



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

**INOVACE TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTÍ PRO  
TRAMVAJOVÉ PŘEVODOVKY**

**INNOVATION OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF  
TRAMWAY GEARBOX COMPONENTS**

Diplomová práce

**Autor:** Bc. David Kašpar

**Studijní obor:** Výrobní a materiálové inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

**Praha 2019**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kašpar** Jméno: **David** Osobní číslo: **438585**  
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:

**Inovace technologie výroby součástí pro tramvajové převodovky**

Název diplomové práce anglicky:

**Innovation of technology for production of tramway gearbox components**

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza současného stavu
2. Návrh inovace výroby
3. Technicko-ekonomické zhodnocení
4. Návrhy výroby a závěr

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Vítězslav Rázek, CSc., 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. Vítězslav Rázek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce


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

  
prof. Ing. Michael Valášek, Dr.Sc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen 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 studenta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne:.....

Podpis .....

### **Poděkování:**

Děkuji zejména vedoucímu práce Ing. Vítězslavu Rázkovi, CSc., za jeho rady, připomínky a cenné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům z oddělení technologie firmy Wikov MGI a.s., za poskytnutí nezbytných údajů, praktických rad a ochotný přístup.

**Anotace:**

Předmětem diplomové práce je inovace způsobu výroby zadaných pastorkových součástí ve specifických podmínkách konkrétní společnosti, kde inovace je řešena v oblastech, které vymezuje obsah této závěrečné práce. Úvodní část práce se zabývá analýzou součástí a současného způsobu výroby. Další část obsahuje vyhodnocení několika variant inovace z hlediska strojů a technologií s ohledem na racionalizaci a efektivitu výrobního procesu. V samotném návrhu jsou zhotoveny technologické postupy s volbou nástrojů a řeznými podmínkami. V závěru práce je popsána simulace obrábění ke zjištění strojních časů a technicko-ekonomické zhodnocení pro srovnání ekonomického aspektu inovace se současným stavem.

**Klíčová slova:**

Obráběcí stroj, obráběcí nástroj, CAD/CAM, obrábění, pastorek, ocel

**Abstract:**

The subject of the thesis is an innovation of a method of production of the specified pinion parts in specific conditions of a particular company, where innovation is solved in the areas that define the content of this work. The introductory part of the thesis deals with the analysis of components and the current production method. The next part includes evaluation of several variants of innovation in terms of machines and technologies with regard to rationalization and efficiency of production process. Technological procedures with a choice of tools and cutting conditions are made in design proposal. At the end of the work is described machining simulation to find out machine times and technical and economic evaluation for comparison of economic aspect of innovation with current state.

**Key words:**

Machine tool, cutting tool, CAD/CAM, machining, pinion, steel

## Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace:.....	5
Abstract:.....	5
Seznam obrázků.....	7
1 Úvod.....	10
2 Firma Wikov MGI a.s.....	11
2.1 Výrobní profil společnosti.....	12
3 Analýza řešených součástí.....	13
3.1 Konstrukční charakteristika.....	13
3.2 Materiálová charakteristika.....	15
4 Analýza současného stavu.....	17
4.1 Hodnocení technologičnosti.....	17
4.2 Výrobní proces.....	19
4.3 Analýza výrobních strojů.....	20
4.4 Materiálový tok a dispoziční uspořádání.....	25
4.5 Hodnocení současného stavu.....	27
5 Návrh strojní inovace.....	28
5.1 Varianty obráběcích strojů a technologií.....	28
5.2 Multifunkční obráběcí centrum s odvalováním ozubení.....	29
5.3 Soustruh pro tvrdé soustružení.....	31
5.4 CNC bruska.....	35
5.5 CNC soustruh s poháněnými nástroji a protivřetenem.....	36
5.6 CNC soustruh s poháněnými nástroji a jedním vřetenem.....	37
5.7 Vyhodnocení.....	39
5.8 Vícekriteriální hodnocení variant.....	40
6 Návrh inovace výroby.....	41
6.1 Technologické postupy.....	41
6.2 Volba nástrojů.....	47
6.3 Srovnání s předchozím stavem.....	53
7 Simulace obrábění.....	54
7.1 NX 12.....	54
7.2 Analýza obrábění v CAM.....	55
8 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	57
8.1 Časy obrábění na jednotlivých pracovištích.....	57
8.2 Časy dokončení na jednotlivých pracovištích.....	58
8.3 Analyzované údaje.....	58
8.4 Kalkulace současného stavu obrábění.....	60
8.5 Kalkulace současného stavu pro dokončení.....	62
8.6 Kalkulace inovace obrábění.....	63
8.7 Kalkulace inovace pro dokončení.....	64
8.8 Porovnání výroby.....	65
8.9 Ekonomické vyhodnocení.....	70
8.10 Technické vyhodnocení.....	71
9 Závěr.....	73
10 Bibliografie.....	74

## Seznam obrázků

Obr. 1 Výrobní závod v Hronově [1] .....	11
Obr. 2 Ukázka převodovky pro kolejová vozidla [1] .....	12
Obr. 3 Ukázka převodovky pro cementárnu [1] .....	12
Obr. 4 Model prvního pastorku (nejmenší) .....	13
Obr. 5 Model druhého pastorku (největší) .....	14
Obr. 6 Model třetího pastorku (střední velikost) .....	14
Obr. 7 Porovnání zadaných součástí .....	14
Obr. 8 CNC soustruh NEF 600 [6] .....	21
Obr. 9 Konstrukční koncepce stroje NEF 600 [6] .....	21
Obr. 10 Čelní unašeč pro soustružení rotačních dílů [7] .....	21
Obr. 11 Konvenční soustruh SUR 260 [8] .....	22
Obr. 12 Obráběcí centrum HEC 800 [9] .....	22
Obr. 13 Odvalovací frézka Pfauter [10] .....	23
Obr. 14 Konvenční bruska BUB 32 [11] .....	23
Obr. 15 Bruska Niles ZE 400 [12] .....	24
Obr. 16 Upínací přípravek nejmenšího dílu [13] .....	24
Obr. 17 Upínací přípravek největšího dílu [13] .....	25
Obr. 18 Materiálový tok 08-206933 .....	26
Obr. 19 Materiálový tok 08-204717 .....	26
Obr. 20 Materiálový tok 08-205892 .....	27
Obr. 21 Multifunkční obráběcí centrum M40X [16] .....	30
Obr. 22 Mikroturn 500XL [21] .....	33
Obr. 23 Bruska Numerika G 800 [22] .....	36
Obr. 24 CNC soustruh CTX beta 800 4A [24] .....	37
Obr. 25 Soustruh SP 430 MC [25] .....	38
Obr. 26 Pracovní prostor stroje SP 430 MC [25] .....	38
Obr. 27 Pracovní prostor stroje SP 430 MC se 2 revolvery [25] .....	39
Obr. 28 Postupný sled operací na jednotlivých pracovištích .....	41
Obr. 29 Sklíčidlo KNCS-N [26] .....	42
Obr. 30 Brousící kotouč [27] .....	46
Obr. 31 Upínací systém Capto [28] .....	47
Obr. 32 Porovnání metod upínání ER (vlevo) a Capto (vpravo) [28] .....	48
Obr. 33 Rozhraní revolverové hlavy CDI [29] .....	49
Obr. 34 Poháněná jednotka (vlevo) a jednotka pro obecné obrábění (vpravo) [29] .....	49
Obr. 35 Nastavení geometrie polotovaru a součásti .....	56
Obr. 36 Čelní zapichování .....	56
Obr. 37 Vrtání děr .....	56
Obr. 38 Graf porovnání strojních časů .....	57
Obr. 39 Graf porovnání časů broušení .....	58
Obr. 40 Graf porovnání nákladů pro položku 08-206933 .....	66
Obr. 41 Graf porovnání nákladů pro položku 08-205892 .....	67
Obr. 42 Graf porovnání nákladů pro položku 08-204717 .....	67
Obr. 43 Graf porovnání nákladů pro položku 08-206933 .....	68
Obr. 44 Graf porovnání nákladů pro položku 08-205892 .....	69
Obr. 45 Graf porovnání nákladů pro položku 08-204717 .....	69
Obr. 46 Porovnání nákladů pro 500 ks .....	70

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Chemické složení.....	15
Tabulka 2 Mechanické vlastnosti.....	15
Tabulka 3 Systém značení (příklad).....	16
Tabulka 4 Technologický postup 08-204717.....	19
Tabulka 5 Technologický postup 08-205892.....	19
Tabulka 6 Technologický postup 08-206933.....	20
Tabulka 7 Technické parametry stroje M40X.....	30
Tabulka 8 Technické parametry stroje Mikrotorn 500XL.....	33
Tabulka 9 Technické parametry stroje Numerika G 800.....	35
Tabulka 10 Technické parametry stroje CTX beta 800 4A.....	36
Tabulka 11 Technické parametry stroje SP 430 MC.....	38
Tabulka 12 Hodnocení kritérií strojů.....	40
Tabulka 13 Operace 10 pro položku 08-204717.....	43
Tabulka 14 Operace 10 pro položku 08-206933.....	43
Tabulka 15 Operace 10 pro položku 08-205892.....	43
Tabulka 16 Operace 20 pro položku 08-204717.....	44
Tabulka 17 Operace 20 pro položku 08-206933.....	44
Tabulka 18 Operace 20 pro položku 08-205892.....	45
Tabulka 19 Operace 50 pro položku 08-204717.....	46
Tabulka 20 operace 50 pro položku 08-206933.....	46
Tabulka 21 operace 50 pro položku 08-205892.....	46
Tabulka 22 Nástrojový list pro položku 08-205892.....	50
Tabulka 23 Nástrojový list pro položku 08-206933.....	51
Tabulka 24 Nástrojový list pro položku 08-204717.....	52
Tabulka 25 Nový návrh technologického postupu – pořadí operací.....	53
Tabulka 26 Původní technologický postup – pořadí operací.....	53
Tabulka 27 Strojní čas inovace výroby na stroji SP 430 MC (všechny operace).....	57
Tabulka 28 Strojní čas současného stavu (všechny operace).....	57
Tabulka 29 Strojní čas pro brusku Numerika G 800.....	58
Tabulka 30 Strojní čas pro konvenční brusku.....	58
Tabulka 31 Sazby a přípravné časy pro inovované stroje.....	59
Tabulka 32 Sazby a časy pro položku 08-204717.....	59
Tabulka 33 Sazby a časy pro položku 08-206933.....	59
Tabulka 34 Sazby a časy pro položku 08-205892.....	59
Tabulka 35 Porovnání nákladů pro položku 08-206933.....	66
Tabulka 36 Porovnání nákladů pro položku 08-205892.....	66
Tabulka 37 Porovnání nákladů pro položku 08-204717.....	66
Tabulka 38 Porovnání nákladů pro položku 08-206933.....	68
Tabulka 39 Porovnání nákladů pro položku 08-205892.....	68
Tabulka 40 Porovnání nákladů pro položku 08-204717.....	68



## Seznam zkratek

Zkratka	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
$a_p$	[mm]	hloubka řezu
C	[-]	uhlík
CAD	[-]	Computer aided design
CAM	[-]	Computer aided manufacturing
CMM	[-]	Coordinate measuring machine
Cr	[-]	chrom
f	[mm/ot]	posuv na otáčku
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
NC	[-]	numeric control
Ni	[-]	nikl
P	[-]	fosfor
Re	[Mpa]	mez kluzu
Rm	[Mpa]	mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	[Mpa]	smluvní mez kluzu
Rz	[ $\mu$ m]	největší výška profilu
Si	[-]	křemík
$v_c$	[m.min]	řezná rychlost

# 1 Úvod

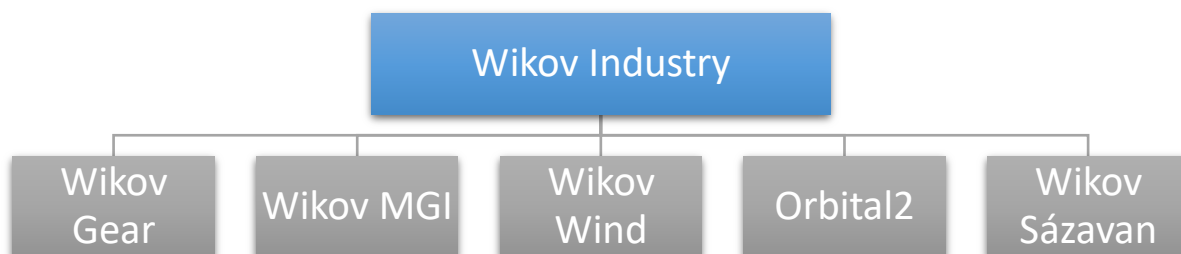
Téma diplomové práce bylo s ohledem na studijní zaměření a mimoškolní spolupráci zadáno firmou Wikov MGI a.s. Společnost se zabývá výrobou převodovek a ozubených kol pro různá průmyslová odvětví a je evropským leaderem v této oblasti. Obsahem práce je na základě analýzy současného výrobního stavu navrhnout inovaci pro výrobu ozubených hřídelí, tj. pastorků, jejichž průměrná roční produkce je zhruba 300-500 ks, v závislosti na typu. Pastorky jsou součástí tramvajových převodovek, které se kompletně zhotovují ve výrobním závodě v Hronově.

Cílem práce je navrhnout proces obrábění, který přinese benefit jak z pohledu úspory času, manipulace s obrobkem a rovněž po ekonomické stránce, aby výsledek mohl zvýšit případnou konkurenční schopnost firmy na trhu. Hlavní požadavek je kladen na unifikaci výroby veškerých pastorkových dílů, aby je bylo možno opracovat shodnou technologií, na stejných strojích a obdobným postupem. Důraz se klade převážně na inovaci v obráběcích a dokončovací technologiích. Jsou vybrány tři hlavní představitelé výroby, pro které jsou na základě vstupních variant vybrány nejvhodnější technologie, společně se stroji, nástroji, řeznými podmínkami a zhotoveny technologické postupy. Návrh obráběcího procesu je rovněž simulován v CAM softwaru NX pro získání strojních časů a ověření správnosti navržených postupů. Současný a inovovaný výrobní proces je porovnán na základě technicko-ekonomického zhodnocení a vychází z hodinových režijních sazeb a časů potřebných pro obrábění na jednotlivých strojích. Pro vypovídající výsledek jsou spočteny náklady pro určité velikosti výrobních dávek a celkovou roční úsporu. Náklady na nástroje, opotřebení, spotřebu materiálu a návratnost investic nejsou vzhledem k rozsahu práce a poskytnutým údajům uvažovány.

