VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOMPLETNÍ PROJEKT A REALIZACE VÝROBY SOUČÁSTI NA CNC FRÉZCE

A COMPLETE PROJECT AND REALIZATION OF MANUFACTURING A COMPONENT ON A CNC MILLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE Tomáš PROKEŠ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Kateřina MOURALOVÁ
SUPERVISOR

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Prokeš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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:

Kompletní projekt a realizace výroby součásti na CNC frézce

v anglickém jazyce:

A complete project and realization of manufacturing a component on a CNC milling machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Technologický postup výroby
3. Výpočet ceny výroby jedné série 56 ks
4. Vytvoření výkresů upínacích přípravků
5. Návrh kontury speciální tvarové frézy
6. 3D model obrobku
7. CNC program
8. Výroba součásti
9. Diskuse
10. Závěr

Cíle bakalářské práce:

1. Sestavení technologického postupu výroby
2. Výpočet cenu výroby jedné série
3. Vytvoření 3D modelu součásti
4. Vytvoření CNC programu pro frézku
5. Výroba součásti

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC: obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
4. KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. Technické kreslení. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 252 s. ISBN 80-251-0498-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Mouralová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Technologická příprava a výroba součástky „lopatka“ v malé nástrojařské firmě. Postup přípravy a samotné výroby je rozčleněn do jednotlivých kapitol. V jednotlivých kapitolách je představeno využití CAD/CAM systému, především programu Autodesk Inventor 2014 professional pro tvorbu 3D a 2D dokumentace a program FeatureCAM 2014 od firmy Delcam pro tvorbu technologie a tvorbu NC programů pro CNC stroje. Dále je v této práci uveden process flow diagram a vysvětlení důležitosti tohoto dokumentu pro výrobu. V následujících kapitolách je popsán postupně průběh přípravy a samotné výroby zkušebního kusu, při využití možností zázemí firmy Kovoobrábění Sobotka.

Klíčová slova

CNC frézka, 4-osé frézování, CAD/CAM, výroba VBD frézy, Indexování 4 osy

ABSTRACT

Technological preparation and production of a component called a blade in a small tool-company. Preparation procedure of the production and the production itself has been divided into several chapters. In the individual chapters there has been introduced the usage of CAD / CAM system, a specially programme Autodesk Inventor Professional 2014 for creating 3D and 2D documentation as well as programmes FeatureCAM 2014 made by company Delcam for creating technology and creating NC programmes for CNC machines. In this thesis there is also used a Process flow diagram and an explanation of it's importance for production. The following chapters describe the preparation process step by step and the production itself of the trial component using the facility of a company's base Kovoobrábění Sobotka.

Keywords

CNC milling machine, 4-axis milling, CAD / CAM, manufacturing insert cutters, Indexing 4 Axis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROKEŠ, T. Kompletní projekt a realizace výroby součásti na CNC frézce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřina Mouralová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Kompletní projekt a realizace výroby součásti na CNC frézce** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum	Tomáš Prokeš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji slečně Ing. Kateřině Mouralové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále tímto děkuji rodině Sobotkových z firmy Kovoobrábění Sobotka za umožnění vypracování této práce a cenné rady a připomínky, zároveň bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy Kovoobrábění Sobotka a Jihlavan a.s. za cenné rady.

Také bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu a především za trpělivost, kterou se mnou při psaní mé bakalářské práce měli.

OBSAH

ABSTRAKT 6
PROHLÁŠENÍ 7
PODĚKOVÁNÍ 8
OBSAH 9
ÚVOD 11
1 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI 12
1.1 Zhodnocení vyrobitelnosti 12
1.2 Volba polotovaru 12
1.3 Využití materiálu 13
2 Vybavení firmy kovoobrábění sobotka 14
2.1 Pásová pila poloautomat - PNS 230 Special 15
2.2 Popis frézky MCV1000 15
2.3 Popis frézky Hedelius BC40D 16
2.4 Soustruh SV18 RA 17
3 Prvotní analýza 18
3.1 Počáteční analýza 18
3.1.1 Rozbor frézovacích operací a analýza frézovaných ploch 18
3.1.2. Způsob volby stroje 18
3.2 Dokumentace 19
3.2.1 Tvorba 3D modelu v programu Inventor 2014 Professional 19
3.2.2 Simulace deformací v programu Inventor 2014 Professional 21
4 Technologická příprava výroby 22
4.1 Návrh výroby polotovaru 23
4.2 Process Flow Diagram 24
4.3 Volba strojů 25
4.4 Volba upnutí 26
4.4.1 Volba upnutí pro hrubovací operace 26
4.4.2 Volba upnutí pro dokončovací operace 27
5 Výroba přípravkU pro upnutí součásti 30
5.1 Podklady pro návrh přípravku pro upnutí součásti 30
5.2 Volba polotovaru 30
5.2 Výroba přípravku 30
5.2.1 Volba stroje 30
5.2.2 Tvorba CNC programů 31

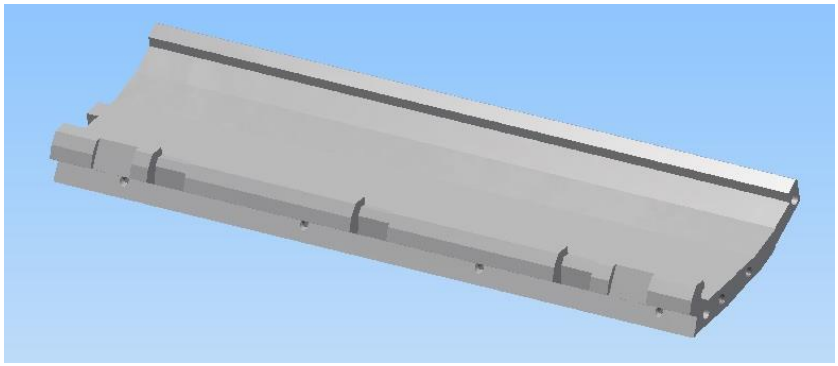
5.2.3 Stručný postup výroby 32
6 Výroba speciální tvarové frézy 33
6.1 3D model frézy 33
6.2 Volba polotovaru 33
6.3 CNC program 34
6.4 Realizace výroby frézy 35
7 Výroba součásti lopatka 36
7.1 Technologický postup výroby 36
7.2 Příprava programu pro řízení CNC strojů 37
7.3 Výrobní postup 39
7.4 Výrobní návodky 40
7.5 Výroba 41
8 Ekonomický propočet 42
8.1 Hodinové sazby jednotlivých pracovišť 42
8.2 Propočet přímých nákladů pro 1 kus: 42
8.3 Propočet nákladů na technologickou přípravu výroby 43
8.4 Cena výroby 44
8.5 Konkurence schopnost výroby 45
9 DISKUZE 47
10 ZÁVĚR 48
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 49
SEZNAM OBRÁZKŮ 52
SEZNAM TABULEK 52
SEZNAM PŘÍLOH 53

ÚVOD

V dnešní době můžeme strojírenské firmy rozdělit na dvě hlavní skupiny. První skupina firem se zabývá velkosériovou výrobou, kdy jeden typ výrobku se vyrábí ve velkém množství i několik let beze změny. Na druhou stranu musíme vnímat i důležitost firem zabývajících se kusovou výrobou a malosériovou výrobou. Výroba součásti „lopatka“ viz obr. 0.1 je realizována ve firmě Kovoobrábění Sobotka, zabývající se spíše malosériovou a kusovou výrobou.

V menších firmách se při výrobě součástí spoléháme ve většině případů pouze na stroje a nástroje již zakoupené, proto výroba některých součástí může být problematická. S rozměry součásti úzce souvisí i váha polotovaru a následně obrobku. Jelikož je součást z oceli a je velmi rozměrná, je nejen problém ji obrobit ale i jakákoli manipulace se stává obtížnou. Při obrábění čela polotovaru se dostáváme na samotnou hranici možností standartních frézek využívaných menšími nástrojařskými firmami viz obr. 0.2.

Z důvodu množství rovinných ploch, které jsou vzájemně natočeny o různé úhly, je vhodné využít dělící přístroj. Tím docílíme lepší přesnosti, která je vyžadována.



Obr. 0.1 Model Součásti „lopatka".

Obr. 0.2 Upnutí polotovaru pro frézování čel.

1 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI

Pro návrh technologie výroby součásti se ve většině případů vychází z několika parametrů. Mezi tyto parametry patří polotovar součásti, použité stroje a nástroje. Je nutné brát ohled na životnost nástroje, řezné podmínky pro daný materiál a ekonomičnost samotné výroby [5].

Vyráběná součást je lopatka z oceli do dřevozpracujícího průmyslu jakosti dle ČSN 11 523, tento materiál je součást požadavku zákazníka. Z důvodu rozměrů 691 mm x 184,5 mm x 50 mm je nutno brát ohled na dispozice strojů, především kvůli rozměru 691 mm.

Jako polotovar je volen výřezek z tlustostěnného plechu, z důvodu co nejmenšího odpadního materiálu. Výřezek bude dodáván externí firmou, protože v zázemí firmy Kovoobrábění Sobotka nelze výřezek těchto rozměrů vyrobit. Z důvodu přípravy polotovaru v externí firmě nebude zahrnut odpad při dělení polotovarů ve výpočtu, ale v ekonomickém zhodnocení bude nákup polotovaru zahrnut.

Největší problém při výrobě je délka součásti a rádiusová drážka R = 5,8 mm, pro vyrobení této drážky bude nutno použít speciální nástroje.

1.1 Zhodnocení vyrobitelnosti

Na výkrese je několik rozměru s tolerancí:

Rozměry: $3{,}2^{+0.05}$ mm a $22^{+0.05}$ mm tyto rozměry zajišťují velikost V-drážky spolu s drsností Ra = 3,2 µm.

Rozměry: $53{,}7_{-0.1}$ mm a $30^{+0.1}$ mm tyto tolerované rozměry limitují rozměry od měřícího bodu ve dvou směrech.

Velký problém při výrobě vzhledem k možnostem menších firem je rádiusová drážka o poloměru R = 5,8 mm, protože nejsou normalizované nástroje pro tento rozměr a tvar součástky zabraňuje použití jiného nástroje než kotoučové frézy.

Z důvodu délky a hmotnosti součásti je nutné brát v potaz i možnosti jednotlivých strojů, především rozsah maximálních rozměrů součásti pro obrábění a zároveň maximální možnou hmotnost, kterou lze upnout na stůl. Při kontrole hmotnosti je důležité počítat i přípravky na upnutí.

1.2 Volba polotovaru

Polotovar má tvar kvádru, tloušťka polotovaru je omezena tloušťkou tlustostěnného plechu, délka a šířka polotovaru jsou volitelné rozměry.

Rozměry polotovaru byly voleny v programu Inventor Professional 2014, a to způsobem přidáním 4 mm k největšímu rozměru ve směru osy y (šířky výrobku) a osy z (tloušťky výrobku). Tento postup je daný firmou Kovoobrábění Sobotka pro daný typ výrobku s ohledem na přesnost a rozměry. Zvolení velikosti přídavku v jednotlivých osách je na základě zkušeností s výrobou součástí daného typu.

Zvolené rozměry jsou 66 mm x 189 mm x 711 mm, půdorysné rozměry 189 mm x 711 mm jsme mohli zvolit bez omezení, protože se jedná o výřezek z tlustostěnného plechu, ale tloušťka polotovaru je dána tloušťkou plechu a z důvodu úspory materiálu a tím snížením nákladů potažmo i nižší ceny byly zvoleny tyto

rozměry: 65 mm x 189 mm x 711 mm. Důsledkem tohoto rozhodnutí je snížení ceny, ale zároveň snížení minimálního přídavku a tím ztížení výroby.

Polotovar je pro lepší představu na obr. 1.1.

Obr. 1.1 Polotovar pro součást „lopatka"

1.3 Využití materiálu

Hmotnost polotovaru a výrobku byla spočtena programem Inventor 2014 Professional.

Využití materiálu bylo spočteno dle vztahu (1.1), který je převzat z odborné literatury [5].

Hmotnost polotovaru je 68,6 kg.
Hmotnost lopatky je 20,6 kg.

$$U_m = \frac{G_1}{G_2}[-] \tag{1.1}$$

Kde: U_m [-] ukazatel využití materiálu,

G_1 [kg] hmotnost výrobku,

G_2 [kg] hmotnost polotovaru.

$$U_m = \frac{20{,}6}{68{,}6} = 0{,}3\ [-]$$

Z ukazatele využití materiálu je vidět, že využití materiálu je nízké. Pro zvýšení využití materiálu můžeme použít polotovar ve formě odlitku, ale vzhledem k malé velikosti série by byla výroba odlitků velice nákladná, proto využijeme standartní hutní polotovar. Dalším důvodem proč není vhodné použít odlitek, jako polotovar jsou vady odlitků, které by se značně projevili na ceně výroby.

2 VYBAVENÍ FIRMY KOVOOBRÁBĚNÍ SOBOTKA

Výroba je uskutečněna v zázemí firmy Kovoobrábění Sobotka, vzhledem k malosériové výrobě je nutno využívat strojů, kterými firma disponuje.

Firma disponuje širokou škálou strojů např. na dělení materiálu, svařování, tváření, broušení, soustružení a frézování. Široká škála strojů a nástrojů je důležitá pro firmy zabývající se malosériovou a kusovou výrobou.

Tab. 2.1 Strojové vybavení firmy Kovoobrábění Sobotka [18].

Pila:	Poloautomat	Pásová pila PNS230 Special
	Automat	Automatická pásová pila 240x280 A-CNC-F
Frézky:	CNC	MCV 500
		VMC 850
		2xMCV1000
		Hedelius BC40D
	Klasické	2x FA4AV
		F3U
Soustruhy:	CNC	Takisawa
	Klasické	SV18
		SN55
Bruska:	Klasická	Magnetka
		Bruska na kulato
Lisy:	Výstředníkové	Ruský 100t
		Ruský 63t
		2x Len 40t
		Ruský 16t
	Hydraulický	60t
Svářecí technika:		Fronius TransTig 2200
		Kühtreiber KIT 225

Vzhledem k rozměrům a technologii výroby součásti je nutno pro výrobu využít tyto stroje:

- pásová pila poloautomat - PNS 230 Special,
- vertikální obráběcí centrum MCV1000,
- vertikální obráběcí centrum Hedelius BC40D,
- soustruh SV18 RA.

Technické specifikace jsou uvedeny pro každý stroj v podkapitolách 2,1, 2,2, 2.3, 2,4.

2.1 Pásová pila poloautomat - PNS 230 Special

Pásová pila je především určena pro kusovou a malosériovou výrobu. Horizontální pohyb pilového pásu do místa řezu je po lineárním vedení. Součástí pily je hydraulické ovládání posuvu pilového pásu do místa řezu s automatickým mechanismem zvedání ramene a hydraulickým svěrákem řezaného materiálu. Upnutý materiál je možné řezat pod úhly od -60° až do +45°[12].

Technické parametry viz obr. 2.1.

Technická data *PNS 230 Special*

90°	200	190 x 190	185 x 230
+ 45°	150	110 x 110	80 x 140
- 45°	140	140 x 140	140 x 230
- 60°	90	85 x 85	85 x 230
	35 - 70 m.min^{-1}		27 x 0,9 x 2575
	3x400V; 0,85 / 1,32kW		220 kg
	720 x 1200 x 1450		
↑ Hydraulik ↓ Hydraulik		60° 45° 0° 45°	

Obr. 2.1 Technické parametry Pásové pily PNS 230 Special [12].

