

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Návrh nové technologie výroby na CNC stroji

Diplomová práce

Vypracovala: Starková Rebeka

Vedoucí práce: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

Rok: 2019



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Starková** Jméno: **Rebeka** Osobní číslo: **438967**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh nové technologie výroby na CNC stroji**

Název diplomové práce anglicky:

**New process plan design for a CNC machine**

Pokyny pro vypracování:

Pro součást aktuálně vyráběnou v reálném provozu navrhnete nový výrobní postup, včetně určení stroje pro výrobu.

- 1) Analýza součástí, požadavků na výrobu a seriovost, analýza kritických míst
- 2) Návrh nového výrobního postupu s využitím možností stroje
- 3) Varianty VP pro různé stroje
- 4) technicko ekonomické zhodnocení variant a návrh pro realizaci

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jan Tomíček, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Jan Tomíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

24.4.2019  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studentky

## **Anotační záznam**

Jméno autora: Rebeka Starková

Název diplomové práce: Návrh nové technologie výroby na CNC stroji

Název diplomové práce v anglickém jazyce: New proces plan design for a CNC machine

Rozsah práce:

70stran

38 obrázků

24 tabulek

Akademický rok 2018/2019

Ústav: 12134 ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Tomíček Jan, Ph. D.

Klíčová slova: obrábění, obráběcí stroje, obráběcí nástroje, optimalizace řezných podmínek, kalkulace, hodinová režijní sazba

Key words: machining , machining machine, machining tools, cutting paramiters, calculation, hourly overhead rate

## **Abstrakt**

V této diplomové práci se zaměřím na návrh nové technologie výroby dílu na CNC strojích pro firmu 2 ES Dexter. Zhodnotím možnosti strojního vybavení firmy, navrhnu několik variant pro výrobu daného dílu. Tyto varianty následně porovnáám jak z technologického hlediska tak i z ekonomického a vyberu nejlepší řešení pro danou firmu.

## **Abstract**

In this thesis I will focus on the design of a new technology of part production on CNC machines for company 2 ES Dexter. I will evaluate the possibilities of the company machines equipment. I will propose several variants for the production of the given part. These variants I will then compare from both the technological and economic point of view and I will choose the best solution for this company.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala sama, a všechny použité zdroje řádně ocitovala na konci práce v seznamu citací.

V Praze dne

Podpis:

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Tomíčku Janu, Ph. D., za vedení mé diplomové práce. Dále patří nemalé poděkování mým rodičům za podporu a firmě 2 ES Dexter za možnost spolupráce.

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Moderní CNC stroje pro frézování a soustružení .....	11
2.1. Frézování.....	11
2.1.1. Přídavné osy obrábění.....	12
2.2. Soustružení .....	13
2.2.1. Koníky.....	14
2.2.2. Poháněné nástroje .....	15
2.2.3. Multifunkční soustružnická centra.....	17
3. Programování CNC strojů.....	17
3.1. Ruční .....	17
3.2. Dílenské.....	17
3.3. CAD/CAM .....	18
3.3.1. Další možnosti CAD/CAM softwarů.....	18
4. Nástroje pro frézování a soustružení.....	19
4.1. Frézovací nástroje .....	19
4.2. Frézy od firmy TGS .....	19
4.3. Soustružnické nástroje.....	20
4.3.1. Značení břitových destiček.....	20
4.3.2. Značení držáků .....	20
4.3.3. Novinky mezi soustružnickými nástroji.....	21
5. Výrobní časy.....	21
5.1. Strojní čas.....	21
5.2. Nevýrobní časy.....	22
6. Kalkulace nákladů .....	22
6.1. Náklady .....	22
6.1.1. Dělení nákladů.....	22
6.2. Metody kalkulací.....	23
7. Stanovení optimálních řezných podmínek .....	25
7.1. Postupný způsob.....	25
7.1.1. Omezení .....	26

7.2.	Komplexní způsob.....	27
8.	Strojní vybavení firmy 2 ES Dexter.....	27
8.1.	Soustruh Doosan puma GT3100L .....	27
8.2.	Soustruh Doosan puma 2100MS .....	28
8.3.	Obráběcí centrum doosan DNM 5700.....	29
8.3.1.	Přídavná 4. Osa a protiložisko .....	30
8.4.	Pila pilous ARG 260 CF-NC automat .....	31
9.	Softwarové vybavení firmy 2 ES Dexter.....	31
10.	Analýza dílu .....	32
10.1.	Množství vyráběných dílů .....	32
10.2.	Materiál na výrobu dílu .....	32
10.3.	Požadované rozměrové a geometrické tolerance .....	33
11.	Výpočet společného hodinového režijního paušálu.....	34
12.	Náklady na jednotlivé nástroje vztahované na jednu trvanlivost bříty.....	35
13.	Náklady na jednotlivé stroje .....	37
14.	Přehled výrobních variant.....	38
15.	stanovení optimálních řezných podmínek.....	38
15.1.	Zarovnání čela PUMA 2100 MS.....	39
15.2.	Dokončení kontury PUMA 2100 MS .....	41
15.3.	Zarovnání čela na stroji PUMA GT 3100L.....	42
15.4.	Dokončení kontury na stroji PUMA GT 3100L .....	44
15.5.	Frézování ploch na stroji PUMA 2100 MS.....	45
15.6.	Dokončení frézovaných ploch na stroji PUMA 2100 MS .....	46
15.7.	Frézování ploch na stroji DNM 5700.....	47
15.8.	Dokončení frézování.....	48
15.9.	Vrtání na stroji PUMA 2100 MS .....	48
15.10.	Vrtání na stroji DNM 5700 .....	50
15.11.	Srážení hran na stroji DNM 5700 .....	51
15.12.	Stanovení řezných podmínek pro upichovací nůž .....	52
15.13.	Stanovení řezných podmínek pro navrtávák .....	52
15.14.	Vypočtené řezné podmínky pro jednotlivé operace a stroje .....	52



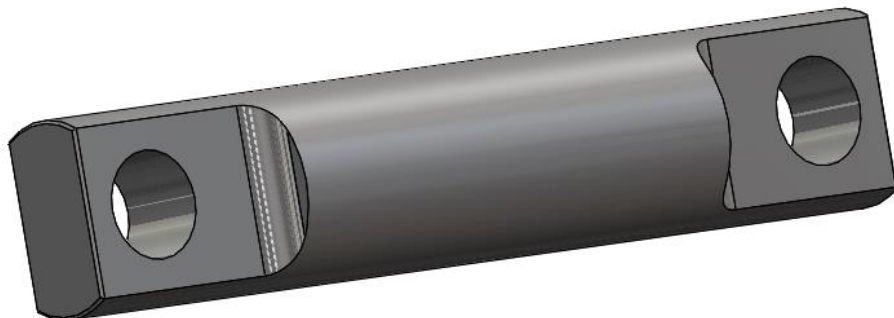
16.	Výrobní varianta 1.....	53
16.1.	technologický postup .....	53
16.2.	kalkulace nákladů .....	58
17.	Výrobní varianta 2.....	60
17.1.	technologický postup .....	60
17.2.	Kalkulace nákladů.....	61
18.	Výrobní varianta 3.....	62
18.1.	Návrh přípravku pro frézování .....	62
18.1.1.	Návrh otočného stolu .....	62
18.1.2.	Návrh přípravku pro upnutí součásti.....	63
18.2.	technologický postup .....	65
18.3.	kalkulace nákladů .....	67
19.	Výrobní varianta 4.....	68
19.1.	technologický postup .....	68
19.2.	kalkulace nákladů .....	69
20.	výrobní varianta 5 .....	69
20.1.	technologický postup .....	70
20.2.	kalkulace nákladů .....	71
21.	Technologicko-ekonomické zhodnocení variant .....	72
21.1.	Ekonomické zhodnocení .....	73
21.2.	Technologické zhodnocení .....	74
21.3.	Výběr nejvhodnější varianty .....	75
22.	Závěr .....	76
23.	Zdroje .....	78
24.	Seznam obrázků .....	81
25.	Seznam tabulek.....	83

## 1. Úvod

Cílem této práce je navrhnout novou technologii výroby zadaného dílu na CNC stroji. Tuto práci jsem psala ve spolupráci s firmou 2 ES Dexter, která tento díl prodává. Tento díl firma v minulosti nechávala vyrábět v kooperaci, ale po nákupu nového strojního vybavení se rozhodla tento díl vyrábět. Objem výroby tohoto dílu bude 1000 kusů za měsíc. Toto množství dílů se bude vyrábět jako jedna dávka pravidelně se opakující každý měsíc.

Vzhledem k tomu, že se jedná o zavedení výroby na nových strojích, jsem se nejdříve zaměřila na technologické vlastnosti nových strojů a poté navrhla pět různých výrobních variant pro výrobu dílů na těchto strojích. Různé varianty se od sebe liší velikostí polotovaru a stroji, na kterých bude daný díl vyráběn. Všechny varianty budou vyráběny z tyče. V případě frézování na frézovacím centru jsem také navrhla přípravky na upnutí a způsob upnutí přípravku ve stroji, tak aby byly co nejkratší vedlejší časy. Následně jsem provedla kalkulaci nákladů na výrobu dílu pro všechny varianty.

Tyto varianty jsem nakonec porovnávala jak z ekonomického tak z technologického hlediska a vybrala nejvhodnější variantu pro výrobu dílu ve firmě 2 ES Dexter.



1 model vyráběného dílu

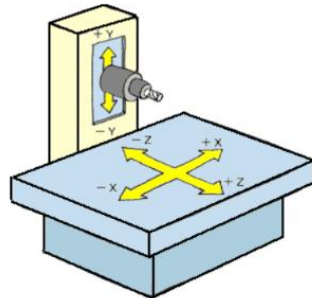
## 2. Moderní CNC stroje pro frézování a soustružení

Při vývoji nových strojů zůstává požadavek na přesnost a produktivitu výroby, schopnost dosahovat dobrých drsností povrchů, vysokou spolehlivost a minimálního dopadu na životní prostředí. Výrobci při konstrukci nových strojů reagují na zvyšující nároky uživatelů v oblasti vysoké produktivity, přesnosti a spolehlivosti u malosériové výroby. Vytváří se tedy multifunkční stroje pro třískové obrábění, anebo kombinace třískového obrábění a aditivních technologií.

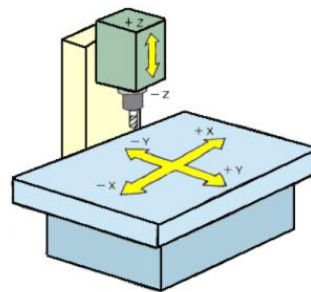
V oblasti produktivity je snaha snižovat hlavní i vedlejší výrobní časy. V případě hlavních časů se nejedná však o zvyšování výkonu, ale dlouhodobě udržitelnosti vysokého výkonu v řezu. Vedlejší časy se zkracují především automatizací a to jak u výměny nástrojů, tak u výměny obrobků. [1]

### 2.1. Frézování

Pro frézování se využívá především frézovacích center, která rozlišujeme na horizontální a vertikální. Další dělení je dle počtu řízených os.

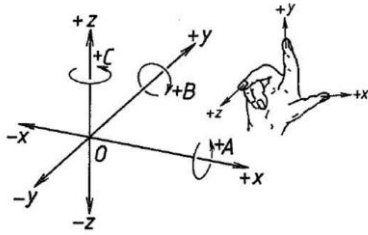


2 tříosá horizontální frézka[2]



3 tříosá vertikální frézka[2]

Obrázek 1 a obrázek 2 ukazují základní tříosé obráběcí stroje, ke kterým se přidávají další řízené osy dle potřeb moderní výroby, viz. Obrázek 3. Další osy stroje mohou být buď součástí stroje u čtyřosých či pětiosých obráběcích center nebo lze sehnat přídavné osy. [2]



3 označení os obráběcích strojů[3]

### 2.1.1. Přídavné osy obrábění

Jsou to přídavná zařízení, kterými se dá nahradit jak 4. řízená osa tak i 4 a 5. řízená osa.



4 pohled na přídavnou 4. řízenou osu [4]



5 pohled na přídavnou 4. a 5. řízenou osu[4]

Na trhu jsou různé typy přídavných os pro obrábění a liší se především ve velikosti, v rychlosti a v síle zpevnění.

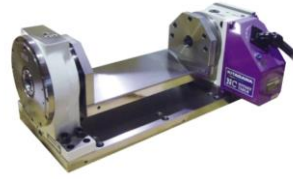
Ve vývoji je snaha zvyšovat síly zpevnění, aby bylo možné zvyšovat řezný moment nástroje a tím i zvyšovat produktivitu.[5]

#### Příslušenství pro čtvrtou osu

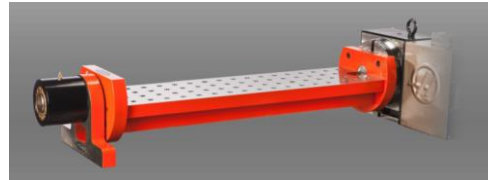
Čtvrtá osa může být vybavena buď sklíčidlem pro upínání rotačních obrobků anebo přípravkem pro připevnění upínek či svěráků pro upnutí nerotačních obrobků. Tyto přípravky mohou být s upnutím obrobku v ose otáčení nebo mimo osu otáčení. Také mohou být určeny k upínání obrobků z jedné, nebo i více stran, což šetří vedlejší časy.



6 sklíčidlo [4]



7 otočný stůl s možností upnutí z jedné strany mimo osu otáčení [4]



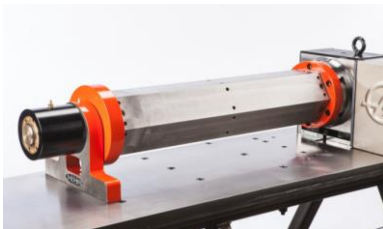
8 otočný stůl s možností upnutí z jedné strany v ose otáčení [22]



9 otočný stůl s možností upnutí ze 2 stran [22]



10 otočný stůl s možností upnutí ze 4 stran [22]



11 otočný stůl s možností upnutí z více stran dle daného mnohoúhelníku [22]

## 2.2. Soustružení

Soustruhy se podobně jako frézovací centra vyrábějí jak horizontální, tak vertikální. Vyrábějí se různé cenové kategorie od nejlevnějších s jednodušší kapotáží, základními osami Z, X a levnějším pohonem až po stroje s dvěma revolverovými hlavami a 4 vřeteny.

V případě, že je soustruh vybaven čtyřmi vřeteny a dvěma revolverovými hlavami tak když probíhá výměna obrobku na horní dvojici vřeten, tak na spodní dvojici vřeten

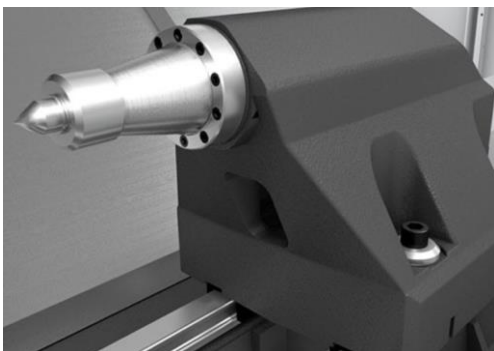
dochází k obrábění dvou výrobků dvěma revolverovými hlavami. Čímž se docílí k překrytí vedlejších a hlavních časů. Využití tento stroj nalezne především ve velkosériové výrobě.

Pro výrobu tvarově náročných dílů jsou soustruhy vybavovány dvěma až třemi revolverovými hlavami a protivřetenem. Revolverové hlavy mají pozice pro poháněné nástroje a často je stroj vybaven přídatnou osou Y, aby bylo možné frézovat a vrtat i mimo osu obrobku.

Dlouhé, velké díly se vyrábí na velkých soustruzích vybavených jednou revolverovou hlavou s obvykle 12 až 15 nástroji. Neopomenutelné vybavení těchto strojů bývá NC řízený koník a opěrná luneta.[6]

### **2.2.1.Koníky**

Je to stojan sloužící k podepření dlouhých obrobků. Pro CNC soustruhy rozlišujeme několik typů, dle možnosti programování a pohybu koníku.



12 koník[7]

#### **Druhy koníků**

##### **Ruční koník**

Koník se polohuje v ose Z ručně. Je vybaven ruční pinolou, tlak se tedy nastavuje manuálně.