## 2 Firma Wikov MGI a.s.

Společnost Wikov MGI se sídlem v Hronově je následníkem původního výrobce průmyslových převodovek ČKD. Na tradiční výrobní program navázal v roce 2004 pod novým názvem a majitelem. Wikov je strojírenská skupina tvořená výrobními závody, které jsou aktivní na poli výroby a servisu robustních převodovek a ozubených kol do široké škály průmyslových oborů. Již 100 let je tradičním výrobcem ozubených kol a mechanických převodovek se specializací na odvětví kolejová vozidla, gumárenství a plasty, doly, vodní elektrárny, větrné a přílivové elektrárny a metalurgie. [1]

### Struktura skupiny Wikov



Obr. 1 Výrobní závod v Hronově [1]

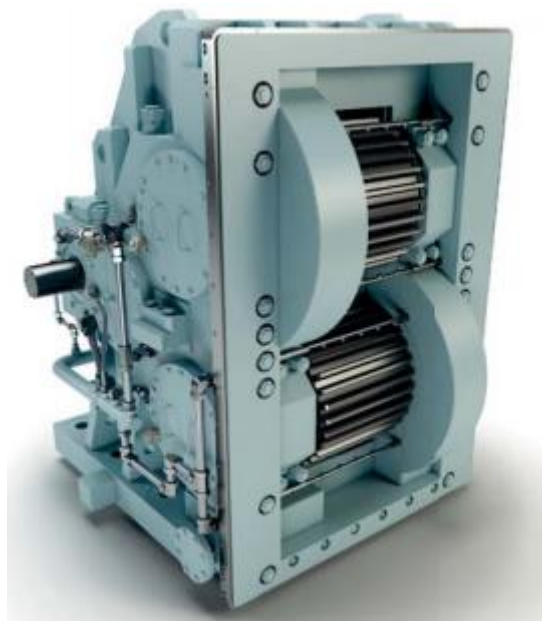
## 2.1 Výrobní profil společnosti

K dispozici jsou jak klasické konvenční stroje, tak i číslicově řízené stroje, víceosé obráběcí centra, portálové frézky a karusely, brusky na ozubení pro rotační i rovinné díly. Nachází se zde středisko tepelného zpracování a souřadnicových měřicích strojů (CMM). Mezi hlavní přednosti firmy patří [1]:

- Výroba frézovaných kol s vnějším ozubením do průměru 3 500 mm
- Výroba hřídelí do průměru 940 mm a délky 3 800 mm
- Obrábění skříňových dílců do rozměru 12 000 × 3 600 × 1 900 mm (X, Y, Z)
- Záběhový test převodovek – měření teplot, tlaku, úrovně hluku a vibrací
- Test převodovek v mrazící komoře, se simulovaným dynamickým zatížením
- Měření geometrie ozubení – Klingelnberg P100 a P300 Atd.



*Obr. 2 Ukázka převodovky pro kolejová vozidla [1]*



*Obr. 3 Ukázka převodovky pro cementárnu [1]*

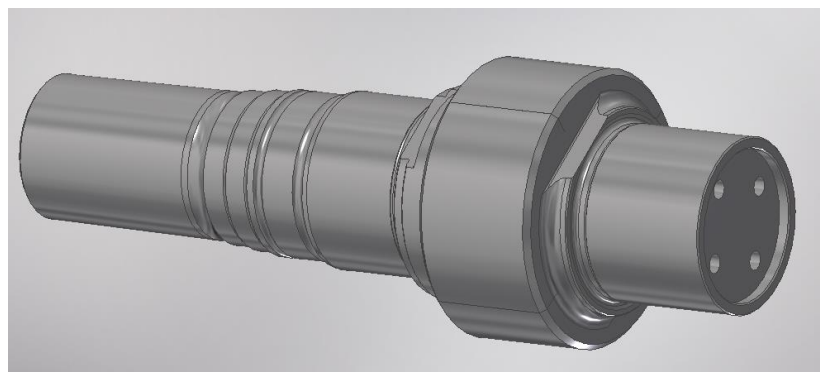
### 3 Analýza řešených součástí

Následující kapitola si klade za cíl bližší seznámení se s dílem typu pastorek, jakožto předmětem řešení diplomové práce. Analýza popisuje tři zadané varianty pastorků, jejichž funkcí je v sestavě převodovky přenos kroutícího momentu skrze ozubení. Celkem se vyrábí čtrnáct geometricky a rozměrově podobných dílů. Předmětem diplomové práce byly zvoleny po dohodě s pracovníky vybrány tři hlavní představitelé. Výrobní výkresy jsou vloženy v příloze 1,2,3.

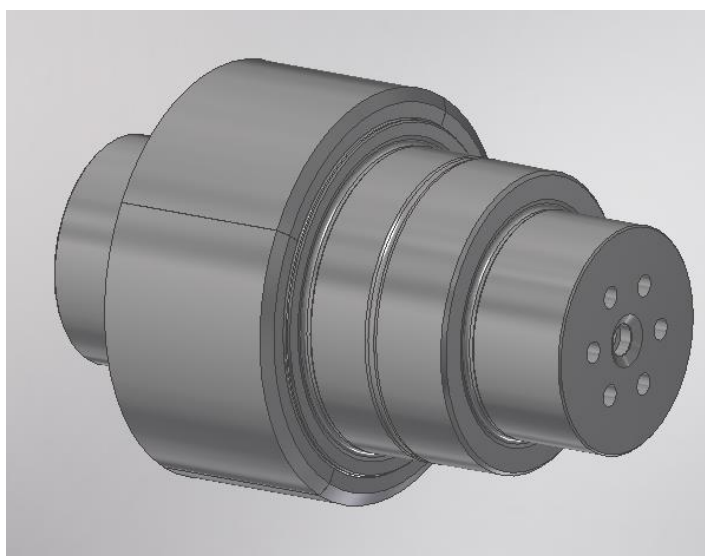
#### 3.1 Konstrukční charakteristika

Vyráběné součásti jsou ozubená kola a v soukolí zaujímají pozici pastorku. Jedná se tedy o hřídele s ozubením vyráběné jako celistvý díl. Pro unifikaci výrobních představitelů byla vybrána součást nejmenšího, středního a největšího rozměru (rovněž hmotnosti). Na obrázcích jsou zobrazeny modely součástí bez prokreslení ozubení na největších průměrech (viz Obr. 4, Obr. 5, Obr. 6). Součásti mají charakteristické míry:

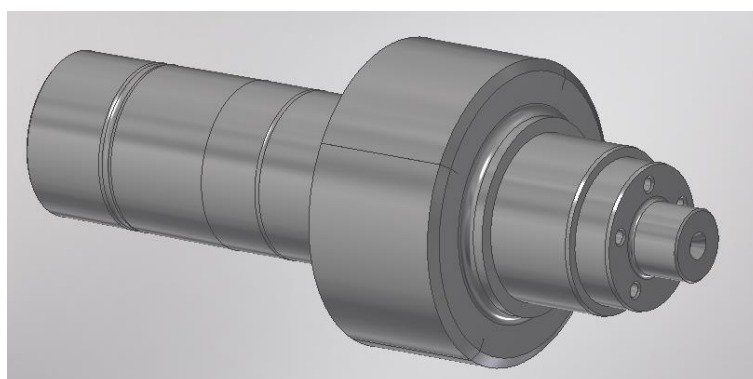
- **Modul ozubení:**  $m = 4-7$  mm
- **Počet zubů:**  $z = 20-28$
- **Délka součástí:**  $l = 273-352,5$  mm
- **Průměr součástí:**  $d = 93-217$  mm
- **Toleranční pole dle IT:** IT 5-7
- **Rozsah geometrických tolerancí (kolmost, házení):** 0,01-0,02 mm
- **Střední aritmetická odchylka profilu (Ra):** 0,8-6,3  $\mu\text{m}$
- **Hmotnost:** 6,9 – 55 kg
- **Polotovar:** Kruhová tyč;  $d = 100-230$  mm



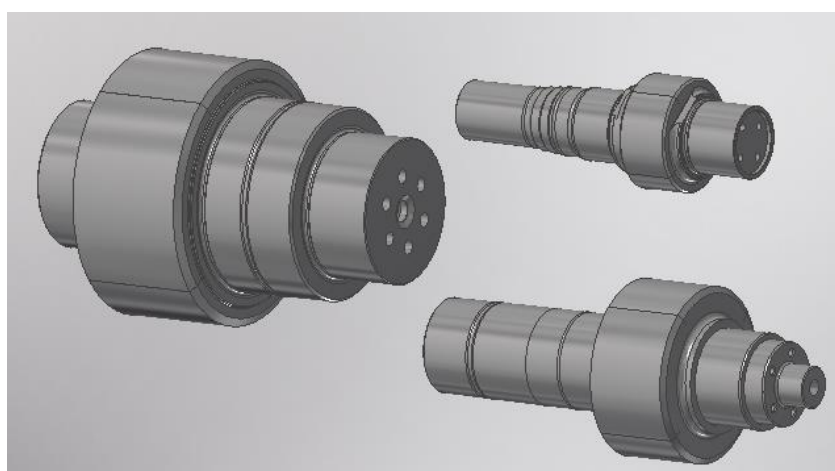
Obr. 4 Model prvního pastorku (nejmenší)



*Obr. 5 Model druhého pastorku (největší)*



*Obr. 6 Model třetího pastorku (střední velikost)*



*Obr. 7 Porovnání zadaných součástí*

### 3.2 Materiálová charakteriska

Pro všechny tři součásti je předepsán materiál 18CrNiMo7-6+FP. Jedná se o středně legovanou ušlechtilou chrom-nikl-molybdenovou ocel k cementování. Je určena pro velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem a dynamicky namáhané součásti. Cementovaná vrstva po tepelném zpracování dosahuje na povrchu tvrdosti 62 až 64 HRC, zatímco jádro cementované součásti je i při relativně vysoké pevnosti značně houževnaté. Přísada molybdenu zvyšuje prokalitelnost. Rozbory chemického složení, tepelného zpracování a mechanických vlastností jsou popsány v tabulkách (viz Tabulka 1, Tabulka 2).

Tabulka 1 Chemické složení [2]

Prvek	Chemické složení [%]
C	0,15-0,21
Si	0,4
Mn	0,5-0,9
P	0,035
Cr	1,5-1,8
Mo	0,25-0,35
Ni	1,4-1,7

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti [2] [3]

Mechanické vlastnosti	
Rm [MPa]	750-950
Tvrdost (po kalení) [HRC]	58-62
A [%]	11
Re [MPa]	685
R <sub>p0,2</sub> [MPa]	540
Struktura	Feriticko-Perlitická
Teplota kalení do oleje [°C]	780-820

System značení ocelí podle EN 10027-1 dělí oceli na dvě skupiny [4]:

### Skupina 1

Značení ocelí podle použití, mechanických nebo fyzikálních vlastností.

- S-konstrukční oceli
- P-oceli pro tlakové nádoby
- L-oceli na potrubí
- E-oceli na strojní součásti
- G-oceli na odlitky

Tabulka 3 Systém značení (příklad) [4]

Písmeno	Vlastnosti	Skupina 1	Skupina 2
P, L...	Minimální mez kluzu (Re)	N-normalizačně žhánáno Q-zušlechtěno	H-vysoké teploty L-nízké teploty

### Skupina 2

Značení ocelí podle chemického složení [4]:

#### 1. Nelegované oceli se středním obsahem Mn pod 1 %

Charakteristické písmeno C a číslo, které odpovídá stonásobku střední hodnoty obsahu uhlíku.

Příklad: C35E

#### 2. Nelegované oceli se středním obsahem Mn >1 %

Oceli mají rovněž obsahy legujících prvků pod 5 %.

Příklad: 13CrMo4-5

#### 3. Legované a korozivzdorné oceli s obsahem jednoho legujícího prvku >5%

Charakteristické písmeno X. Obsahují chemické symboly pro legující prvky charakterizující ocel v daném pořadí.

Příklad: X10CrNi18-8

#### 4. Rychlořezné oceli (HS)

Příklad: HS6-5-2



## 4 Analýza současného stavu

Hlavním důvodem pro analýzu současného stavu je sumarizace současných informací o procesech, výrobních postupech, strojích a materiálových tocích, které jsou k výrobě pastorků používány a umožňují zhodnocení a analýzu současné výroby. Z jejich znalostí bude poté vycházet další část práce, která si klade za cíl samotnou inovaci výrobního procesu a návrh optimalizace obrábění.

### 4.1 Hodnocení technologičnosti

Při obecném hodnocení se vychází z následujících stanovisek [5]:

- **Dodržení tvaru a geometrie součástí:**

Cíleného tvaru a geometrie se nejčastěji dosahuje třískovým obráběním. Druh polotovaru ovlivňuje sled a počet operací a ekonomické aspekty výroby. Při posouzení efektivnosti výroby je nutné brát v potaz náklady na polotovar i náklady na jeho obrobení.

- **Dodržení jakosti povrchu a výrobních úchylek na součásti:**

Veličiny, které jsou uvedeny na výkrese, nelze přesně ve jmenovité hodnotě dodržet. Je nutné stanovit tolerance, které při výrobě musí být dodrženy. Tyto úchytky musí být takové, aby byla zaručena funkčnost a vyměnitelnost. Příliš úzké tolerance a jakost povrchu kladou velké nároky na metodu obrábění, na sled a počet operací, což prodlužuje a prodražuje výrobu.

- **Zvýšení produktivity práce a efektivnosti výroby:**

Tato funkce je především záležitostí technologa, avšak výrazně ji ovlivňuje konstruktér svým návrhem technologičnosti výrobků.

- **Z hlediska jednotnosti základen:**

Konstrukční základny, technologické základny, případně i měřicí základny by měly být identické. Ustavovací a upínací základny musí zabezpečit pevné a stabilní upnutí.

- **Z hlediska systému kótování:**

Je kladen požadavek, aby kótování vycházelo od technologické základny.