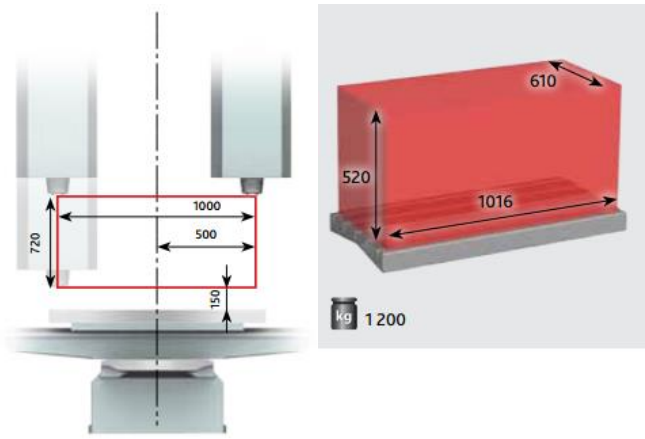
2.2 Popis frézky MCV1000

Stroje typu MCV mají rám ve tvaru C. Uspořádání a tvar odlitků rámu strojů řady MCV jsou optimalizovány s ohledem na požadavek na vysokou tuhost a stabilitu. Použití lineárního vedení ve všech lineárních osách zaručuje požadovanou přesnost a dostačující dynamiku při obrábění [17].

Základní parametry stroje MCV1000 [17]:

- max. otáčky vřetene 12000 ot/min,
- výkon motoru vřetene 45kW,
- počet míst v zásobníku 30,
- hmotnost stroje 10950 kg.

Frézovací rozsah stroje MCV1000 je znázorněn na obr. 2.2, spolu s velikostí stolu frézky.



Obr. 2.2 Technické parametry frézky MCV1000 [17].

2.3 Popis frézky Hedelius BC40D

Představu o méně známé frézce Hedelius BC40D si lze udělat z obr. 2.3.

Technické parametry stroje Hedelius BC40D [10]:

- řídicí systém Heidenhain 426,
- max. otáčky vřetene 8000 ot/min,
- výkon vřetene 16 kW,
- otočná osa DCN 250+koník DCN 250,
- rozměry stolů 2 × 1100 mm × 420 mm, nosnost jednoho stolu 500 kg,
- zásobník na 20 nástrojů,
- rozsah přejezdu vřetene X = 1700 mm, Y = 400 mm, Z = 400 mm.

Obr. 2.3 Frézka Hedelius BC40D.

2.4 Soustruh SV18 RA

Velice rozšířený typ univerzálního hrotového soustruhu SV18 RA je na obr. 2.4.

Technické parametry [15]:

- oběžný průměr nad ložem 355 mm,
- oběžný průměr nad suportem 215 mm,
- vzdálenost hrotů 750 mm,
- max. hmotnost obrobku 300 kg,
- elektromotor pro pohon vřeteníku 5,5 kW,
- rozměry stroje (d x š) 2520 mm x 950 mm,
- váha stroje s normálním přísl. 1730 kg,
- kužel vřetena ME 50,
- vrtání vřetene 42 mm,
- kužel pinoly koníku Mk4,
- otáčky vřetena (21 stupňů) 14-2800 ot/min.

Obr. 2.4 Univerzální hrotový soustruh SV18 RA [15].

3 PRVOTNÍ ANALÝZA

Prvotní analýza se skládá z analýzy součásti, buď z 2D a nebo 3D dokumentace, následného zhodnocení, zda je možné danou součást vyrobit v daných možnostech firmy, a navržení výrobního postupu s ohledem na maximální produktivitu s minimalizováním výrobních nákladů.

3.1 Počáteční analýza

Velice důležité je odhalit problémy, které mohou nastat v průběhu výroby a zjistit, zda je možné součástku za daných okolností vyrobit. Každá firma je schopna vyrobit a zaručit výrobu jen určitého množství výrobku v určitém čase. Proto je nutné zvážit jak přesnost, tak i objem výroby. V prvotní analýze, vyjdeme z informací, které máme k dispozici. Většinou to je 2D, 3D dokumentace a v některých případech vzorový kus. V případě lopatky to je 2D dokumentace, viz příloha 1.

3.1.1 Rozbor frézovacích operací a analýza frézovaných ploch

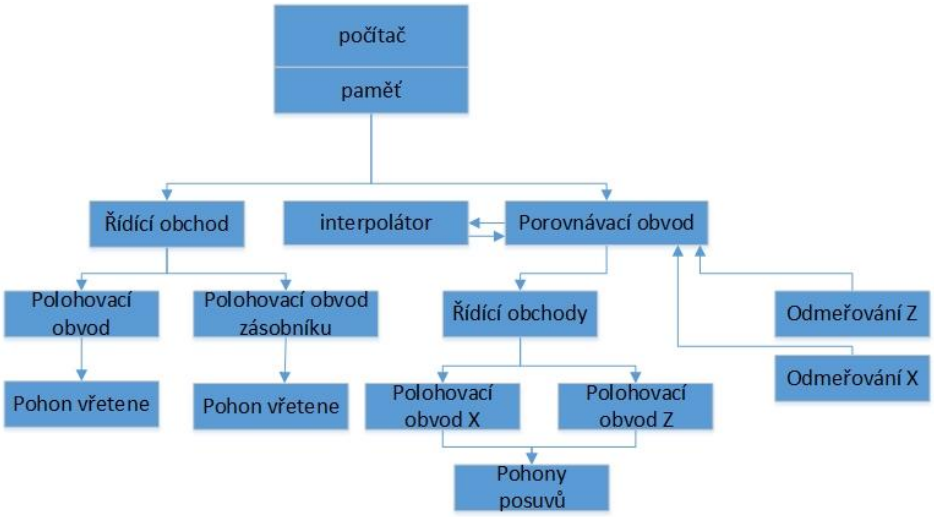
Z tvaru výrobku je zřejmé, že nejčastěji se bude jednat o rovinné frézování, protože výrobek neobsahuje tvarové plochy, kromě rádiusové drážky o poloměru R = 5,8 mm. Tuto drážku z důvodu tvaru výrobku nemůžeme frézovat kulovou frézou, ale musíme použít speciální kotoučovou frézu.

3.1.2. Způsob volby stroje

Definice číslicově řízených strojů

Číslicově řízené stroje charakterizuje nejvíce způsob ovládání pracovních funkcí stroje, které je umožněno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Tvorba řídicího programu je ve formě alfanumerických znaků. Program je rozčleněn do bloků a je převážně určen k řízení silových prvků stroje a zajišťuje vyrobení součástky z polotovaru. CNC stroje jsou pružné a lze je snadno a rychle uzpůsobit odlišné výrobě. Jednou z velkých výhod CNC strojů je možnost automatického cyklu [4].

Zjednodušené schéma řízení počítačem řízeného stroje (CNC machine) je uvedeno na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Zjednodušené blokové schéma CNC stroje [4].

Volba stroje

Volba stroje záleží na velikosti série, u velkosériové výroby je často využito speciálních nástrojů a strojů, ale v našem případě malosériové výroby vzhledem k nákladům na kus je nutno použít konvenční stroje. Samozřejmostí je brát ohled na zázemí dané firmy, to znamená, že pro výrobu 56 kusů není reálné nakupovat nové stroje, nýbrž je zapotřebí se snažit využít již zakoupené nástroje a stroje.

Pro hrubovací operace je ideální použít 3 osé CNC centrum, protože obrobek bude upnut do dílenského svěráku z důvodu tuhosti upnutí. Zároveň při hrubování je nutno se snažit o maximální úběr materiálu při minimálních nákladech, z této úvahy je možné usoudit, že bude vhodné použít frézovací CNC centrum s dostatečně výkonným vřetenem.

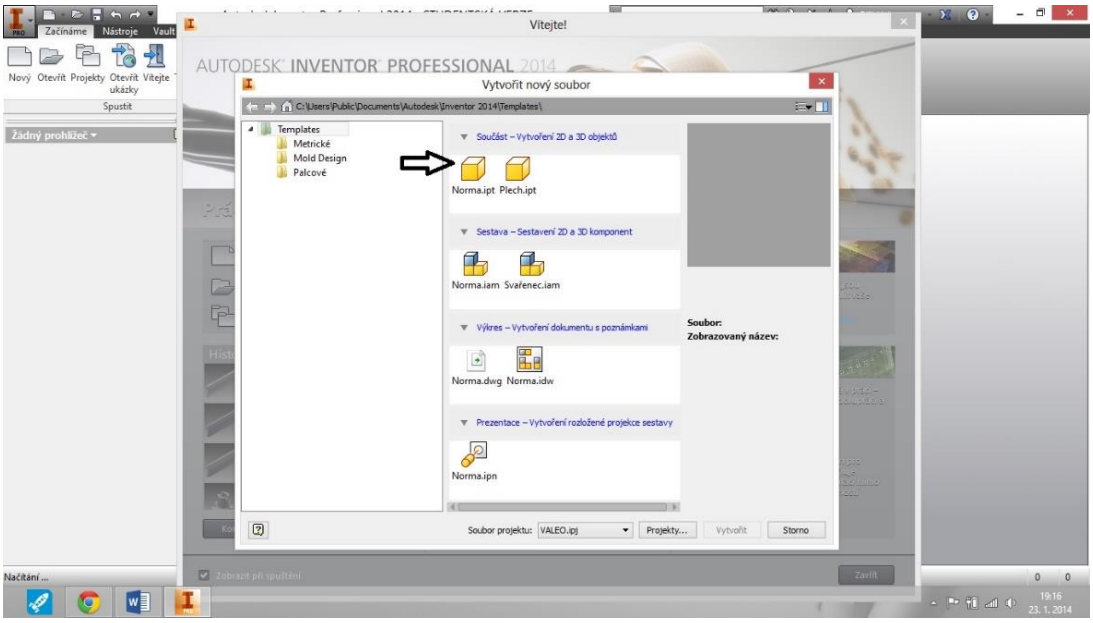
Pro dokončovací operace vzhledem k tvaru obrobku se jeví jako ideální využít 4 osé frézovací CNC centrum vybavené dělicím přístrojem.

3.2 Dokumentace

Zákazník má pouze 2D dokumentaci s pracovanou v systému Autocad od firmy Autodesk. Z tohoto výkresu je vytvořen přesný 3D model součásti pomocí programu Inventor Professional 2014 od firmy Autodesk.

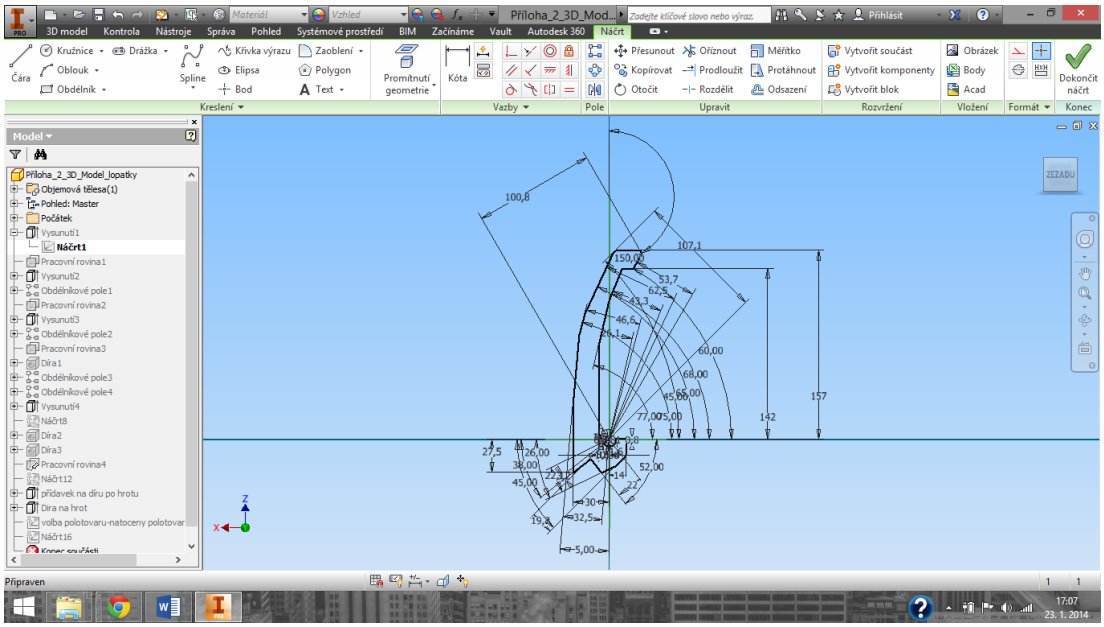
3.2.1 Tvorba 3D modelu v programu Inventor 2014 Professional

Nejprve je nutno vybrat typ modelu, který je požadován. V tomto případě Norma.ipt na obr. 3.2.



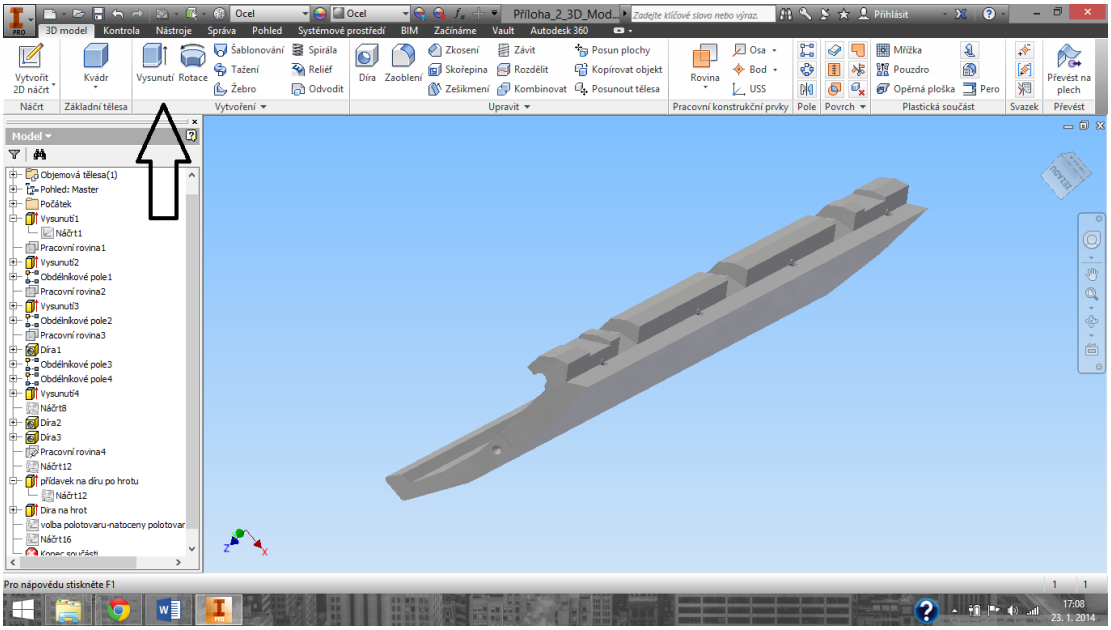
Obr. 3.2 Úvodní obrazovka výběru typu modelu.

Následně je nakreslen 2D náčrt, příklad náčrtu je uveden na obr. 3.3.



Obr. 3.3 Tvorba 2D náčrtu v programu Inventor Professional 2014.

Následně pomocí funkcí vytažení, rotace, tažení a dalších se vytvoří z 2D náčrtu 3D součást, tyto funkce jsou v nástrojové nabídce programu viz obr. 3.4.



Obr. 3.4 Tvorba 3D modelu z 2D náčrtu v programu Inventor Professional 2014.