### **Ruční koník s hydraulickou pinolou**

I tento typ koníku se pohybuje ručně v ose Z. Je však vybaven hydraulickou pinolou, kterou lze aktivovat prostřednictvím programu nebo ji může ovládat operátor standardním nožním spínačem. Pinola má nastavitelný tlak.

### **Programovatelný hydraulický koník**

Pohyb koníku lze aktivovat prostřednictvím programu. Pinola je hydraulická a opět lze aktivovat prostřednictvím programu i operátorem přes nožní snímač.

Pohyb v ose Z zajišťuje nástrojová hlava, která si v určitém bodě připne koník, odveze ho do požadované polohy a opět ho odepne.

### **Programovatelný koník poháněný servomotorem**

Pohyb koníku lze aktivovat prostřednictvím programu. Koník je poháněn servomotorem.[7]

## **2.2.2.Poháněné nástroje**

Jsou nástroje, díky kterým je možno na soustruhu frézovat a vrtat při zastaveném vřetenu i mimo osu otáčení vřetene. Soustruh musí mít revolverovou hlavu uzpůsobenou pro upnutí poháněných nástrojů.

### **Držáky poháněných nástrojů**

Existuje spousta druhů držáku poháněných nástrojů, liší se způsobem upínání nástroje, převodovým poměrem, maximálními otáčkami nástroje, maximálním povoleném krouticím momentu, počtem nástrojů, které lze upnout a také ve směru obrábění. Nástroji upnutými v poháněném držáku lze vrtat, frézovat a při použití speciálního typu držáku i obrážet.

Každý výrobce strojů používá jiný způsob upínání poháněných nástrojů, tedy i zde platí, že ne všechny držáky poháněných nástrojů lze upnout do všech strojů.



13 radiální provedení držáku řez[10]

## Možnosti dle směru obrábění

Rozlišují se dvě základní varianty a to axiální směr a radiální směr. K těmto variantám existují různé modifikace ať už možnost nastavení úhlu nebo možnost vyosení v ose x nebo y. [8],[9],[10],[18]

### Axiální provedení



14 axiální poháněný držák [8]

### Radiální provedení



15 radiální poháněný držák[9]

### S nastavitelným úhlem



16 poháněný držák s nastavitelným úhlem[9]

## Více nástrojové držáky

Jsou to nástroje, do kterých lze najednou upnout více nástrojů. Existují držáky pro více nástrojů různého typu, například jeden nástroj poháněný a druhý pevný. U radiálního typu držáku také rozlišujeme držák jednostranné a oboustranné.[18]

### výhody

- Upnutí více nástrojů na revolverovou hlavu-možnost výroby složitějšího a obsáhlejšího sortimentu.
- Snižování doby seřizování a výrobních časů.
- Násobné zvýšení produktivity.[18]

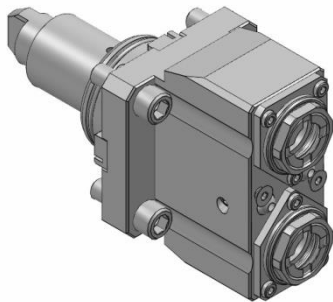
### nevýhody

- Nutnost mít stroj vybaven osou Y. [18]



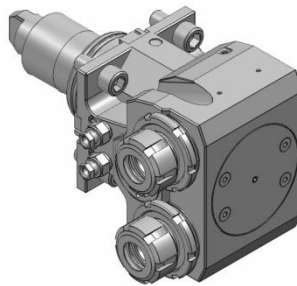
## Jednostranné

### Axiální



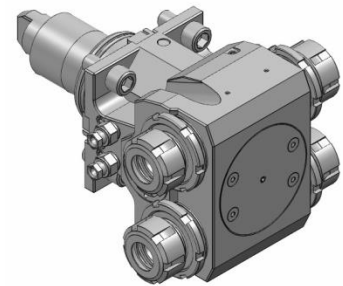
17 axiální vícenástrojový držák [18]

### Radiální



18 radiální jednostranný  
vícenástrojový držák [18]

## Oboustranné



19 radiální vícenástrojový držák  
oboustranný [18]

### 2.2.3. Multifunkční soustružnická centra

Jsou to stroje, kde je obrobek upnut do soustružnického vřetene, které má osu C. stroje jsou vybaveny spodní revolverovou hlavou, plnohodnotným frézovacím vřetenem s pohybem ve třech lineárních osách a naklápěním vřetena v ose B. Obrobek může být buď frézován, nebo soustružen soustružnickým nožem upnutým v zabrzděném frézovacím vřetenu nebo ve spodní revolverové hlavě.[6]

## 3. Programování CNC strojů

CNC stroje můžeme programovat několika způsoby, vždy závisí na zkušenostech programátora a softwarech, které má dispozici. [30]

### 3.1. Ruční

Je nejstarší možnost programování. V tomto případě programátor píše celý program v jazyce stroje krok po kroku.

### 3.2. Dílenské

Je to programování přímo na stroji, kde programátor nepíše celý program řádek po řádku, ale využívá předem nastavených cyklů jako kapsa, díra, vnější kontura a další, kam si specifikuje požadované umístění a rozměry. Programátor tímto způsobem

nedokáže programovat různé typy nájezdů odjezdů a složité tvary. Využívá se převážně u součástí, kde převažuje soustružení nad frézováním.

### **3.3. CAD/CAM**

CAD/CAM je nejuniverzálnější způsob programování. K samotnému programování se využívá speciálních softwarů, kde se nejprve vymodeluje nebo vloží model součásti a poté se tvoří jednotlivé dráhy. Průchodem přes procesor dostaneme CL data, které musíme převést do jazyka stroje, k čemuž slouží postprocesor.

Tímto způsobem se programují složitější tvary, které by byly stěží naprogramovatelné pomocí předchozích dvou metod. Softwary byly původně vyvinuty pro frézování, kde bylo potřeba programovat složité plochy například při výrobě různých forem, nyní jsou už běžně k dostání i softwary pro soustružení. Stále jsou však využívány hlavně ve výrobě, kde převažuje frézování.

Nevýhodou této metody jsou vysoké pořizovací ceny speciálních softwarů. Nutnost pořízení postprocesoru, který musíme koupit ke každému stroji zvlášť. Postprocesory jsou dělány na míru jednotlivým strojům podle jejich strojních možností. [30]

#### **3.3.1. Další možnosti CAD/CAM softwarů**

V těchto softwarech kromě tvoření dráhy můžeme tuto dráhu také vizualizovat, verifikovat a simulovat. Tyto možnosti ověření slouží k předcházení nehod při obrábění a nepřesné výroby.

**Vizualizace** – zobrazení pohybů nástroje. Vizualizace pracuje vždy s CL daty.

**Verifikace** – slouží ke kontrole obrobení daného dílu. Pomocí načtení daných drah zobrazuje model součásti po obrábění.

**Simulace** – využívá buď CL-data nebo přímo NC-kódu, záleží na typu softwaru, ty lepší využívají NC – kód. Zobrazuje pohyb nástroje vůči obrobku a v případě lepší simulace i pohyb nástroje a obrobku vůči stroji. [30]

## **4. Nástroje pro frézování a soustružení**

Vývoj nových výkonnějších nástrojů jde ruku v ruce s vývojem nových výkonnějších strojů a s požadavky na co největší produktivitu výroby a dosažení co nejlepšího povrchu obráběného dílu.

Vyvíjí se nové tvary nástrojů, nástrojové materiály a nástrojové povlaky, tak aby nástroj byl co nejodolnější proti vibracím, aby byla jeho životnost co největší a mohla se zvyšovat produktivita výroby díky co největší odebírané vrstvě materiálu a co největší řezné rychlosti. Dále se vyvíjí speciální nástroje pro obrábění těžko obrobitelných materiálů. Také je kladen velký důraz na spolehlivost nástroje vzhledem k stále se zvyšující automatizaci výroby.[11]

### **4.1. Frézovací nástroje**

Frézy známe monolitní nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami, a ty se dále dělí podle tvaru a typu použití na čelní, válcové, kulové, tvarové a speciální.

### **4.2. Frézy od firmy TGS**

Pro výrobu zadaného dílu budu používat monolitní frézy od firmy TGS.

Firma TGS má svou řadu fréz s názvem UNICUT „unikátní univerzální fréza“ ze slinutého karbidu, kterou vyrábí s menšími úpravami od roku 2007 a pojmenovali po ní i svou nástrojárnu.

Dle firmy TGS se fréza vyznačuje vysokou spolehlivostí, což je nezbytné pro bezobslužné CNC stroje. Této spolehlivosti dosahuje díky tvaru zubové mezery, která je vybrušovaná speciálním tvarovým kotoučem a zajišťuje odvod třísek z místa řezu a tím zabraňuje nebezpečí ulomení břitu. Pro výrobu dílu využiji frézu s označením UNICUT a UNICUT RXL.

UNICUT je univerzální rohová fréza.

UNICUT RXL je univerzální rohová fréza čtyřzubá s rohovým rádiusem. Kterou firma vyrábí i v provedení na přání, tedy zákazník si může zvolit délku ostří a velikost rohového radiusu. [27]

## 4.3. Soustružnické nástroje

### 4.3.1. Značení břitových destiček

#### 1 značení břitových destiček

C N M G 12 04 08 N-GE		1	Tvar destičky		
↑	↑	↑	↑	2	Úhel hřbetu
↑	↑	↑	↑	3	Tolerance
↑	↑	↑	↑	4	Otvor v destičce nebo utvařec třisek
1	2	3	4	5	Délka břitu
↑	↑	↑	↑	6	Tloušťka
↑	↑	↑	↑	7	Rádus
↑	↑	↑	↑	8	Směr posuvu
↑	↑	↑	↑	9	Utvařec třisek

### 4.3.2. Značení držáků

#### 2 značení držáků soustružnických nožů

P C L N R 32 25 P 12		1	Systém upnutí		
↑	↑	↑	↑	2	Tvar destičky
↑	↑	↑	↑	3	Typ držáku
↑	↑	↑	↑	4	Úhej náběhu lůžka VBD
1	2	3	4	5	Směr posuvu
↑	↑	↑	↑	6	Výška stopky
↑	↑	↑	↑	7	Šířka stopky
↑	↑	↑	↑	8	Délka stopky
↑	↑	↑	↑	9	Délka břitu

### 4.3.3. Novinky mezi soustružnickými nástroji

#### Free turn tool

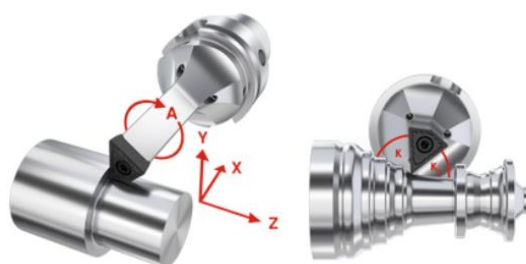
V oblasti soustružení vzniká inovativní metoda „high dynamic turning“ s natáčecími noži tak zvanými „free turn tool“

Tento nový nástroj je upnutý v poháněné stanici a natáčí se podle toho, jaký potřebujeme úhel nastavení břitu, díky čemuž můžeme pomocí jednoho nože dokončovat i hrubovat. Na díl, na který bychom při využití klasických soustružnických nožů potřebovali několik nožů, nám při použití tohoto nástroje stačí jeden. Snížíme tak časy na výměnu nástrojů.

Pro tuto aplikaci však musíme mít na soustruhu možnost využití poháněného nástroje s možností referování polohy. [12]



20 klasické soustružnické nože [12]



21 freeturn tool [12]

## 5. Výrobní časy

Čas využitý pro výrobu dané součásti se skládá z časů, kdy se reálně vyrábí a z časů kdy se výroba připravuje a stroj stojí.

### 5.1. Strojní čas

Jediný čas, který můžeme přesně určit. Je to čas, kdy je stroj v pohybu.

## **5.2. Nevýrobní časy**

Jsou časy spojené s výrobou, při kterých se přímo neobrabí. Časy potřebné k manipulaci s obrobkem, seřizování nástrojů a dalších činností, které jsou nezbytné pro výrobu daného dílu.

### **Dávkový čas**

Je to čas potřebný na přípravu jedné dávky. Připravení pracoviště pro výrobu daného výrobku, seřízení nástrojů a upravení upínání dílu.

### **Směnový čas**

Směnový čas je čas potřebný k přípravě pracoviště na začátku směny a úklidu pracoviště n konci směny.

### **Vedlejší čas**

Čas potřebný k upnutí a vyjmutí dílu. [31]

## **6. Kalkulace nákladů**

Cílem kalkulace nákladů je správné stanovení nákladů na jednotku produktu. Stanovují se náklady na vývoj, výrobu, prodej a další činnosti s výrobou a prodejem výrobku spojené. [24]

### **6.1. Náklady**

Náklady jsou peněžní vyjádření spotřeby práce a kapitálu, nelze je zaměňovat s výdaji. Výdaj je hospodářský úbytek prostředků v penězích. [25]

#### **6.1.1. Dělení nákladů**

Základní členění, která jsou určující v řízení nákladů.

- Členění na přímé a nepřímé náklady
- Členění na variabilní a fixní náklady
- Členění na náklady prvotní a druhotné
- Náklady ztracené příležitosti[24]

### **Přímé a nepřímé náklady**

Toto členění je spojeno s přiřaditelností nákladů ke kalkulační jednici. Přímé náklady lze přímo přiřadit ke kalkulační jednici. Nepřímé náklady jsou náklady, které nelze přímo přiřadit k jedné kalkulační jednici. Kalkulační jednice může být jeden kus výroby, dílčí komponent, informační doklad (zakázka, výrobní dávka,...), činnost, proces, fáze vývoje, balení, distribuce,...[24]

### **Variabilní a fixní náklady**

Variabilní náklady jsou náklady, které se zvýšením objemu výroby zvyšují. Náklady, které se se změnou objemu nemění, se nazývají fixní. [23]

### **Prvotní a druhotné náklady**

Náklady prvotní jsou náklady, které jsou spojeny se spotřebou prvotních zdrojů, tedy zdrojů které přicházejí do útvaru nebo procesu zvenčí podniku. Druhotné náklady jsou spojené se spotřebou výkonů jiných podnikových útvarů nebo procesů.[24]

## **6.2. Metody kalkulací**

### **Metoda ekvivalentních čísel**

Tuto metodu lze použít velmi omezeně. Využití nalezne pouze tam, kde se vyrábí podobné výrobky, například v rámci kalkulace nákladů typových řad výrobku. [24]

### **Přirážková metoda**

V minulosti byla nejvyužívanější kalkulační metodou. Tato metoda spočívá v tom, že náklady, které nelze jednoznačně přiřadit určité jednici, se dle vhodně zvolené základny rozdělí.

Výhodou této metody je její jednoduchost a pochopitelnost. Její využití je však limitováno jejími nedostatky. Tato metoda nedokáže zohlednit směnnost, nerozlišuje mezi fixními a variabilními náklady. Je složité určit rozvrhovou základnu a každá změna v rozvrhové základně vede ke změně kalkulace. [24]

### **Metoda pomocí stanovení hodinové režijní sazby**

Je to statická metoda, sazba je vždy stanovena pro určité pevně dané hodnoty rozpočtových nákladů a plánování využití kapacity pro určité období.

Její předností je respektování časové charakteristiky procesů a činností. Při kalkulování nákladů vychází z času potřebných pro realizaci daného projektu či výroby.