- **Z hlediska zkrácení časů:**

Ke zkrácení výrobních časů je zapotřebí zvolit vhodné upnutí, využít plný potenciál stroje. Obrábět jen funkční plochy, ostatní plochy jen ve výjimečných případech, obrábět více nástroji, stanovit optimální přídavky. Nenavrhovat opracování těžce přístupných míst, snažit se o minimalizaci počtu ustavení, unifikaci nástrojů a obráběných prvků.

- **Ukazatel využití materiálu:**

Pro výpočet ukazatele využití materiálu se uvažuje jako představitel největší díl.

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

kde:  $G_1$  [kg] – hmotnost výrobku (4.1)

$G_2$  [kg] – hmotnost polotovaru

$$U_m = \frac{G_1}{G_2} = \frac{55}{95} = 0,58$$

#### 4.1.1 Shrnutí technologičnosti

Jedná se rotační součásti s ozubením, mimoosými otvory se závity a drážkami. Vzhledem k těmto konstrukčním specifikacím se ke zhotovení konečné podoby výrobků nabízí využití více druhů technologií třískového obrábění. Obrobitelnost v případě materiálu 18CrNiMo7-6+FP je díky feriticko-perlitické struktuře bezproblémová. Z tvarového hlediska se na součásti nevyskytují žádné extrémně složité tvary ani prvky, kterých by při obrábění současným postupem a sledem operací nebylo možno produktivně dosáhnout.

Povrch všech dílů je kompletně opracován. U jednotlivých typů pastorků se liší počet a velikost ploch k obrábění a hodnoty modulu, tolerancí a rozměrů. Všechny nástroje použité pro výrobu jsou normalizovány a katalogově dostupné u dodavatele. Upínání při soustružení je řešeno pomocí čelního unašeče nebo sklíčidla. Pro navrtávání důlků a zarovnání čel se využije speciálního přípravku z důvodu obrábění na vyvrtávacím centru. Veškeré plochy, kromě ozubení, potřebné ke konečnému opracování se chrání při tepelném zpracování ochrannou pastou. Požadavků na přesnost a geometrické tolerance na funkčních plochách není možno dosáhnout běžnou technologií soustružení a volí se dokončení pomocí broušení. Při návrhu optimalizace je ovšem nutno znovu technologičnost zhodnotit z důvodu alternativy výrobních technologií a strojů.

## 4.2 Výrobní proces

Všechny díly se vyrábí obdobným způsobem za použití interních strojů a nástrojů bez nutnosti kooperace. V této kapitole je popsán stručný technologický postup řešených dílů (označené čísla položek) s použitými stroji k příslušné operaci. Jelikož se tato práce zabývá optimalizací technologie obrábění, nejsou v postupech uvažovány operace přímo nesouvisející s obráběním jako např. odmaštění s tryskáním, mezioperační kontrola, ruční úprava a tepelné zpracování. Postupy jsou uvedeny ve zkrácené formě v tabulkách (viz Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6). Z důvodu interního podnikového know-how není kompletní technologický postup zahrnut do přílohy.

Tabulka 4 Technologický postup 08-204717

08-204717		
Číslo operace	Popis činnosti	Stroj, Pracoviště
1	Dělit materiál	Pila pásová
2	Zarovnání čel	Zarovnávací stroj
3	Soustružení	CNC soustruh
4	Vrtání	Vyvrtávací stroj
5	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
6	Tepelné zpracování	Cementační, kalící pece
7	Broušení	Konvenční bruska
8	Soustružení	Konvenční soustruh
9	Broušení	Konvenční bruska
10	Broušení ozubení	Bruska na ozubení
11	Kontrola	CMM, konvenční měřidla

Tabulka 5 Technologický postup 08-205892

08-205892		
Číslo operace	Popis činnosti	Stroj, Pracoviště
1	Dělit materiál	Pila pásová
2	Zarovnání čel	Zarovnávací stroj
3	Soustružení	CNC soustruh
4	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
5	Tepelné zpracování	Cementační, kalící pece
6	Soustružení	CNC soustruh
7	Vrtání a frézování	Obráběcí centrum
8	Broušení	Konvenční bruska
9	Broušení ozubení	Bruska na ozubení
10	Kontrola	CMM, konvenční měřidla

Tabulka 6 Technologický postup 08-206933

08-206933		
Číslo operace	Popis činnosti	Stroj, Pracoviště
1	Dělit materiál	Pila pásová
2	Zarovnání čel	Obráběcí centrum
3	Soustružení	CNC soustruh
4	Vrtání	Radiální vrtačka
5	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
6	Tepelné zpracování	Cementační, kalící pece
7	Broušení	Konvenční bruska
8	Soustružení	Konvenční soustruh
9	Broušení	Konvenční bruska
10	Broušení ozubení	Bruska na ozubení
11	Kontrola	CMM, konvenční měřidla

### 4.3 Analýza výrobních strojů

Pastorky jsou opracovávány pomocí několika druhů strojů. V této kapitole jsou představeni hlavní zástupci jednotlivých druhů technologií, které jsou v podniku pro obrobění daných typů součástí využívány.

#### 4.3.1 Soustruhy

Pro soustružení dílců se využívá jak konvenčních hrotových soustruhů, tak i číslicově řízených soustruhů. Na soustruzích se provádí základní hrubování a konturové soustružení s přidavkem na broušení pro konečné dosažení požadované jakosti povrchu. Program je zhotoven dílensky přímo obsluhou stroje.

#### CNC soustruh NEF 600 [6]

Univerzální CNC soustruh, který používá moderní technologii od výrobce DMG. Využívá se především na obrobky z tyčí a jednokusové polotovary. Největší nevýhodou tohoto stroje je omezení pojezdu revolverové hlavy v ose Y při požadavku na mimoosé obrábění a absence poháněných nástrojů, jelikož firma Wikov využívá pouze základní verzi stroje bez příplatkových doplňkových prvků. Obsahuje revolverovou hlavu s upínacím rozhraním VDI 40 a kapacitou pro 12 nástrojů. Soustruh je ovládán pomocí řídicího systému Pilot 640. Maximální průměr soustružení je 600 mm a délka obrobku 1100 mm.



*Obr. 8 CNC soustruh NEF 600 [6]*



*Obr. 9 Konstrukční koncepce stroje NEF 600 [6]*

Upínání na soustruhu je realizováno pomocí čelního unašeče. Základní princip spočívá v upnutí pomocí čelního unašeče z jedné strany a otočného hrotu z druhé strany – od koníku. To umožní výrazně zkrátit výrobní časy a tím i podstatně snížit výrobní náklady. Zároveň je dosahováno vysoké přesnosti obrábění a přesnost obvodového házení je 0,005/0,002 mm. Ukázka upnutí je znázorněna na obrázku (viz Obr. 10). [7]



*Obr. 10 Čelní unašeč pro soustružení rotačních dílů [7]*

## **SUR 260 [8]**

Jedná se o konvenční soustruh pro jednoduché výrobní úseky. Upnutí je realizováno většinou pomocí sklíčidla a opěrného koníku. Vzdálenost mezi hroty je 1500 mm, obráběný průměr maximálně 520 mm.



*Obr. 11 Konvenční soustruh SUR 260 [8]*

### **4.3.2 Obráběcí a vyvrtávací centra, odvalovací frézky**

Pro vrtání, závitování a frézování se využívá především obráběcích center, které jsou vhodné pro širokou škálu obráběcích operací a jsou schopny obrábět i těžší nerotační obrobky. Pro běžné zhotovení otvorů se využívá konvenčních vrtaček.

## **HEC 800 [9]**

Stroj HEC 800 je čtyřosé horizontální obráběcí centrum, které disponuje otočným CNC stolem pro přesné polohování tvarově složitých obrobků a dvěma paletami. Řídicím systémem je Sinumerik 840 D. Rozsah pojezdu os je 1450x1100x1300 mm a maximální nosnost stolu je 2000 kg.



*Obr. 12 Obráběcí centrum HEC 800 [9]*

## **PFAUTER 600**

Jedná se o CNC odvalovací frézku na různé druhy a velikosti ozubení o maximálním průměru kola 600 mm. [10]



*Obr. 13 Odvalovací frézka Pfauter [10]*

### **4.3.3 Brusky**

Brusky pro dosažení geometrických tolerancí a předepsané jakosti povrchu jsou převážně klasické konvenční brusky pro rotační obrobky a CNC brusky pro broušení ozubení. Upínání se provádí pomocí unášecích srdcí.

#### **Bruska BUB 32 [11]**

Jedná se konvenční hrotovou brusku s maximálním průměrem broušení 320 mm a maximální délkou 1500 mm.



*Obr. 14 Konvenční bruska BUB 32 [11]*

## Bruska Niles ZE 400 [12]

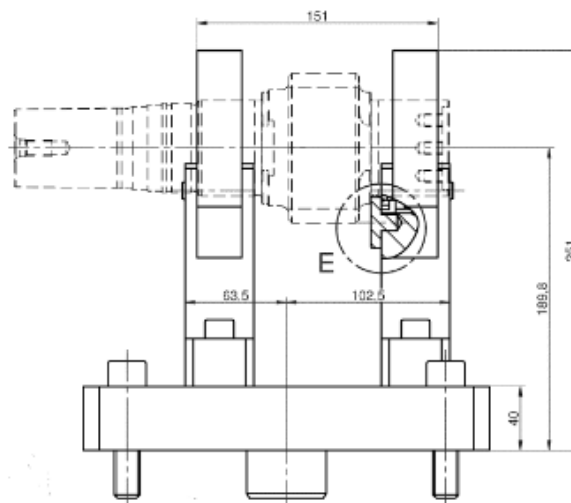
CNC Bruska určená pro přesné broušení vnějších a vnitřních ozubených kol do průměru až 400 mm. Stroj je řízen softwarem Sinumerik 840D. Stroj je vybaven hydrostatickým ložiskem a integrovaným měřicím systémem. Maximální hmotnost obrobku je 450 kg a výkon stroje 13,5 KW.



Obr. 15 Bruska Niles ZE 400 [12]

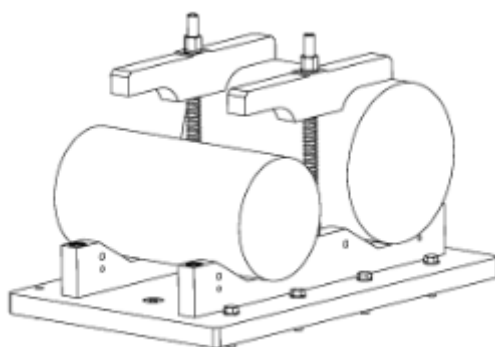
### 4.3.4 Přípravky

Pro upnutí dílců do obráběcích a vyvrtávacích center se využívá speciálně zhotovených přípravků, které umožní přesné a rychlé upnutí. Využívají se pro navrtání středících důlků a obrobení otvorů z čela dílce.



Obr. 16 Upínací přípravek nejmenšího dílu [13]





Obr. 17 Upínací přípravek největšího dílu [13]

#### 4.4 Materiálový tok a dispoziční uspořádání

V této kapitole jsou zobrazeny materiálové toky mezi pracovišti a rozmístění strojů ve výrobní hale. Pro zobrazení materiálových toků byl použit software Plant Simulation od firmy Siemens.

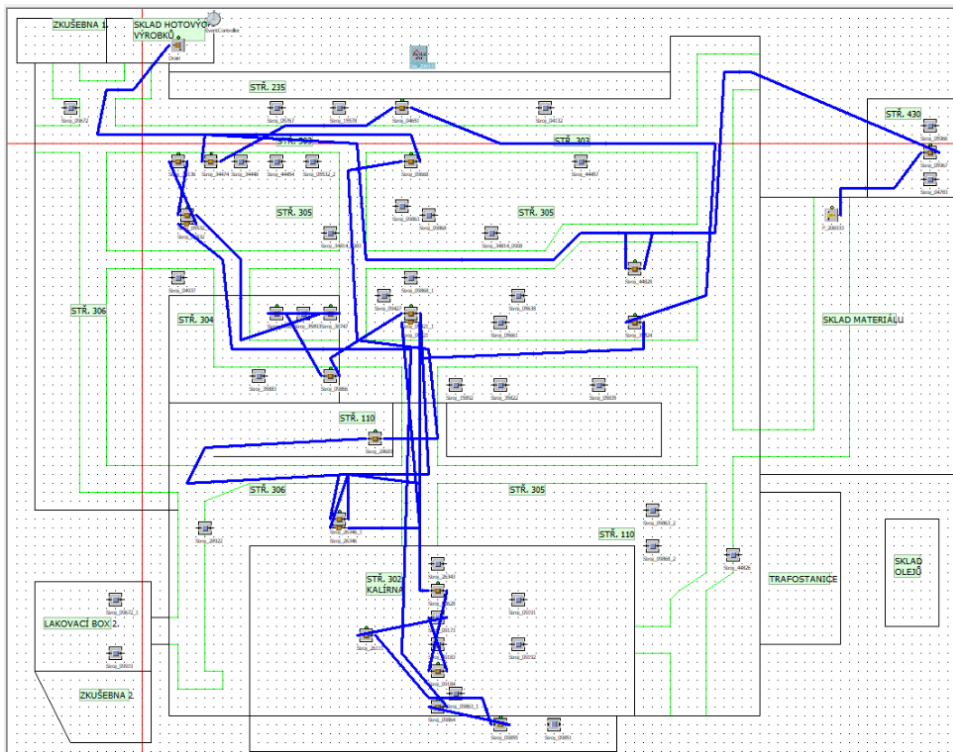
Materiálový tok se dá popsat jako řízený pohyb materiálu ve výrobním systému v přesně určeném uspořádání, které se odvíjí od technologického postupu. Popisuje sled operací, které se skládají z dopravy materiálu, jeho skladování a činnostech souvisejících s výrobním procesem. [14]

Materiálový tok je tvořený dvěma základními skupinami prvků [15]:

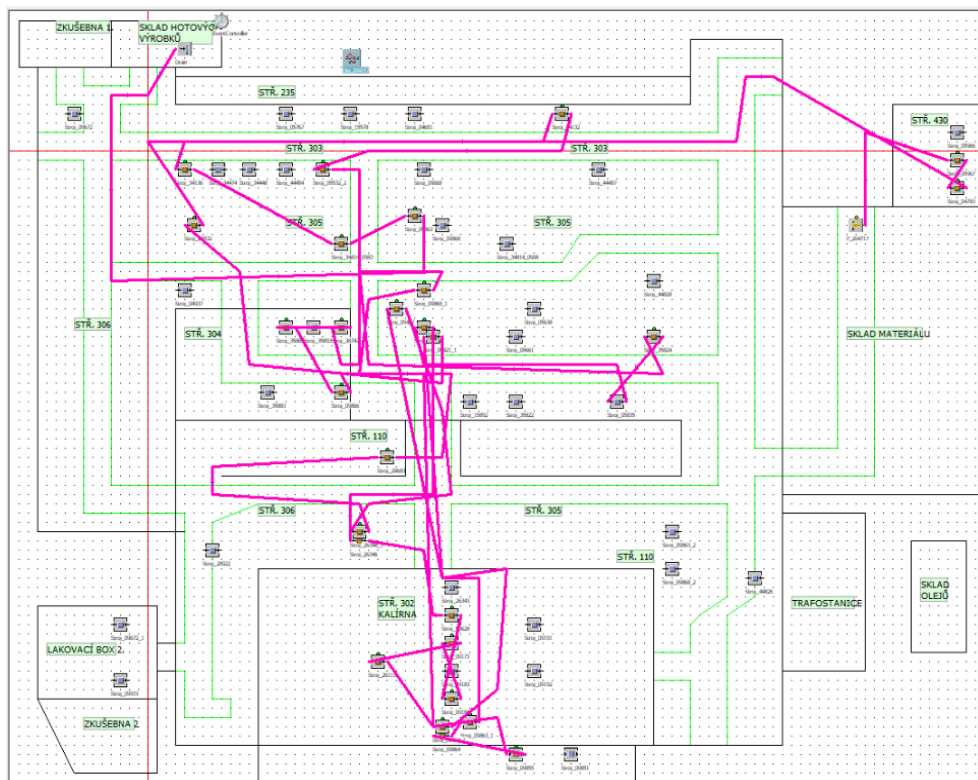
- pasivními prvky materiálového toku, tj. materiálem, surovinami, polotovary a výrobky
  - aktivními prvky materiálového toku, tj. dopravně-manipulačními, skladovacími operacemi.
- Materiálový tok je tvořený tokem všech druhů pracovních předmětů (pasivních prvků) firmy, k nimž patří:

- suroviny a základní materiál,
- rozpracované výrobky

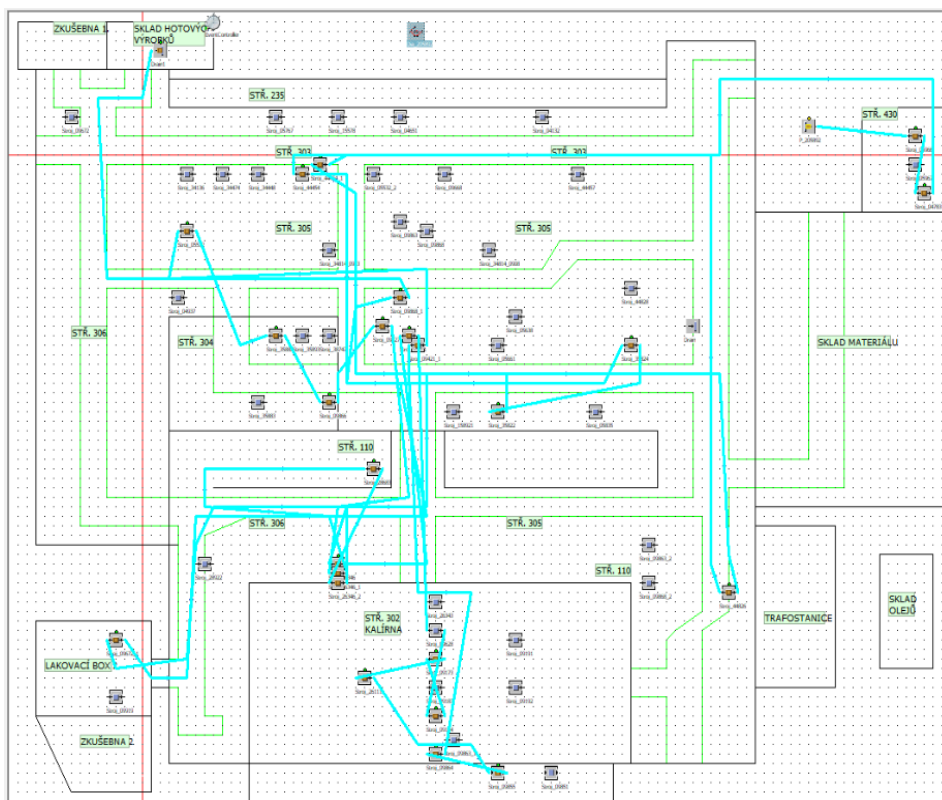
Jednotlivé materiálové toky jsou vzhledem ke své délce a velikosti haly zjednodušeně barevně zakresleny (viz Obr. 18, Obr. 19, Obr. 20).



Obr. 18 Materiálový tok 08-206933



Obr. 19 Materiálový tok 08-204717



Obr. 20 Materiálový tok 08-205892

## 4.5 Hodnocení současného stavu

Největší slabinou výrobního procesu vycházejících z kapitoly 4.2 a 4.3 je široké spektrum použitých strojů a s tím související velké množství operací nezbytných pro opracování zadaných součástí. Jedná se tedy o skutečnost, že téměř každý stroj má jednu úlohu při výrobě. Nedochází tedy k optimálnímu využití strojů a jejich technických možností, kdy např. CNC soustruhy zvládnou více druhů operací (osové vrtání, závitování) a vyvrtávací obráběcí centra se mohou efektivně využít pro obrobení větších a tvarově složitějších dílů. Takto koncipovaná výroba s sebou nese mnoho nadbytečných materiálových přesunů, přípravu stroje, přeupínání dílce a mezioperační skladování. Další nevýhodou plynoucí z kapitoly 4.4 je roztržitost jednotlivých pracovišť po výrobní hale, což sebou nese dlouhé logistické přesuny. Na základě těchto zjištění je cílem následujících kapitol navržení inovace a racionalizace výrobního procesu.

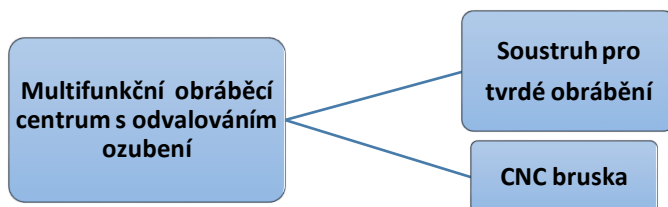
## 5 Návrh strojní inovace

Jedním z hlavních cílů této práce je návrh inovace strojního parku pro stávající proces výroby pastorkových dílů. Při hledání možností výrobní inovace a s tím spojených časových a nákladových úspor se vychází ze současného stavu ve firmě. Z předchozí analýzy vyplývá, že samotný obráběcí proces nabízí znatelný prostor pro zefektivnění. Je třeba nalézt řešení, které umožní sloučení nejčastějších operací jako soustružení a vrtání do jednoho pracoviště, minimalizovat počet přesunů, upínání a určit řezné podmínky s vhodným výběrem nástrojů, díky kterým dojde k efektivnímu využití strojů. To vše za dodržení požadavků na kvalitu a přesnost opracování.

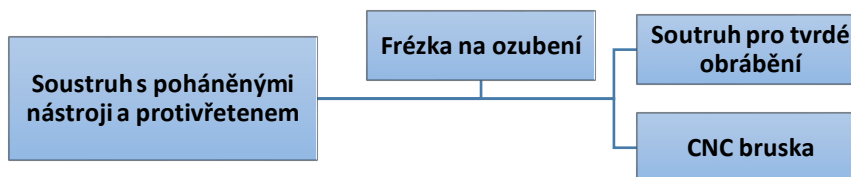
### 5.1 Varianty obráběcích strojů a technologií

S ohledem na požadavky zaměstnanců, možnostem firmy a druhu řešených součástí se pro volbu stroje porovnávají tři způsoby koncepce výroby pro obrobení pastorků. Největší důraz se klade na sloučení frézovacích, vrtacích operací, společně se soustružením a následně zefektivnění dokončovacích operací. Hlavní směry inovace pro následné porovnání jsou zobrazeny níže.

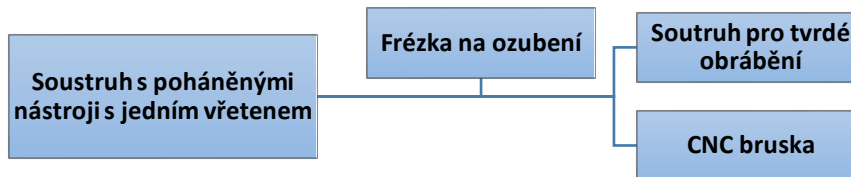
a) Varianta s multifunkčním obráběcím centrem



b) Varianta se soustruhem s poháněnými nástroji a protivřetenem



c) Varianta se soustruhem s poháněnými nástroji s jedním vřetenem



Na schématu jsou znázorněny tři varianty, které se následně porovnávají a vyhodnocují.

První varianta (a)) byla navržena tak, aby se při první operaci kompletně opracoval celý díl, následovalo tepelné zpracování a nakonec by se provedlo dokončení na soustruhu pro tvrdé obrábění, jakožto alternativu broušení, popř. na CNC brusce. Druhá varianta (b)) je v porovnání s první doplněna ještě o pracoviště pro frézování ozubení a nahrazením multifunkčního centra soustruhem s protivřetenem. Třetí varianta (c)) uvažuje soustruh s jedním vřetenem a jednou revolverovou hlavou a obdobným dokončením. Jednotlivé varianty jsou rozebrány v následujících kapitolách.

## 5.2 Multifunkční obráběcí centrum s odvalováním ozubení

Při výběru stroje pro komplexní obrobení dílce se vychází především z požadavku na velikost modulu, hmotnosti a průměru obrobku. Většina výrobců nenabízí stroje, které umí odvalovat modul do velikosti 7, aby rovněž byly schopny soustružit a frézovat se zaručenou tuhostí a přesností. Problematikou multifunkčního obrábění se však zabývá rakouská společnost WFL.

### 5.2.1 WFL M40X [16]

Výrobce nabízí na stejné bázi různé velikosti stroje s maximální délkou soustruženou délkou až 14 000 mm a 2000 mm průměrem. Na těchto strojích je možné realizovat téměř všechny obráběcí technologie od hrubovací soustružení, přes mimoosé frézování až po broušení. Pro obrobení představitelů pastorkových dílců byl vybrán stroj M40X s opcí na odvalování ozubení. Technické specifikace stroje jsou popsány v tabulce (viz Tabulka 7).

Tabulka 7 Technické parametry stroje M40X [16]

<b>Technické parametry stroje M40X</b>	
Oběžný průměr	520 mm
Průměr sklíčidla	325/400 mm
Výkon frézovacího vřetene	29-33 kW
Otáčky vřetene	4000 ot/min
Vzdálenost mezi hroty	1000/2000/3000/4500 mm
Otáčky frézovacího vřetene	9000 ot/min
X pojezd	-20;+780 mm
Y pojezd	-100;+300 mm
Z pojezd	1070/2070 mm
Nástrojový systém	HSK-A63/Capto C6
Počet nástrojů v zásobníku	50-200
Řídicí systém	Sinumerik 840D sl



Obr. 21 Multifunkční obráběcí centrum M40X [16]

Jak bylo popsáno v úvodu kapitoly, je tento stroj schopný nahradit téměř všechny druhy technologií obrábění a jim odpovídajícím strojům. Při jeho nasazení do výroby by se ušetřil jak čas na přepínání dílce, tak i na logistiku a přípravu jiných pracovišť, které by mohli být využity pro výrobu jiných dílů. Tato varianta s sebou ovšem nese několik potenciálních rizik a nevýhod především v oblasti odvalování ozubení. Jedná se především o následující technické a výrobní nedostatky:

- Nižší výkon při odvalování než samostatná odvalovací frézka (především u nižších otáček)
- Upnutí frézy při odvalování letmo – snížená přesnost, tuhost

- Použití menšího průměru nástroje oproti klasické odvalovací frézce – až o 40 % delší čas pro výrobu
- Komplikovanější výměna nástroje – časté dynamické zatěžování nástrojového vřetena
- Při nárazu nástroje hrozí porušení stability, přesnosti a tuhosti systému stroj/nástroj/obrobek – tj. vyřazení multifunkčnosti stroje
- Riziko vzniku vůlí a zvýšení nepřesnosti – převážně z důvodů neustále se měnících druhů obráběcích technologií a výkonů
- Velká pořizovací cena – hodinová sazba, cena na kus o 20-50 % vyšší
- Potřeba oleje, jako procesní kapaliny při odvalování – komplikace při využití jiného média pro zbylé technologie

### 5.3 Soustruh pro tvrdé soustružení

Neustálé požadavky na snižování výrobních nákladů při dosažení vysoké produktivity výroby přinášejí významný posun v obrábění kalených součástí. Klasické metody broušení jsou často nahrazovány frézováním, ale častěji soustružením až po konečném tepelném zpracování. Nové rezné materiály a přesně definovaná geometrie břitu nástroje umožňují již delší dobu produktivně soustružit materiály až do tvrdosti 63 HRC. Pro tyto účely obrábění jsou nejčastěji používány keramické rezné materiály nebo materiály z kubického nitridu boru (CBN). Pokud to okolnosti vyžadují, např. z ekologických důvodů v kombinaci s požadavkem vysoké produktivity nebo z důvodu speciálních požadavků na vlastnosti a jakost opracovaného povrchu, přichází v úvahu náhrada broušení tvrdým soustružením. V této souvislosti je důležité pečlivé posouzení vlastností, zejména tuhosti použitého výrobního zařízení, které limitují dosažitelné parametry přesnosti tvrdého soustružení. [17]

Výhody, které přináší tvrdé soustružení, lze shrnout do následujících bodů [17]:

- Vyšší produktivita obrábění
- Jednodušší obrábění složitých tvarů
- Kratší seřizovací časy a větší flexibilita pro přeseřízení stroje
- Nižší náklady na rezné nástroje
- Plnohodnotná náhrada broušení
- Menší podlahová plocha pro strojní výrobní technologii
- Vyšší šetrnost vůči životnímu prostředí