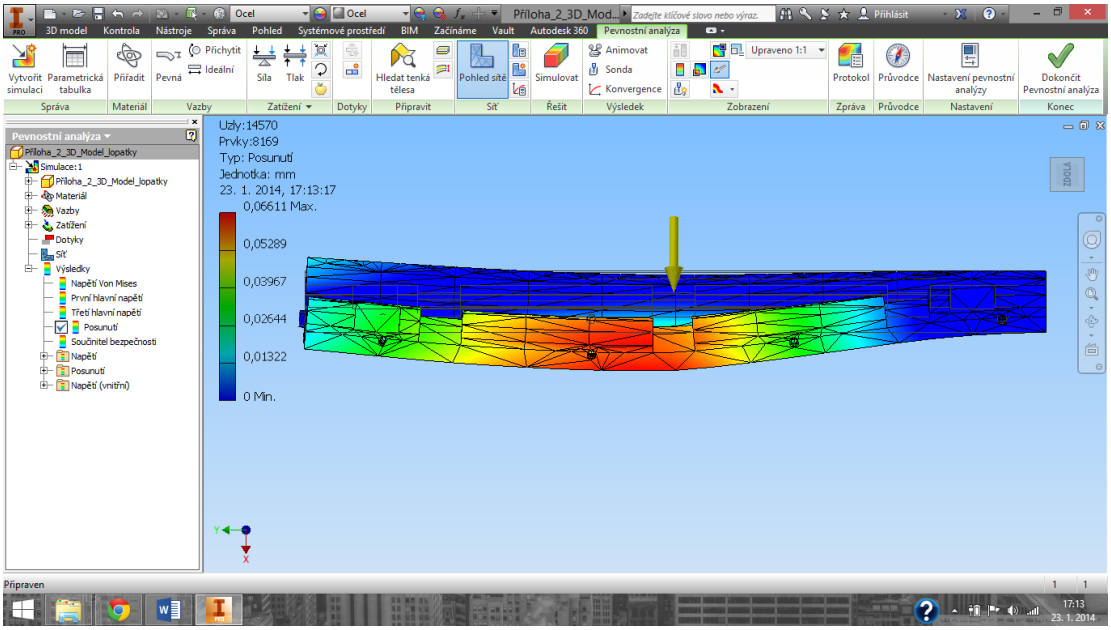
Opakováním těchto kroků se docílí přesného 3D modelu součásti, který je možno použít jak pro vytvoření 2D dokumentace pro jednotlivé operace, tak i jako podklad pro CAM programy.

Důležité je si uvědomit, že při tvorbě 3D modelu je vnesena určitá nepřesnost do výroby, protože i samotný 3D model je vymodelován s určitou přesností.

Další nepřesnost je vnesena do výroby ve chvíli, kdy pomocí např. programu Exchange importujeme 3D model do CAM programu a samotný CAM program také obrábí s určitou přesností. Na tuto skutečnost je důležité myslet při výrobě velice přesných součástí, ale v tomto případě výroby lopatky je z prvotní analýzy vidět, že se nejedná o zvlášť přesnou součást.

3.2.2 Simulace deformací v programu Inventor 2014 Professional

Program Inventor 2014 Professional dokáže simulovat zatížení a vypočítat síly působící v místě uložení součásti, zároveň dokáže částečně předurčit zdeformování tělesa. Tyto možnosti mohou nastínit, jak se těleso bude chovat při obrábění. Především je důležitá alespoň omezená predikce prohnutí delších obrobků, jelikož následně toto prohnutí lze částečně eliminovat v CAM programech. Příklad simulace je na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Inventor 2014 Professional simulace deformace.

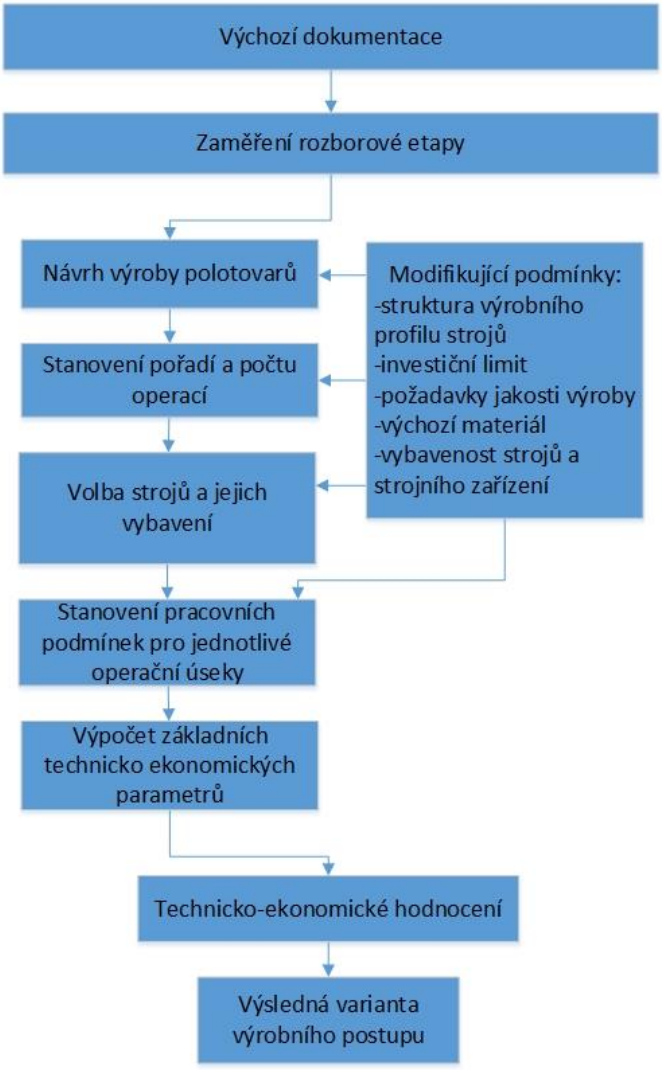
Při simulacích v programu Inventor 2014 Professional je velikost deformace záměrně vizuálně zvětšena, z důvodu lepší přehlednosti, proto se na první pohled může zdát deformace značná, ale přitom je deformace v oblasti dokončovacích operacích většinou v řádech mikrometrů a méně. A to závislosti na použité strategii obrábění, geometrie nástroje a tvaru součásti.

4 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Technologická příprava výroby je souhrn technickoorganizačních činností a opatření zaměřených na vypracování výrobní dokumentace a podkladů pro vybavení výrobního procesu. Výrobní a návrhová dokumentace obsahuje soubor technickoorganizačních a ekonomických údajů potřebných pro zajištění výroby z hlediska navržené technologie výroby, manipulace, kontroly, organizace a ekonomiky práce. Časová a obsahová návaznost primárních činností v technologické přípravě výroby je zobrazena na obr. 4.1 [7].

Pro zrychlení technologické přípravy výroby lze použít CAD/CAM systému v tomto případě využijeme CAD programu Inventor Professional 2014 od firmy Autodesk, CAM program využijeme FeatureCam od firmy Delcam. Program Inventor Professional 2014 využijeme k tvorbě 2D a 3D dokumentace. V rámci 3D modelu především jako podporu pro program FeatureCam.

Základní schéma postupu v technologické přípravě výroby si můžeme představit dle schématu na obr. 4.1.

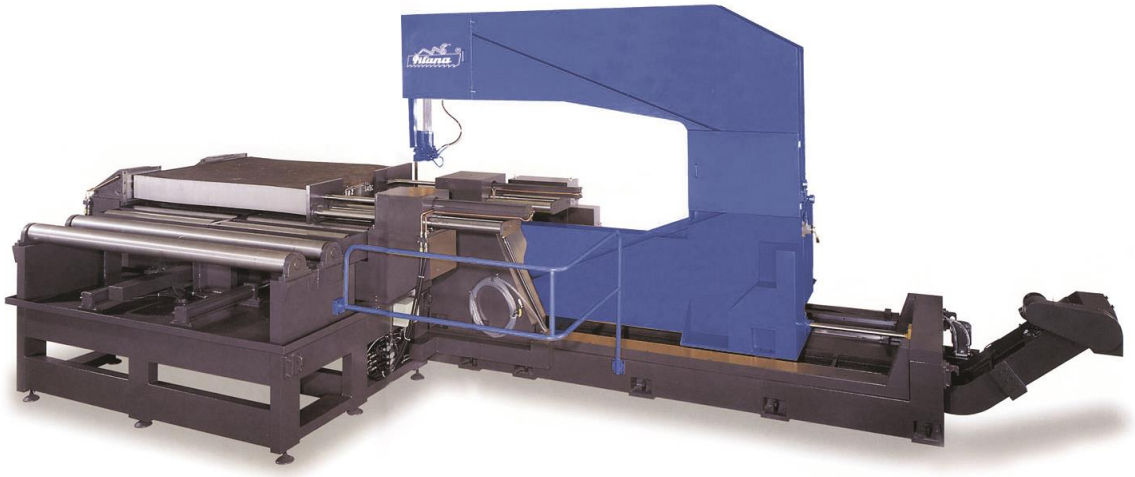


Obr. 4.1 Schéma časové a obsahové návaznosti činností technologické přípravy [7].

4.1 Návrh výroby polotovaru

Polotovar je vyřezán velkoformátovou strojní pilou viz obr. 4.2 z tlustostěnného plechu, protože tyč potřebných rozměrů by nebyla standardní a byl by problém s nákupem. Zároveň výrobou z tyče by se značně prodloužil čas na hrubovací operace, z důvodu větších přídavků na obrábění.

Ve firmě Kovoobrábění Sobotka chybí strojní vybavení pro výrobu potřebného polotovaru, proto bude zhotoven v externí firmě.



Obr. 4.2 Pásová pila na kov PMS 600/1500 VS firmy Pilana metal s.r.o. [13].

V posledním období jsou z výrobních provozů a dílen stále více odstraňovány tradiční stroje na dělení materiálu - rámové a kotoučové pily - a jsou nahrazovány pilami pásovými. Důvodů, proč firmy volí tuto moderní technologii, je hned několik. Nejdůležitější důvod je doba řezu, která je u konstrukčních ocelí 2x až 3x kratší a u nástrojových ocelí až 5x kratší než u tradičních strojů. Dalším důvodem je menší ztráta materiálu vlivem tloušťky řezu, která u nejvyhledávanější řady pil činí pouze 1 mm, a v neposlední řadě je to přesnost řezu. Nepřesnost, měřená kolmostí, nepřesahuje 0,1 mm až 0,2 mm na 100 mm výšky řezu. Zároveň odpadá tzv. "sálavost" řezu, se kterou konstruktér i technolog v minulosti musel počítat, a z přípravny materiálu proto odcházely do obrobny polotovary s přídavkem 4 až 5 mm na obrábění. Tyto přídavky je možné v současné době díky přesnosti řezu minimalizovat. Mimo úspor materiálu lze počítat i se zmenšením požadavků na obrábění a tomu odpovídají úspory na energiích a času [6].

Pro pásové pily jsou převážně používány bimetalové pilové pásy, jejichž nosná část je vyrobena ze zušlechtěné legované oceli a na špičkách zubů je navařena nástrojová ocel [6].

4.2 Process Flow Diagram

Process Flow Diagram se využívá k jednoznačnému znázornění sledu operací, ke každé operaci je uvedeno číslo operace, pracoviště, stroj a další doplňující informace. Process Flow diagram je velice důležitý dokument, protože schematicky ukazuje sled operací včetně kontrolních a manipulačních. Při optimalizaci výroby může být Process Flow Diagram velice užitečný, především jako přehled toku materiálu, např. je možné zjistit vztahy mezi jednotlivými stroji pro analýzu a případné přeskupení strojů. Process Flow diagram pro součást lopatku je na obr. 4.3.

No.	Číslo op.	Obrábění	Transport		Kontrola	Symbol	Název operace	Popis operace	Stroj
1	131 1010				◇	K	Vstupní kontrola	Kontrola rozměrů polotovaru	Sklad
3			○			Tr	Transport	Transport ke stroji MCV1000	
4	131 1020	□				H	Hrubování šikmá plocha	Hrubování rohu součásti	MCV1000
5			○			Tr	Transport	Přeupnutí	MCV1000
6	131 1030	□				H	Hrubování U-tvar	Hrubování vnitřku součásti	MCV1000
7			○			Tr	Transport	Přeupnutí	MCV1000
8	131 1040	□				F	Frézování čelo-díry	Zarovnání čela a frézování děr	MCV1000
9			○			Tr	Transport	Přeupnutí	MCV1000
10	131 1050	□				F	Frézování čelo-výstupek	Frézovat profil a otvor na hrot	MCV1000
11			○			Tr	Transport	Transport na měřící stanoviště	
12	131 1060				◇	IP	Kontrola rozměrů	Kontrola obrobených rozměrů polotovaru	Měřící stanoviště
13			○			Tr	Transport	Transport ke stroji Hedelius BC40D	
14	131 1070	□				F	Frézování na čisto	Dokončovací operace	Hedelius BC40D
15			○			Tr	Transport	Transport na ruční dílnu	
16	131 1080	□				O	Odjehlehní	Odjehlení	Ruční dílna
17			○			Tr	Transport	Transport na měřící stanoviště	
18	131 1090				◇	K	Výstupní kontrola	100% kontrola všech tolerovaných rozměrů	Měřící stanoviště
19			○			B/O	Balení a odeslání	Příprava k expedici	Sklad

Obr. 4.3 Process Flow diagram.

4.3 Volba strojů

Vhodnost volby typu a velikosti obráběcího stroje pro výrobu určité součásti nebo souboru součástí je určen z následujících požadavků:

1. Technologických, které jsou určovány [7]:

- druh obrábění (soustružení, vrtání, broušení, atd.),
- způsob obrábění (hrubování, obrábění na čisto, atd.),
- rozsah rozměrové řady výrobního programu,
- tvarovou složitostí,
- požadavky na jakost výroby (přesnost rozměrů, tvarů, atd.),
- požadavky na údržbu a spolehlivost výrobního zařízení,
- sériovostí výroby.

2. Ekonomické efektivnosti, které jsou stanoveny [7]:

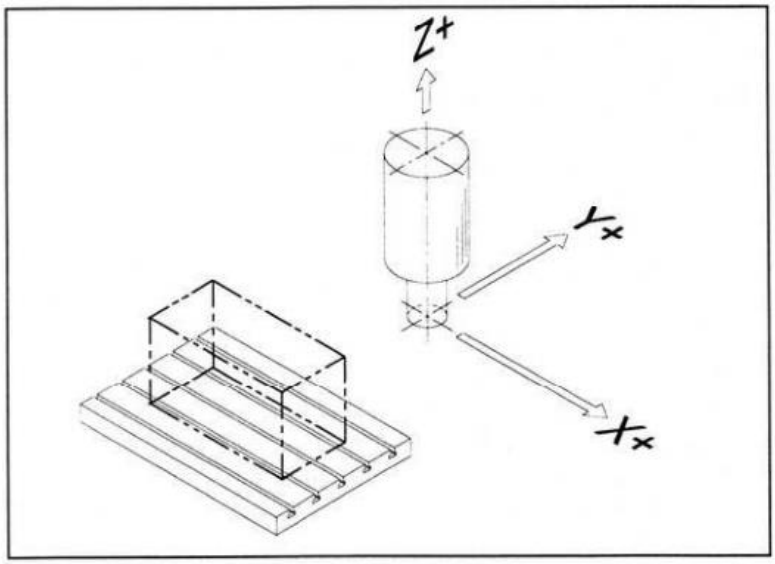
- růstem produktivity obrábění,
- hospodárností výroby, posuzované řadou ukazatelů z hlediska komplexnosti řešení dané problematiky.