Základním znakem je stanovení hodinové nákladové sazby, která se poté násobí reálným časem potřebným pro daný výkon.

$$HNS = \frac{N[Kč]}{KAP[h]} \quad (1)$$

N Náklady na provoz střediska

KAP Kapacita střediska

Hodinovou režijní sazbu můžeme počítat pro středisko, oddělení, proces, činnost, stroj, pracoviště či pracovníka.[24]



## 7. Stanovení optimálních řezných podmínek

### 7.1. Postupný způsob

#### 1. stanovení optimální trvanlivosti nástroje[13]

Optimální řezné podmínky souvisí s optimální trvanlivostí břitu řezného nástroje

optimální trvanlivost břitu z hlediska minimálních výrobních nákladů

$$T_{optN} = \frac{t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}}{N_{sm}} \cdot k_r \cdot (m - 1) \quad (2)$$

$t_{vn}$  Čas na výměnu nástroje [min]

$N_{vnm}$  Náklady na výměnu nástroje [Kč]

$N_{nT}$  Náklady na provoz nástroje vztahované na jednu trvanlivost břitu [Kč]

$N_{sm}$  Náklady na strojní práci [Kč/min]

$k_r$  Poměr skutečného času, respektive délky obrábění a strojního času, respektive délky automatického chodu

$m$  Empirická konstanta

Optimální trvanlivost břitu z hlediska maximální produktivity

$$T_{optP} = t_{vn} \cdot k_r \cdot (m - 1) \quad (3)$$

#### 2. Stanovení hloubky řezu[13]

Hloubku řezu volíme v případě hrubování největší možnou, pokud je to možné odebereme celý přídavek najednou. S rostoucí hloubkou řezu rostou i řezné síly, budeme muset tedy volit menší posuv. Z toho důvodu je v některých případech vhodné rozdělit přídavek na více vrstev. V případě dokončování se volí hloubka řezu co

nejmenší, tak abychom odebrali nerovnosti vzniklé při hrubování a dosáhli požadované přesnosti a drsnosti.

### 3. Stanovení posuvu [13]

Velikost posuvu se stanoví pro danou hloubku řezu z omezujících podmínek, které nejsou funkcí otáček. Takto vypočtená velikost posuvu je maximálně přípustná hodnota. Jestliže uvažujeme více omezujících podmínek, volíme nejmenší posuv, který nám vyjde.

### 4. Výpočet řezné rychlosti [13]

Řezná rychlost se určí z již určených hodnot trvanlivosti nástroje, hloubky řezu a posuvu pomocí komplexního Taylorova vztahu. Následující Taylorův komplexní vztah se vztahuje k soustružení.

$$v_c = \frac{C_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} \quad (4)$$

$x_v, y_v$  a  $m$  jsou empirické konstanty.

Empirické konstanty se určují experimentálně, nebo se dá jejich přibližná hodnota najít v literatuře.

Nevýhodou postupné metody je nepřesnost a omezení strojů a nástrojů, s kterými výpočet nepočítá. Pokud nám vyjdou příliš vysoké hodnoty, tak je musíme upravit dle výkonosti stroje a již naše hodnoty nejsou neoptimálnější.

#### 7.1.1. Omezení

Nejčastější omezení z hlediska optimalizace je v maximálních otáčkách a v maximálních výkonech stroje. Mezi dalšími omezeními je maximální krouticí moment, maximální řezná síla, také omezení posuvů a otáček v závislosti na lámání třísek a omezení v závislosti na požadované drsnosti a přesnosti obrobené plochy. Méně často se potkáváme s omezením maximálních a minimálních posuvů stroje. [13]

## 7.2. Komplexní způsob

Při komplexní optimalizaci se vychází ze souboru omezujících podmínek. Výpočty tímto způsobem vedou vždy na optimální řešení, ale jejich provedení je náročné a je nutné k výpočtům využít výpočetní techniku. Výpočty je nutné vždy řešit pro konkrétní případ, nelze určit optimální řešení, které by platilo všude.

Pro výpočet optimálních podmínek tímto způsobem existují speciální softwary, ne všechny jsou však ideální. Vstupy pro optimalizační výpočty jsou ekonomického, časového a technického charakteru. Univerzální softwary, kde nejsou vyžadovány ekonomická data, jsou tedy pouze orientační, poskytují doporučené hodnoty, které však nemusí být pro daný podnik nejoptimálnější. [13]

## 8. Strojní vybavení firmy 2 ES Dexter

V této kapitole se zaměřím na stroje, které nově nakoupila firma 2 ES Dexter a které budou využity k výrobě dílu, pro který navrhuji nový výrobní postup.

### 8.1. Soustruh Doosan puma GT3100L



22 pohled na soustruh doosan Puma GT3100L [14]

Stroj Doosan Puma GT3100L je dvouosý horizontální soustruh. Maximální délka soustružení ve sklíčidle je 1275mm a maximální průměr soustružení nad ložem je 481mm, maximální průměr soustružené tyče je 102mm (průměr, který projde vřetenem).

Soustruh je vybaven automatickou nástrojovou hlavou s 10 pozicemi. Pro obrábění dlouhých součástí je ve stroji nainstalovaný koník.

Trvalý výkon motoru vřetene je 22 kW. Na stroji můžeme souvisle měnit otáčky vřetena až do 2800 ot/min, maximální výkon je využitelný od 829 ot/min. [14]

## 8.2. Soustruh Doosan puma 2100MS



23 pohled na soustruh doosan puma 2100 MS [15]



24 grafické znázornění pojezdů soustruhu doosan puma 2100 MS [15]

Soustruh Doosan Puma 2100MS je pětiosý soustruh se sekundárním vřetenem a poháněnými nástroji. Maximální délka soustružení mezi hroty je 520 mm, maximální průměr soustružení je 376 mm a maximální průměr soustružené tyče v hlavním vřetenu je 65 mm a ve vedlejším 49 mm.

Soustruh je vybaven automatickou nástrojovou hlavou s 12 místy v nástrojové hlavě tedy 24 pozicemi vzhledem k možnosti využití jednotlivých míst v obou směrech., pozice 13 až 24 je možné použít s příslušným opačným dvojitým držákem nástrojů. Soustruh není vybaven řízenou osou Y.

Trvalý výkon motoru hlavního vřetene je 11 kW. Otáčky hlavního vřetene jsou souvisle proměnné od 30 do 4500 ot/min. Osa C1 se souvislým úhlovým polohováním má rozlišení 0,001°

Trvalý výkon motoru sekundárního vřetene je 5,5 kW. Otáčky sekundárního vřetene jsou souvisle proměnné od 45 do 4500 ot/min. Osa C2 dokáže indexovat s přesností 0,001°. sekundární vřeteno je také vybavenou vyhazovačem obrobků.[15]

## Poháněné nástroje

Máme k dispozici dva axiální poháněné držáky a tři radiální poháněné držáky.

Výkon motoru poháněných nástrojů je trvale 1,1 kW a krátkodobě (10minut) 5,5 kW. Maximální krouticí moment poháněných nástrojů je trvale 14 Nm a krátkodobě (10 minut) 47 Nm.

### 8.3. Obráběcí centrum doosan DNM 5700



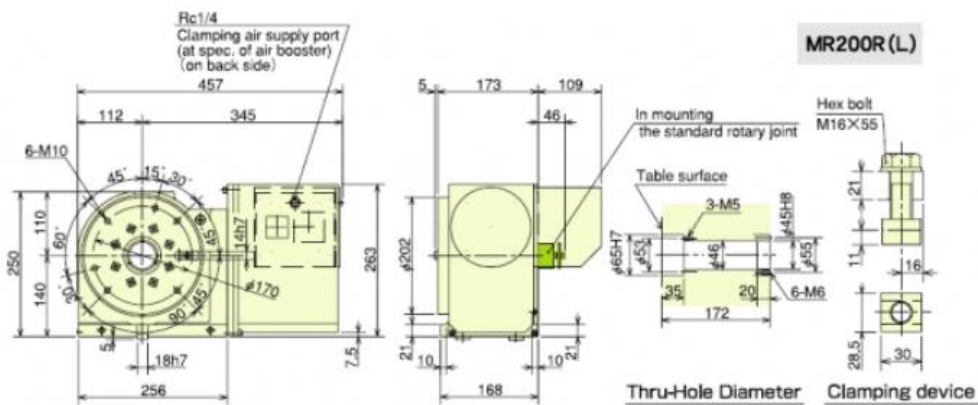
25 Grafické znázornění pojezdů stroje s uvedením rozsahu a celkový pohled na stroj doosan DNM 5700[16]

Obráběcí centrum Doosan DNM 5700 je vertikální obráběcí centrum se třemi řízenými osami. Rozsah posuvů jednotlivých os je v ose X 1050 mm, v ose Y 570 mm a v ose Z 510 mm. Výkon hlavního motoru je stálý 11 kW a krátkodobý (15 minut) 18,5 kW. Maximální otáčky vřetene jsou 8000 ot/min a maximální výkon je k dispozici od 1500 ot/min.

Zásobník nástrojů má kapacitu 30 nástrojů, maximální délka nástroje je 300 mm a maximální hmotnost 8 kg.

Stroj je vybaven přídatnou čtvrtou osou s protiložiskem.

### 8.3.1.Přídavná 4. Osa a protiložisko



26 výkresový pohled přídavné 4. osy [17]



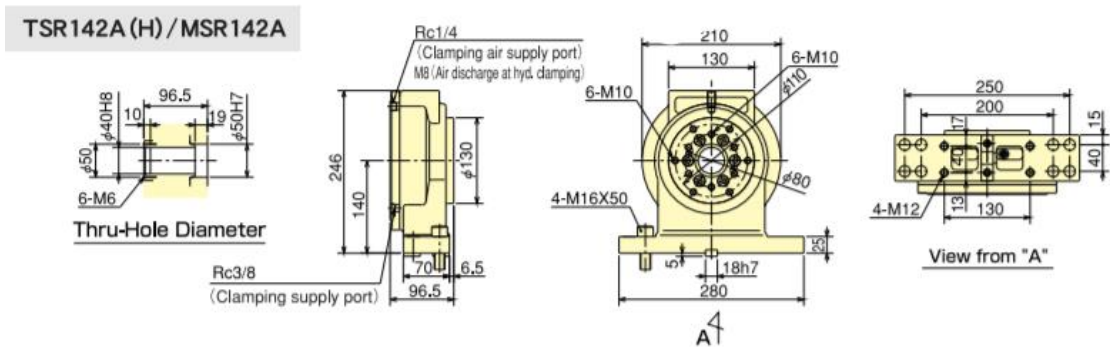
27 přídavná čtvrtá osa [17]



28 protiložisko [26]

Tato 4. osa je plynule říditelné, tudíž se dá využít jako plnohodnotná 4. osa s výškou středu otáčení 140mm, maximálními otáčkami 33,3 m<sup>-1</sup>a zpevňovací momentem 350 Nm.[17]

Také máme k dispozici protiložisko. Rotační stůl, ani přípravek pro upnutí k dispozici zatím žádný není, ten budu muset v další části této diplomové práce navrhnout.



29 výkresová pohled na protiložisko [26]

## 8.4. Pila pilous ARG 260 CF-NC automat



30 pohled na pilu pilous ARG 260 CF-NC automat [21]

Plně automatizovaná pila s možností nastavení rychlosti řezání, která je vybaven posuvem materiálu pomocí průmyslového servomotoru. Maximální délka jednorázového podání je 500 mm a maximální dělený průměr je 260 mm. Koncepce ramene umožňuje velké rozsahy při kolmém řezu i řezání pod úhlem. [21]

## 9. Softwarové vybavení firmy 2 ES Dexter SOLIDWORKS

Solidworks je CAD software, který firma 2 ES využívá společně se softwarem Camworks k tvorbě programů pro výrobu součástí.

### CAMWORKS

Firma 2 ES Dexter k programování svých strojů používá CAD/CAM software CAMWORKS, který je doplňkový modul CAD software Solidworks.

## 10. Analýza dílu

Tento díl se dříve vyráběl v kooperaci a firma 2 ES Dexter ho nakupovala za 62 Kč/kus.

V této ceně je pouze práce, není započítán materiál, kontrola ani doprava.

### 10.1. Množství vyráběných dílů

Tento díl se bude vyrábět v sérii 1000 ks. Tato série se bude opakovat každý měsíc.

Série se bude vyrábět jako jedna dávka.

### 10.2. Materiál na výrobu dílu

Díl se vyrábí z tyčí válcovaných za tepla z oceli 42CrMO4+Qt.

Tato ocel nachází uplatnění pro výrobu strojních součástí s vysokou houževnatostí a vysokými požadavky na pevnost. Kupříkladu hřídele, čepy, nápravy, spojovací tyče, ozubená převodovka, motorový válec a další součástky pro automobilový a letecký průmysl.[20]

Tato ocel se většinou obrábí ve stavu žíhaném na měkko. [19]

+QT v názvu oceli se vztahuje na dodací podmínku kalení (vzduch nebo kapalina).

- **Chemické složení [19]**

#### 3 chemické složení oceli

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,39-0,45%	0,1-0,14%	0,6-0,9%	≤0,025%	≤0,020%	0,9-1,2%	0,15-0,3%	≤0,7%

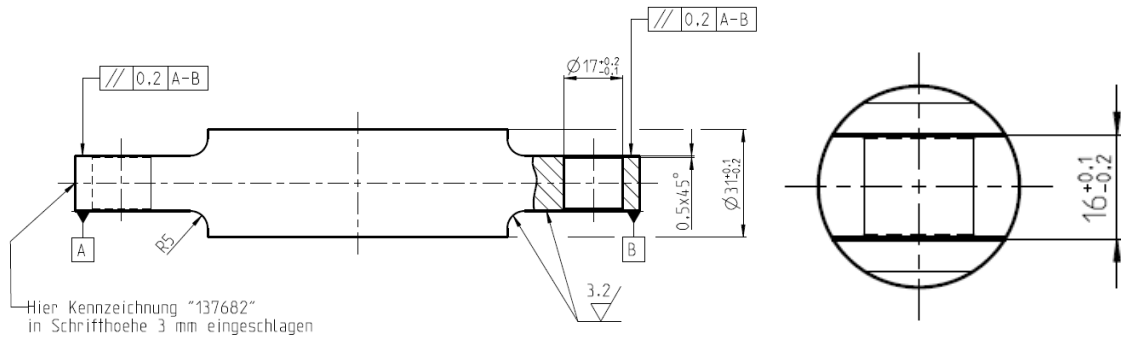
- **Fyzikální vlastnosti [19]**

#### 4 fyzikální vlastnosti oceli

Průměr [mm]	Pevnost v tahu Rp0,2 min [MPa]	Mez pevnosti v tlaku Rm [MPa]	Prodloužení A5 (%)	Pevnost v nárazu Kvmin. (J)
32	750	1200	11	35

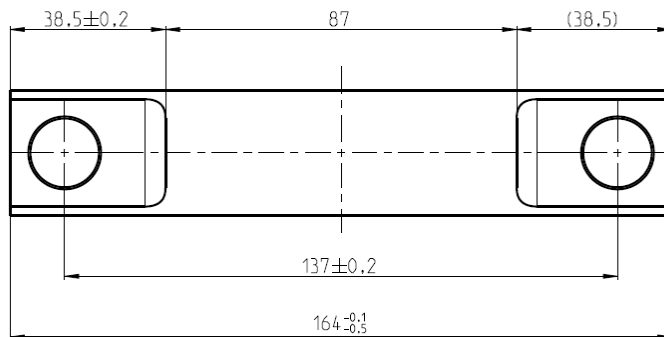


### 10.3. Požadované rozměrové a geometrické tolerance



31 obráběná součást boční pohled

32 obráběná součást čelní pohled



33 obráběná součást vrchní pohled

#### Rozměrové

Viz rozměry na obrázcích 31,32 a 33.

#### Geometrické

- Rovinnost k základnám A a B v tolerančním poli 0,2mm. Viz obrázek 31.

#### Kvalita povrchu

- Požadovaná drsnost na soustružené plochy  $Ra 12 \mu m$
- Požadovaná drsnost na frézované plochy  $Ra 3,6 \mu m$

## 11. Výpočet společného hodinového režijního paušálu

Vzhledem k zaměření firmy na malé série a spíše proměnlivý sortiment výroby jsem zvolila jako nejvhodnější způsob kalkulace, kalkulaci pomocí hodinových režijních paušálů.

Společné hodinové režijní náklady, jsou náklady na provoz výrobního střediska, které nelze jednoznačně přiřadit k danému stroji.

Vzhledem k tomu, že firma nemá ke každému stroji elektroměr, tak náklady na elektrickou energii budu počítat do společných nákladů.