Při testování u společnosti Sandvik Coromant bylo dosaženo drsnosti Rz lepší než 1 mikrometr. Při dokončení bylo při posuvu 0,33 mm/ot destičkou typu Wiper dosaženo drsnosti Ra 0,42 mikrometru. Je možné použít řezné rychlosti až 300 m/min, ale obecná doporučení se pohybují v rozmezí 150-200 m/min. Rychlost posuvu bývá přednostně stanovena s ohledem na dosažení vysokých rychlostí obrábění a řezná rychlost pak slouží pro optimalizaci produktivity. [18]

Za ideální obráběné součásti jsou považovány hřídele o velkém průměru, objímky nebo ozubená kola, u kterých má být provedeno podélné soustružení a soustružení čelních ploch a které mají dostatečně velkou stabilitu. Obráběné materiály jsou obvykle v celém objemu prokalené nebo cementované oceli, ke kterým také patří 16MnCr5 s tvrdostí vyšší než 60 HRC nebo 17CrNiMo6. Především u ozubených kol dochází při obrábění k přechodům z tvrdého do měkkého materiálu, kde na vnějším průměru může být tvrdost materiálu až 62 HRC, která však uprostřed klesá až na 30 HRC. Použití CBN pro tvrdosti menší než 45 HRC není doporučeno, ale při správné aplikaci a s vhodnou nástrojovou třídou lze pro tuto práci využít kombinaci CBN a slinutých karbidů. Slinutý karbid vzhledem k dosahovaným teplotám v místě řezu ovšem není vhodný pro samotné obrábění zakalených materiálů. [18]

Prováděné řezy mohou být buď spojitě, nebo přerušované, jak je tomu v případě hřídelí, nebo naopak ozubených kol, a nejlepší způsob jejich optimalizace představuje volba nástrojové třídy břitových destiček. Obecné kvalitativní předpoklady umožňují dosažení drsnosti povrchu Rz 1 nebo Ra 0,25 mikrometrů a udržení rozměrových tolerancí pod 0,01 mm. [18]

Při broušení musí nástroj sledovat řeznou rychlost, zatímco obrobek se otáčí pomalu. Při soustružení je tomu naopak – řeznou rychlost kontroluje obrobek, zatímco nástroj opisuje danou konturu. Vysoká rychlost brusného kamene v důsledku způsobuje, že se obráběný materiál rozmělnuje do velkého množství malinkých třísek, poněvadž kámen sám má na svém povrchu de facto mnoho malinkatých „nástrojů“. Naopak, při soustružení vzniká dlouhá špona, která se téměř vždy rozláme na menší části. Tím je zřejmé, že broušení je více náročné na čas a energii (vztaženo na jednotku objemu) než soustružení. Dalším rozdílem mezi soustružením a broušením je, že broušením lze odstranit i extrémně malé množství materiálu o tloušťce pouhý jeden mikrometr. Pro soustružení je však charakteristická minimální tloušťka třísky kolem setiny milimetru. To



je důvod, proč přesné tvrdé soustružení vyžaduje odlišnou strategii, jak dosáhnout přesně požadovaných rozměrů. [19]

Koncepce soustruhu pro tvrdé obrábění má několik konstrukčních odlišností na rozdíl od běžného CNC soustruhu. Jedná se především o tyto technické specifikace [20]:

- Lože je vyrobeno z mineralitu (granitu), popř. žuly – až 8x lepší tlumení kmitů oproti šedé litině
- Hydrostatická ložiska vřetena a vodících drážek – házení a opakovatelnost dosahují přesnosti 0,1 mikrometrů po dobu několika let
- Vysoká termická stabilita – nízká tepelná roztažnost žulového (granitového) základového rámu stroje

### 5.3.1 Mikroturn 500XL [21]

Jako alternativa broušení se zvolil soustruh pro tvrdé soustružení zakalené oceli od holandské firmy Hembrug. Technické specifikace stroje jsou uvedeny v tabulce (viz Tabulka 8).

Tabulka 8 Technické parametry stroje Mikroturn 500XL [21]

Technické parametry stroje Mikroturn 500XL	
Oběžný průměr	500 mm
Maximální hmotnost obrobku	300 kg
Přesnost opakovatelnosti	0,0001 mm
Přesnost polohování	1x10 <sup>-5</sup> mm
Rychlost posuvu	30 m/min
Otáčky vřetene	2000 ot/min
Maximální délka soustružení	500 mm



Obr. 22 Mikroturn 500XL [21]

Společnost již delší dobu uvažuje nad modernizací dokončovacích technologií a jedním ze stěžejních bodů je přechod na tvrdé soustružení z konvenčních brusek. Při pohledu na současnou výrobní dokumentaci je konstrukcí zadáno, aby se zakalila plocha pouze pro ozubení. Při aplikaci tvrdého soustružení je ovšem nezbytné, aby byl díl zakalený na všech plochách, kde dojde k dokončovacímu soustružení po tepelném zpracování. Z funkčního hlediska by zakalený díl neměl způsobit při provozu komplikace. Je ovšem potřeba se detailněji zamyslet nad vhodností a nasazením této technologie pro konkrétní součást a především, jestli toto řešení je výhodné pro firmu z pohledu produktivity a efektivity. Výrobce sice idylicky garantuje dobré a spolehlivé výsledky, zvýšení produktivity a hospodárnosti, avšak pouze pro dokonale optimalizovaný výrobní proces. Úskalí, které mohou nastat, při použití tvrdého soustružení na řešeném zadání je několik. Zároveň je potřeba porovnat možnosti soustruhu s CNC bruskou, jakožto hlavní alternativou.

Soustruhy pro obrábění zakalených dílů pro dokončování jako náhradu za broušení se hodí spíše do hromadné výroby stále se opakujících součástí. Vzhledem k náročnému odlaďování na prvních kusech v dávce má bruska oproti soustruhu nespornou výhodu. Při soustružení je nutné obrábět stále stejné průměry, pro které jsou již řezné podmínky optimalizovány. Při přechodu na jiný průměr se mění řezný odpor, házení a je obtížné dosáhnout požadovaných přesností, jako při hromadné výrobě neměnicího se kusu. S tím souvisí i optimalizace přísadků, kde každá změna parametru vstupujícího do procesu hraje velkou roli v tolerancích, přesnosti a dosažené drsnosti. Další problematikou je přerušovaný řez, kde je riziko vylomení destičky z CBN a následně obtížné napojení do řezu. Vylomení destičky může rovněž způsobit i nerovnoměrně zakalený povrch, což má za vinu dodaný materiál s nestabilním chemickým složením. Soustruh by musel být rovněž použit jen pro dokončení, aby se zaručila jeho tuhost, přesnost a životnost. CNC bruska se v tomto ohledu jeví jako mnohem praktičtější i když méně produktivnější. Dá se využít na širší portfolio produktů, je schopna brousit různé průměry, plochy, nekalené i kalené díly a materiály. Její seřízení, obsluha a pořizovací cena rovněž předčí soustruh pro tvrdé soustružení.

## 5.4 CNC bruska

Tato varianta přináší pestré možnosti nasazení při různých geometrických a rozměrových tvarech součástí. Jak již bylo naznačeno v kapitole 5.3.1, tak brusky oproti soustruhu pro tvrdé obrábění vynikají ve své všestrannosti a aplikaci na širší portfolio produktů. Přeseřžení stroje a ustavení dílce je snadné a rychlé. Zajištění požadovaných přesností a tvarů při hromadné i kusové výrobě je trvale a stabilně dosažitelné, díky konstrukci a účelu stroje. Dlouhodobá životnost u moderních brusek, díky konstrukci s hydrostatickým vedením. Oproti klasické konvenční brusce má CNC bruska nespornou výhodu ve zkrácení časů při odměřování, najíždění nástrojem a ostatních vedlejších časech (polohování koníku a vřeteníku...). Zároveň odpadá nutnost meziperace, během které se konvenční bruska přenastaví z lineárního posuvu na šikmý pro zhotovení kuželů. CNC bruska umožňuje brousit veškeré funkční plochy řešených součástí na jedno upnutí bez zásahu a přestavování stroje.

### 5.4.1 Bruska Numerika G 800 [22]

Německý výrobce Erwin Junker s pobočkou v Holicích nabízí brusky pro plnohodnotné broušení. Zvolená bruska Numerika G 800 je flexibilní a hospodárné řešení pro jakékoliv technologické zadání v oblasti broušení, ať se jedná o kusovou nebo sériovou výrobu. V základní verzi bez příplatku je k dispozici dialogové programování, základní strojní cykly, digitální servopohony s absolutním odměřováním, orovnávací programy na kompenzaci úbytku kotouče a dynamický vyvažovací systém. Díky jednoduchosti provedení nabízí stroj vysokou stabilitu a tuhost. Technické specifikace stroje jsou uvedeny v tabulce (viz Tabulka 9). [22]

Tabulka 9 Technické parametry stroje Numerika G 800 [22]

<b>Technické parametry stroje Numerika G 800</b>	
Oběžný průměr	275 mm
Hmotnost obrobku	120 kg
Délka broušení	800 mm
Otáčky	20-600 ot/min
Délka zdvihu pinoly	35 mm
Řídicí systém	Fanuc 0i TD
Výkon vřetena	17 kW
Hmotnost stroje	6 500 kg
Rozměry stroje	3730x1960x2000 mm



Obr. 23 Bruska Numerika G 800 [22]

## 5.5 CNC soustruh s poháněnými nástroji a protivřetenem

Soustružnická centra, která disponují dvěma vřeteny a revolverovými hlavami, která mohou vzájemně pracovat, umožňují kompletní a produktivní obrobení dílce na jedno upnutí. Rovněž si jednotlivé hlavy mohou vzájemně asistovat pro jednotlivá vřetena. Revolverové hlavy mohou kromě os X a Z disponovat ještě posuvem v Y-ose. Vřetena mají synchronizované C-osy, díky kterým si mohou předávat obrobek za rotace. Ke stroji je rovněž možno připojit podavač tyčí. [23]

### 5.5.1 Soustruh CTX beta 800 4A [24]

Kompaktní a vysoce produktivní obráběcí centrum pro čtyřosé kompletní obrábění. Stroj disponuje vodním chlazením motorových vřeten s možností přídavných automatizačních prvků. Pro diagnostiku obráběcího procesu je stroj vybaven systémem CELOS. Technické specifikace stroje jsou uvedeny v tabulce (viz Tabulka 10). [24]

Tabulka 10 Technické parametry stroje CTX beta 800 4A [24]

<b>Technické parametry stroje CTX beta 800 4A</b>	
Maximální průměr soustružení	340 mm
Maximální délka obrobku	735 mm
Otáčky vřetene	5 000 ot/min
Kapacita nástrojů	2x12 (24)
Otáčky nástrojového vřetene	10 000 ot/min
Hmotnost stroje	13 500kg
Výkon vřetene	40 kW
Výkon poháněného nástroje	11 kW



*Obr. 24 CNC soustruh CTX beta 800 4A [24]*

Při objektivním posouzení veškerých parametrů a využitelnosti soustruhu CTX beta 800 4A pro zadané typy dílů bylo dosaženo závěru, že ačkoliv je tento soustruh velice produktivní a dokáže obrobit součást na jedno upnutí (při samotném přepnutí do druhého vřeten), je jeho pracovní prostor a pojezd revolverových hlav značně limitován. Hlavní problém nastává při vrtání hlubokých děr a požadavku na velké vyložení (délku) vrtáku. Dalším klíčovým aspektem je pořizovací cena, která je oproti soustruhu s jedním vřetenem a jedním revolverem téměř dvojnásobná. Příprava a nastavení stroje bude rovněž podstatně větší, než u běžného jednovřetenového soustruhu a při plánované dávce se tato varianta jeví jako neefektivní a neekonomická. Proto se tedy bude v následující kapitole uvažovat ještě třetí možnost, použití základní verze CNC soustruhu s poháněnými nástroji.

## **5.6 CNC soustruh s poháněnými nástroji a jedním vřetenem**

Jedná se o klasickou koncepci tříosých CNC univerzálních hrotových soustruhů s poháněnými nástroji a přídatnými opcemi.

### **5.6.1 Soustruh Kovosvit SP 430 MC [25]**

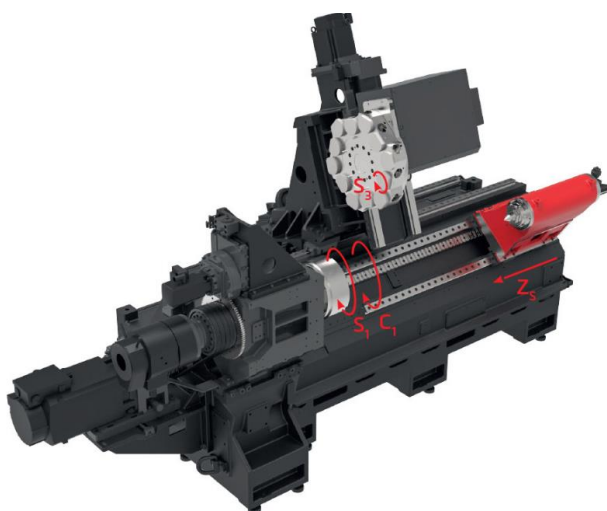
Soustruh se třemi řízenými osami X, C a Z. Stroj je vybaven hydraulickým sklíčidlem, pojezdným koníkem a revolverovou hlavou s 12 nástroji s upínacím rozhraním VDI 50, popř. CDI. Stroj je díky své konstrukci a vybavenosti všestranně vhodný na široké spektrum součástí. Velkou výhodou stroje je možnost dodání s volitelným řídicím systémem. To přináší jak ekonomickou, tak i časovou úsporu ve školení pracovníků, pro jiný řídicí systém stroje. Technické specifikace stroje jsou uvedeny v tabulce (viz Tabulka 11). [25]

Tabulka 11 Technické parametry stroje SP 430 MC [25]

Technické parametry stroje SP 430 MC	
Maximální průměr soustružení	550 mm
Maximální délka soustružení	1100 mm
Otáčky vřetene	3800 ot/min
Kapacita nástrojů	12
Maximální hmotnost obrobku	1100 kg
Otáčky nástrojového vřetene	4 000 ot/min
Hmotnost stroje	8 500 kg
Výkon vřetene	25 kW
Výkon poháněného nástroje	8,5 kW
Rozměry stroje	5033 x 2180 x 2264



Obr. 25 Soustruh SP 430 MC [25]



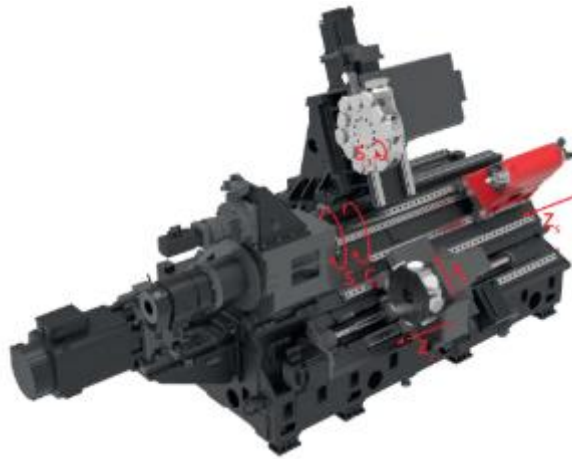
Obr. 26 Pracovní prostor stroje SP 430 MC [25]

Vzhledem k široké nabídce na trhu je možné uvažovat rovněž nad soustruhy od firmy Okuma, DMG, Mazak. Tito výrobci nabízí obdobné soustruhy se shodnými

konstrukčními a technologickými parametry jako výše zvolený soustruh od firmy Kovosvit. Závisí ovšem na ceně a dodatečným konstrukčně-technologickým opcím.