V našem případě musíme stroj vybrat z možností dané firmou Kovoobrábění Sobotka

Základní rozdělení strojů na frézování [2]:

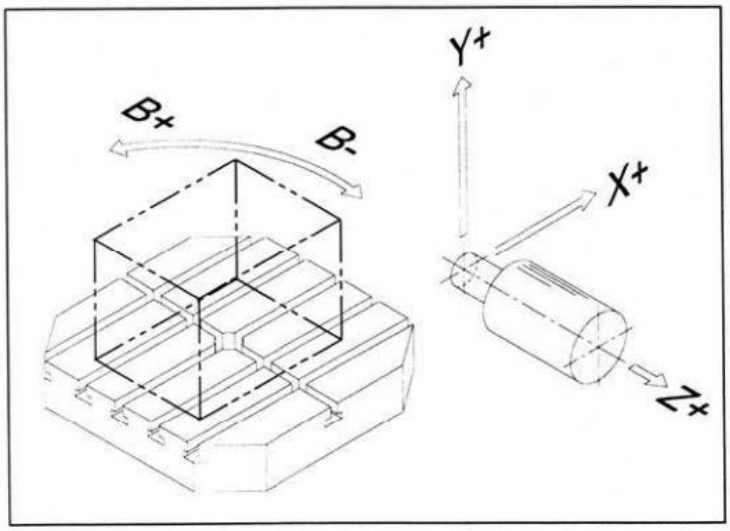
- dle počtu řiditelných os - dvou, tří nebo více osé stroje,
- dle orientace hlavní osy - vertikální, horizontální,
- dle možnosti automatické výměny nástrojů.

Základní představu jak vypadá vertikální frézka si lze udělat z obr. 4.4.



Obr. 4.4 Schéma vertikální frézky [2].

Nejběžnější vertikální frézky jsou 3 osé, přičemž řiditelné osy jsou X, Y a Z. Na obr. 4.5 je zobrazeno základní schéma horizontální 4 osé frézky, u které je ke třem základním řiditelným osám přidaná osa B, která je indexována okolo osy Y [2].



Obr. 4.5 Schéma horizontální frézky [2].

4.4 Volba upnutí

Volba určitého druhu upínacích prostředků a způsobu upínání je závislá [14]:

- na velikosti a tvaru upínaného obrobku,
- na druhu a způsobu frézování,
- na požadované přesnosti,
- na celkovém počtu obráběných kusů.

4.4.1 Volba upnutí pro hrubovací operace

Upnutí při hrubovacích operacích musí být dostatečně tuhé a zároveň musí umožňovat opakovatelnost upnutí.

V případě výroby lopatky je použit pro upínání hydraulický pevný svěrák pro hrubovací operace, viz obr. 4.6.

Obr. 4.6 Hydraulický strojní NC svěrák VNC-160H [11].

Z důvodu délky součástky je pro upnutí při hrubovacích operacích nutno použít dva stejné hydraulické svěráky, které musíme vyrovnat do přímky v rovině XZ. Pro představu je příklad vícenásobného upnutí vidět na obr. 4.7.

Obr. 4.7 Příklad upnutí obrobku více svěráky.

Přesnost polohy upnutí, dodržení požadované upínací síly a možnost použití silového ovládání jsou nezanedbatelnou výhodou při upínání dlouhých dílců několika samostatnými svěráky viz obr. 4.7. Při velkých objemech výroby lze aktivaci silového ovládání zahrnout do řídicího programu. Upnutí několika samostatnými svěráky nám zmenší deformaci obrobku vlivem sil působících na povrch obrobku při samotném obrobení a zároveň omezí nepřesnosti vlivem deformací. Důležité je pro upnutí několika samostatnými svěráky využít jeden typ svěráku a vzájemně je vyrovnat tak, aby při upnutí polotovaru nedošlo k deformaci polotovaru vlivem sil vyvozených upnutím do nevyrovnaných svěráků [16].

4.4.2 Volba upnutí pro dokončovací operace

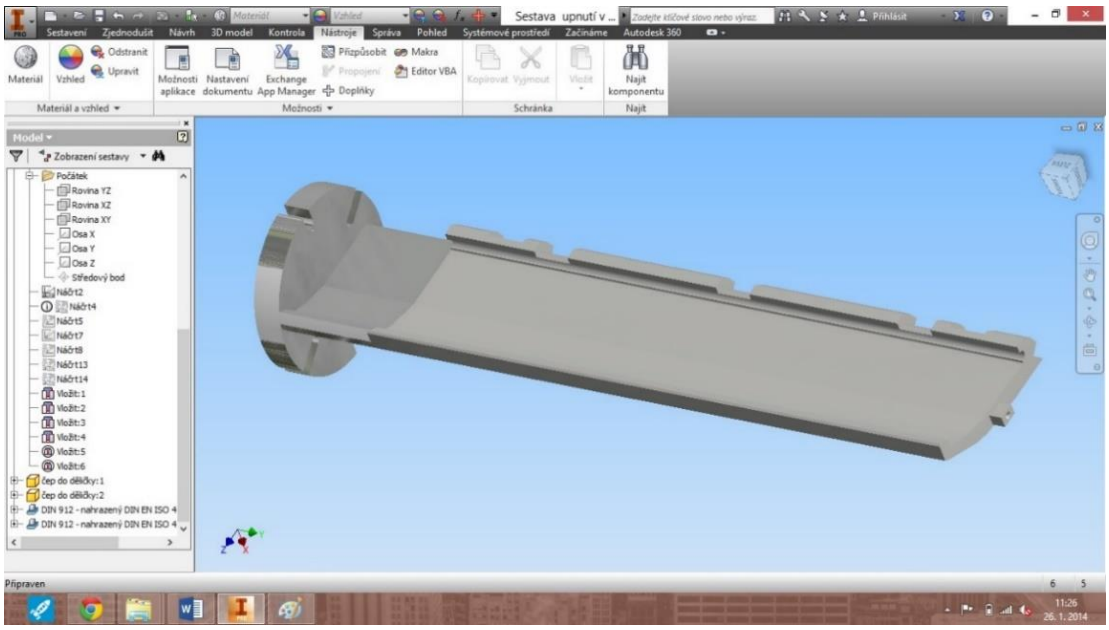
Z důvodu tvaru součásti je vhodné zvolit takové upnutí, které umožňuje plynulé indexování součásti okolo osy x.

Frézování s využitím 4. osy jako například dělicího přístroje (obr. 4.8) je v dnešní době poměrně běžnou praxí. Díky dělicímu přístroji pak můžeme na běžné tří osé frézce získat další řiditelnou osu navíc, kterou můžeme využít při polohování obrobku. Díky využití dělicího přístroje jsme tedy schopni obrobkem otáčet a frézovat z více úhlů. V případě indexovaní se využívá 4. osy pouze při natáčení. Obrobek se natočí do požadované polohy, dělicí přístroj se zabrzdí a probíhá standardní 3 osé či 2 osé frézování [9].

Dělicí přístroj využitý pro dokončovací operace na součásti „Lopatka“ je na obr. 4.8.

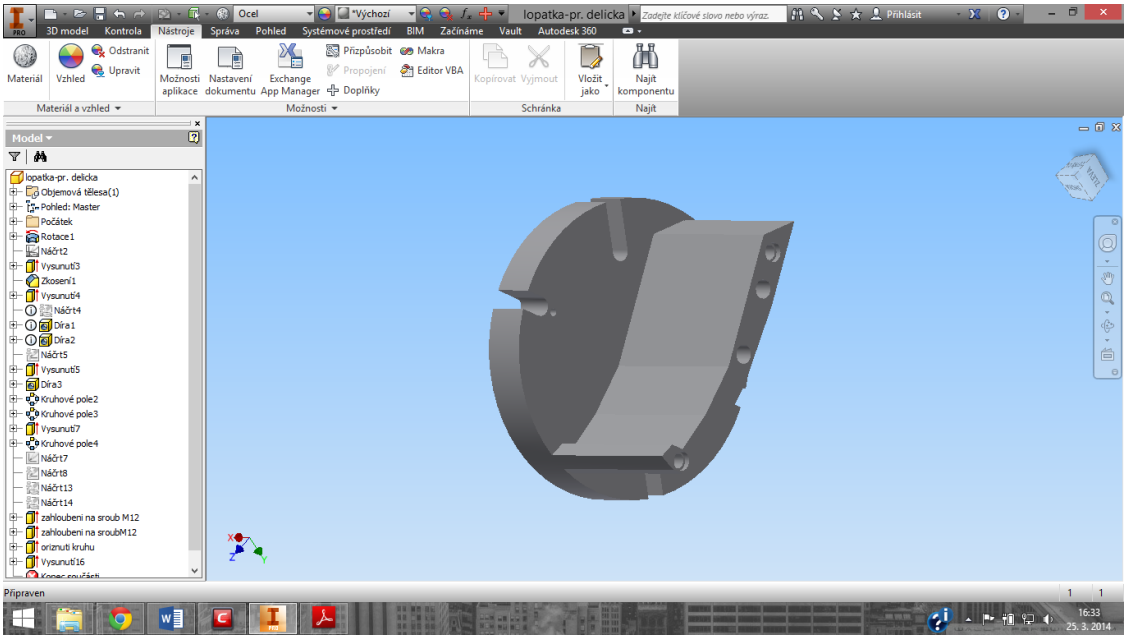
Obr. 4.8Dělicí přístroj ve stroji Hedelius BC40D.

Pro navrhnutí speciálního tvarového přípravku do děličky je vhodné využít program Inventor Professional 2014 viz obr. 4.9, 5.1.



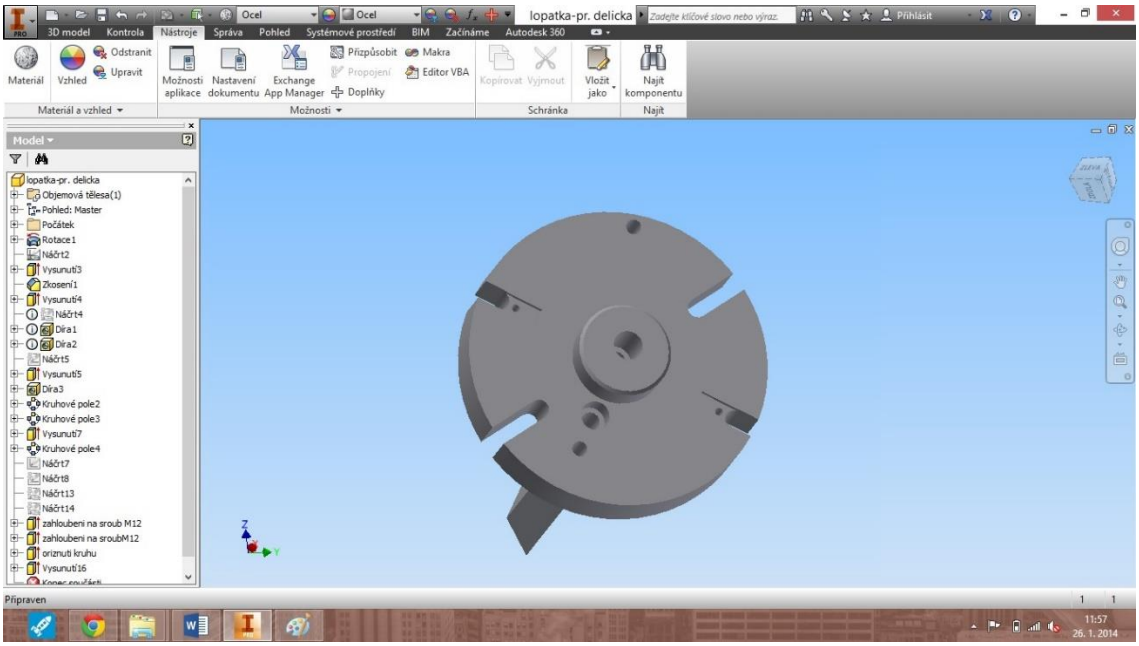
Obr. 4.9 Sestava upnutí lopatky v dělícím přístroji.

Model speciálního tvarového přípravku pro upevnění součásti do dělicího přístroje je na obr. 4.10 a 4.11.



Obr. 4.10 3D model přípravku do dělicího přístroje (přední strana).

Na obr. 4.10 jsou vidět čtyři otvory, z nichž jsou dva pro čepy (otvory nejdál od osy otáčení), tyto dva otvory zajištují přesnost a tuhost upnutí. Zbývající otvory jsou určeny pro šrouby, které přitáhnou obráběnou součást k přípravku.



Obr. 4.11 3D model přípravku do dělicího přístroje (zadní strana).

Na obr. 4.11 je možné vidět kruhový výstupek, který přesně musí zapadat do dělicího přístroje. Dále jsou na modelu zřejmé zahloubení pro hlavy šroubů a vybrání pro umístění středících kamenů.

5 VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO UPNUTÍ SOUČÁSTI

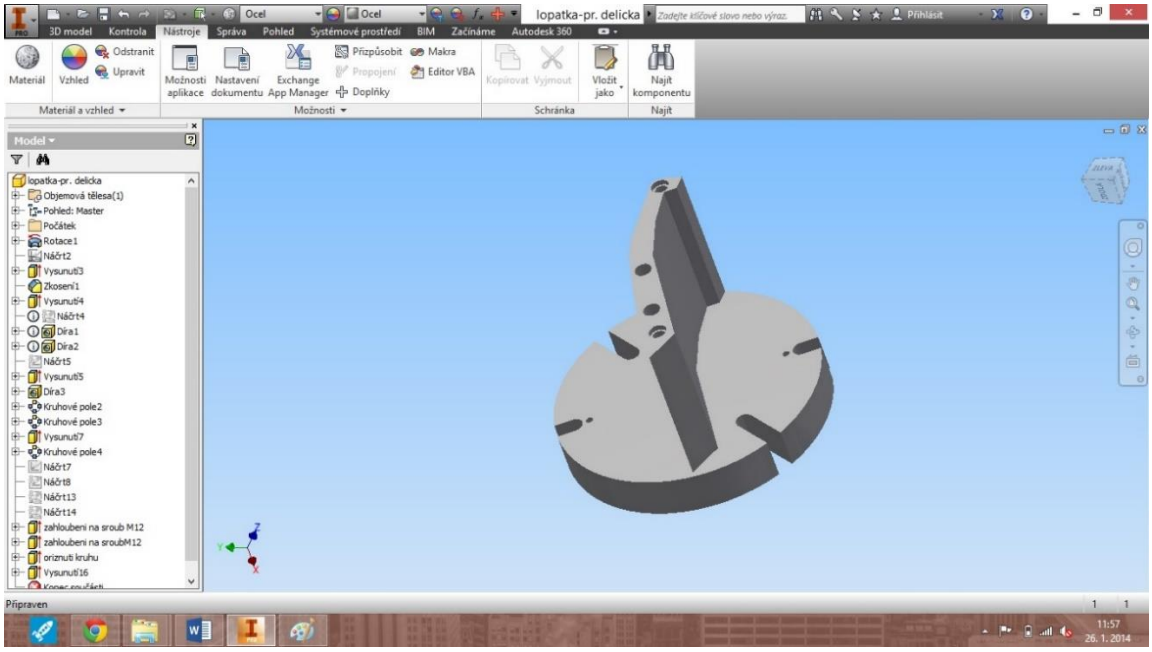
Preciznost a přesnost návrhu a samotné výroby značně ovlivňuje výslednou kvalitu a přesnost vyráběné součásti.