Vypočítají se následujícím způsobem

$$HRS = \frac{N [Kč]}{KAP [h]} \quad (5)$$

### Společné náklady

#### 5 společné náklady

nepřímé	Kč/měs
voda	400
topení (plyn)	4000
elektrická energie	6000
nájem	20000
opravy a údržba	2000
mzdy	5000
likvidace odpadu	0
cena pomocných strojů	400000
odpisy vybavení	2381
pojištění (vše)	30000
chladičí kapalina	1000
mazací kapalina	420
celkem	71201

Stroje jsou ve firmě nové a zakázky jsou teprve v jednání, neznám tedy reálnou kapacitu střediska, pro výpočet budu počítat s ideálním stavem, kdy je plně využit čas směny na každém stroji.

Celková kapacita střediska je 1280 hodin za měsíc. Celkovou kapacitu střediska jsem zjistila tak, že každý stroj má kapacitu 320 hodin za měsíc a ve středisku jsou 4 stroje.

$$HRS = \frac{71201}{1280} = 55,6 \text{ Kč} \quad (6)$$

## 12. Náklady na jednotlivé nástroje vztažené na jednu trvanlivost břitu

Pro výpočet optimálních řezných podmínek budu potřebovat znát náklady na každý použitý nástroj.[13]

**Tyto náklady se vypočítají pomocí následujících vzorců**

Výpočet nákladů pro nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou, kde nedochází k přeastřování.

$$N_{nT} = \frac{c_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{C_{tn}}{z_u} \quad (7)$$

$N_{nT}$	Náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost [Kč]	$s_b$	Součinitel využití břitových destiček
$c_d$	Cena břitové destičky [Kč]	$k_{ut}$	Koeficient údržby tělesa nástroje
$z_d$	Počet břitových destiček na nástroji	$C_{tn}$	Cena tělesa nástroje[Kč]
$z_b$	Počet břitů na destičce	$z_u$	Předpokládaný počet upnutí destičky za dobu životnosti tělesa nástroje

Výpočet nákladů pro celistvý přeastřovaný nástroj.

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zn}}{z_0 + 1} + t_{os} \cdot k_c \cdot \left( \frac{M_{os}}{60} + \frac{HRS}{60} \right) \cdot \frac{z_0}{z_0 + 1} \quad (8)$$

$C_n$  Cena nástroje [Kč]                       $k_c$       Přirážka směnového času  
 $C_{zn}$  Zbytková cena nástroje [Kč]       $M_{os}$       Mzda ostříče [Kč]  
 $z_0$  Počet možných přeastření       $HRS$       Hodinová režijní sazba [Kč/h]  
 $t_{os}$  Čas ostření v minutách [min]

Vzhledem k tomu, že ve firmě 2 ES Dexter není vybavená pro přeastřování nástrojů, ale posílají se na přeastření, tak budu používat pro výpočet nákladů na celistvý přeastřovaný nástroj následující úpravu rovnice

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zn}}{z_0 + 1} + N_0 \quad (9)$$

$N_0$  Náklady na přeastření [Kč]

#### 6 náklady na nástroje

Nástroj	Náklady na nástroj [Kč]
PWLNR	17,7
GNDLR	151,6
UNICUT RXL D15;R5	161,1
Vrták D17	63,3
UNICUT RXL D20;R5	187
UNICUT D20	176
Fréza na srážení hran	160,2
Navrtávák D4	55,1

### 13. Náklady na jednotlivé stroje

Náklady na jednotlivé stroje vypočtu dle následujícího vzorce.[13]

$$N_s = t_{As} \cdot \left[ k_c \left( \frac{M_o}{60} + \frac{HRS}{60} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] = t_{As} \cdot N_{sm} \quad (10)$$

$N_s$	Náklady na strojní práci na operační úsek [Kč]	HRS	Hodinová režijní sazba [Kč/h]
$t_{As}$	Strojní čas [min]	$N_{hs}$	Hodinové náklady na provoz stroje [Kč/h]
$k_c$	Přirážka směnového času	$N_{sm}$	Náklady na strojní práci [Kč/min]
$M_o$	Mzda operátora [Kč]		

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E \quad (11)$$

$O_s$	Odpis stroje [Kč/h]	$C_E$	Cena elektrické energie [Kč]
$k_{us}$	Koeficient oprav a údržby stroje		

$$O_s = \frac{C_s}{Z_s \cdot CFS_{EFPL} \cdot SM \cdot k_{vs}} \quad (12)$$

$C_s$	Cena stroje [Kč]	$SM$	směnnost
$Z_s$	Životnost stroje v rocích	$k_{vs}$	Koeficient časového využití stroje
$CFS_{EFPL}$	Časový fond stroje v hod/rok a směnu		

## 7 náklady na stroje

Stroj	Náklady na stroj [Kč/min]
Pila	1,3
PUMA GT 3100 L	5,1
PUMA 2100 MS	5,6
DNM 5700	5,3

## 14. Přehled výrobních variant

### 8 výrobní varianty

Varianta	Počet strojů	Jednotlivé stroje	Polotovar
1	2	Pila	Tyč D32mm ;L1185mm
		PUMA 2100 MS	
2	2	Pila	D32mm ; L164mm
		PUMA 2100 MS	
3	3	Pila	D32mm ; L164m
		PUMA 2100 MS	
		DNM 5700	
4	3	Pila	D32mm ; L164m
		GT 3100 L	
		DNM 5700	
5	3	Pila	Tyč D32mm ;L1185mm
		GT 3100 L	
		DNM 5700	

## 15. stanovení optimálních řezných podmínek

V této kapitole stanovím optimální řezné podmínky pro operace, které se v jednotlivých variantách opakují. [28],[13]

### 15.1. Zarovnání čela PUMA 2100 MS

Na zarovnání čela byl použit soustružnický nůž s vyměnitelnou břítovou destičkou WNMG 080408 NLU.

#### Stanovení optimální trvanlivosti nástroje

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,7 + 17,7}{5,6} \cdot 4,8 \cdot (2 - 1) = 39 \text{ min} \quad (13)$$

Optimální trvanlivost nástroje je 59 min.

#### Stanovení hloubky řezu

Přídavek na zarovnání čela je 1mm. Tento přídavek odeberu najednou.

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

#### Stanovení posuvu

Posuv vypočítám z omezujících podmínek, které nejsou závislé na rychlosti obrábění.

Omezení z hlediska krouticího momentu  $M_{kmax}$ .

Stroj Puma 2100 MS má maximální krouticí moment 186Nm Obrábím součást o

průměru 32mm.

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2} \quad (14)$$

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 186}{0,032} = 11625 \text{ N} \quad (15)$$

Vzhledem k tomu, že s nárůstem opotřebení nástroje roste síla obrábění, tak dále budu počítat z 80% této síly.

Empirické konstanty se pro přesné výpočty zjišťují experimentálně. Já bohužel neměla možnost tyto experimenty provést. Pro své výpočty použiji hodnoty konstant uváděné v literatuře s vědomím, že do výpočtu tímto vkládám nepřesnost.

(16)

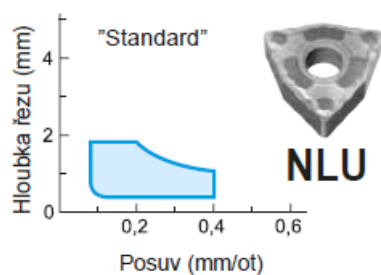
$$80\%F_c = 9300 \text{ N}$$

$$F_c = C_{fc} \cdot a_p^{x_{fc}} \cdot f^{y_{fc}} \quad (17)$$

$$f \leq \left( \frac{9300}{2030 \cdot 1^1} \right)^{1,28} = 7 \text{ mm/ot} \quad (18)$$

Omezení z hlediska utváření třísky

Pro destičku WNMG 080408 NLU jsem našla omezení z hlediska tvorby třísky následující.



34 graf omezení z hlediska tvorby třísek [29]

Maximální posuv je  $f_{umax} = 0,4 \text{ mm/ot}$



### Omezení posuvu z hlediska drsnosti

$$f \leq \left( \frac{Ra \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{0,5} = \left( \frac{12,5 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{0,5} = 0,554 \text{ mm/ot} \quad (19)$$

Nejmenší posuv z vypočtených je  $f=0,4$  mm/ot.

### Výpočet řezné rychlosti

Řeznou rychlost vypočtu z Taylorova komplexního vztahu pro soustružení. Hodnoty empirických konstant jsou přibližné, které jsem zjistila v literatuře.

$$v_c = \frac{c_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} = \frac{1250}{1^{0,18} \cdot 0,4^{0,1} \cdot 392^{\frac{1}{2}}} = 219 \text{ m/min} \quad (20)$$

Řeznou rychlost volím 219 m/min.

## 15.2. Dokončení kontury PUMA 2100 MS

Pro dokončení kontury byl využit stejný soustružnický nástroj jako pro zarovnání čela.

### Stanovení optimální trvanlivosti

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,7 + 17,7}{5,6} \cdot 7,4 \cdot (2 - 1) = 60 \text{ min} \quad (21)$$

### Stanovení hloubky řezu

Přídavek na obrábění je v tomto případě 0,5 mm, tento přídavek odeberu na jednou.

$$a_p = 0,5 \text{ mm}$$

### Stanovení velikosti posuvu

Omezení maximálním krouticím momentem. Využíváme stejný stroj jako při předchozí operaci, ale soustružíme na menším průměru a to 31 mm.

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 186}{0,031} = 12000 \text{ N} \quad (22)$$

$$80\%F_c = 9600 \text{ N} \quad (23)$$

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot a_p^{x_{fc}}} \right)^{y_{fc}^{-1}} = \left( \frac{9600}{2030 \cdot 1^1} \right)^{1,28} = 17,8 \text{ mm/ot} \quad (24)$$

Vzhledem k využití stejné vyměnitelné břitové destičky omezení z hlediska utváření třísek je stejné, jako při výpočtu řezných podmínek pro soustružení čela.

Tedy  $f_{\max} = 0,4 \text{ mm/ot}$

Omezení z hlediska drsnosti

$$f \leq \left( \frac{Ra \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{0,5} = \left( \frac{12,5 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{0,5} = 0,5 \text{ mm/ot} \quad (25)$$

Volím tedy posuv dle utváření třísky  $f = 0,4 \text{ mm/ot}$ .

**Výpočet řezné rychlosti**

$$v_c = \frac{c_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} = \frac{1250}{0,5^{0,18} \cdot 0,4^{0,1} \cdot 60^{\frac{1}{2}}} = 234 \text{ m/min} \quad (26)$$

Volím řeznou rychlost  $234 \text{ m/min}$ .

### 15.3. Zarovnání čela na stroji PUMA GT 3100L

Stanovení trvanlivosti nástroje

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 4,9 + 17,7}{5,1} \cdot 4,8 \cdot (2 - 1) = 40 \text{ min} \quad (27)$$

### Stanovení hloubky řezu

Při stanovení hloubky řezu opět vycházím z velikosti přídavku. Velikost přídavku je 1 mm a ten odeberu najednou.

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

### Stanovení velikosti posuvu

Omezení z hlediska maximálního krouticího momentu stroje.

Stroj PUMA GT 3100 L má maximální dovolený krouticí moment  $M_{kmax}=1190 \text{ Nm}$

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 1190}{0,031} = 74375 \text{ N} \quad (28)$$

$$80\%F_c = 59500 \text{ N} \quad (29)$$

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot a_p^{x_{fc}}} \right)^{y_{fc}^{-1}} = \left( \frac{59500}{2030 \cdot 1^1} \right)^{1,28} = 76 \text{ mm/ot} \quad (30)$$

Omezení z hlediska vybraného nástroje

Nástroj je stejný jak v předchozích případech, maximální posuv pro vhodné utváření třísek je 0,4 mm/ot

Omezení z hlediska požadované drsnosti je stejné jak v předchozím případě  $f=0,5 \text{ mm/ot}$

Volím opět posuv 0,4 mm/ot.

### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} = \frac{1250}{1^{0,18} \cdot 0,4^{0,1} \cdot 40^{\frac{1}{2}}} = 217 \text{ m/min} \quad (31)$$

Vzhledem k tomu, že stroj má relativně nízké maximální otáčky a to 2800 ot/min, tak provedu kontrolu otáček stroje při této řezné rychlosti.

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} = \frac{217 \cdot 10^3}{\pi \cdot 32} = 2159 \text{ ot/min} \quad (32)$$

Tuto rychlost mohu nechat.

#### **15.4. Dokončení kontury na stroji PUMA GT 3100L**

**Stanovení optimální trvanlivosti**

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 4,9 + 17,7}{5,1} \cdot 7,4 \cdot (2 - 1) = 61 \text{ min} \quad (33)$$

**Stanovení hloubky řezu**

Hloubku řezu volím podle přídavku na dokončení, který je 0,5 mm.

**Stanovení posuvu z maximálního povoleného krouticího momentu stroje**

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot a_p^{x_{fc}}} \right)^{y_{fc}^{-1}} = \left( \frac{59500}{2030 \cdot 0,5^1} \right)^{1,28} = 192 \text{ mm/ot} \quad (34)$$

Omezení z hlediska utváření třísek je stejné jak v předchozím případě  $f=0,4$  mm/ot.

Omezení z hlediska drsnosti je opět stejné vzhledem k výrobě stejné součásti, tudíž stejné požadované drsnosti.

$f=0,5$  mm/ot.

Volím nejmenší tedy  $f=0,4$  mm/ot.

### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T_m^{\frac{1}{m}}} = \frac{1250}{0,5^{0,18} \cdot 0,4^{0,1} \cdot 61^{\frac{1}{2}}} = 232 \text{ mm/min} \quad (35)$$

Otáčky stroje při této řezné rychlosti

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} = \frac{232 \cdot 10^3}{\pi \cdot 31} = 2383 \text{ ot/min} \quad (36)$$

Vzhledem k tomu, že maximální otáčky stroje jsou 2800 ot/min, rychlost mohu nechat.

## 15.5. Frézování ploch na stroji PUMA 2100 MS

Pro frézování na tomto stroji bude využit nástroj od firmy TGS. Fréza UniCut RXL

Pro náš případ budeme objednávat frézu s průměrem D16 s rohovým rádiusem R5 a délkou ostří 40mm.

### Stanovení optimální trvanlivosti nástroje

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,7 + 161}{5,6} \cdot 1,1 \cdot (3 - 1) = 76 \text{ min} \quad (37)$$

### Stanovení hloubky řezu

Hloubku řezu jsem stanovila na 5,6 mm a šířka řezu bude 7 mm.

### Stanovení posuvu

Z omezení maximálním krouticím momentem stroje.  $M_{kmax} = 14 \text{ Nm}$

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 14}{0,016} = 1750 \text{ N} \quad (38)$$

$$80\%F_c = 1400 \text{ N} \quad (39)$$

$$F_c = C_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3} \cdot f_z^{x_4} \quad (40)$$

$$f_z = \left( \frac{F_c}{c_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3}} \right)^{\frac{1}{x_4}} = \left( \frac{1400}{806 \cdot 16^{-1,14} \cdot 4 \cdot 71,1 \cdot 5,6^{0,95}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 0,16 \text{ mm/z} \quad (41)$$

#### Stanovení řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v \cdot D^{x_d}}{T_m^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_p} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{x_z}} = \frac{145 \cdot 16^{0,44}}{76^{0,37} \cdot 7^{0,24} \cdot 5,6^{0,1} \cdot 0,16^{0,26} \cdot 4^{0,13}} = 69 \text{ m/min} \quad (42)$$

### 15.6. Dokončení frézovaných ploch na stroji PUMA 2100 MS

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,7 + 161}{5,6} \cdot 1,8 \cdot (3 - 1) = 123 \text{ min} \quad (43)$$

#### Stanovení hloubky řezu

Tato operace je operace dokončovací, a přídavek je 0,5 mm, po celé délce 38,5 mm. Šířka odřezávané vrstvy je tedy 0,5 mm a hloubka řezu je 38,5 mm.

#### Stanovení posuvu

$$f_z = \left( \frac{F_c}{c_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3}} \right)^{\frac{1}{x_4}} = \left( \frac{1400}{806 \cdot 16^{-1,14} \cdot 4 \cdot 0,5^{1,1} \cdot 18,5^{0,95}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 0,6 \text{ mm/z} \quad (44)$$

Tento posuv je posuv vypočtený z možností stroje, ale nehodí se na dokončovací operaci. Volím tedy posuv  $f=0,1 \text{ mm/z}$

#### Stanovení řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v \cdot D^{x_d}}{T_m^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_p} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{x_z}} = \frac{145 \cdot 16^{0,44}}{76^{0,37} \cdot 0,5^{0,24} \cdot 38,5^{0,1} \cdot 0,1^{0,26} \cdot 4^{0,13}} = 116 \text{ m/min} \quad (45)$$

## 15.7. Frézování ploch na stroji DNM 5700

Frézování stopkovou frézou D20.