### 5.6.2 Alternativa pro rozšíření kapacity nástrojů

Z výše popsané varianty stroje plyne úskalí v počtu nástrojových jednotek v revolverové hlavě. Pro řešené díly je kapacita dvanácti nástrojů vyhovující, popř. těsně dostačující. Pokud by bylo ovšem nutno obrobit díl s požadavkem na větší počet nástrojů, muselo by se přistoupit k alternativě v podobě rozšíření/pořízení stroje s druhou revolverovou hlavou. Toto řešení by již umožnilo dostatečně pokrýt zásobu nástrojů i v případě konstrukčně rozmanitějších součástí. Pracovní prostor alternativy se dvěma revolverovými hlavami je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obr. 27).



Obr. 27 Pracovní prostor stroje SP 430 MC se 2 revolvery [25]

## 5.7 Vyhodnocení

V předchozích kapitolách byly detailně popsány a analyzovány jednotlivé uvažované varianty inovace technologií obrábění pro výrobu zadaných součástí. Z konkrétních hodnocení, jež plynou z výše zmíněných rozborů, které popisovali nevýhody a přednosti jednotlivých technologií, vztažených k řešené problematice, se jako nejvhodnější způsob pro inovaci z hlediska strojů a technologií s ohledem na náklady, přesnost, spolehlivost a produktivitu obráběcího procesu jeví varianta s CNC soustruhem s jedním vřetenem, jednou revolverovou hlavou, popř. dvěma – viz kapitola 5.6.2 a s CNC bruskou pro dokončení, neboli varianta (c)), viz kapitola 5.1.

## 5.8 Vícekriteriální hodnocení variant

Pro přehledné znázornění a primárně pro ověření výsledků vyplývajících z analýzy při porovnání jednotlivých strojů, kterým se zabývá kapitola 5. se přistoupilo k vytvoření modelu vícekriteriální analýzy, jejíž cílem je porovnat konstrukčně-technologické parametry navržených variant inovace. Váhy kritérií jsou individuální pohled na danou problematiku.

Tabulka 12 Hodnocení kritérií strojů

Hodnocení kritérií						
	Multifunkční obráběcí centrum		Soustruh s poháněnými nástroji a protivřetenem		Soustruh s poháněnými nástroji a jedním vřetenem (popř. 2 revolvery)	
Kritéria	Hodnocení	Váha	Hodnocení	Váha	Hodnocení	Váha
Cena/Režijní sazba	1	8	2	8	3	8
Produktivita	3	7	2	7	1	7
Čas pro přípravu stroje	2	6	1	6	3	6
Přesnost	1	5	2	5	3	5
Variabilita technologií (složitost)	3	4	2	4	1	4
Pracovní prostor stroje	3	3	1	3	2	3
Teoretická bezporuchovost	1	2	2	2	3	2
Rozměry stroje	1	1	3	1	2	1
<b>Výsledek</b>		<b>70</b>		<b>64</b>		<b>82</b>

Z výsledné tabulky (viz Tabulka 12) je patrné, že volba soustruhu s jedním vřetenem je správná a potvrdila se tím teoretická volba (viz kapitola 5.7).

Jako kritéria byly vybrány nejdůležitější strojní a technologické parametry. Pro detailnější a přesnější analýzu by bylo vhodné zahrnout více kritérií, jako např. výkonnostní charakteristiku stroje, způsob řízení, rychlost výměny nástroje, přídatné strojní prvky a rozhraní (sondy, měření atd.).

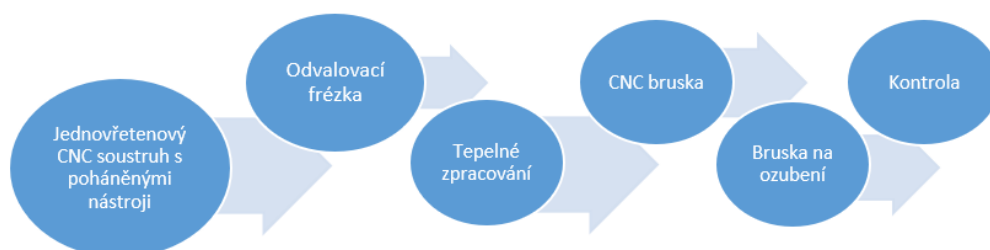


## 6 Návrh inovace výroby

Z charakteristiky součástí a firemních požadavků se hlavní inovační změna týká sloučení soustružnických, vrtacích (otvory, závity, důlky) a dokončovacích operací. Jak již bylo řečeno v úvodu práce, cílem je navrhnout takový způsob výroby, který bude aplikovatelný na všechny pastorky s podobnou geometrií a vlastnostmi, jako zadané dílce, tj. budou vyráběny na stejném stroji, na stejný počet upnutí, podobnými nástroji. Pro tyto technologie byly v kapitole 5. vybrány adekvátní stroje a technologie. Obsahem této kapitoly a jejích podkapitol je zpracování technologického postupu, společně s výběrem vhodných nástrojů a rezných podmínek. Pro každou součást je zpracovaný samostatný postup.

### 6.1 Technologické postupy

V současných technologických postupech – sledech operací (viz 4.2) jsou řešeny operace přímo související s obráběním. Nepopisuje se tedy proces tepelného zpracování, měření na CMM a konvenčních měřidlech, mezioperační kontroly a ruční úprava. Rovněž se nepopisuje proces dělení materiálu, frézování a broušení ozubení, jelikož tato technologie není předmětem inovace. Tyto činnosti budou pro všechny díly totožné a návrh inovace je neovlivní, budou zhotoveny stávající technologií. Všechny typy pastorků jsou opracovány na soustruhu celkem na dvě upnutí, po těchto dvou operacích následuje sled činností na pracovištích, které jsou chronologicky zobrazeny na obrázku (viz Obr. 28). Výroba ozubení se bude i nadále realizovat na původních strojích – odvalovací frézka s bruskou na ozubení. Dělení materiálu na pile je u všech dílů shodné a není potřeba ho detailněji popisovat v následující kapitole. Řezné podmínky jsou zvoleny na základě doporučení výrobce pro maximální výkonnostní parametry. S ohledem na trvanlivost a náklady je vhodné na základě zkušenostní nebo analytických výpočtů při reálné výrobě rezné podmínky optimalizovat.



Obr. 28 Postupný sled operací na jednotlivých pracovištích

### 6.1.1 Operace 10 - Soustružení, vrtání

Polotovár v podobě kulaté tyče se po dělení na pásové pile přesune k CNC soustruhu. Obrobek je upnut v tříčelistovém sklíčidle. Pro řešení upínání na soustruhu se využije moderní sklíčidlo KNCS-N od firmy SMW Autoblok (viz Obr. 29). Nasazení tohoto sklíčidla umožní rychlou výměnu čelistí a dovoluje volitelně nastavit požadovanou vzdálenost čelistí pro různé průměry a tvary součástí.



Obr. 29 Sklíčidlo KNCS-N [26]

Nejprve se kompletně soustruží pravá strana pastorku s přídatkem na broušení a hlavovým průměrem včetně zápichů, následně se zarovná čelo dílce na čisto a zhotoví otvory se závity a středící důlky. Po obrábění se provede kontrola rozměrů. Pokud jsou výsledky měření vyhovující, zhotoví se celá dávka. Pro dosažení předepsaných geometrických tolerancí jako sousost, válcovitost a kruhovitost byly provedeny zaměstnanci podniku prototypové zkoušky na podobném stroji jako zvolený CNC soustruh při použití shodné koncepce obrábění. Během následného měření se došlo k závěru, že při zhotovení pastorku na dvě upnutí je rozptyl hodnot v intervalu geometrických tolerancí díky stabilnímu upnutí a tuhosti stroje dostačující, a rovněž vzájemná přesnost polohy středících důlků a otvorů, které jsou důležitým konstrukčním prvkem pro pozdější upnutí na brusce přijatelná. Výrobní postupy s řeznými podmínkami jsou uvedeny v tabulkách (viz Tabulka 13, Tabulka 14, Tabulka 15).

Tabulka 13 Operace 10 pro položku 08-204717

Výrobní postup 08-204717		Řezné podmínky		
Popis úkonu	Nástroj	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Úpnout tyč do sklíčidla				
Zarovnat čelo na $l=353,5$	T1	300	0,4	1,5
Soustružit z pravé strany hlavový $\varnothing 145$ s přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 94$ na $l = 89$ , včetně radiusu	T1	340	0,4	5
Soustružit tolerovaný $\varnothing 70m5$ a $\varnothing 80n6$ s 0,2 přídavkem pro brus -Míry $l = 44$ a $l = 63$ soustružit na -0,1 s přídavkem pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 35$ na $\varnothing 35,3$	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 35$ hotově	T2	400	0,3	0,3
Zarovnat čelo na $l = 353$	T2	400	0,3	0,5
Soustružit rádiusy, zápichy, sražení hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Navrtat důlek A6,3/13,2 ISO 6411	T3	dle obsluhy		
Vrtat otvory $5 \times \varnothing 6,8$ pro závit M8, srazit hrany	T4,T5	150	0,45	3,4
Řezat závit M8 do $hl = 22$	T6	50	0,15	0,6
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

Tabulka 14 Operace 10 pro položku 08-206933

Výrobní postup 08-206933		Řezné podmínky		
Popis úkonu	Nástroj	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Úpnout tyč do sklíčidla				
Zarovnat čelo na $l = 318,5$	T1	300	0,4	1,5
Soustružit zprava $\varnothing 217,2$ (hlavový) s přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 120n6$ přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Zarovnat čelo na $l = 318$	T2	400	0,3	0,5
Soustružit zápichy, rádiusy, zkosení hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Vrtat otvor $\varnothing 15,2$ pro závit G3/8 do $hl = 35$	T3	155	0,48	7,6
Soustružit zhloubení $\varnothing 18$ , $\varnothing 23$ , srazit hrany	T4	250	0,2	0,5
Předvrtat otvor $\varnothing 8$ do $hl = 50$ z čela	T5	100	0,32	4
Vrtat otvor $\varnothing 8$ do $hl = 214$	T6	85	0,25	4
Řezat závit G3/8 do $hl = 28$	T7	33	0,15	0,4
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

Tabulka 15 Operace 10 pro položku 08-205892

Výrobní postup 08-205892		Řezné podmínky		
Popis úkonu	Nástroj	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Úpnout tyč do sklíčidla				
Zarovnat čelo na $l = 276,5$	T1	300	0,4	1,5
Soustružit z pravé strany hlavový $\varnothing$ na 93,9 s 0,2 přídavkem pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 70$ hotově na šířku ozubení s R5 hotově	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 60m6$ s přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit čelo na $l = 276$	T2	400	0,3	0,5
Soustružit zápichy, sražení hran hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Soustružit vybrání $\varnothing 52H7$ hotově	T3	120	0,15	4
Vrtat otvory $4 \times \varnothing 6,8$ pro závit M8 do $hl = 19$ , srazit hrany	T4,T5	85	0,16	3,4
Řezat závit $4 \times$ M8 do $hl = 15$	T6	50	0,15	0,6
Navrtat důlek A 6,3/13,2 ISO 6411 (technologická změna)	T7	dle obsluhy		
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

### 6.1.2 Operace 20 – Soustružení, vrtání

Obrobek se otočí a upne za hlavový průměr. Soustruží se levá strana obdobně jako v předchozí operaci. Velikost průchozího vřetena na soustruhu umožňuje částečně zasunout již obrobenou část pastorku a tím realizovat vhodné a stabilní upnutí. Délka součásti se zarovná na jmenovitý rozměr podle výkresu. Po obrábění opět následuje měření, pokud jsou rozměry při měření na prvním kuse v mezích tolerance, zhotoví se celá dávka. Výrobní postupy s řeznými podmínkami jsou uvedeny v tabulkách (viz Tabulka 16, Tabulka 17, Tabulka 18).