5.1 Podklady pro návrh přípravku pro upnutí součásti

Pro návrh přípravku, lze vycházet z připojovacích rozměrů dělicího přístroje a z rozměrů součásti. Pro připojení přípravku k součásti je možno použít pouze levého a pravého čela obrobku. Z toho důvodu na jedné straně je součást opřena hrotem, na protější straně upnuta pomocí dvou čepů v přípravku a dvěma šrouby dotažena k přípravku. Z těchto výchozích podmínek je navržen 3D model součásti viz obr. 5.1.

5.2 Volba polotovaru

Pro volbu polotovaru přípravku je využit 3D model přípravku, následně jsou určeny funkční plochy. Z modelu přípravku je patrné, že polotovar je válec a materiál je ocel jakosti dle ČSN 11 373. Rozměry polotovaru jsou: ø 200 mm v délce 165 mm. Pro urychlení výroby a úsporu nástrojů je přebytečný materiál odříznut strojní pilkou.



Obr. 5.1 3D model přípravku.

Přesná poloha přípravku v dělicím přístroji je zajištěna pomocí dvou středících kamenů a 4 šroubů.

5.2 Výroba přípravku

Výroba přípravku je realizována ve společnosti Kovoobrábění Sobotka, proto je nezbytné volit stroje, nástroje a postup výroby dle možností a způsobu výroby ve firmě Kovoobrábění Sobotka.

5.2.1 Volba stroje

Výroba součásti je realizována na vertikálním obráběcím centru Hedelius BC40D viz obr. 5.2. Z důvodu tuhosti výše zmíněného stroje, není naprosto ideální volbou

pro hrubovací operace, protože nemá dostatečně tuhé a výkonné vřeteno, proto nelze využít plného potenciálu nástrojů určených pro hrubování, ale je dostatečně přesný pro dokončovací operace. Proto pro hrubovací operace je využit stroj MCV1000. Parametry obou frézek jsou v kapitolách 2.2 a 2.3 [19].

5.2.2 Tvorba CNC programů

CAM = počítačem podporovaná výroba.

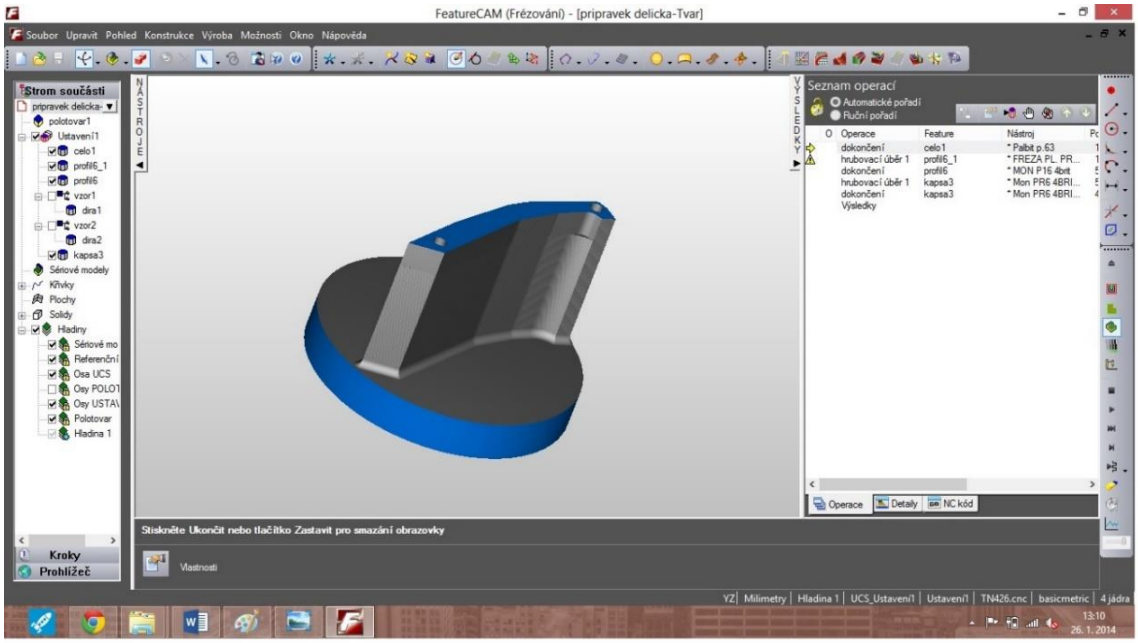
CAM softwary je vhodné využít tehdy, jeli součást příliš složitá na ruční programování a nebo je-li ruční programování příliš zdlouhavé [1].

CAM produkty slouží k simulaci technologických operací při výrobě součásti. Po simulaci kompletního obrábění a přezkoumání správných drah nástrojů a řezných podmínek, je následně NC kód přenesen do CNC stroje [1].

Obecný postup práce s CAM programy:

- import geometrie,
- nastavení vstupních parametrů (např. ustanovení, polotovar, technologie obrábění),
- hrubovací operace,
- předdokončovací operace,
- dokončovací operace,
- doplňkové operace (např. srážení hran, gravírování, apod.),
- vygenerování NC kódu.

Program pro řízení frézky je v případě lopatky vytvořen pomocí CAM programu FeatureCam. Vytvořené programy pro výrobu přípravku jsou uvedeny v příloze 2. Uživatelské prostředí programu FeatureCam je na obr. 5.2.

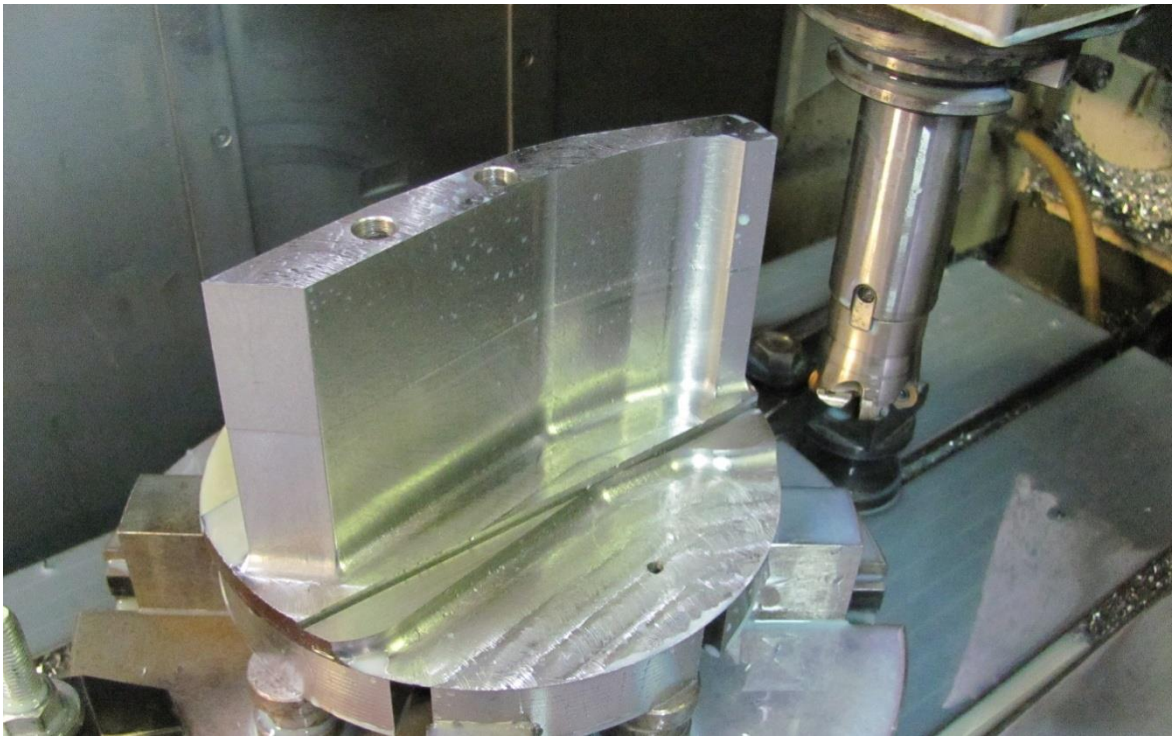


Obr. 5.2 Uživatelské rozhraní FeatureCam.

5.2.3 Stručný postup výroby

- dělit materiál viz obr. 5.3,
- obrábět čelo přípravku (strana k děličce),
- obrábět tvar (strana k obrobku) viz obr. 5.4,
- odjehlit přípravek.

Obr. 5.3 Příprava polotovaru na pásové pile.



Obr. 5.4 Frézování tvaru přípravku.

Výkres a 3D model přípravku je uveden v příloze 11 a 12.

6 VÝROBA SPECIÁLNÍ TVAROVÉ FRÉZY

Z důvodu tvarové složitosti, je třeba vyrobit speciální tvarovou frézu pro obrobení rádiusu 5,8 mm.

Stručný postup výroby frézy:

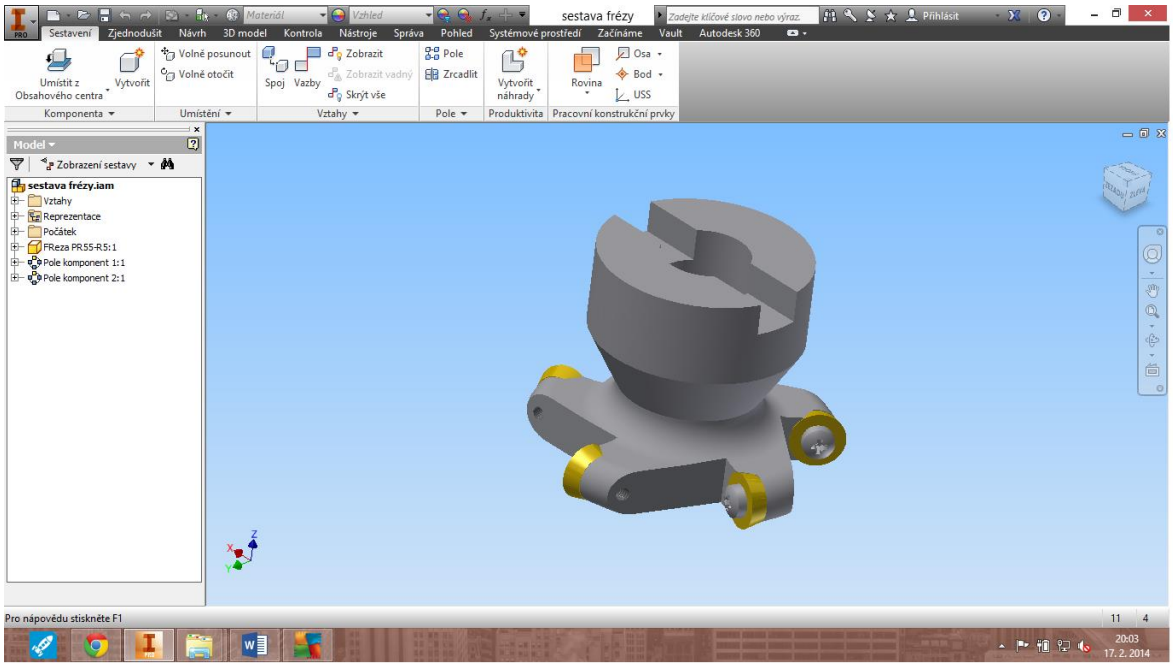
- 3D model frézy,
- volba polotovaru,
- CNC program,
- výroba frézy.

6.1 3D model frézy

Při navrhování frézy je nutné dodržet rozměry dané tvarem vyráběné součásti v tomto případě se jedná o součást lopatku. Jedná se o frézu s vyměnitelnými břitovými destičkami, tato volba zajistí jednoduchou údržbu frézy při otupení.

Zároveň je důležité brát zřetel na tuhost nástroje a způsob upínání. Vzhledem k náročnosti výroby je zvolena metoda upínání vyměnitelných břitových destiček pomocí upínacího šroubu, který je umístěn ve středu destičky, proto je zvolena destička s kruhovým otvorem ve středu pro upnutí k nástroji.

3D model frézy je navržen v programu Inventor 2014 Professional, model frézy je na obr. 6.1.



Obr. 6.1 3D model speciální tvarové frézy.

6.2 Volba polotovaru

Polotovar je vysoustružená kontura frézy z oceli jakosti dle ČSN 19 353, polotovar pro dvě frézy viz obr. 6.2. Z tohoto polotovaru je následně na 4 osé frézce vyrobena speciální tvarová fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Obr. 6.2 Polotovar pro dvě speciální tvarové frézy.

6.3 CNC program

Dalším krokem pro vyrobení frézy je CNC program. Pro výrobu frézy je nutné použít stroj s možností indexování 4 osy. Pro vytvoření CNC programu je použit program FeatureCam.

FeatureCam v sobě obsahuje [8]:

- databázi řezných podmínek a nástrojů,
- knihovnu přibližně 350 postprocesorů s nástrojem na jejich úpravu,
- optimalizaci posuvu,
- programátorské rozhraní API pro tvorbu maker,
- nabídkové nástroje,
- integrovaný balík 3D simulace.

Z důvodu nutnosti velice přesné výroby je důležité využívat spíše dokončovacích operací, protože by vlivem hrubování mohlo dojít k posunutí obrobku, a tím pádem k nepřesnosti výroby. Jelikož výroba frézy je přesná a složitá, tak jde především o výslednou přesnost, než o celkový čas výroby. Protože i minimální nepřesnosti způsobí, že při využívání vyrobené frézy bude docházet k tzv. nakopávání a chvění, což bude mít obrovský vliv na životnost nástroje.

Ukázka CNC programu pro hrubovací operaci:

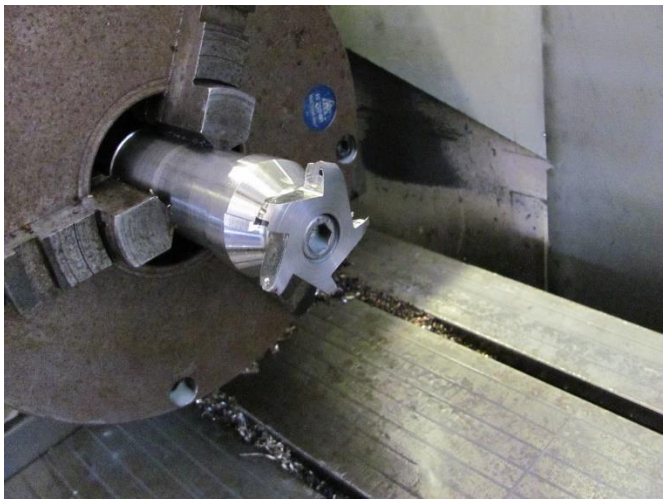
```
25 TOOL CALL 01 Z S740,000
30 ;Fr52-R8
35 L X+373,115 Y-112,598 R0 FMAX M13
40 L Z+3,000 R0 FMAX M
45 L Z-2,000 R0 F700 M
50 L X+373,081 Y-112,459 R0 F1400 M
55 CC X+371,830 Y-112,762
60 C X+371,830 Y-111,475 DR+ R F1400 M
65 CC X+371,830 Y-112,762
70 C X+371,528 Y-111,511 DR+ R F1400 M
75 L X+371,440 Y-111,532 R0 F1400 M
```

Na ukázce CNC programu pro hrubovací operaci je vidět nedostatek programů tvořených pomocí CAM softwarů. Řídicí programy vytvořené pomocí CAM softwaru jsou většinou označované slangovým výrazem „rozsypaný čaj“, toto označení je způsobené nepřehledností CNC programů a v podstatě nemožnosti větších zásahů do řídicího programu.

6.4 Realizace výroby frézy

Při výrobě frézy je nutno docílit přesného upnutí, především obvodové házení frézy je nutno udržet na co nejmenších hodnotách. Jelikož čím je větší házení, tím více se bude lišit průřez odebírané třísky na jednotlivých břitech a tím více bude docházet k rázům a následnému zmenšení životnosti frézy a jednotlivých vyměnitelných břitových destiček.