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,1 + 176,4}{5,2} \cdot 1,2 \cdot (3 - 1) = 95 \text{ min} \quad (46)$$

### Stanovení hloubky řezu

Hloubku řezu jsem stanovila na 5,6 mm a šířka řezu bude 7 mm.

### Stanovení posuvu

Z omezení maximálním krouticím momentem stroje.  $M_{kmax}=100 \text{ Nm}$

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 100}{0,016} = 10000 \text{ N} \quad (47)$$

$$80\%F_c = 8000 \text{ N} \quad (48)$$

$$F_c = C_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3} \cdot f_z^{x_4} \quad (49)$$

$$f_z = \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3}} \right)^{\frac{1}{x_4}} = \left( \frac{8000}{806 \cdot 16^{-1,14} \cdot 4 \cdot 7^{1,1} \cdot 5,6^{0,95}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 1,981 \text{ mm/z} \quad (50)$$

Z hlediska omezení stroje je posuv 1,981 mm/z vyhovující, ale tento posuv není vyhovující pro nástroj. Optimální posuv pro tento nástroj je dle výrobce 0,16 mm/z, budu tedy volit posuv  $f=0,16 \text{ mm/z}$ .

### Výpočet rezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v \cdot D^{x_d}}{T^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_p} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{x_z}} = \frac{145 \cdot 16^{0,44}}{95^{0,37} \cdot 7^{0,24} \cdot 5,6^{0,1} \cdot 0,16^{0,26} \cdot 4^{0,13}} = 101 \text{ m/min} \quad (51)$$

## 15.8. Dokončení frézování

Nástroj UniCut RXL o průměru D20, rádiusu R5 a délce ostří 40 mm.

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,1 + 186,9}{5,2} \cdot 1,2 \cdot (3 - 1) = 100 \text{ min} \quad (52)$$

### Stanovení hloubky řezu

Hloubka řezu bude 5,6 mm a šířka odřezávané vrstvy 0,5 mm.

### Stanovení posuvu

$$f_z = \left( \frac{F_c}{c_{fc} \cdot D^{x_1} \cdot z \cdot a_e^{x_2} \cdot a_p^{x_3}} \right)^{\frac{1}{x_4}} = \left( \frac{8000}{806 \cdot 16^{-1,14} \cdot 4 \cdot 0,5^{1,1} \cdot 38,5^{0,95}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 7,5 \text{ mm/z} \quad (53)$$

Tento posuv se pro dokončování, ani práci s daným nástrojem nehodí, proto volím posuv  $f=0,1$  mm/z.

### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_v \cdot D^{x_d}}{T_m^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_p} \cdot f_z^{y_v} \cdot z^{x_z}} = \frac{145 \cdot 16^{0,44}}{95^{0,37} \cdot 70^{0,24} \cdot 0,5^{0,1} \cdot 38,5^{0,26} \cdot 4^{0,13}} = 223 \text{ m/min} \quad (54)$$

Tato řezná rychlost se neshoduje s doporučenou řeznou rychlostí pro daný nástroj a materiál, volím tedy  $f=120$  m/min, dle doporučených hodnot.

## 15.9. Vrtání na stroji PUMA 2100 MS

### Stanovení optimální trvanlivosti

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,7 + 63}{5,6} \cdot 9,6 \cdot (3 - 1) = 314 \text{ min} \quad (55)$$



### Z omezujících podmínky maximálního kroučícího momentu stroje

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 14}{0,017} = 1647 \text{ N} \quad (56)$$

$$80\%F_c = 1317 \text{ N} \quad (57)$$

$$F_c = C_{fc} \cdot D^{x_{fc}} \cdot f^{y_{fc}} \quad (58)$$

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot D^{x_{fc}}} \right)^{\frac{1}{y_{fc}}} = \left( \frac{1317}{932 \cdot 17^{0,9}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 0,1 \text{ mm/ot} \quad (59)$$

### Z omezujících podmínek daných nástrojem

$$M_{\text{řez}} \leq M_{\text{kri}} \quad (60)$$

$$C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{fc}} \leq \frac{0,01108 \cdot D^3 \cdot R_m \cdot \varepsilon_\omega}{K} \quad (61)$$

$$f \leq \left( \frac{0,01108 \cdot D^{(3-x_M)} \cdot R_m \cdot \varepsilon_\omega}{C_M \cdot K} \right)^{\frac{1}{y_{fc}}} \leq \left( \frac{0,01108 \cdot 18^{(3-1,9)} \cdot 1200 \cdot 1,83}{233 \cdot 3} \right)^{\frac{1}{0,8}} \leq 0,7 \text{ mm/ot} \quad (62)$$

Namáhání na vzpěr

$$F_f \leq \frac{F_{f \text{ KRIT}} \cdot \varepsilon}{K} \quad (63)$$

$$C_{Ff} \cdot D^{x_f} \cdot f^{y_{fc}} \leq \frac{44668 \cdot D^4 \cdot \xi}{K \cdot l_{red}^2} \quad (64)$$

$$f \leq \left( \frac{4468 \cdot D^{(4-x_{Ff})} \cdot \xi}{K \cdot l_{red}^2 \cdot C_{Ff}} \right)^{\frac{1}{y_{Ff}}} \leq \left( \frac{4468 \cdot 17^{(4-1)} \cdot 2,07}{3 \cdot 100^2 \cdot 605} \right)^{\frac{1}{0,8}} \leq \frac{3,14 \text{ mm}}{\text{ot}} \quad (65)$$

Z těchto posuvů vyberu ten nejmenší tedy  $f=0,1 \text{ mm/ot}$ .

#### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_{vc} \cdot D^{x_{vc}}}{T_m^{\frac{1}{m}} \cdot f^{y_{vc}}} = \frac{5,74 \cdot 17^{0,25}}{314,5^{0,125} \cdot 0,1^{0,4}} = 17,1 \text{ m/min} \quad (66)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 17,1}{\pi \cdot 17} = 320 \text{ ot/min} \quad (67)$$

### 15.10. Vrtání na stroji DNM 5700

#### Stanovení optimální trvanlivosti

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,1 + 63}{5,2} \cdot 0,3 \cdot (3 - 1) = 10 \text{ min} \quad (68)$$

#### Stanovení velikosti posuvu

#### Z podmínek krouticího momentu stroje

$$F_c = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 100}{0,017} = 11765 \text{ N} \quad (69)$$

$$80\%F_c = 9411 \text{ N} \quad (70)$$

$$f \leq \left( \frac{F_c}{C_{fc} \cdot D^{x_{fc}}} \right)^{\frac{1}{y_{fc}}} = \left( \frac{9411}{932 \cdot 17^{0,9}} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 0,7 \text{ mm/ot} \quad (71)$$

Ostatní podmínky se vztahují na nástroj, použiju stejný nástroj na obou strojích, tedy ty jsou stejné jako na stroji PUMA 2100 MS.

Nejmenší posuv mi vyšel 0,7 mm/ot., tato hodnota posuvu se neshoduje s doporučoványými hodnotami pro vrtání, proto volím 0,25 mm/ot.

#### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{c_{vc} \cdot D^{x_{vc}}}{T_m^{\frac{1}{m}} \cdot f^{y_{vc}}} = \frac{5,74 \cdot 17^{0,25}}{10^{0,125} \cdot 0,25^{0,4}} = 15,2 \text{ m/min} \quad (72)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15,2}{\pi \cdot 17} = 283 \text{ ot/min} \quad (73)$$

#### 15.11. Srážení hran na stroji DNM 5700

$$T_{optN} = \frac{5 \cdot 5,1 + 160}{5,2} \cdot 1,2 \cdot (3 - 1) = 87 \text{ min} \quad (74)$$

#### Stanovení hloubky řezu

V tomto případě se jedná o srážení za účelem začištění hran, tedy minimální. Hloubku řezu volím  $a_p=0,5$  mm.

#### Stanovení posuvu

Posuv stanovím dle doporučené hodnoty z katalogu na 0,07 mm/z.

#### Stanovení rychlosti

rychlost pro tento nástroj také stanovím dle doporučených hodnot z katalogu  $v_c=75$  m/min.

Při výpočtu optimálních hodnot mi vycházely mnohem vyšší hodnoty než katalogové proto jsem zvolila katalogové hodnoty.

### 15.12. Stanovení řezných podmínek pro upichovací nůž

Pro tento nůž jsem zvolila řezné podmínky dle vyzkoušených podmínek z praxe.

Posuv  $f=0,1$  mm/ot a řezná rychlost  $v_c=100$  m/min. [28]

### 15.13. Stanovení řezných podmínek pro navrtávák

Řezné rychlosti pro navrtávák jsem použila z tabulkových hodnot.

### 15.14. Vypočtené řezné podmínky pro jednotlivé operace a stroje

9 řezné podmínky

Operace	Stroj	T [min]	$A_p$ [mm]	$f$ [mm/ot;mm/z]*	$v_c$ [m/min]
Zarovnání čela	PUMA 2100 MS	39	1	0,4	219
Soustružení kontury	PUMA 2100 MS	60	0,5	0,4	234
Zarovnání čela	PUMA GT 3100L	40	1	0,4	217
Soustružení kontury	PUMA GT 3100L	61	1	0,4	232
Upichování	PUMA GT 3100L			0,1	100
Upichování	PUMA 2100 MS			0,1	100
Frézování ploch	PUMA 2100 MS	76	5,6	0,16	69
Dokončení frézování	PUMA 2100 MS	123	38,5	0,1	116
Frézování ploch	DNM 5700	95	38,5	0,16	101
Dokončení frézování	DNM 5700	100	38,5	0,1	120
Navrtání	PUMA 2100 MS			0,07	26
Vrtání	PUMA 2100 MS	314		0,1	17,1
Navrtání	DNM 5700			0,07	26
Vrtání	DNM 5700	10,3		0,25	283
Sražení hran	DNM 5700	87	0,5	0,07	75

\*mm/ot pro operace soustružení a mm/z pro operace frézování.

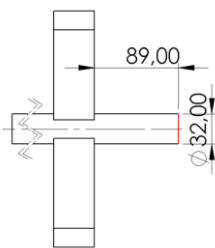
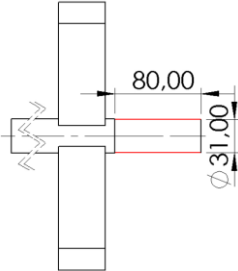
## 16. Výrobní varianta 1

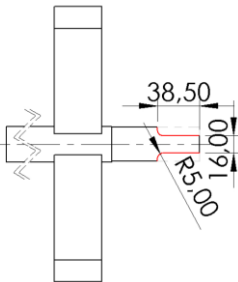
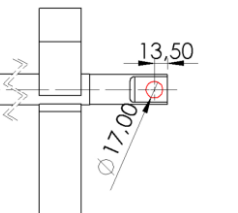
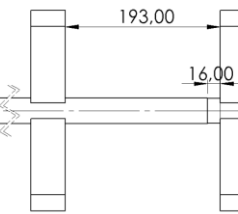
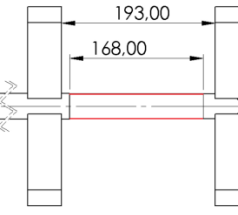
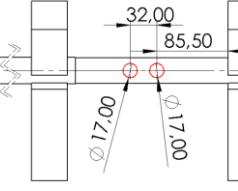
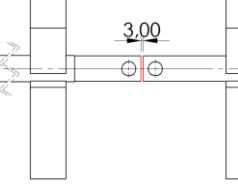
Jako polotovar jsem zvolila tyč dlouhou 1185 mm o průměru 32 mm. Je to nestandardní rozměr, ale je zvolen s ohledem na to, aby po dokončení posledního dílu v soustruhu PUMA MS 2100 mi nic nezbylo. Tento polotovar budu řezat z tyčí dlouhých 6 m, zbyde mi tedy 100 mm

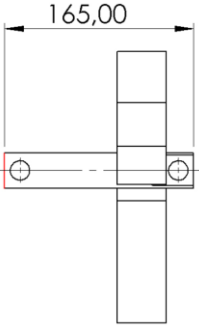
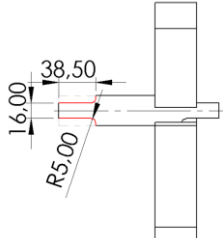
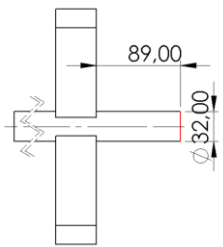
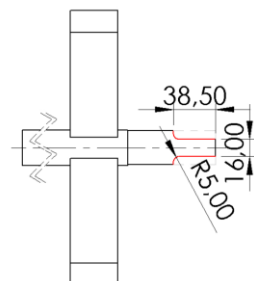
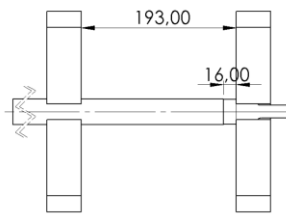
U této varianty vyrábíme díl z tyče dlouhé 1185 mm o průměru 32 mm, z jedné tyče vyrobíme celkem 7 dílu. V technologickém postupu popíšu výrobu prvních dvou, postup druhé součásti se bude opakovat a změna bude zas u posledního dílu, který také popíši.

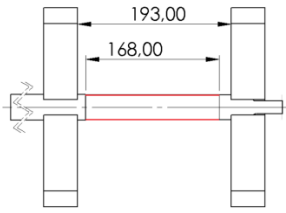
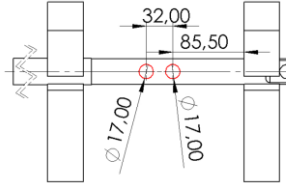
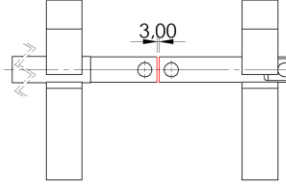
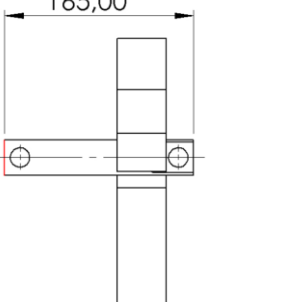
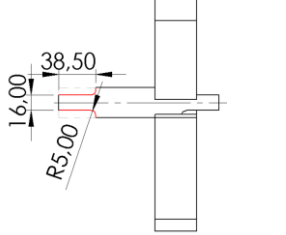
### 16.1. technologický postup

#### 10 technologický postup 1

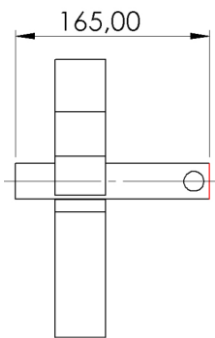
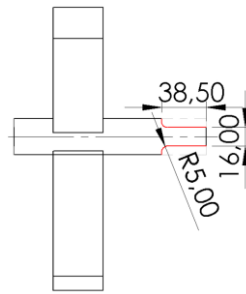
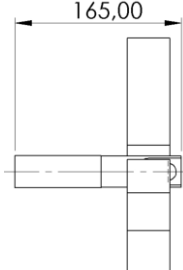
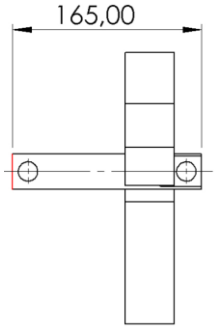
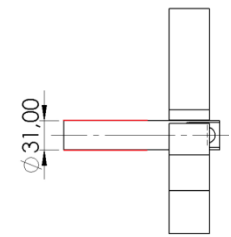
	operace	vřeteno	obrázek	stroj	nástroj	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/ ot]	$v_c$ [m/ min]
1	Zarovnání čela	hlavní		MS2100	PWLNR	1	0,4	219
2	Soustružení kontury	hlavní		MS2100	PWLNR	0,5	0,4	234

