík
V	-	vanad
VBD	-	výměnná břitová destička
D <sub>3</sub>	[mm]	vnější průměr frézovací hlavice
D <sub>c</sub>	[mm]	průměr frézovací hlavice
DC	[mm]	průměr vrtáku
dm <sub>m</sub>	[mm]	upínací průměr
f	[mm]	posuv
f <sub>n</sub>	[mm]	posuv na otáčku
f <sub>z</sub>	[mm]	posuv na zub
h	[mm]	přísuv na zdvih stolu
k <sub>m</sub>	-	stupeň využití materiálu
l <sub>1</sub>	[mm]	celková výška frézovací hlavice
LCF	[mm]	celková délka břitové části
LF	[mm]	celková délka vrtáku
LU	[mm]	délka frézovacího či vrtacího segmentu
n	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky
N <sub>m</sub>	[kg]	norma spotřeby materiálu
n <sub>max</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	maximální otáčky
OAL	[mm]	celková délka závitníku
Q <sub>o</sub>	[kg]	hmotnost výrobku
Q <sub>p</sub>	[kg]	hmotnost polotovaru
Ra	[μm]	drsnost povrchu
RE	[mm]	rádus rohu frézy
TD	[mm]	vnější průměr závitníku
THL	[mm]	výška závitové části
TP	[mm]	rozteč závitu
V <sub>c</sub>	-	řezná rychlost
V <sub>c</sub>	[m*min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
Z <sub>m</sub>	[kg]	ztráty

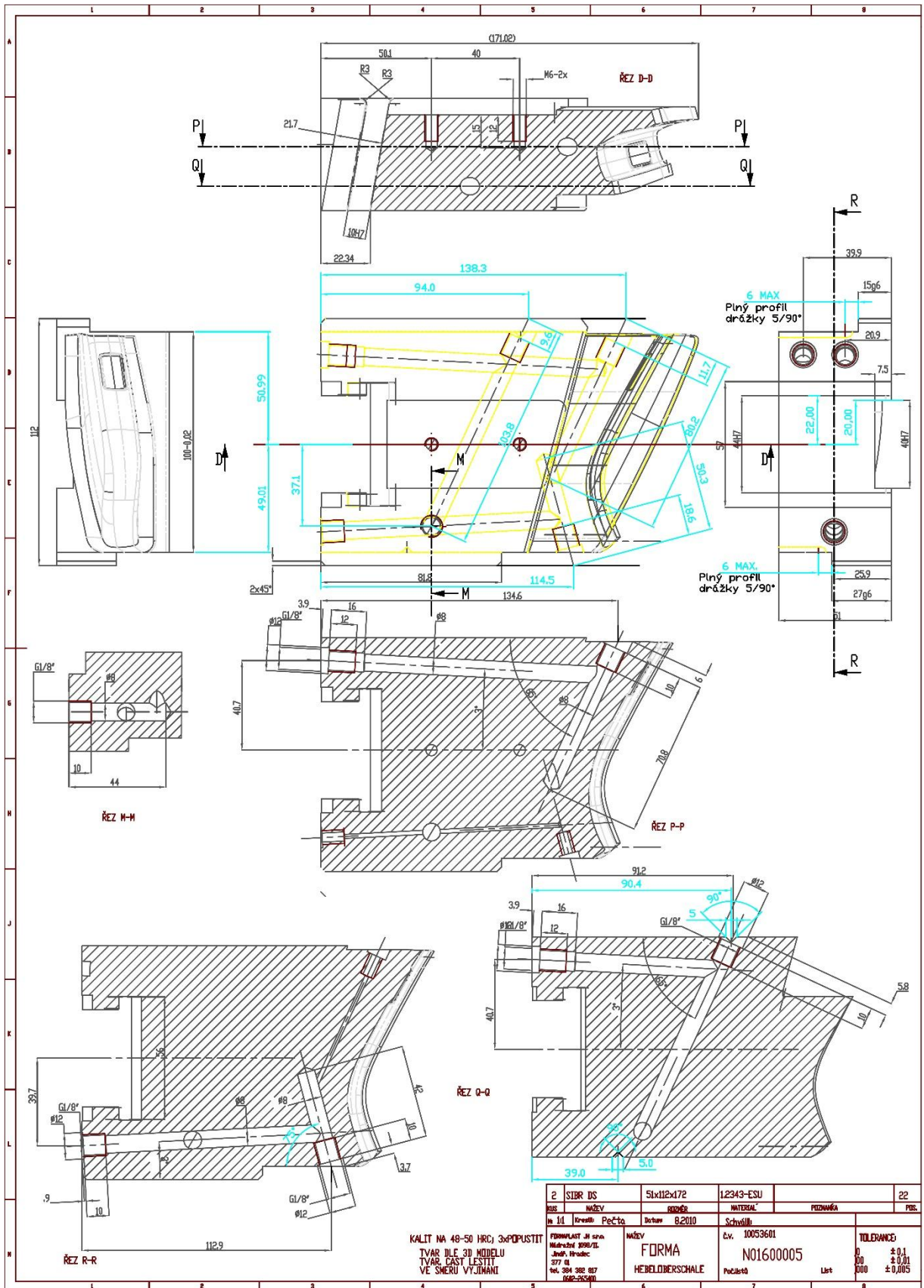
---

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Výkres součásti Šoupátko  
Příloha 2 Příklad vygenerovaného NC kódu (řezání závitu G1/8“ celá operace)

# Příloha 1

## Výkres součásti šoupátko



2	SIBR DS	51x112x172	12343-ESU	22
005	NÁZEV	PROJEKT	MATERIAL	PRŮMĚR
11	12343-ESU	8.2010	Schválil:	
FORMPLAST Ji s.p.a.		NÁZEV	č.v.	TOLERANCE:
Mláčková 808/II		FORMA	10053601	0 ± 0,1
377 II		HEBELDERSCHALE	N01600005	00 ± 0,01
tel. 304 982 027		Pečistá	Libeň	000 ± 0,005
604-25300				

KALIT NA 48-50 HRC; ZAPOUSTIT  
TVAR DLE 3D MODELU  
TVAR ČAST LESIT  
VE SMĚRU VÝJÍMÁNÍ

## Příloha 2

### Příklad vygenerovaného NC kódu (řezání závitu G1/8“ celá operace)

```
1 ; %_N_Vrtg18_MPF
2 N10 ; T6 D=8.8 CR=0 - right hand tap
3 N11 G90 G94
4 N12 G71
5 N13 G64
6 N14 G17
7 N15 G0 SUPA Z0 D0
8 N16 CYCLE800(1,"",0,27,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
9
10 N17 ; Rezani zavitu G1/8" 1
11 N18 M9
12 N19 T6 D6
13 N20 M6
14 N21 S109 M3
15 N22 G54
16 N23 CYCLE800(1,"",0,27,0,0,0,-93,-7.678,-90,0,0,0,-1)
17 N24 G0 X-12.714 Y-36.648
18 N25 G0 Z15
19 N26 M8
20 N27 G17
21 N28 MCALL CYCLE84(5, -8.995, 5, -24.995, , , 3, 0, 1.5, 0, 108.515, 108.515)
22 N29 X-12.714 Y-36.648
23 N30 MCALL
24 N32 MCALL CYCLE84(5, -8.995, 5, -24.995, , , 3, 0, 1.5, 0, 108.515, 108.515)
25 N33 X-15.253 Y-17.819
26 N34 MCALL
27 N35 G0 Z15
28
29 N37 G0 SUPA Z0 D0
30 N38 CYCLE800(1,"",0,27,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1)
31 N39 M30
```