Fréza bezprostředně po vyfrézování, stále upnuta ve frézce Hedelius BC40D je na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Fréza po obrobení.

Na obr. 6.3 je vidět využití dělícího přístroje na frézce, kdy je na lícovací desce připevněno sklíčidlo, v kterém je na trnu upnuta speciální tvarová fréza. Pomocí dělicího přístroje se natočí polotovar vždy do požadované polohy pro frézování jednoho konkrétního lůžka. Kompletní fréza (bez tepelné úpravy) je vidět na obr. 6.4.

Obr. 6.4 Kompletní speciální tvarová fréza.

7 VÝROBA SOUČÁSTI LOPATKA

Pro výrobu je již zhotoven 3D model výsledné součásti, z tohoto modelu je pomocí FeatureCamu vytvořen CNC program pro řídicí systém HEIDENHAIN. Pro hrubovací operace je použita 3 osá frézka a pro dokončovací operace 4 osá frézka.

7.1 Technologický postup výroby

Stručný postup výroby:

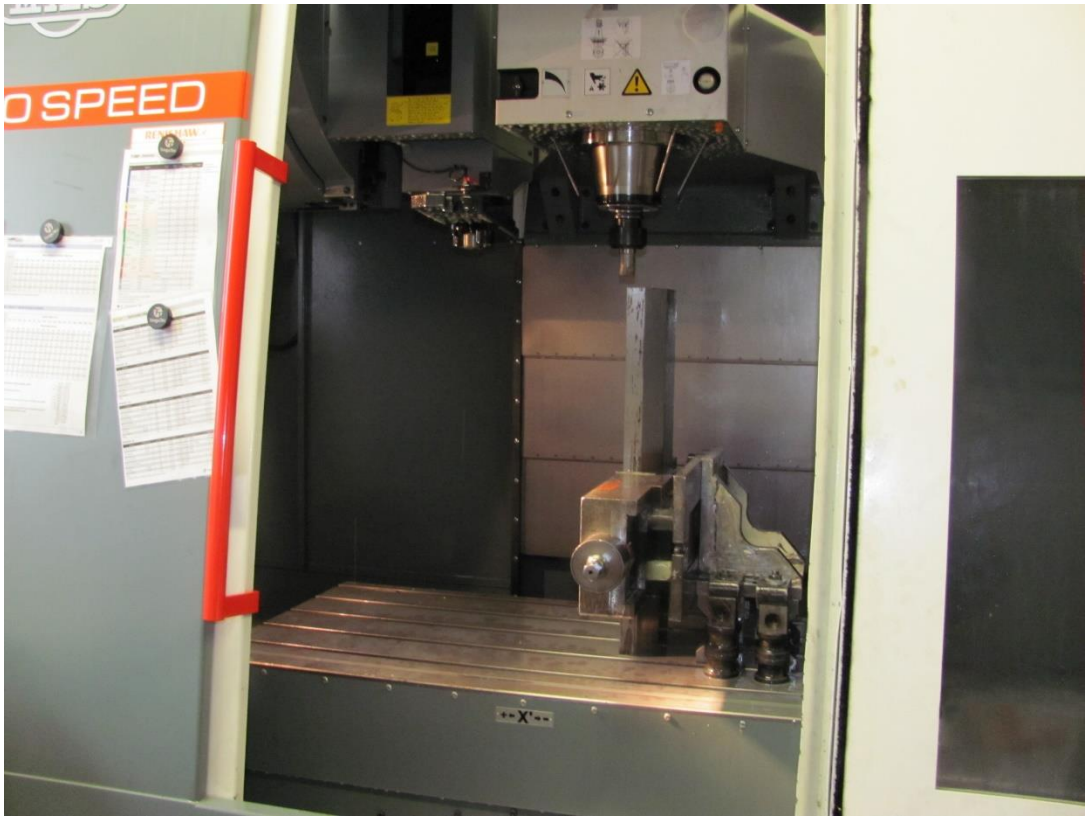
- hrubovací operace,
- dokončovací operace,
- výstupní kontrola rozměrů.

Představu o upnutí při hrubovacích operacích si lze udělat z obr. 7.1.

Obr. 7.1 Hrubování součásti „lopatka“.

Důvodem využití tří osé frézky pro hrubovací operace je větší tuhost upnutí pomocí dvou svěráků viz obr. 7.1 a také díky většímu výkonu frézky MCV1000 viz kap. 2.2.

Obrobení čel součásti pro umožnění upnutí součásti do dělícího přístroje je na obr. 7.2. Při obrábění čel součásti jsme se dostali na samotnou hranici možností frézky MCV1000 a to v maximálním rozsahu obrábění v ose Z viz obr. 7.2.



Obr. 7.2 Obrábění čel.

7.2 Příprava programu pro řízení CNC strojů

Pro výrobu lopatky je nutno vytvořit programy pro jednotlivé operace, nejprve pro hrubovací operace a následně pro dokončovací operace. Jednotlivé operace jsou znázorněny v operačních návodkách.

Při obrábění součásti na čtyř osém stroji je nutné důkladně vyřešit možnosti výjezdů a nájezdů fréz, protože obrobek je upnut za obě čela. Z toho důvodu je zvolen odjezd v ose Z, který se jeví jako nejbezpečnější. Dále je nutno brát ohled na výkon stroje při volbě řezných podmínek. Pro vytvoření programu pro CNC frézku využijeme program FeatureCam.

Použitý program FeatureCam je oblíbený uživateli z hlediska pořizovací ceny, relativní jednoduchosti používání, avšak nedisponuje tolika nástroji pro programování a následnou kontrolu bourání a kolizí v takovém rozsahu jako např. program PowerMill od stejného výrobce.

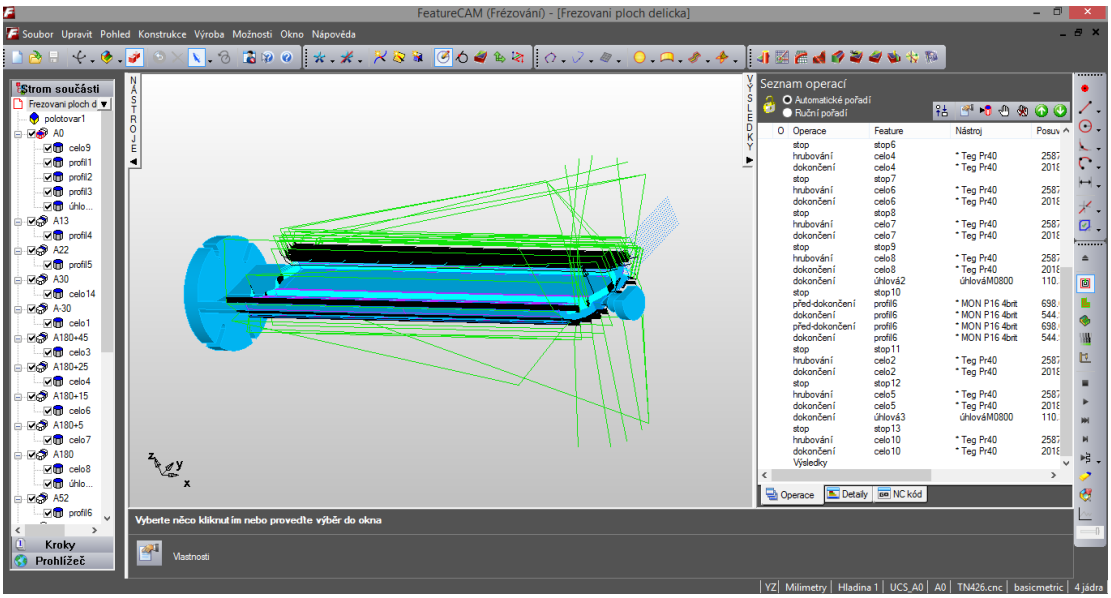
Zrychlený záznam simulace obrábění pomocí 4 os je v příloze 10. Po ověření správnosti technologie a samotných drah byl následně vygenerován NC kód, část tohoto kódu je uvedena níže.

```
7125 L X-714,000 R0 F2587 M
7130 L Z+119,500 R0 FMAX M
7135 L X+20,000 R0 FMAX M
7140 L Z+96,500 R0 FMAX M
7145 L Z+93,000 R0 F2587 M
```

```
7150 L X-714,000 R0 F2587 M
7155 L Z+119,500 R0 FMAX M
7160 L Z+119,500 R0 FMAX
7165 TOOL CALL 01 Z S1397,000
7170 ;Teg Pr40
7175 L X-714,000 Y+27,248 R0 FMAX M03 M08
7180 F2018
7185 L X+20,000 R0 FMAX M
7190 L Z+96,000 R0 FMAX M
7195 L Z+92,500 R0 F2018 M
7200 L X-714,000 R0 F2018 M
7205 L Z+119,500 R0 FMAX M
7210 L Z+250,000 R0 FMAX M05
7215 L X+0, Y+0, R0 FMAX M
7220 STOP M30
7225 END PGM Frezovani ploch delicka MM
```

Na ukázce programu pro frézování ploch je vidět číslo řádku, v takovémto programu je velice obtížné provádět změny a úpravy programu přímo na stroji.

Zobrazení drah nástroje v programu FeatureCam je na obr. 7.3.



Obr. 7.3 Dráhy nástroje při frézování lopatky pomocí indexování 4 osy.

Pro velikost CNC programů jsou tyto programy uvedeny v příloze 7, 8 a 9.

7.3 Výrobní postup

Výrobní postup je velice silný nástroj pro jednoznačné vysvětlení postupu výroby dané součásti, např. pro vysvětlení seřizovači a obsluze strojů, jak mají danou součást vyrobit. Pro součást lopatka je výrobní postup v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Výrobní postup pro součást lopatka.

VUT BRNO FSI ÚST	VÝROBNÍ POSTUP	Název součásti: LOPATKA	Číslo výkresu: S-2014-K2
22.2.2014	Vyhotovil: Tomáš Prokeš	Kontroloval :	Materiál: 11 353 / Polotovar: 189x65x711[mm]

Číslo op. pořadové : / Orientační	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště : / Třídicí číslo :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :
00/00	Sklad	Sklad	Vyskladnit polotovar	
01/01	Sklad	Kont.	Kontrolovat rozměry polotovaru dle výkresu - 100 %	Svinovací metr ČSN 25 1146
02/02	Frézka MCV1000	Obrobna	Upnout za 189mm	
			Hrubovat zešikmení	Fréza Ø52 R6 TF MRNS 552-22R-12
			Odjehlit	Pilník plochý PLO 250/2
03/03	Frézka MCV1000	Obrobna	Upnout za 189mm	
			Hrubovat vybrání	Fréza Ø52 R6 TF MRNS 552-22R-12
			Odjehlit	Pilník plochý PLO 250/2
04/04	Frézka MCV1000	Obrobna	Upnout za189mm	
			Hrubovat profil	Fréza Ø52 R6 TF MRNS 552-22R-12
			Frézovat otvor pro hrot	Středící vrták Ø4, DIN 333B
05/05	Frézka MCV1000	Obrobna	Upnout za 189mm	
			Frézovat čelo	Fréza Ø52 R6 TF MRNS 552-22R-12
			Vrtat díry	Středící vrták Ø2, DIN 333B; Vrták Ø8,5 DIN 38 TYP N
			Frézovat závity	Závitník M10 DIN 374
			Frézovat kapsy	Fréza Ø6 R21634-06050
06/06	Obrobna	Kont.	Kontrolovat obrobené části dle výkresu - 80 %	Měřící stanoviště
07/07	Frézka Hedelius BC40D	Obrobna	Upnout do přípravku a opřít hrotem	Speciální přípravek
			Frézovat na čisto rovinné plochy	Fréza Tegutec Ø40 FM90AN 440-16R-11; Monolit Ø25 RFE 2250M; Monolit Ø16 RFE 2160M
			Vyvrtat díry	Středící vrták Ø2, DIN 333B; Vrták Ø6,75 DIN 38 TYP N; Závitník M8 DIN 374
			Frézovat drážky	Monolit Ø25 RFE 2250M; Monolit Ø6 RFE 2060M
08/08	Měřící místo		Kontrolovat: Tolerované rozměry dle výkresu S-2014-K2 - 100 %	Měřící stanoviště

Preciznost a dokonalost výrobního postupu se projeví při výrobě např. vyšší kvalitou výrobku, nižšími náklady a v některých případech urychlením výroby. Ale chyby ve výrobním postupu a ve výrobě jako celku, se vždy projeví na výsledném výrobku. Výsledný výrobek „lopatka“ je na obr. 9.1.

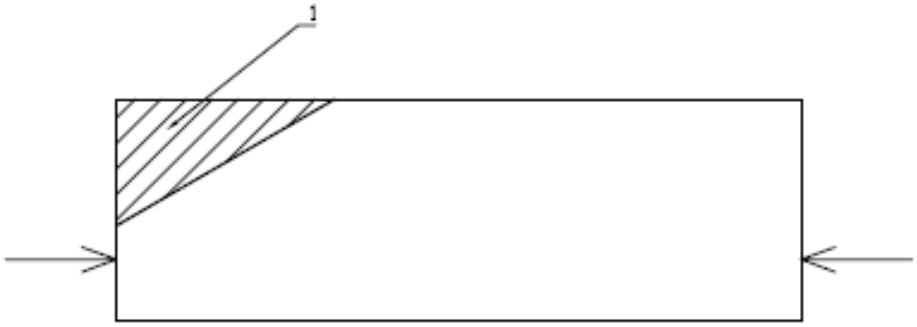
7.4 Výrobní návodky

Vzhledem k množství výrobních návodek je v kap. 7.4 uvedena pouze jedna výrobní návodka viz tab. 7.2 a zbývající návodky jsou uvedeny v příloze 6.

V zázemí firmy Kovoobrábění Sobotka se návodky nepoužívají. Pro výrobu se používá pouze 2D dokumentace součásti obsahující pozici nulového bodu, způsob upnutí, stručný postup výroby a NC program pro řízení strojů.

Tab. 7.2 Návodka č. 1.