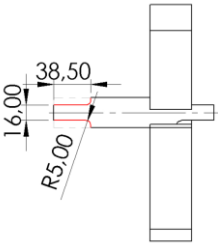
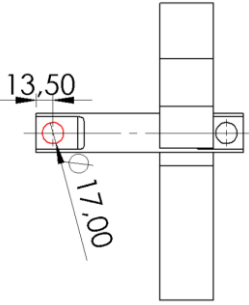
3	Frézování ploch	hlavní		MS2100	UniCut RXL D16;R5	5,6	0,16	69
4	Navrtání díry	Hlavní		MS210	Navrtávák D4		0,07	26
5	Vrtání díry	hlavní		MS2100	Vrták D17		0,1	17,1
6	Upnutí do vedlejšího vřetene a povysunutí			MS2100				
7	Soustružení kontury	obě		MS2100	PWLNR	0,5	0,4	232
8	Navrtání děr				Navrtávák D4		0,07	26
9	Vrtání děr	obě		MS2100	Vrták D17		0,1	17,1
10	Upíchnutí	obě		MS2100	GNDLR		0,1	100

11	Zarovnění čela	vedlejší		MS2100	PWLNL	1	0,4	219
12	Frézování ploch	vedlejší		MS2100	UniCut RXL D16;R5	0,5	0,4	234
Konec první součásti								
13	Zarovnění čela	hlavní			PWLNR	1	0,4	219
14	Frézování ploch	hlavní		MS2100	UniCut RXL D16;R5	5,6	0,16	69
15	Upnutí do vedlejšího vřetene a povysunutí			MS2100				

16	Soustružení kontury	obě		MS2100	PWLNR	0,5	0,4	234
17	Navrtání děr			MS210	Navrtávák D4		0,07	26
18	Vrtání děr	obě		MS2100	Vrták D17		0,1	17,1
19	Upíchnutí	obě		MS2100	GNDLR		0,1	100
20	Zarovnání čela	vedlejší		MS210	PWLNL	1	0,4	219
21	Frézování ploch	vedlejší		MS2100	UniCut RXL D16;R5	5,6	0,16	69
Konec druhé součásti								
22	čtyřikrát zopakovat operace 13 až 19							



23	Zarovnaní čela	hlavní		MS2100	PWLNR	1	0,4	219
24	Frézování ploch	hlavní		MS2100	UniCut RXL D16;R5	5,6	0,16	69
25	Převzetí protivřetenem			MS2100				
26	Zarovnaní čela	vedlejší		MS2100	PWLNL	1	0,4	219
27	Soustružení na profil	vedlejší		MS2100	PWLNL	0,5	0,4	234

28	Frézování ploch	vedlejší		MS2100	UniCut RXL D16;R5	5,6	0,16	69
29	Navrtání díry			MS2100	Navrtávák D4		0,07	26
30	Vrtání díry	vedlejší		MS2100	Vrták D17		0,1	17
Poslední kus hotovo								

## 16.2. kalkulace nákladů

výpočet celkových nákladů [13]

$$N_c = \sum_1^{uu} N_i + N_v + \frac{N_B}{d} + \frac{N_{SZ}}{d} \quad (75)$$

$N_c$  Celkové výrobní náklady na obrobek [Kč]

$N_i$  Výrobní náklady na i-tý operační úsek [Kč]

$N_v$  Náklady na vedlejší práci [Kč]

$N_B$  Náklady dávkové [Kč]

$N_{SZ}$  Náklady na speciální zařízení nezbytné pro výrobu výrobku [Kč]

$uu$  Počet operačních úseků

$d$  Počet vyráběných kusů

Výpočet nákladů na strojní práci [13]

$$N_s = t_{As} \left[ k_C \cdot \left( \frac{M_o}{60} + \frac{HRP}{60} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] = t_{As} \cdot N_{sm} \quad (76)$$

Výpočet nákladů na vedlejší práci [13]

$$N_v = t_{Av} \cdot \left[ k_C \cdot \left( \frac{M_o}{60} + \frac{HRP}{60} \right) + \frac{O_s}{60} \right] = t_{Av} \cdot N_{vm} \quad (77)$$

$t_{Av}$  Čas jednotkový vedlejší [min]

$N_{vm}$  Náklady na vedlejší práci [Kč/min]

Výpočet nákladů na dávkový čas [13]

$$N_{BC} = t_{BC} \cdot \left[ k_C \cdot \left( \frac{M_s}{60} + \frac{HRP}{60} \right) + \frac{O_s}{60} \right] = t_{BC} \cdot N_{Bm} \quad (78)$$

$t_{BC}$  Čas dávkový s přírážkou směnového času [min]

$N_{vm}$  Náklady na seřízení stroje [kč/min]

Všechny náklady a časy v tabulkách jsou pro celou dávku 1000 ks

#### 11 počet kusů a časy

Počet kusů v dávce	1000
Čas dávkový s přírážkou směnového [min]	470
Čas vedlejší [min]	2545
Čas strojní pila [min]	248
Čas strojní PUMA 2100 MS [min]	6840

## 12 náklady na první variantu

Náklady na strojní práci [Kč]	38900
Náklady na vedlejší čas [Kč]	10051
Náklady na dávkový čas [Kč]	2564
Náklady na speciální vybavení [Kč]	0
Celkové náklady na dávku [Kč]	51516
<b>Celkové náklady na jeden kus v dávce [Kč]</b>	<b>51,5</b>

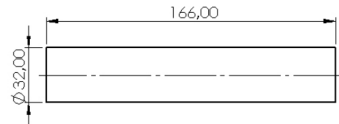
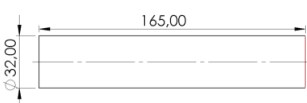

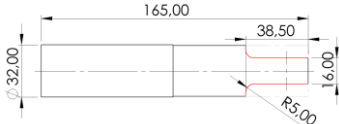
## 17. Výrobní varianta 2

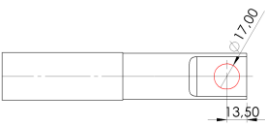
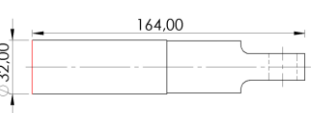
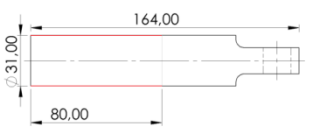
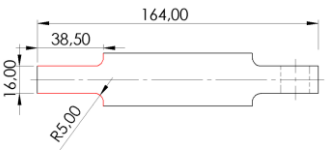
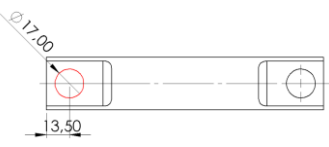
U této varianty vycházím z polotovaru dlouhého 166 mm o průměru 32 mm. Tento polotovar nařežu na pile z tyče dlouhé 6 m.

Tato varianta se dále celá vyrábí na soustruhu PUMA 2100 MS.

### 17.1. technologický postup

#### 13 technologický postup 2

Krok	vřeteno	obrázek	Stroj	Nástroj	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/ot]	$v_c$ [m/min]
1	Uříznutí polotovaru		pila	Pilový pás			
2	Dokončení čela		MS 2100	PWLNR	1	0,4	219
3	Dokončení kontury		MS 2100	PWLNR	0,5	0,4	234
4	Frézování ploch		MS 2100	UNICUT RXL; D16; R5	5,6	0,16	69

5	Navrtání díry	hlavní		MS 2100	Navrtávák D4		0,07	26
6	Vrtání díry	hlavní		MS 2100	Vrták D17		0,1	17,1
7	Převzetí protivřetenem			MS 2100				
8	Dokončení čela	hlavní		MS 2100	PWLNL	1	0,4	219
9	Dokončení kontury	vedlejší		MS 2100	PWLNL	0,5	0,4	234
10	Frézování ploch	vedlejší		MS 2100	UNICUT RXL; D16; R5	5,6	0,16	69
11	Navrtání díry	vedlejší		MS 2100	Navrtávák D4		0,07	26
12	Vrtání díry	vedlejší		MS 2100	Vrták D17		0,1	17,1

## 17.2. Kalkulace nákladů

Kalkulaci ceny provedu pomocí metody hodinových režijních paušálů. Výpočet celkových nákladů je stejný jako u předchozí varianty.

14 počet kus a jednotlivé časy 2. varianta

Počet kusů v dávce	1000
Čas dávkový s přírážkou směnového [min]	470
Čas vedlejší [min]	2612
Čas strojní pila [min]	2000
Čas strojní PUMA 2100 MS [min]	4000

## 15 náklady na druhou variantu

Náklady na strojní práci [Kč]	25098
Náklady na vedlejší čas [Kč]	9822
Náklady na dávkový čas [Kč]	2564
Náklady na speciální vybavení [Kč]	0
Celkové náklady na dávku [Kč]	37485
<b>Celkové náklady na jeden kus v dávce [Kč]</b>	<b>37,5</b>

## 18. Výrobní varianta 3

Tato varianta opět vychází z nařezaných polotovárů na pile o délce 166 mm. Opět pro výrobu součásti bude využito stroje PUMA 2100 MS, ale tentokrát bude stroj využit pouze k soustružení. Osoustružené kusy se následně upnou do přípravku, a obrobí na obráběcím centru DNM 5700.

### 18.1. Návrh přípravku pro frézování

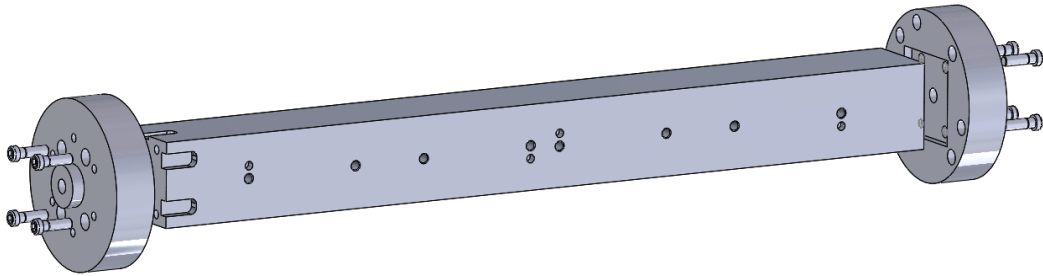
Vzhledem k tomu, že firma nemá žádný otočný stůl, který se upne do přídavné 4. osy. Tak nejprve navrhnu otočný stůl a poté přípravek pro upnutí daného dílu. Ráda bych jednotlivé kusy do přípravku upínala mimo stroj, tak následně navrhnu způsob upnutí přípravku k otočnému stolu.

Otočné stoly jsou na trhu běžně k dostání, ale vzhledem ke snížení nákladů na pořízení se firma 2 ES Dexter rozhodla, že si ho vyrobíme sami na svých strojích. Při návrhu otočného stolu jsem se inspirovala otočnými stoly, které jsou k dostání na trhu.

#### 18.1.1. Návrh otočného stolu

Stůl je navrhnut tak, aby bylo možné ho vyrobít na strojích firmy 2 ES Dexter. Pro spojení jednotlivých dílu jsem se rozhodovala mezi svařováním nebo použitím tvarového zámku a spojením pomocí šroubů. Nakonec jsem se rozhodla pro spoj s tvarovým zámkem a šrouby, vzhledem k tepelnému ovlivnění materiálu při svařování, při kterém dochází k tvarové nepřesnosti, která je zde nežádoucí.

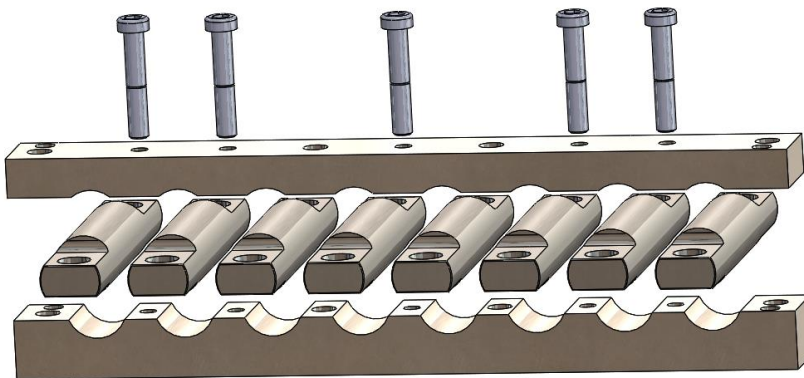
Stůl bude čtyřhranný s průřezem 100 x 100 mm o délce 1000 mm. Vzhledem k omezeným možnostem upnutí rotačního stolu k opěrnému ložisku, kde díry pro přišroubování jsou na průměru 110 mm a kam se nelze přes hranol dostat jsem musela navrhnout zahloubení pro šrouby, které se vyfrézuje do hranolu na konci určeném k upnutí k opěrnému ložisku.



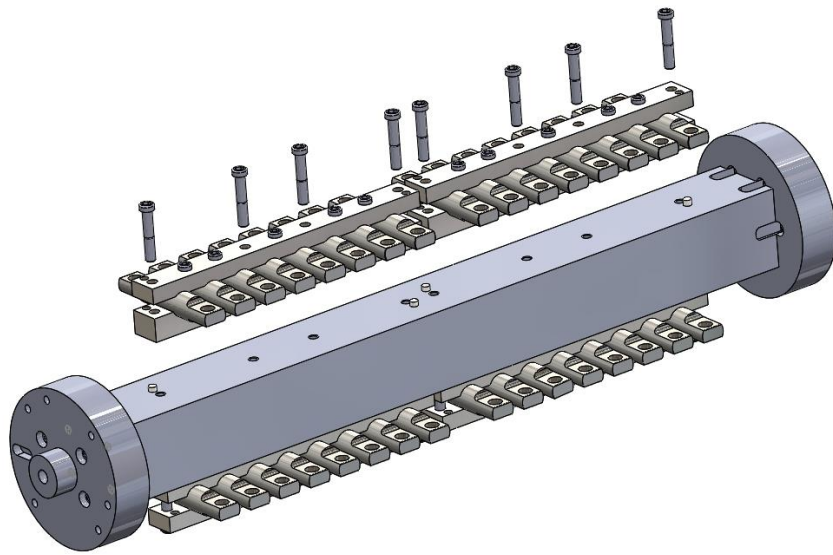
35 navrhnutý rotační stůl

### 18.1.2. Návrh přípravku pro upnutí součásti

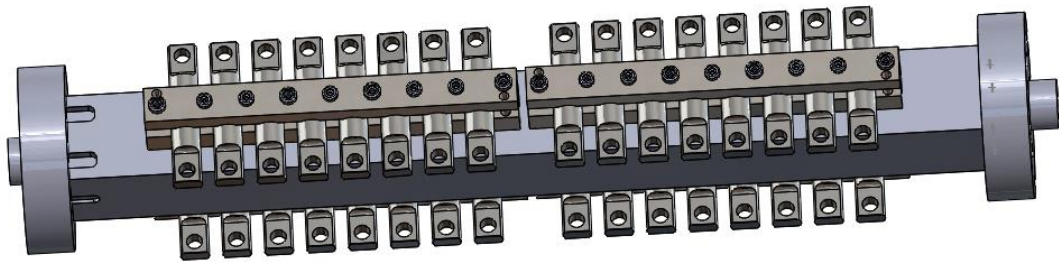
Tento přípravek bude navržen tak, aby se do něj jednotlivé kusy upínaly mimo stroj a šetřil se tak vedlejší čas výroby. Vzhledem k ulehčení manipulace s přípravkem jsem musela brát ohled na jeho celkovou hmotnost, proto jsem zvolila, přípravek pro 8 kusů. Tyto přípravky se do stroje dají upnout 4 najednou.