Tabulka 16 Operace 20 pro položku 08-204717

Výrobní postup 08-204717		Řezné podmínky		
Popis úkonu	Nástroj	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Otočit a upnout za hlavový průměr				
Zarovnat čelo na $l = 352,7$	T1	300	0,4	0,3
Soustružit hlavový $\varnothing 145$ s přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit rozměr $93 \pm 0,1$ na $l = 93+0,1$ pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 80h6$ , $\varnothing 80n6$ s 0,2 přídavkem pro brus	T1	340	0,4	5
Zarovnat čelo na $l = 263,5 \pm 0,1$ dle výkresu	T2	400	0,3	0,2
Soustružit rádiusy, zápichy, sražení hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Vrtat pro závit G1/4 otvor $\varnothing 11,7$ do hloubky 12, srazit hrany	T7,T5	160	0,4	5,85
Vrtat otvor $\varnothing 4$ do hl = 48	T8	63	0,15	2
Řezat závit G1/4 do hl = 10	T9	45	0,15	0,65
Zhotovit dílek B M20 ČSN 01 4917	T10,T11,T5	dle obsluhy		
Vrtat otvor $\varnothing 4$ s průnikem do otvoru $\varnothing 4$	T12	63	0,15	2
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

Tabulka 17 Operace 20 pro položku 08-206933

Výrobní postup 08-206933		Řezné podmínky		
Popis úkonu	Nástroj	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Otočit a upnout za hlavový průměr				
Zarovnat čelo na $l = 317$	T1	300	0,4	1,5
Soustružit $\varnothing 217,2$ (hlavový) s přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\varnothing 160$ s 0,2 přídavkem pro brus; délku $87,5 \pm 0,05$ soustružit na $87,3 \pm 0,05$ ; na čele ozubení 0,2 mm pro brus	T1	300	0,4	5
Soustružit $\varnothing 120n6$ přídavkem 0,2 pro brus	T1	340	0,4	5
Zarovnat čelo na $l = 316,5$	T2	400	0,3	0,5
Soustružit zápichy, rádiusy, zkosení hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Vrtat otvor $\varnothing 12$ pro závit M14 do hl = 35, srazit hrany	T8,T4	145	0,42	6
Řezat závit M14 do hl = 30	T9	50	0,15	1
Zhotovit dílek A M16 ČSN 01 4917 dle výkresu	T10,T11,T4	dle obsluhy		
Vrtat otvor $\varnothing 4$ s průnikem do otvoru $\varnothing 8$	T12	60	0,11	2
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

Tabulka 18 Operace 20 pro položku 08-205892

Výrobní postup 08-205892 Popis úkonu	Nástroj	Řezné podmínky		
		$V_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
Otočit a upnout za hlavový průměr				
Zarovnat čelo na $l = 274$	T1	300	0,4	2
Soustružit hlavový $\phi$ na $93,9 \pm 0,1$ přídavkem pro brus	T1	340	0,4	5
Soustružit $\phi 73$ hotově na šířku ozubení s R5 hotově	T1	340	0,4	5
Zarovnat čelo na $l = 273,2$	T2	400	0,3	0,8
Soustružit $\phi 60$ s přídavkem 0,2 pro brus; míru $68,5 \pm 0,1$ soustružit na $68 \pm 0,1$ ; $155,5 \pm 0,1$	T2	340	0,4	5
Soustružit $\phi 56$ s přídavkem 0,2 pro brus	T2	340	0,4	4
Soustružit $\phi 54 \pm 0,1$ a $\phi 52 \pm 0,1$ hotově; rádiusy	T2	400	0,3	2
Soustružit $\phi 50$ s přídavkem 0,2 pro brus	T2	400	0,3	2
Soustružit kužel 1:50 s přídavkem 0,2 pro brus	T2	400	0,3	2
Soustružit zápichy, sražení hran hotově dle výkresu	T2	340	0,4	dle výkresu
Zhotovit dílek A M10 ČSN 01 4917	T8, T9, T5	dle obsluhy		
Kontrola rozměrů, házení, závitů				

### 6.1.3 Operace 30 – Frézování ozubení

Při této operaci dochází k výrobě ozubení pomocí odvalování. Obrobek je uchycen do universálních čelistí. Při frézování se nechává přídavek 0,2 mm na bok zubu pro následné broušení. Řezné podmínky se volí v závislosti na modulu a velikosti kola. Jako nástroj se využije monolitní karbidová fréza.

### 6.1.4 Operace 40 – Tepelné zpracování

Pro dosažení dostatečné tvrdosti zubů se zuby cementují do hloubky 0,6-1,9 mm, kalí na tvrdost 58-62 HRC a následně popouští. Veškeré plochy, které nemají být vystaveny tepelnému zpracování se chrání nátěrem CONDURON.

### 6.1.5 Operace 50 - Broušení

Pro dokončení (viz kapitola 5.4) na brusce se obrobek upne mezi hroty a z jedné strany se přišroubuje přes závitový otvor k unášecí desce. Tím se dosáhne možnosti broušení celého povrchu dílce na jedno upnutí a přenosu kroutícího momentu. Brouší se funkční plochy pro ložiska a kužel po technologickém přídavku soustružení. Řezná rychlost se volí konstantní 45 m/s. Postup broušení na jednotlivých součástech je popsán v tabulkách (viz Tabulka 19, Tabulka 20, Tabulka 21).

#### Brousící kotouč [27]

Brousící kotouč je zvolen dle označení výrobce: T1 400x50x127 454A46(2)H5V40 305285.

Složení: Umělý mikrokrytalický korund s keramickým pojivem

Zrnitost: 46, Tvrdost: H, Použití: Ocel kalená do 65 HRC (rychlořezná)



Obr. 30 Brousící kotouč [27]

Tabulka 19 Operace 50 pro položku 08-204717

<b>Výrobní postup 08-204717</b>
Upnout mezi hroty s pomocí čelní unášecí desky
Brousit hlavový průměr
Brousit $\varnothing$ 80h6
Brousit $\varnothing$ 80n6 a čela
Brousit $\varnothing$ 70m5 a čelo
Brousit kužel 1:50

Tabulka 20 operace 50 pro položku 08-206933

<b>Výrobní postup 08-206933</b>
Upnout mezi hroty s pomocí čelní unášecí desky
Brousit hlavový průměr
Brousit $\varnothing$ 120n6 a čela
Brousit kužel 1:50

Tabulka 21 operace 50 pro položku 08-205892

<b>Výrobní postup 08-205892</b>
Upnout mezi hroty s pomocí čelní unášecí desky
Brousit hlavový průměr
Brousit $\varnothing$ 50s7
Brousit $\varnothing$ 60m6
Brousit $\varnothing$ 56m6
Brousit kužel 1:50

### 6.1.6 Operace 60 – Broušení ozubení

Během této operace se brousí ozubení, společně s modifikací na NC brusce pro dosažení požadované přesnosti.

### 6.1.7 Operace 70 - Kontrola

Průběžné měření doprovází každou obráběcí operaci po jejím ukončení. U operace 10 a 20 se první zhotovený kus odešle na souřadnicový měřicí stroj. Pokud je kvalita a přesnost přijatelná, zhotoví se celá dávka. Při této operaci dochází ke konečnému měření dávky (popř. 1 kusu z dávky) kontrolorem, zdali byli zhotoveny všechny operace, měří se plochy s tolerancí, závity apod., provede se vizuální kontrola a zhotoví se protokol měření.

## 6.2 Volba nástrojů

Nástroje byly vybrány od současného firemního dodavatele, společnosti Seco Tools a Paul Horn GmbH. Většinou se jedná o povlakované nástroje ze slinutého karbidu, popř. rychlořezné oceli. Upínací systém pro nástroje je zvolen Capto C5, vzhledem k rozhraní upínání stroje (VDI 50). Upínací rozhraní s redukcí je znázorněno na obrázku (viz Obr. 31). Čas pro upínání poháněných nástrojů s rozhraním Capto se zkrátí na 30 sekund, oproti 10-20 minutám u běžné ER koncepce (viz Obr. 32).



Obr. 31 Upínací systém Capto [28]



Obr. 32 Porovnání metod upínání ER (vlevo) a Capto (vpravo) [28]

### 6.2.1 Přednosti Capto upínání [28]

- Rychlovýměnné nástrojové držáky umožňují zkrácení časů na seřízení a výměnu nástrojů, což přináší podstatné zvýšení využití stroje
- Integrací systému Coromant Capto přímo do vřetena se např. u víceúčelových strojů, obráběcích center přizpůsobených pro soustružení nebo vertikálních soustruhů zvyšuje jejich univerzálnost a stabilita
- Jakožto modulární systém určený pro obráběcí centra nabízí Coromant Capto široký sortiment prodlužovacích a redukčních adaptérů umožňujících bez ohledu na typ rozhraní obráběcího stroje (SK, HSK, Big Plus) sestavit nástroje různých délek a charakteristických tvarů. Díky modulární konstrukci dochází k omezení potřeby použití drahých speciálních nástrojů s dlouhými dodacími lhůtami

#### Výhody [28]:

- Flexibilita a značná modularita
- Vysoká základní stabilita a přesnost
- Minimální skladové zásoby nástrojů
- Kratší časy na seřízení

#### Technická charakteristika [28]:

- Schopnost přenosu velkých krouticích momentů
- Vysoká ohybová tuhost
- Rychlá a automatická výměna nástrojů
- Moderní technologické řešení trysek zaručující bezpečnost a spolehlivost obráběcího procesu, dokonce i při nízkých tlacích
- Vnitřní vysokotlaký přívod řezné kapaliny tělem nástroje – z obráběcího stroje až na břit



- Vyváženost a sousost
- Samostředící konstrukce

**Použití [28]:**

- Systém Coromant Capto lze použít pro všechny typy obráběcích strojů:
- Soustružnická centra – rychlé výměny nástrojů a vysokotlaký přívod řezné kapaliny.
- Víceúčelové stroje a obráběcí centra – rotační rozhraní vřetena stroje, modularita nástrojového vybavení a rychlé výměny nástrojů.
- Flexibilní systém Coromant Capto, který je k dispozici v šesti velikostech, nabízí řešení pro všechny typy požadavků: C3–C10, průměr 32, 40, 50, 63, 80 a 100.

**Coromant Capto Disc Interface (CDI) [28]**

CDI bylo vyvinuto jako rozhraní revolverové hlavy, které je bez ohledu na typ stroje možné standardizovat jako náhradu za VDI. Revolverové hlavy v provedení CDI jsou dodávány celé řady výrobců obráběcích strojů. [29]



*Obr. 33 Rozhraní revolverové hlavy CDI [29]*



*Obr. 34 Poháněná jednotka (vlevo) a jednotka pro obecné obrábění (vpravo) [29]*

## 6.2.2 Nástrojový list 08-205892

Pro zhotovení dílce se využije různorodé spektrum obráběcích nástrojů. Jedná se o soustružnické nože hrubovací, dokončovací, speciální čelní zapichovací a vnitřní konturovací. Z poháněných a rotačních nástrojů se volí především vrtáky, závitníky a středící vrták. Kompletní seznam s nejdůležitějšími údaji a vyobrazením jednotlivých nástrojů je uveden v tabulce (Tabulka 22).

Tabulka 22 Nástrojový list pro položku 08-205892 [30] [31]

List 1 / 1		Nástrojový list 08-205892		
Číslo nástroje	Popis	Držák nástroje	VBD	Zobrazení nástroje
T1	Soustružnický nůž pro hrubování	C5-DCLNR-35060-19-M	CNMG190608-M5 TP2501	
T2	Nůž pro soustružení na čisto	C5-SCLCR-35060-12	CCMT120404W-F1 TP2501	
T3	Čelní zapichovací nůž	R/L228.2525.09	N231.4100.38	
T4	Povlakovaný karbidový vrták	SD245A-6.8-40-8R1	Monolitní	
T5	Vnitřní nůž pro srážení hran a přechody	R105.00C5.20.1.01	R105.4545.2.5	
T6	Povlakovaný karbidový vrták	SD245A-6.8-40-8R1	Monolitní	
T6	Strojní závitník	MTP-M8X1.25ISO6HX-TB-P004	Monolitní	
T7	Středící vrták	TT_221110_A_63 (katalog)	Monolitní	
T8	Povlakovaný karbidový vrták	SD205A-0900-049-10R1-P	Monolitní	
T9	Strojní závitník	MTP-M10X1.50ISO6HX-TB-P004	Monolitní	

### 6.2.3 Nástrojový list 08-206933

Obdobné nástroje jsou určeny pro soustružení (hrubování, na čisto). Rovněž jsou zde zastoupeny vrtáky pro hluboké otvory a strojní závitníky. Kompletní seznam použitých nástrojů ve zobrazen v tabulce (viz Tabulka 23).

Tabulka 23 Nástrojový list pro položku 08-206933 [30] [31]

List 1 / 1		Nástrojový list 08-206933		
Číslo nástroje	Popis	Držák nástroje	VBD	Zobrazení nástroje
T1	Soustružnický nůž pro hrubování	C5-DCLNR-35060-19-M	CNMG190608-M5 TP2501	
T2	Nůž pro soustružení na čisto	C5-SCLCR-35060-12	CCMT120404W-F1 TP2501	
T3	Povlakovaný karbidový vrták	SD205A-1520-063-16R1-P	Monolitní	
T4	Vnitřní nůž pro srážení hran a přechody	R105.00C5.20.1.01	R105.9013.2.3	
T5	Povlakovaný karbidový vrták	SD207A-0800-057-08R1-P	Monolitní	
T6	Vrták pro hluboké otvory	SD230A-8.0-225-8R1	Monolitní	
T7	Závitník pro trubkový závit	MTP-3/8-19G-TB-V023	Monolitní	
T8	Povlakovaný karbidový vrták	SD205A-1200-056-12R1-P	Monolitní	
T9	Strojní závitník	MTP-M14X2.00ISO6HX-TB-P004-A	Monolitní	
T10	Vrták s vyměnitelnými destičkami	SD523-15-45-20R7	SCGX050204-P2 DP3000	
T11	Strojní závitník	MTP-M16X2.00ISO6HX-TB-P004-A	Monolitní	
T12	Vrták pro hluboké otvory	SD230A-4.0-112-4R1	Monolitní	

## 6.2.4 Nástrojový list 08-204717

Výběr nástrojů je opět podobný jako u předchozích dílů. Kromě vnitřního nože pro srážení hran a kontury se volí speciální fréza pro srážení hran. Kompletní nástrojový list je znázorněn v tabulce (viz Tabulka 24).

Tabulka 24 Nástrojový list pro položku 08-204717 [30] [31]

List 1 / 1				
Nástrojový list 08-204717				
Číslo nástroje	Popis	Držák nástroje	VBD	Zobrazení nástroje
T1	Soustružnický nůž pro hrubování	C5-DCLNR-35060-19-M	CNMG190608-M5 TP2501	
T2	Nůž pro soustružení na čisto	C5-SCLCR-35060-12	CCMT120404W-F1 TP2501	
T3	Středící vrták	TT_221110_A_63 (katalog)	Monolitní	
T4	Povlakovaný karbidový vrták	SD245A-6.8-40-8R1	Monolitní	
T5	Fréza pro srážení hran	MM06-10100.0-1035DS	MM06-08008-D4510P-M02	
T6	Strojní závitník	MTP-M8X1.25ISO6HX-TB-P004	Monolitní	
T7	Povlakovaný karbidový vrták	SD203A-1170-040-12R1-P	Monolitní	
T8	Povlakovaný karbidový vrták	SD216A-4.0-60-4R1	Monolitní	
T9	Závitník pro trubkový závit	MTP-1/4-19G-TB-V023	Monolitní	
T10	Vrták s vyměnitelnými destičkami	SD523-18.5-56-20R7	SCGX050204-P2 DP3000 SPGX0602-C1 T400D	
T11	Strojní závitník	MTP-M20X2.50ISO6HX-TB-P004-A	Monolitní	
T12	Povlakovaný karbidový vrták	SD205A-0400-029-06R1-P	Monolitní	

### 6.3 Srovnání s předchozím stavem

Pro porovnání byl vybrán díl č. 08-204717. Vzhledem k současnému stavu se snížil počet operací z původních 11 na navržených 7. Důvod snížení počtu operací je sloučení úkonů rotačního a nerotačního obrábění v podobě soustružení, vrtání (popř. frézování) – červeně označeno. Toto řešení eliminuje největší nedostatek výchozího stavu výroby a efektivně přináší možnost inovace. Další technologická úspora je v jednotné operaci broušení, díky odpadnutí přeseřžení brusky pro jiný směr pohybu kotouče (zhotovení kužele). Obdobným stylem lze porovnat i zbylé typy součástí. Snížení počtu operací je popsáno v tabulkách (viz Tabulka 25, Tabulka 26).