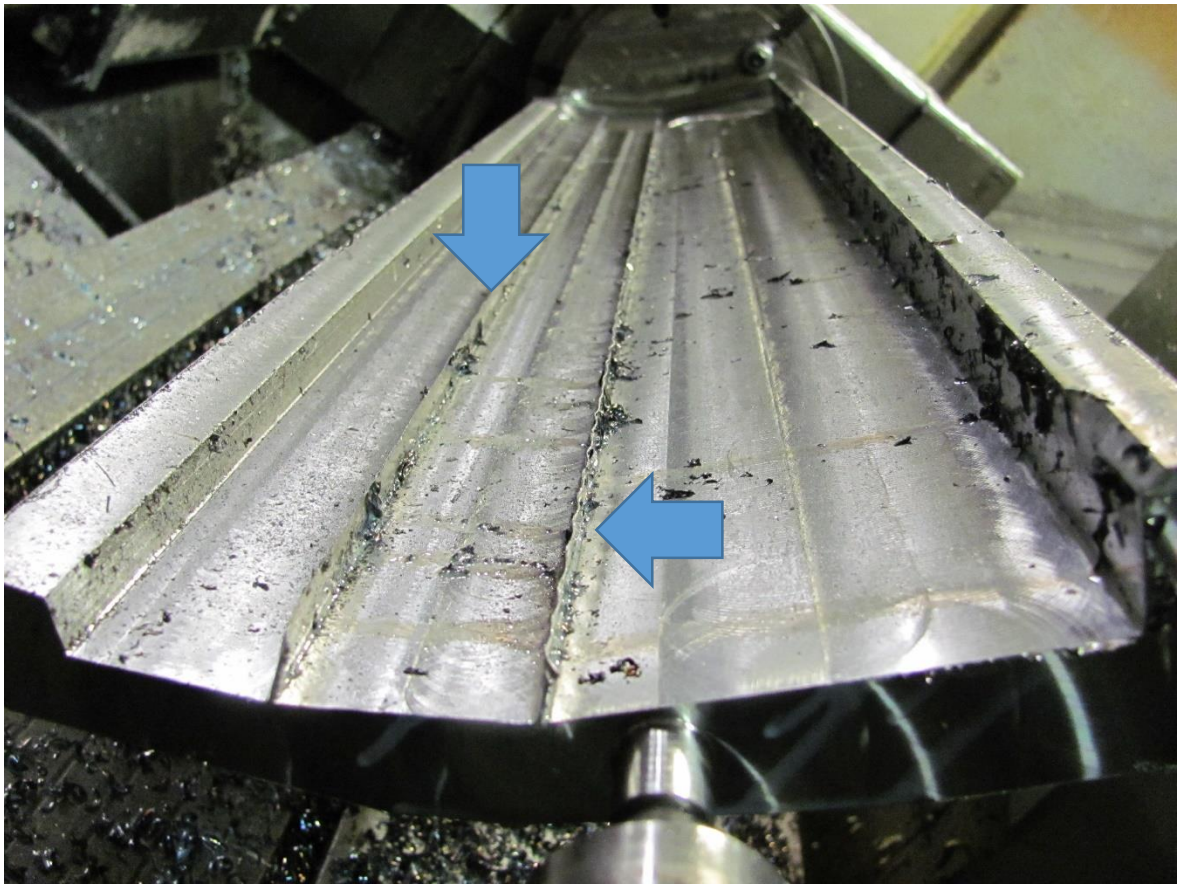
VÝROBNÍ NÁVODKA					
Zpracoval:	TOMÁŠ PROKEŠ	**Schválil:**		**Datum:**	11.3.2014
Název součásti:	LOPATKA	**Číslo výkresu:**	S-2014-K2	**Číslo návodky:**	1
Stroj:	CNC frézka MCV1000	**Operace:**	FRÉZOVÁNÍ	**Číslo operace:**	02/02



Nástroj	i	v_c	n	f			t_{AV}
	[-]	[m.min^{-1}]	[min^{-1}]	[mm]			[min]
Fréza ø52 R6 TFMRNS 552-22R-12	1	128	740	1400			26:08.8
						∑:	26:08.8

7.5 Výroba

Při výrobě součásti lopatka se objevily nedostatky řídicího programu CNC stroje. První nedostatek je vidět na obr. 7.4. Vytvoření výstupků s tloušťkou 0,5 mm, je způsobeno nedostatečným překrytím drah. Tato vada byla odladěna přímo na stroji pomocí korekce průměru nástroje.



Obr. 7.4. Vada na lopatce - výstupky.

Druhý nedostatek, je nekorektní odjezd nástroje z pracovní oblasti. Vlivem toho došlo k nechtěnému sražení hrany, což se ale neprojeví na výsledném výrobku. Protože, tato hrana je v další operaci obrobena, i přesto je nutné tento nekorektní odjezd ihned opravit při výrobě na stroji.

8 EKONOMICKÝ PROPOČET

Nedílnou součástí přípravy návrhu technologie a výroby je ekonomicko-technický propočet. Jelikož výroba součásti „lopatka“ je kusová/malosériová výroba, tak i propočet se liší od propočtů pro velkosériové výroby.

Kalkulaci nákladů lze dělit na předvýrobní a povýrobní. Předvýrobní kalkulace se stanoví před uskutečněním výrobních úkonů a naopak povýrobní kalkulace se stanoví na základě výrobních úkonu. Tyto dvě kalkulace se často liší, jelikož v předvýrobní kalkulaci se nemusí projevit detaily výrobních úkonů, které naopak jsou zahrnuty v po výrobní kalkulaci. Proto se jako ideální postup jeví dobré nejprve stanovit předvýrobní kalkulaci pro stanovení ceny výroby a následně povýrobní kalkulaci pro kontrolu a případné úpravy cen a nákladů [3].

8.1 Hodinové sazby jednotlivých pracovišť

Hodinové sazby zahrnují ceny nákladů na nástroje, energie, mzdy a opotřebení strojů. Hodinové sazby jsou nastaveny v každém podniku z průměrných nákladů na daný typ výroby. Hodinové sazby v případě firmy Kovoobrábění Sobotka jsou vypsány v tab. 8.1.

Tab. 8.1 Hodinové sazby [21].

Č. pracoviště	Název	Hodinová sazba [Kč]
01	Sklad	200
02	Frézka MCV1000	600
03	Frézka Hedelius BC40D	600
04	Ruční pracoviště	300
05	Kontrola	400

8.2 Propočet přímých nákladů pro 1 kus:

V tab. 8.2 je přehled časové náročnosti výroby a výpočet nákladů na výrobu. Tyto náklady jsou ale pouze náklady jednotlivých pracovišť, a proto je nutné k těmto přímým nákladům připočíst náklady na materiál a následně přičíst nepřímé náklady a to náklady na technologickou přípravu výroby viz kap. 8.3.

Tab. 8.2 Přímé náklady jednotlivých pracovišť.

Č. pracoviště	Hodinová sazba pracoviště [Kč]	Výrobní čas na 1 kus [min]	Cena výroby 1 kusu [Kč]	Celková cena série [Kč]
01	200	10	35,71	2000
02	600	188:55.8	1889,3	105800,80
03	600	228:00.2	2280	127680
04	300	15	75	4200
05	400	20	133,33	7466,48
Celkem [Kč]			4413,34	247147,28

Pro kompletní výpočet přímých nákladů je nutno zahrnout do výpočtu i náklady na pořízení polotovaru, cena jednoho polotovaru je 1680,1 Kč. Po zahrnutí ceny polotovaru je zjištěna velikost přímých nákladů viz tab. 3.

Přímé náklady do tab. 8.2 byly spočteny podle vztahu (8.1) [18].

$$V = \mathrm{P} \cdot t_{av} \tag{8.1}$$

kde: P [Kč] - hodinová sazba,

t_{av} [min] - výrobní čas,

V [Kč] - náklady výroby jednoho kusu na daném pracovišti.

$$V_1 = 200 \cdot 0{,}17 = 35{,}71\ Kč$$

Velikost přímých nákladů zahrnující cenu polotovaru na výrobu jednoho kusu byla vypočtena dle vztahu (8.2) [18].

$$V_c = \mathrm{V} + V_{pol} \tag{8.2}$$

kde: V_c [Kč] - celkové přímé náklady na výrobu jednoho kusu,

V_{pol} [kč] - cena jednoho polotovaru,

V [Kč] - náklady na výroby jednoho kusu na daném pracovišti.

$$V_c = 4413{,}34 + 1680{,}1 = 6093{,}44\ \text{Kč}$$

Velikost přímých nákladů zahrnující cenu polotovaru na výrobu jedné série čítající 56 kusů je dle vztahu (8.3) [18].

$$V_{cs} = \mathrm{V} + V_{pol} \cdot 56 \tag{8.3}$$

kde: V_{cs} [Kč] - Celkové přímé náklady na výrobu jedné série,

V_{pol} [Kč] - cena jednoho polotovaru,

Vs [Kč] - náklady na výroby jedné série.

$$V_{cs} = 247147{,}2 + 1680{,}1 \cdot 56 = 341232{,}88\ \text{Kč}$$

8.3 Propočet nákladů na technologickou přípravu výroby

Cena výroby neobsahuje pouze přímé náklady na materiál, strojní vybavení, nástroje, mzdy a energie. Součástí každé výroby je i příprava dokumentace, návrhu postupu výroby a dalších dílčích podkladů. Tyto náklady jsou stejné jak pro jeden kus, tak i pro celou sérii, v našem případě 56 kusů. Je nutné brát ohled na velikost série. Při malosériové nebo kusové výrobě nedosahuje technologická příprava výroby takových detailů, a to se odráží i na ceně. V našem případě se jedná o malosériovou výrobu, a proto jsou náklady nižší. Tyto náklady jsou dané firmou z empirických zkušeností viz tab. 3.

Tab. 8.3 Náklady na technologickou přípravu výroby [21].

Typ nákladu	Cena [Kč]
Vytvoření 2D/3D dokumentace:	3000
Návrh technologického postupu výroby:	4800
Vytvoření CNC programů pro CNC stroje:	3200
Výroba přípravků pro upnutí:	9500
Výroba/zakoupení speciálních nástrojů/strojů:	32150
Celkem:	52650

8.4 Cena výroby

Celkové náklady jsou součet přímých nákladu viz kap. 8.2 a nepřímých nákladů viz kap. 8.3. Po vypočtení celkových nákladů na výrobu jednoho kusu a jedné série musíme ještě přičíst zisk pro firmu, protože každá cena výroby v sobě obsahuje náklady na výrobu a zisk pro výrobce. V našem případě bude velikost zisku vypočtena jako 3 % nákladů [20].

Celkové náklady pro výrobu jednoho kusu byly spočteny dle vztahu (8.4) [18].

$$V_n = V_c + V_t \tag{8.4}$$

kde: V_c [Kč] - celkové přímé náklady na výrobu jednoho kusu,

V_t [Kč] - náklady na technologickou přípravu výroby,

V_n [Kč] - celkové náklady na výrobu jednoho kusu.

$$V_n = 6093{,}44 + 52650 = 58743{,}44 \text{ Kč}$$

Výsledná cena pro výrobu jednoho kusu byla spočtena dle vztahu (8.5) [18].

$$V_V = V_n \cdot 1.03 \tag{8.5}$$

kde: V_V [Kč] - celkové přímé náklady na výrobu jednoho kusu,

V_n [Kč] - celkové náklady na výrobu jednoho kusu.

$$V_V = 58743{,}44 \cdot 1.03 = 60505{,}74 \text{ Kč}$$

Výsledná cena pro výrobu jednoho kusu je 60505,74 Kč, ale je nutno vzít v úvahu, že se zvětšujícím se množstvím kusů se cena jednoho kusu bude snižovat, jelikož se náklady na technologickou přípravu výroby rozdělí do více kusů. Tento efekt je vidět na grafu bodu zvratu viz kap. 8.4.

Výsledné náklady pro výrobu jedné série čítající 56 kusů byly spočteny dle vztahu (8.6) [18].

$$V_{Sn} = V_{cs} + V_t \tag{8.6}$$

kde: V_{cs} [Kč] - celkové přímé náklady na výrobu jedné série,

V_t [Kč] - náklady na technologickou přípravu výroby,

V_{Sn} [Kč] - výsledné náklady pro výrobu jedné série.

$$V_V = 341232{,}88 + 52650 = 393882{,}88 \text{ Kč}$$

Výsledná cena pro výrobu jedné celé série čítající 56 kusů je spočtena dle vztahu (8.7) [18].

$$V_s = V_{Sn} \cdot 1{,}03 \tag{8.7}$$

kde: V_s [Kč] - cena výroby jedné série,

V_{Sn} [Kč] - náklady na výrobu jedné série.

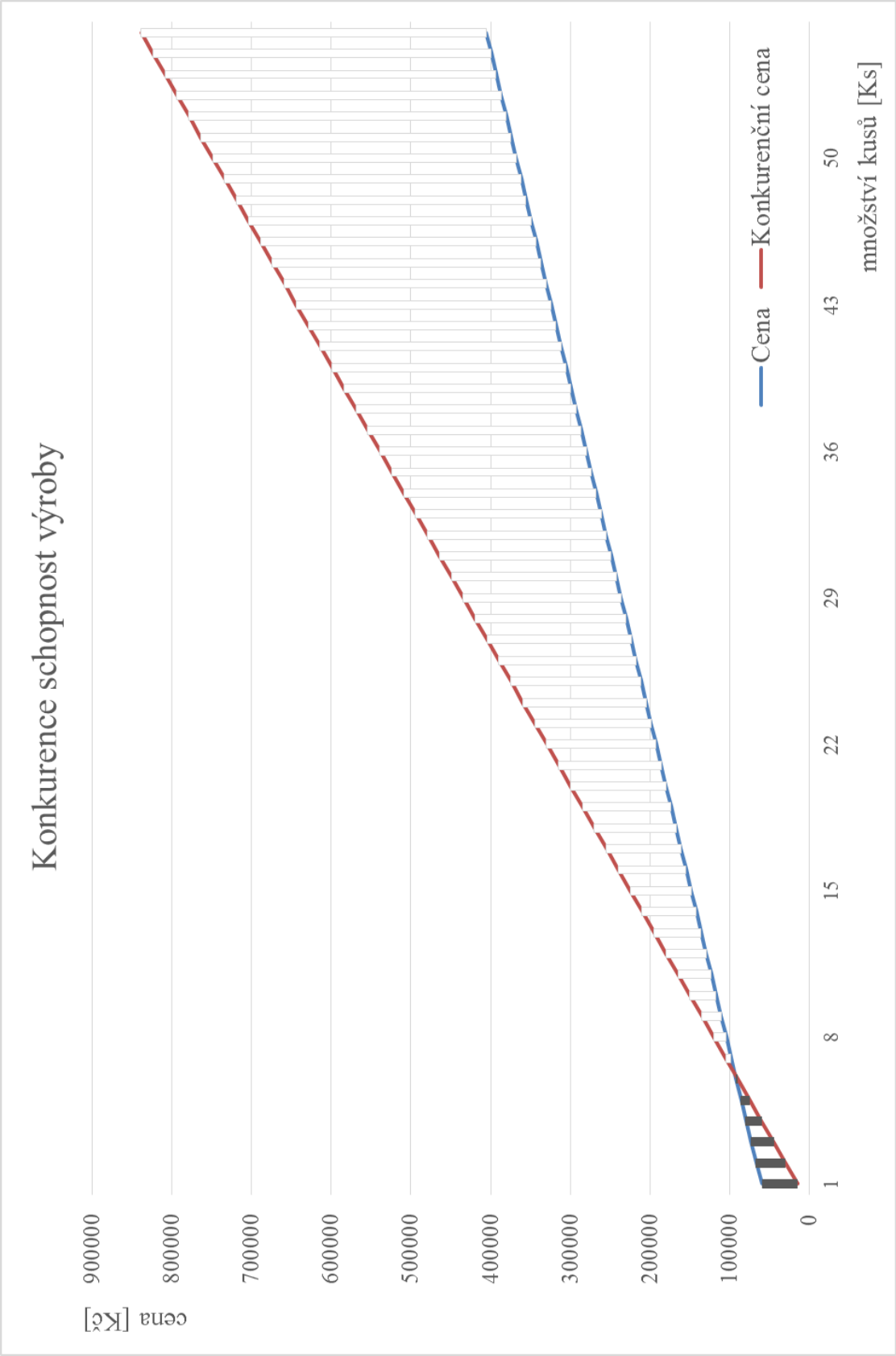
$$V_s = 393882{,}88 \cdot 1{,}03 = 405699{,}37 \text{ Kč}$$

Z výpočtu je vidět, že při výrobě celé série, tedy 56 kusů, je průměrná cena výroby jednoho kusu 7244,6 Kč, v porovnání ceny výroby jednoho kusu 60505,74 Kč je cena výroby 56 kusů výrazně levnější. Z porovnání těchto cen je vidět, že čím větší je série, tím levnější je výroba jednoho kusu.