36 přípravek pro upnutí



**37 Upnutí přípravků k rotačnímu stolu**

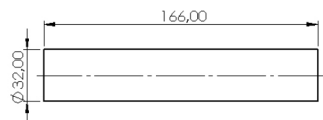
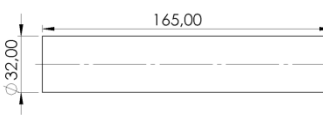
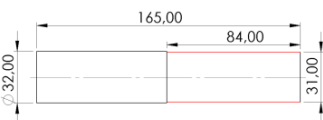
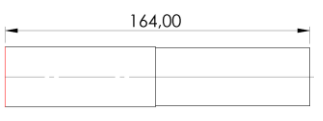
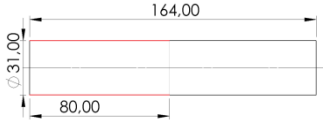
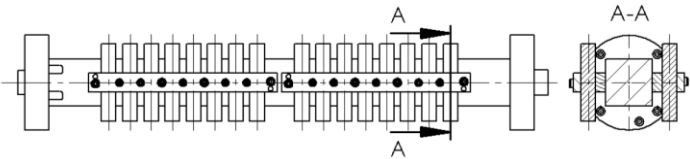



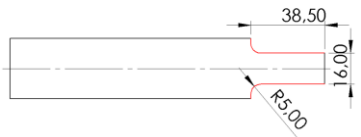


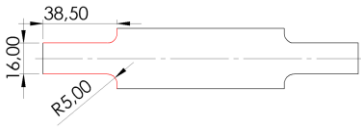

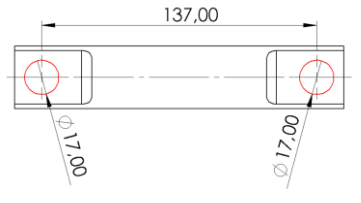
**38 Obrobená sestava**



## 18.2. technologický postup

### 16 technologický postup 3

	Operace	Vřeteno	Obrázek	Stroj	Nástroj	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/ ot]	$v_c$ [m/ min]	
1	Řezání			Pila	Pilový pás				
2	Soustružení čela	hlavní		MS2100	PWLNK	1	0,4	219	
3	Soustružení kontury	hlavní		MS2100	PWLNK	0,5	0,4	234	
4	Převzetí protivřetenem			MS2100					
5	Soustružení čela	vedlejší		MS2100	PWLNK	1	0,4	219	
6	Soustružení kontury	hlavní		MS2100	PWLNK	0,5	0,4	234	
7	Vyjmutí součásti ze soustruhu								
Upnutí součástí do přípravku na frézování									
8	Frézování ploch			DNM5700	UniCut D20	5,6	0,16	101	

9	Dofrézování rádiusů		DNM5700	UniCut RXL D20;R5	38,5	0,1	120
10	Zkosení hran rovné		DNM5700	Fréza k odhranění		0,07	75
Otočení čtvrté osy o 180°							
11	Frézování ploch		DNM5700	UniCut D20	5,6	0,16	101
12	Dofrézování rádiusů		DNM5700	UniCut RXL D20;R5	38,5	0,1	120
13	Zkosení hran rovné		DNM5700	Fréza k odhranění		0,07	75
Otočení čtvrté osy o 90°							
14	Navrtání děr		DNM5700	Navrtávák D4		0,07	26
15	Vrtání děr		DNM5700			0,25	15, 2
Otočení čtvrté osy o 180°							
16	Navrtání děr	Vrtání děr stejně jako v operacích 15 a 16, ale na kusech upnutých z druhé strany čtvrté osy.	DNM5700	Navrtávák D4		0,07	26
17	Vrtání děr		DNM5700			0,25	15, 2

### 18.3. kalkulace nákladů

17 počet kusů a jednotlivé časy 3. varianta

Počet kusů v dávce	1000
Čas dávkový s přírážkou směnového [min]	490
Čas vedlejší [min]	1936
Čas strojí pila [min]	2000
Čas strojí PUMA 2100 MS [min]	305
Čas strojí DNM 5700 [min]	2016

18 náklady na třetí variantu

Náklady na strojí práci [Kč]	14862
Náklady na vedlejší čas [Kč]	8052
Náklady na dávkový čas [Kč]	2534
Náklady na speciální vybavení [Kč]	2500
Celkové náklady na dávku [Kč]	27948
<b>Celkové náklady na jeden kus v dávce [Kč]</b>	<b>28</b>

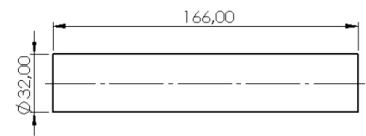
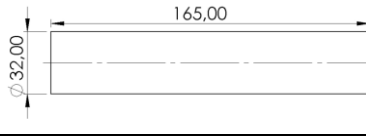
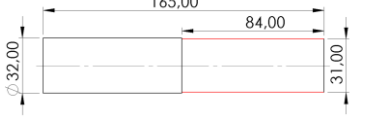
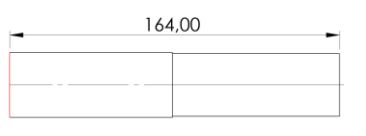

Otočný stůl je navrhován tak, aby měl univerzální využití, budu ho tedy počítat do nákladů na stroj. Přípravek na upnutí je navrhován a vyráběn pro tuto zakázku, bude tedy rozpočítán v ceně zakázky a to tak, že náklady na výrobu přípravku budou rozpočítány postupně do všech dávek za rok. Předpoklad je, že se bude vyrábět 1000 kusů každý měsíc.

## 19. Výrobní varianta 4

Tato varianta je velmi podobná variantě předchozí s tím rozdílem, že pro soustružení nebude využito stroje PUMA 2100 MS, ale stroje GT 3100 L, který není vybaven protivřetenem, otáčet díl bude muset operátor stroje.

### 19.1. technologický postup

#### 19 technologický postup 4

	Operace	Obrázek	Stroj	Nástroj	$a_p$ [mm]	$f$ [mm/ ot]	$v_c$ [m/min]
1	Řezání		Pila	Pilový pás			
2	Soustružení čela		GT3100L	PWLNR	1	0,4	216
3	Soustružení kontury		GT3100L	PWLNR	0,5	0,4	232
4	Otočení součásti operátorem						
5	Soustružení čela		GT3100L	PWLNR	1	0,4	216
6	Soustružení kontury		GT3100L	PWLNR	0,5	0,4	232
7	Vyjmutí součásti ze soustruhu						
8	Upnutí součásti do přípravku pro frézování						
Dále pokračovat dle operací 8 až 17 z varianty 3							

## 19.2. kalkulace nákladů

20 počet kusů a jednotlivé časy 4. Varianta

Počet kusů v dávce	1000
Čas dávkový s přírážkou směnového [min]	490
Čas vedlejší [min]	2436
Čas strojí pila [min]	2000
Čas strojní PUMA GT 3100 L [min]	305
Čas strojní DNM 5700 [min]	2016

21 náklady na čtvrtou variantu

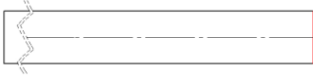
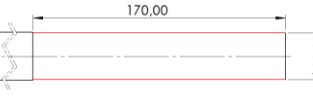
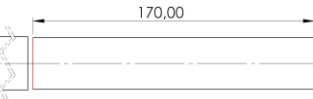


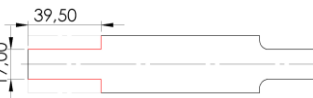
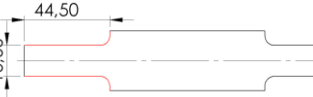
Náklady na strojní práci [Kč]	14695
Náklady na vedlejší čas [Kč]	10288
Náklady na dávkový čas [Kč]	2448
Náklady na speciální vybavení [Kč]	2500
Celkové náklady na dávku [Kč]	29932
<b>Celkové náklady na jeden kus v dávce [Kč]</b>	<b>30</b>

## 20. výrobní varianta 5

Poslední varianta je z tyče dlouhé 1185 mm, která bude obrobená a upíchnuta na soustruhu GT 3100 L a následně upnuta do přípravku a připevněna v obráběcím centru DNM 5700, kde bude dokončeno frézování a vrtání.

## 20.1. technologický postup

### 22 technologický postup 5

	operace	obrázek	stroj	nástroj	$a_p$ [mm ]	$f$ [mm/o t]	$v_c$ [m/ min]
1	Zarovnění čela		GT3100L	PWLN R	1	0,4	216
2	Navrtání		GT3100L	Navrtávák D4		0,07	26
3	Opření o koník		GT3100L				
4	Soustružení kontury		GT3100L	PWLN R	0,5	0,4	232
5	Upíchnutí		GT3100L	PWLN R		0,1	100
Upnutí do přípravku pro frézování							
6	Frézování ploch		DNM5700	UniCut D20	5,6	0,16	101
7	Dofrézování rádiusů		DNM5700	UniCut D20; R5	38,5	0,1	120
Otočení čtvrté osy o 180							
8	Frézování ploch		DNM5700	UniCut D20	5,6	0,16	101
9	Dofrézování ploch		DNM5700	UniCut D20; R5	38,5	0,1	120
Otočení čtvrté osy o 90							

10	Navrtání děr		DNM5700	Navrtáv ák D4		0,07	26
11	Vrtání děr		DNM5700	Vrták D17		0,25	15,2
12	Odfřezová- ní důlku na čele		DNM5700	UniCut D20	8	0,16	101
13	Sražení hran		DNM5700	Fréza na sražení hran		0,07	75
Otočení o 90°							
1 4	Navrtání děr	Vrtání děr stejně jako v operacích 10 a 11 a sražení hran jako v operaci 13, ale na kusech upnutých z druhé strany čtvrté osy.	DNM5700	Navrtáv ák D4		0,07	26
1 5	Vrtání děr		DNM5700	Vrták D17		0,25	15,2
1 1	Sražení hran		DNM5700	Fréza na sražení hran		0,07	101

## 20.2. kalkulace nákladů

23 počet kusů a jednotlivé časy 5. varianta

Počet kusů v dávce	1000
Čas dávkový s přírážkou směnového [min]	490
Čas vedlejší [min]	2162
Čas strojí pila [min]	248
Čas strojní PUMA GT 3100 L [min]	305
Čas strojní DNM 5700 [min]	2016

#### 24 náklady na pátou variantu

Náklady na strojní práci [Kč]	12981
Náklady na vedlejší čas [Kč]	8943
Náklady na dávkový čas [Kč]	2448
Náklady na speciální vybavení [Kč]	2500
Celkové náklady na dávku [Kč]	26873
<b>Celkové náklady na jeden kus v dávce [Kč]</b>	<b>26,9</b>

### 21. Technologicko-ekonomické zhodnocení variant

Vzhledem k tomu, že množství materiálu se u jednotlivých variant příliš neliší, tak budu porovnávat pouze náklady na výrobu.

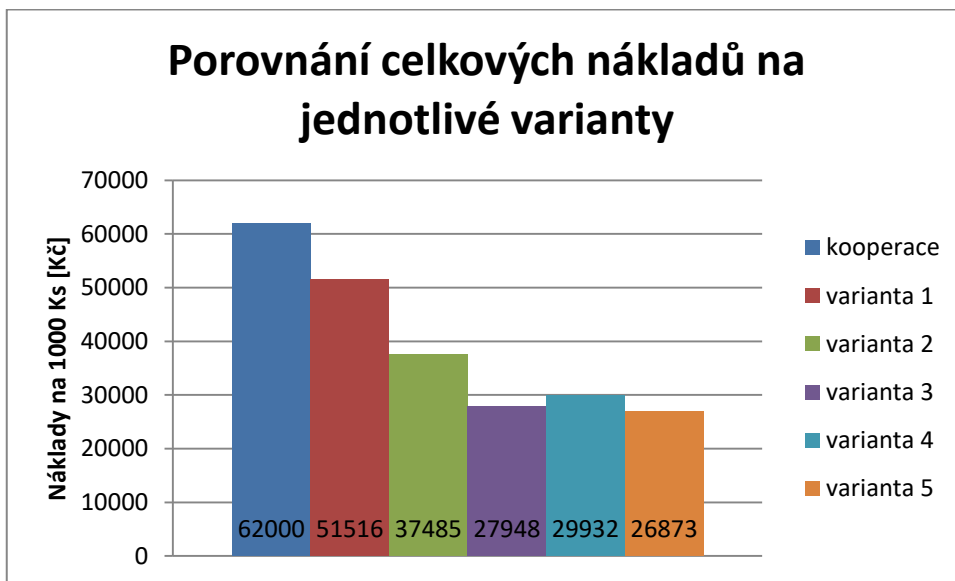
Časy a náklady uváděné v tabulce jsou pro jednu dávku 1000 ks.

#### 25 časy a náklady jednotlivých variant

Varianta	Strojní čas [min]		Vedlejší čas [min]	Celkový čas [min]	Náklady [Kč]
1	PUMA 2100MS	6840	2658	9746	51516
	pila	248			
2	PUMA 2100MS	4000	2616	8616	37485
	pila	2000			
3	PUMA 2100 MS	305	1936	6257	27948
	pila	2000			
	DNM 5700	2016			
4	PUMA GT 3100L	305	2436	6757	29932
	pila	2000			
	DNM 5700	2016			
5	PUMA GT 3100L	305	2162	4827	26873
	pila	248			
	DNM 5700	2112			



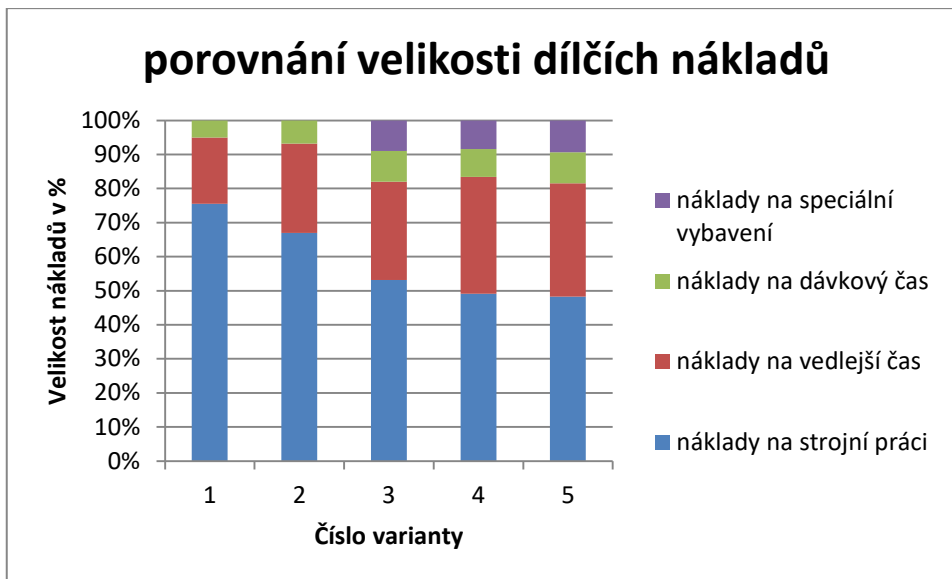
## 21.1. Ekonomické zhodnocení



V minulosti firma nakupovala díl v kooperaci za 62 Kč. Tato cena byla pouze za práci nikoli za materiál, dopravu a měření. U všech pěti variant jsou výrobní náklady nižší než cena v kooperaci.

Ekonomicky výrazně výhodněji vycházejí varianty, kde se frézování a vrtání provádí na obráběcím centru. Z těchto variant neekonomičtěji vychází varianta pátá, kde se soustruží celá kontura na jedno upnutí a součást je opřena o koník. O 1 Kč na kuse draž vychází varianta 3, kde se soustruží na stroji PUMA 2100 MS z předem nařezaných polotovarů a nejdražší možnost s frézováním v centru je varianta 4, kde se soustruží z předem nařezaných polotovarů na stroji PUMA GT 3100 L a následně frézuje a vrtá na stroji DNM 5700, vyšší cena je zde z důvodu vyšších vedlejších časů na soustruhu využitých k otáčení dílu operátorem.

Jako ekonomicky méně výhodné se jeví varianty se soustružením a frézováním na jednom stroji. Nejhorší je na to varianta 1, kde je polotovar tyč a každý díl se upichuje.



U všech variant jsou největší náklady na strojní práci. Tyto náklady se dají snižovat zlepšováním NC programů a úpravou řezných podmínek. Další poměrně velkou částí nákladů jsou náklady na vedlejší práci. Při snižování těchto náklad se zaměřím v první řadě na zefektivnění odstraňování otřepů.