8.5 Konkurence schopnost výroby

Graf porovnávající cenu výroby spočtenou v kap. 8 a konkurenční ceny nám může říct, kdy se výroba stává konkurence schopnou. Je důležité vědět, že některé náklady jsou závislé na počtu kusů např. náklady na materiál. Dále jsou zde i náklady jako vytvoření dokumentace apod. a tyto náklady jsou stejné jak pro jeden kus, tak pro 56 kusů. Tyto nezávislé náklady se rovnoměrně rozdělí mezi vyráběné kusy. Ale pokud vyrábíme pouze omezené a velmi malé množství kusů, které nejspíš již nikdy vyrábět nebudeme. Pak cena jednoho kusu je tvořena přibližně ze 2/3 náklady na technologickou přípravu výroby a z 1/3 samotnou výrobou. Samozřejmostí je, že se tento poměr bude měnit dle složitosti a velikosti výrobku.

Z obr. 8.1 zobrazující konkurence schopnost výroby je patrné, že výroba menšího počtu kusů než sedmi je neperspektivní, protože konkurenční nabídka výroby je levnější. Avšak při výrobě většího množství kusů, se dostáváme s cenou pod křivku znázorňující konkurenční nabídku, a tudíž se výroba stává perspektivní. Při výrobě sedmi kusů lopatky je cena přibližně stejná jako cena konkurenční, proto je zřejmé, že bod zvratu je při výrobě sedmi kusů.



Obr. 8.1 Graf zobrazující konkurence schopnost součásti „lopatka“.

9 DISKUZE

Navržení technologického postupu a odzkoušení výroby součásti „lopatka“ je z důvodu nadstandardních rozměrů oproti běžným výrobkům v zázemí firmy Kovoobrábění Sobotka problematické. Obtížné části výroby jsou shrnuty v kap. 3 prvotní analýza.

Pro obrobení polotovaru se musí využít pouze strojového vybavení v zázemí firmy. Podobná situace nastává i s volbou nástrojů. Ve většině případů lze využít již zakoupených nástrojů ve firmě Kovoobrábění Sobotka. Z důvodu atypického rozměru rádiusové drážky a ztíženému přístupu k ní, je zapotřebí využít speciální tvarové frézy, která svým tvarem připomíná T frézu viz kap. 6.

Rozměry vyrobeného zkušebního kusu jsou v tolerancích uvedených na výkrese a zároveň odpovídají požadavkům kladeným na výrobek. Výrobou zkušebního kusu se ověřil výrobní postup a metodika výroby součásti. Při výrobě součásti byly zjištěny nekritické nedostatky, které analýzy v CAM programu nedokázaly odhalit. Tyto nedostatky byly následně opraveny v NC programech.

Výsledné náklady a cena výrobku jsou vypočteny a stanoveny v kap. 8. Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 58743,44 Kč. Výroba jedné série je nákladově vyčíslena na 393382,88 Kč, z toho vyplývá následná cena jednoho kusu na 60505,74 Kč a výsledná cena jedné série 405699,37 Kč, průměrná cena jednoho kusu z celé série je 7244,6 Kč.

Při porovnání ceny výroby jednoho kusu a průměrné ceny jednoho kusu z jedné série je patrné, že cenový rozdíl je značný. Při výrobě celé jedné série (56 kusů) je průměrná cena výroby jednoho kusu přibližně 8x levnější než výroba pouze jednoho kusu.

Na obr. 8.1 je znázorněna konkurence schopnost výroby, z grafu lze vyčíst, že čím je větší objem výroby, tím levnější je průměrná cena jednoho výrobku a tím se zlepšuje konkurence schopnost výroby. Z obr. 8.1 je patrné, že při výrobě sedmi součástí „lopatka“ je cena jednoho kusu přibližně stejně vysoká jako u konkurenční společnosti. Při výrobě většího počtu součástí se stává technologie zpracovaná v této práci konkurence schopná.

Výsledná obrobená součást je na obr. 9.1.

Obr. 9.1 Součást „lopatka“.

10 ZÁVĚR

Cílem této práce je vytvoření kompletní technologie pro výrobu součásti do dřevozpracujícího průmyslu, následně vyrobení jednoho prototypu součásti pro ověření technologie a nákladů na výrobu. Vyrobená součást je na obr. 9.1. Vyrobená součást odpovídá jak dokumentaci, tak i nárokům kladeným na součást.

Z dodané 2D dokumentace je vytvořen 3D model, ze kterého je vytvořen model sestavy upnutí v dělicím přístroji. Pomocí 3D modelu součásti je nakreslena kontura speciální tvarové frézy, která je uvedena v příloze 4.

Pro zvýšení přesnosti dokončovacího obrábění, je zvolen systém ustanovení součásti umožňující obrobení všech ploch na jedno upnutí s výjimkou čel součásti. Celková doba obrábění bez manipulace s materiálem je pro jeden kus 349,8 minut. Pro zmenšení nákladů na výrobu je využito především nástrojů a strojů zakoupených ve firmě Kovoobrábění Sobotka. Stroje byly zvoleny s ohledem na vhodnost využití pro danou technologii a postup výroby. Vzhledem k tvaru součásti bylo nezbytné využít CNC frézku s největším pracovním rozsahem v ose Z v zázemí Kovoobrábění Sobotka a následně na dokončovací operace, byla zvolena méně výkonná frézka Hedelius BC40D z důvodu možnosti využití 4 osy (dělicí přístroj).

Velice nákladná část přípravy výroby je speciální tvarová frézka, náklady na tuto frézku jsou velice vysoké a značně se projevují v celkové ceně výroby.

V kap. 1.3 je stanoveno využití materiálu na 30 %, z toho lze usoudit, že je možné snížit náklady pomocí změny polotovaru a to využitím polotovaru ve formě odlitku, což by ale přineslo riziko spojené s vadami odlitku. Dále je možné částečně snížit náklady pomocí zakoupení stroje, který by umožnil přípravu polotovarů, tím by se zmenšily náklady na pořízení polotovarů. Případně lze snížit náklady na výrobu použitím dělícího přístroje na stroji MCV1000, to by umožnilo využít vyšší řezné podmínky a tím zkrátit výrobní časy.

Výsledná cena jedné součásti je 60505,74 Kč, cena jedné série (56 kusů) je 405699,37 Kč. Výrobní postup uvedený v kap. 7.3 je při výrobě jedné série přibližně o 48 % levnější oproti konkurenční nabídce. Porovnání cen je zobrazeno v kap. 8.4 na obr. 8.1.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] SADÍLEK, Marek a Zuzana SADÍLKOVÁ. *Počítačová podpora procesu obrábění*. Vyd. 1. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-TUO, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2770-4.

[2] SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensiceguide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: IndustrialPress, c2008, xx, 540 p. ISBN 08-311-3347-3.

[3] SYNEK, Miloslav. *Podniková ekonomika*. 3. přeprac. a dopl. vyd. Praha: C. H. Beck, 2002, xxv, 479 s. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 80-717-9736-7.

[4] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.

[5] KOCMAN, K., PERNIKÁŘ, J. *Ročníkový projekt II - obrábění*[online]. Studijní opory pro kombinovanou formu bakalářského studia v oboru 23-07-7 Strojírenská technologie. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2002.26 s. [vid. 1. prosince 2013]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf.

[6] Pásové pily na kov - moderní technologie dělení materiálu. *Mmspektrum: Trendy / Obrábění*. 2003, roč. 2003, č. 5, s. 1. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/pasove-pily-na-kov-moderni-technologie-deleni-materialu.html

[7] ZEMČÍK, CSC., Ing.Oskar. *TECHNOLOGICKÉ PROCESY: Část obrábění*. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf. Učební texty kombinovaného bakalářského studia. Vysoké učení Technické Brno.

[8] DelcamFeatureCAM: cadcam software pro frézování, soustružení a drátové řezání. DELCAM BRNO, s.r.o. *Delcam* [online]. [vid. 2014-03-12]. Dostupné z: http://www.delcam.cz/produkty/featurecam/

[9] Frézování-indexování 4. osy. DELCAM BRNO, s.r.o. *Frezovani-5os* [online]. [vid. 2014-03-12]. Dostupné z: http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/indexovani-4.-osy/

[10] Horizontální obráběcí centrum Hedelius BC 40 D. EXAPRO S.R.O. *Exapro s.r.o.* [online]. 2004 [vid. 2014-03-20]. Dostupné z: http://www.exapro.cz/horizontalni-obrabeci-centrum-hedelius-bc-40-d-p21203032/

[11] Hydraulický strojní NC svěrák VNC-160H. VABEX S.R.O. *Shop.strojnisveraky* [online]. 2008 [vid. 2014-03-12]. Dostupné z: http://shop.strojnisveraky.cz/product_info.php?cPath=56&products_id=227

[12] NOVOTNÝ, Josef. Pásové pily. Výrobce Novotný [online]. 2002 [vid. 2014-03-20]. Dostupné z: http://www.novotny.vyrobce.cz/machines/pn_230s.htm

[13] Pilana Metal Saws. *Pilana Metal Saws spol. s.r.o.* [online]. [vid. 2014-03-12]. Dostupné z: http://www.pasova-pila-na-kov.cz/23/vertikalni-pily/47/ Pasova-pila-na-kov-PMS-%206001500-VS

[14] *Strojírenství-Frézování* [online]. 2012 [vid. 2014-03-12]. Dostupné z: http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/

[15] TumliKOVO. *Www.TumliKOVO.cz* [online]. 2010 [vid. 2014-03-23]. Dostupné z: http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/

[16] Upínání nerotačních obrobků – 2. část. TECHNOLOGY-SUPPORT S.R.O. *Technology-support s.r.o., trvalá podpora vašich CNC provozů* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.t-support.cz/t-support/?rubrika=1475

[17] Vertikální obráběcí centra. KOVOSVIT MAS A.S. Kovosvit MAS [online]. 2013 [vid. 2014-03-20]. Dostupné z: http://www.kovosvit.cz/cz/produkty/technologie-frezovani/vertikalni-obrabeci-centra/mcv-1000

[18] Kovoobrábění Sobotka *Interní materiály*. Jihlava, 2014.

[19] PROKEŠ, Tomáš. *Volba strojů (ústní konzultace)*. Jihlava: Jihlavan a.s., [2014-01-22].

[20] SOBOTKA, Jaroslav. *Stanovení zisku (ústní konzultace)*. Jihlava: Kovoobrábění Sobotka, [2014-02-01].

[21] SOBOTKA, Ondřej. *Ekonomické zhodnocení výroby (ústní konzultace)*. Jihlava: Kovoobrábění Sobotka, [2014-03-10].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	dvourozměrný
3D	[-]	trojrozměrný
API	[-]	application Programming Interface
CAD	[-]	computer aided design
CAM	[-]	computer Aided Manufacturing
CNC	[-]	počítačově číslicově řízené
ČSN	[-]	česká technická norma
NC	[-]	číslicové řízení
VBD	[-]	vyměnitelné břitové destičky

Symbol	Jednotka	Popis
t_{av}	[min]	výrobní čas
B	[-]	osa B
G_1	[kg]	hmotnost výrobku
G_2	[kg]	hmotnost polotovaru
P	[Kč]	hodinová sazba
R	[mm]	rádius
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
Um	[-]	ukazatel využití mat
V	[Kč]	náklady výroby jednoho kusu na daném pracovišti
V_c	[Kč]	celkové přímé náklady na výrobu jednoho kusu
V_{cs}	[Kč]	celkové přímé náklady na výrobu jedné série
V_n	[Kč]	celkové náklady na výrobu jednoho kusu
V_{pol}	[Kč]	cena jednoho polotovaru
V_s	[Kč]	náklady na výroby jedné série
V_s	[Kč]	cena výroby jedné série
V_{sn}	[Kč]	výsledné náklady pro výrobu jedné série
V_t	[Kč]	náklady na technologickou přípravu výroby
V_v	[Kč]	celkové přímé náklady na výrobu jednoho kusu
X	[-]	osa x
Y	[-]	osa y
Z	[-]	osa z

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 0.1 Model Součásti „lopatka". 11
Obr. 0.2 Upnutí polotovaru pro frézování čel. 11
Obr. 1.1 Polotovar pro součást „lopatka" 13
Obr. 2.1 Technické parametry Pásové pily PNS 230 Special [12]. 15
Obr. 2.2 Technické parametry frézky MCV1000 [17]. 16
Obr. 2.3 Frézka Hedelius BC40D. 16
Obr. 2.4 Univerzální hrotový soustruh SV18 RA [15]. 17
Obr. 3.1 Zjednodušené blokové schéma CNC stroje [4]. 18
Obr. 3.2 Úvodní obrazovka výběru typu modelu. 19
Obr. 3.3 Tvorba 2D náčrtu v programu Inventor Professional 2014. 20
Obr. 3.4 Tvorba 3D modelu z 2D náčrtu v programu Inventor Professional 2014. 20
Obr. 3.5 Inventor 2014 Professional simulace deformace. 21
Obr. 4.1 Schéma časové a obsahové návaznosti činností technologické přípravy [7]. 22
Obr. 4.2 Pásová pila na kov PMS 600/1500 VS firmy Pilana metal s.r.o. [13]. 23
Obr. 4.3 Process Flow diagram. 24
Obr. 4.4 Schéma vertikální frézky [2]. 25
Obr. 4.5 Schéma horizontální frézky [2]. 26
Obr. 4.6 Hydraulický strojní NC svěrák VNC-160H [11]. 26
Obr. 4.7 Příklad upnutí obrobku více svěráky. 27
Obr. 4.8Dělicí přístroj ve stroji Hedelius BC40D. 28
Obr. 4.9 Sestava upnutí lopatky v dělícím přístroji. 28
Obr. 4.10 3D model přípravku do dělícího přístroje (přední strana). 29
Obr. 4.11 3D model přípravku do dělícího přístroje (zadní strana). 29
Obr. 5.1 3D model přípravku. 30
Obr. 5.2 Uživatelské rozhraní FeatureCam. 31
Obr. 5.3 Příprava polotovaru na pásové pile. 32
Obr. 5.4 Frézování tvaru přípravku. 32
Obr. 6.1 3D model speciální tvarové frézy. 33
Obr. 6.2 Polotovar pro dvě speciální tvarové frézy. 34
Obr. 6.3 Fréza po obrobení. 35
Obr. 6.4 Kompletní speciální tvarová fréza. 35
Obr. 7.1 Hrubování součásti „lopatka“. 36
Obr. 7.2 Obrábění čel. 37
Obr. 7.3 Dráhy nástroje při frézování lopatky pomocí indexování 4 osy. 38
Obr. 7.4. Vada na lopatce - výstupky. 41
Obr. 8.1 Graf zobrazující konkurence schopnost součásti „lopatka“. 46
Obr. 9.1 Součást „lopatka“. 47

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Strojové vybavení firmy Kovoobrábění Sobotka [18]. 14
Tab. 7.1 Výrobní postup pro součást lopatka. 39
Tab. 7.2 Návodka č. 1. 40
Tab. 8.1 Hodinové sazby [21]. 42
Tab. 8.2 Přímé náklady jednotlivých pracovišť. 42

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 2D výkres součásti „lopatka“
Příloha 2 3D model součásti „lopatka“
Příloha 3 3D model sestavy upnutí součásti „lopatka“
Příloha 4 2D výkres kontury speciální tvarové frézy
Příloha 5 3D model speciální tvarové frézy
Příloha 6 Orientační návodky pro výrobu
Příloha 7 CNC programy pro hrubování
Příloha 8 CNC programy pro obrobení čel
Příloha 9 CNC programy pro dokončovací operace
Příloha 10 Zrychlený záznam simulace při frézování s 4 osou
Příloha 11 3D model upínacího přípravku
Příloha 12 2D výkres upínacího přípravku