## 21.2. Technologické zhodnocení

Pro výrobu součásti na soustruhu PUMA 2100 MS není potřeba žádné speciální přípravky. Nejsme však schopni se stávajícím vybavením provést odstranění otřepů na stroji. Nemáme dostatečný počet poháněných radiálních držáků. Na frézování ploch potřebujeme po jednom držáku na každou stranu a na odstranění otřepů po frézování bychom opět potřebovali po jednom držáku na každou stranu tedy celkem 4 a máme k dispozici 3 radiální držáky. Odstranění otřepů jak na okrajích ploch po frézování, tak okrajích děr tedy budeme muset provést ručně. V kalkulaci ceny je s časem potřebným k odstranění otřepů počítáno.

Na stroji PUMA GT 3100 L musíme řešit problém s upnutím a to takový, že momentální rozměr čelistí nám dovoluje upnout minimální průměr 50 mm a průměr, který potřebujeme upnout pro výrobu daného dílu je 32 mm. Tento problém se dá vyřešit buď koupením nových čelistí, navařením čelistí, nebo pouzdrem s vnějším průměrem 50 mm, přes které upneme tyč průměru 32 mm.

Pro frézování v centru si musíme připravit přípravek pro upnutí součástí. Tento přípravek je navrhnout tak, abychom si jednotlivé kusy do přípravku připravily mimo stroj a poté celý přípravek přišroubovali k otočnému stolu. Díky tomuto řešení dochází k výraznému zkrácení vedlejších časů.

U variant, kde se vychází z tyčí, které následně upichujeme, je nevýhodou horší manipulace s polotovarem, trvá delší dobu jeho upnutí do stroje a musíme vyřešit pouzdro na volný konec, aby volný konec neponičil stroj. U upichování na stroji PUMA GT 3100 L obrobek po upíchnutí spadne na pás dopravníku třísek a může dojít k potlučení kusu. Na stroji PUMA 2100 MS s tímto není problém, protože obrobek je držen při upichování v protivřetenu.

### **21.3. Výběr nejvhodnější varianty**

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější varianta pátá a v případě, že by firma měla na strojích stálou výrobu, tak by se volila tato varianta, ale vzhledem k tomu, že se firma zaměřuje na malé série, tak jsou v každý okamžik stroje obsazeny rozdílně.

Neurčila bych tedy jednu nejvýhodnější variantu, ale rozhodovala bych se dle aktuální výroby na strojích mezi variantou 3 a 5. Dokonce v případě, že by pro stroje nebyla žádná jiná práce v době výroby zakázky, se může vyrábět variant 3 a 5 najednou.

Variantu 2 bych také úplně nevylučovala vzhledem k tomu, že se vyrábí celý díl na jednom stroji. V případě, že by byla objednávka v desítkách kusů, je na zvážení, jestli nevyužít tuto možnost vzhledem k tomu, že obsadí pouze jeden stroj a není k výrobě potřeba žádné další přípravky.

## 22. Závěr

V mé diplomové práci jsem popsala strojní vybavení firmy 2 ES Dexter a následně vymyslela pět různých výrobních variant dílu, který firma v minulosti nakupovala v kooperaci. Pro všechny navržené varianty jsem stanovila optimální řezné podmínky, určila vedlejší časy a pomocí softwaru CAMWORKS zjistila strojní časy. Následně jsem provedla kalkulaci výrobních nákladů pro všechny varianty.

Pro stanovení hodinové režijní sazby jsem použila velikosti nákladů, které má firma nyní, ale vzhledem k tomu, že se vyrábět teprve začíná a stále není využita plná kapacita výroby, tak se režijní náklady v budoucnu budou pravděpodobně výrazně měnit.

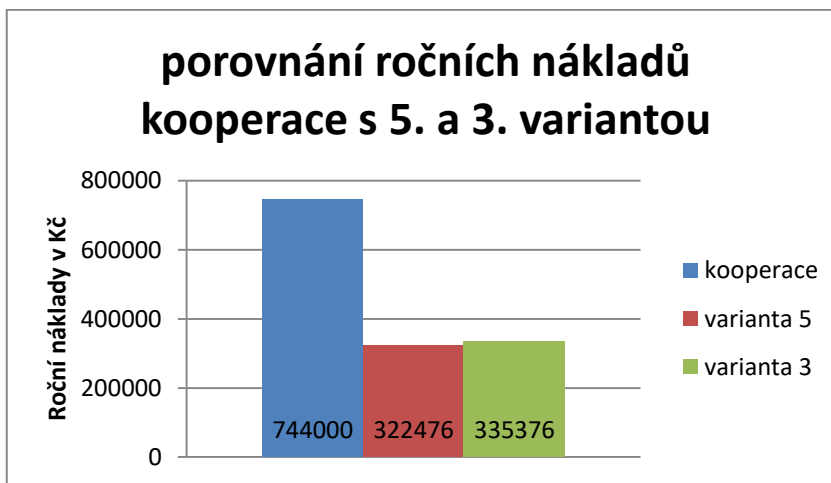
Také při stanovování optimálních řezných podmínek jsou vypočtené trvanlivosti spíše orientační. Po zavedení výroby se dále bude sledovat reálná trvanlivost nástroje. Pokud se reálná trvanlivost nástroje bude výrazně lišit, budou se muset znovu přepočítat optimální řezné podmínky. Při samotném výpočtu řezných podmínek jsem použila hodnoty empirických konstant z literatury, vzhledem k tomu, že jsem neměla možnost je určit experimentálně.

Tyto výsledky jsem poté porovнала jak z technologického, tak z ekonomického hlediska. Z ekonomického hlediska jsem porovnávala pouze náklady na výrobu, vycházela jsem z předpokladu, že materiálu se spotřebuje na všechny varianty podobné množství a měření a další činnosti spojené s prodejem kusů budou u všech variant stejné.

Analýza ukázala, že ekonomicky nejvýhodnější je pátá varianta, kde se jedná o výrobu z tyče na dvouosém soustruhu PUMA GT 3100 L s opřením o opěrného koníka a následném upíchnutí kusu a frézováním v obráběcím centru DNM 5700. Varianta třetí, výroba dílu z předem připraveného polotovaru soustružená na stroji s protivřetenem PUMA 2100 MS a frézovaná na obráběcím centru DNM 5700, je jen o 1 Kč na kus dražší. Pro výrobu dílů pokud budou objednány v předpokládané dávce 1000 kusů, budu volit jednu z těchto dvou variant v závislosti na vytíženosti strojů další výrobou. V případě, že by byla objednávka menší a to v desítkách kusů, by připadala k úvaze i varianta dvě, která k výrobě dílů využívá pouze jeden stroj.

Po spuštění výroby se bude ověřovat, jestli reálná trvanlivost odpovídá té vypočtené, případně se budou vzhledem k trvanlivostem měnit řezné podmínky. Dále se budou optimalizovat vybrané varianty. Jednou z možných optimalizací je hledat metody strojního odstranění otřepů, abychom nemuseli u jednotlivých kusů otřepty odstraňovat ručně a ušetřili tak vedlejší čas. Také se bude dále pracovat na úpravě programu pro frézování ve frézovacím centru ke snížení výrobních časů.

Již v tomto stádiu optimalizace můžeme vidět kolik firma ročně ušetří.



Při porovnání nákupu 12 000 kusů ročně s výrobou stejného počtu kusů na vlastních strojích můžeme vidět, že firma výrazně ušetří. Roční náklady na kooperaci byly 744 000 Kč, v případě využití neekonomičtější páté varianty budou roční náklady 322 476 Kč tedy o 421 524 Kč méně než v případě využití kooperace. V případě využití třetí varianty budou roční náklady 335 376 Kč tedy o 408 624 Kč méně než v případě kooperace. Firma tedy i v případě kombinování těchto dvou variant ušetří více jak 400 000 Kč ročně.

Návratnost investice do strojního vybavení v této práci nepočítám, vzhledem k tomu, že na strojích firmy 2 ES Dexter se budou vyrábět i další zakázky.

Cílem práce bylo zanalyzovat vyráběnou součást a navrhnout několik variant technologického postupu výroby. Následně udělat technologicko – ekonomické zhodnocení všech variant a vybrat pro firmu tu nejvhodnější variantu. Všechny cíle této práce byly splněny.

## 23. Zdroje

- [1] *Technický týdeník: Jaké jsou současné trendy v obráběcích strojích?* [online]. 2016 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/jake-jsou-soucasne-trendy-v-obrabecich-strojich\\_37440.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/jake-jsou-soucasne-trendy-v-obrabecich-strojich_37440.html)
- [2] Machining center. *Machining center* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: [http://www.apiwat.ie.engr.tu.ac.th/molddesign/yougo2/nc\\_maciningc.htm](http://www.apiwat.ie.engr.tu.ac.th/molddesign/yougo2/nc_maciningc.htm)
- [3] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
- [4] Kitagawa. *Kitagawa* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/nc-otocne-stoly>
- [5] Kitagawa: nová řada otočných stolů. *Kitagawa* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/news/mk200-nov-ada-otonch-stol-zatek-modernizace-standardn-ady>
- [6] ing. PETR KOLÁŘ, Ph.D.. *Mmspektrum: vývojové trendy soustružnických strojů malé a střední velikosti* [online]. 2009 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvojove-trendy-soustruznickych-stroju-male-a-stredni-velikosti.html>
- [7] HAAS: *upínání obrobků* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/productivity/workholding.html>
- [8] *Tool holder shop: BMT axial drilling-milling head* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: [https://www.opravki.com/tool\\_holder\\_driven\\_live\\_tooling/bmt\\_axial\\_drilling\\_milling\\_head/bmt55\\_din1809\\_axial\\_drilling\\_milling\\_head\\_er32\\_for\\_emag\\_v14](https://www.opravki.com/tool_holder_driven_live_tooling/bmt_axial_drilling_milling_head/bmt55_din1809_axial_drilling_milling_head_er32_for_emag_v14)
- [9] *EWS tool technologies: driven tool* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.ews-tools.de/en/products/gallery-driven-tools.aspx>
- [10] *Poháněné nástrojové držáky pro soustružnická centra* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: [https://www.ciessetrade.cz/wordpress/wp-content/uploads/pohanene\\_nastrojove\\_drzaky\\_Duplomatic.pdf](https://www.ciessetrade.cz/wordpress/wp-content/uploads/pohanene_nastrojove_drzaky_Duplomatic.pdf)

- [11] *Modern machine shop: Trends that drive cutting tools development* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/trends-that-drive-cutting-tool-development>
- [12] *Ceratizis: The revolution in turning: high dynamic turning with freeturn tools* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.ceratizit.com/en/hdt/>
- [13] MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1864-6.
- [14] *Doosan puma GT* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-puma-gt/>
- [15] *Doosan: puma 2100/2600/3600 series* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://www.doosanmachinetools.com/brochure/turning-center/horizontal-high-performance/puma-2100-2600-3100-english.pdf>
- [16] *Minimatics: CNC milling center* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://minimatics.com/equipment/>
- [17] *Kitagawa: MR200* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/nc-otocne-stoly/plnohodnotna-4-osa/mr200>
- [18] *WTO: vícenásobné držáky* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.wto-tools.com/cs-cz/produkty/soustruznicka-centra/vicenasobne-drzaky/>
- [19] *Shew-e steel pipe: 42CrMo4+Qt* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://cz.shew-esteelpipe.com/news/a-brief-of-introduction-of-bs-en10083-42crmo4-19560885.html>
- [20] *Primapol: oceli* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.primapol.cz/produkty/oceli/>
- [21] *Pilous: ARG 260 CF-NC automat* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/automaticke/arg-260-cf-nc-automat>
- [22] *Martin: the original trunnion table* [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: [https://www.trunniontable.com/uploads/1/1/9/6/119662255/trunnion\\_catalog\\_2018.pdf](https://www.trunniontable.com/uploads/1/1/9/6/119662255/trunnion_catalog_2018.pdf)

- [23] MACÍK, Karel. *Kalkulace a rozpočetnictví*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03926-7
- [24] FREIBERG, František a Martin ZRALÝ. *Ekonomika podniku*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04144-4.
- [25] DYNTAROVÁ, Věra a Lubomír POUŠEK. *Náklady, kalkulace a ceny*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04215-1.
- [26] *Kitagawa: tail spindle* [online]. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://du4zy4y6zgbbu.cloudfront.net/cz/store/TSR-MSR.pdf>
- [27] *TGS: UNICUT* [online]. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: [http://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/UniCut-katalog-CZ\(1\).pdf](http://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/UniCut-katalog-CZ(1).pdf)
- [28] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [29] *Sumitomo* [online]. [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: [http://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/General\\_Catalogue\\_2018-2019\\_-\\_CS.pdf](http://www.tgs.cz/content/fck/files/katalogy/General_Catalogue_2018-2019_-_CS.pdf)
- [30] ing. Jan Tomíček Ph.D *Technologie obrábění s CAM* [přednáška];
- [31] ing. Jiří Kyncl *projektování výrobních systémů* [přednáška]



## 24. Seznam obrázků

1 model vyráběného dílu .....	10
2 tříosá horizontální frézka[2].....	11
3 tříosá vertikální frézka[2] .....	11
4 pohled na přídavnou 4. řízenou osu [4].....	12
5 pohled na přídavnou 4. a 5. řízenou osu[4] .....	12
6 sklíčidlo [4] .....	13
7 otočný stůl s možností upnutí z jedné strany mimo osu otáčení [4].....	13
8 otočný stůl s možností upnutí z jedné strany v ose otáčení [22] .....	13
9 otočný stůl s možností upnutí ze 2 stran [22].....	13
10 otočný stůl s možností upnutí ze 4 stran [22].....	13
11 otočný stůl s možností upnutí z více stran dle daného mnohoúhelníku [22] .....	13
12 koník[7] .....	14
13 radiální provedení držáku řez[10].....	15
14 axiální poháněný držák [8] .....	16
15 radiální poháněný držák[9] .....	16
16 poháněný držák s nastavitelným úhlem[9].....	16
17 axiální vícenástrojový držák [18] .....	17
18 radiální jednostranný vícenástrojový držák [18] .....	17
19 radiální vícenástrojový držák oboustranný [18] .....	17
20 klasické soustružnické nože [12].....	21
21 freeturn tool [12] .....	21
22 pohled na soustruh doosan Puma GT3100L [14] .....	27
23 pohled na soustruh doosan puma 2100 MS [15] .....	28
24 grafické znázornění pojezdů soustruhu doosan puma 2100 MS [15] .....	28
25 Grafické znázornění pojezdů stroje s uvedením rozsahu a celkový pohled na stroj doosan DNM 5700[16].....	29
26 výkresový pohled přídavné 4. osy [17] .....	30
27 přídavná čtvrtá osa [17] .....	30
28 protiložisko [26] .....	30
29 výkresová pohled na protiložisko [26] .....	31

30 pohled na pilu pilous ARG 260 CF-NC automat [21].....	31
31 obráběná součást boční pohled.....	33
32 obráběná součást čelní pohled .....	33
33 obráběná součást vrchní pohled .....	33
34 graf omezení z hlediska tvorby třísek [29].....	40
35 navrhnutý rotační stůl.....	63
36 přípravek pro upnutí .....	63
37 Upnutí přípravků k rotačnímu stolu.....	64
38 Obrobená sestava .....	64

## 25. Seznam tabulek

1 značení břitových destiček.....	20
2 značení držáků soustružnických nožů .....	20
3 chemické složení oceli .....	32
4 fyzikální vlastnosti oceli .....	32
5 společné náklady.....	34
6 náklady na nástroje.....	36
7 náklady na stroje.....	38
8 výrobní varianty .....	38
9 řezné podmínky .....	52
10 technologický postup 1 .....	53
11 počet kusů a časy .....	59
12 náklady na první variantu .....	60
13 technologický postup 2 .....	60
14 počet kus a jednotlivé časy 2. varianta .....	61
15 náklady na druhou variantu .....	62
16 technologický postup 3 .....	65
17 počet kusů a jednotlivé časy 3. varianta.....	67
18 náklady na třetí variantu.....	67
19 technologický postup 4 .....	68
20 počet kusů a jednotlivé časy 4. Varianta .....	69
21 náklady na čtvrtou variantu .....	69
22 technologický postup 5 .....	70
23 počet kusů a jednotlivé časy 5. varianta.....	71
24 náklady na pátou variantu .....	72
25 časy a náklady jednotlivých variant .....	72