Tabulka 25 Nový návrh technologického postupu – pořadí operací

08-204717		
Číslo operace	Popis činnosti	Stroj, pracoviště
1	Dělit materiál	Pásová pila
2	Soustružení, vrtání	CNC soustruh
3	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
4	Tepelné zpracování	Cementační, kalící pece
5	CNC broušení	CNC bruska
6	Broušení ozubení	Bruska na ozubení
7	Kontrola	CMM, konvenční měřidla

Tabulka 26 Původní technologický postup – pořadí operací

08-204717		
Číslo operace	Popis činnosti	Stroj, Pracoviště
1	Dělit materiál	Pila pásová
2	Zarovnání čel	Zarovnávací stroj
3	Soustružení	CNC soustruh
4	Vrtání	Vyvrtačací stroj
5	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
6	Tepelné zpracování	Cementační, kalící pece
7	Broušení	Konvenční bruska
8	Soustružení	Konvenční soustruh
9	Broušení	Konvenční bruska
10	Broušení ozubení	Bruska na ozubení
11	Kontrola	CMM, konvenční měřidla

## 7 Simulace obrábění

Nezbytnou částí pro závěrečné zhodnocení a ekonomické porovnání inovace výroby se současným stavem, je zjištění času potřebného k obrobení řešených dílců. Nejoptimálnější způsob vizualizace a verifikace obrábění, který by poskytl nejpřesnější údaje z hlediska času a práce stroje je zhotovení kinematického modelu stroje s přesně stanovenými pojedy, limity rozsahů os a výkonnostními charakteristikami stroje (přejezdy, zrychlení, posuvy apod.). Rovněž by bylo potřeba nastavit interpolátor s řídicím systémem pro vybraný stroj. Sehnat veškerá podstatná data pro zvolený stroj a zhotovit potřebnou kinematiku by bylo velice náročné a není to cílem práce.

Rozdíl časů mezi samotným CAM softwarem a skutečným strojním časem může být až 40 %. Je to způsobeno absencí výše zmíněných parametrů, které ovlivňují rozdíl v simulačním a reálném čase. Na základě konzultace s pracovníky ústavu a firmy se čas pro obrábění určí z doby nástroje v řezu-tj. drah vygenerovaných CAM softwarem a na základě empirických zkušeností se výsledný čas po součtu všech drah pro jednotlivé nástroje vynásobí určitým poměrovým přepočtem.

Virtuální simulace obráběcího procesu má řadu výhod. Nejenže nedochází ke spotřebě materiálu a opotřebením nástrojů, ale zejména není nutné uvolňovat z výroby samotný stroj a celý proces obrábění je možno pohodlně verifikovat a upravovat v kanceláři z PC.

### 7.1 NX 12

Computer-aided-manufacturing – CAM (počítačově podporované obrábění) je využívání počítačového CAM software k tvorbě NC programů pro CNC obráběcí stroje. Díky těmto aplikacím, je programátor schopen vytvořit efektivní dráhy obráběcích nástrojů, které snižují celkový strojní čas, čas potřebný k přípravě výroby, zvyšují životnost obráběcích nástrojů a díky kontrole kolizí ve virtuálním prostředí obráběcího stroje, předchází škodám vzniklým chybným zadáním NC programu. [32]

Jako CAM software pro simulaci obrábění byl zvolen NX 12 od firmy Siemens. NX CAM je součástí komplexního CAD/CAM systému NX a umožňuje komplexní obrábění součástí v profesích frézování/vrtání, soustružení, drátové řezání a obrábění na multifunkčních obráběcích centrech. Kromě solid modelu lze také obrábět plošné modely, STL modely, 2D drátovou geometrii nebo kombinaci výše uvedených typů geometrie. Systém umožňuje také používat sestavy pro definici obráběných nebo upínacích prvků.

Integrace do CAD/CAM systému NX zabezpečuje asociativitu obroběného modelu vzhledem ke geometrickým i technologickým změnám. [33]

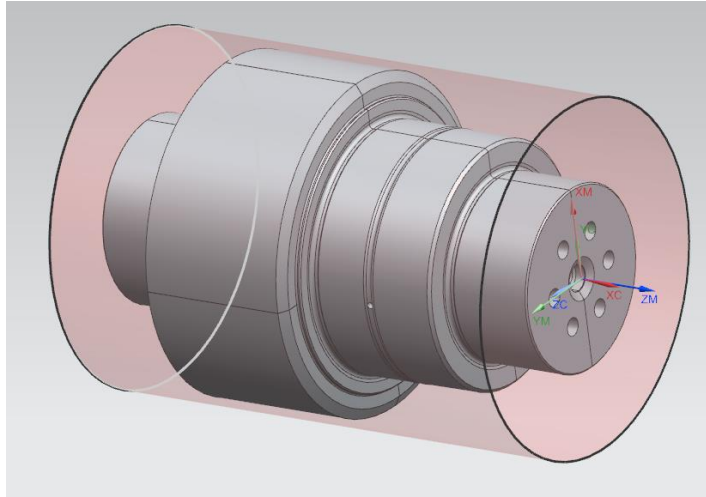
Pro složitější obráběcí aplikace lze také simulovat proces obrábění včetně kinematiky CNC obráběcího stroje. Strojní čas vypočtený na základě definovaných technologických parametrů slouží pro cenové kalkulace, kapacitní propočty a výpočty spotřeby nástrojů. Všechny konfigurace produktu obsahují modul pro tvorbu a úpravu postprocesorů, modul pro ověření dráhy nástroje, standardní překladače pro CAD data, knihovnu nástrojů, obráběných materiálů a řezných podmínek, generování dílenské dokumentace, modul pro práci se sestavami atd. [33]

## **7.2 Analýza obrábění v CAM**

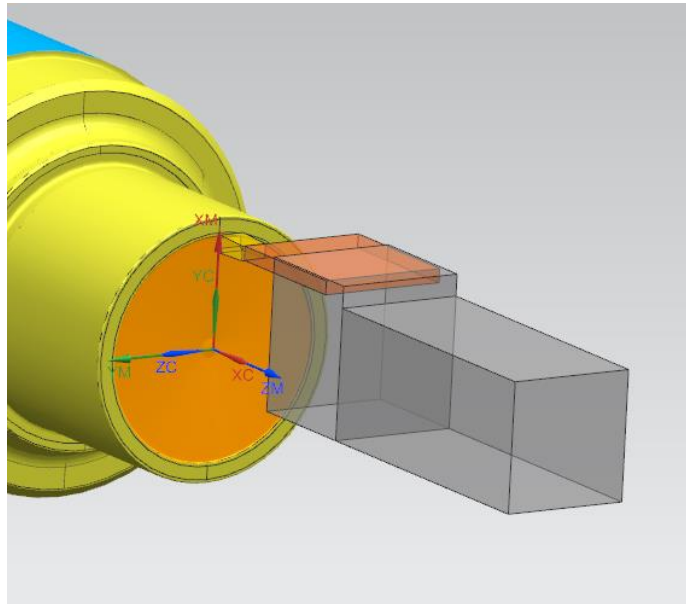
Geometricky podobně koncipované součásti, jako zadané pastorky jsou ve většině případech programovány ve firmě dílensky přímo na stroji, pokud se jedná o soustružení a osově vrtání. Programátor využívá CAM spíše na nerotační součásti na vyvrtávacích a obráběcích centrech, popřípadě pro mimoosé otvory (současný případ) a frézování.

Největší výhodou nasazení CAM při soustružení je možnost kompenzace drah a korekce poloměru špičky nože vůči seřizovacímu bodu na stroji. Bohužel, většina řídicích systémů má limitované schopnosti pro nahlížení ve výstupním NC kódu. Často nedokáže zpracovat zadanou dráhu, kde určitá křivost dráhy a její kontury je menší než poloměr zvoleného nástroje, a proto je potřeba, aby CAM toto byl schopen zajistit. Z hlediska omezeného náhledu dopředu v NC kódu, řídicí systémy nemají mechanismus, jak zajistit, že kompenzovaná dráha nástroje nepoškodí výsledný požadovaný tvar.

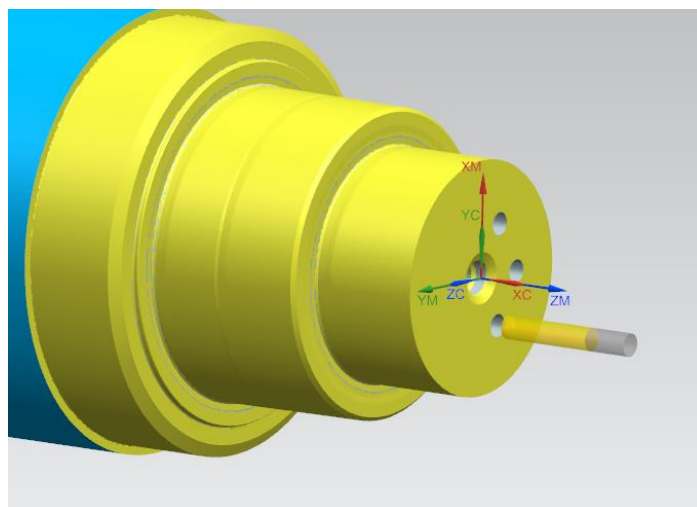
V této kapitole vzhledem k rozsahu problematiky nejsou popsány jednotlivé a postupné kroky při práci se SW, jako např. vytvoření nástrojů, volba strategií nebo analýza na základě simulace. Pro názornou ukázkou jsou vybrány určité části při sestavení partprogramu, které jsou zobrazeny na následujících snímcích (viz Obr. 35., Obr. 36, Obr. 37). Výsledné časy obrábění jsou uvedeny v kapitole (viz kapitola 8).



Obr. 35 Nastavení geometrie polotovaru a součásti



Obr. 36 Čelní zapichování



Obr. 37 Vrtání děr



## 8 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení vychází z hodinových sazeb a časů potřebných pro obrábění na jednotlivých strojích. Postup vyhodnocení je proveden na základě doporučení odborníků z ČVUT a schválení pracovníků firmy. Výpočty na kapacitu, opotřebení nástrojů a spotřebu materiálu nejsou uvažovány. Zhodnocení se určuje pro dávky 1, 10, 20 ks.

### 8.1 Časy obrábění na jednotlivých pracovištích

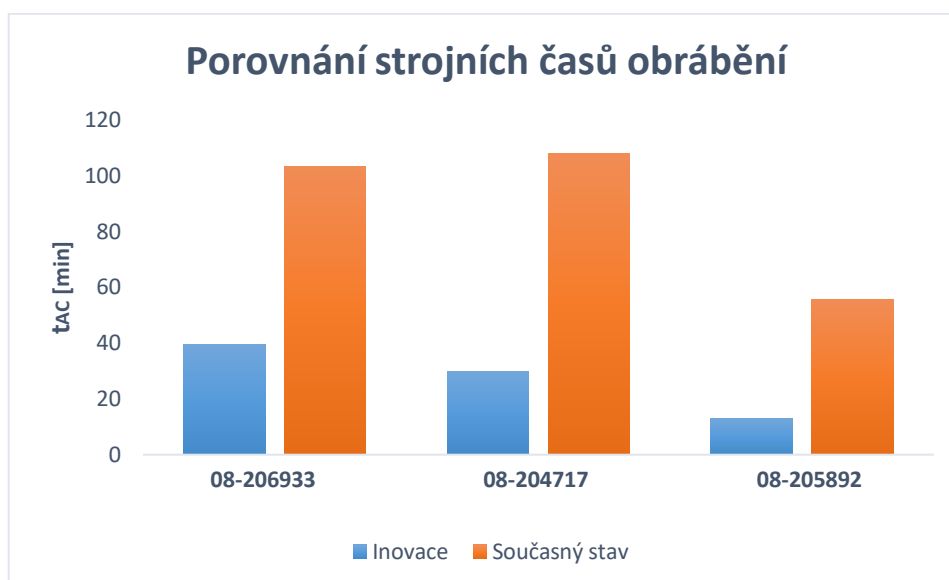
Tabulka 27 Strojní čas inovace výroby na stroji SP 430 MC (všechny operace)

Položka	08-206933	08-204717	08-205892
Strojní čas $t_{AS}$ [min]	20,1	15,96	6,4
Kinematický přepočít [%]	20	20	20
Čas pro upnutí [min]	12	8	4
Kontrolní měření dílu [min]	0,25	0,25	0,25
Směnový koeficient $k_c$	1,08	1,08	1,08
<b>Konečný čas <math>t_{AC}</math> [min]</b>	<b>39,3</b>	<b>29,6</b>	<b>12,82</b>

Tabulka 28 Strojní čas současného stavu (všechny operace)

Položka	08-206933	08-204717	08-205892
<b>Celkový čas <math>\Sigma t_{AC}</math> [min]</b>	<b>103,2</b>	<b>107,7</b>	<b>55,5</b>
<b>Celkový čas <math>\Sigma t_{BC}</math> [min]</b>	<b>218</b>	<b>145,5</b>	<b>166,37</b>

V tabulkách (viz Tabulka 27, Tabulka 28) jsou popsány časy současného a inovovaného způsobu obrábění, které jsou porovnány na grafu (viz Obr. 38).



Obr. 38 Graf porovnání strojních časů

## 8.2 Časy dokončení na jednotlivých pracovištích

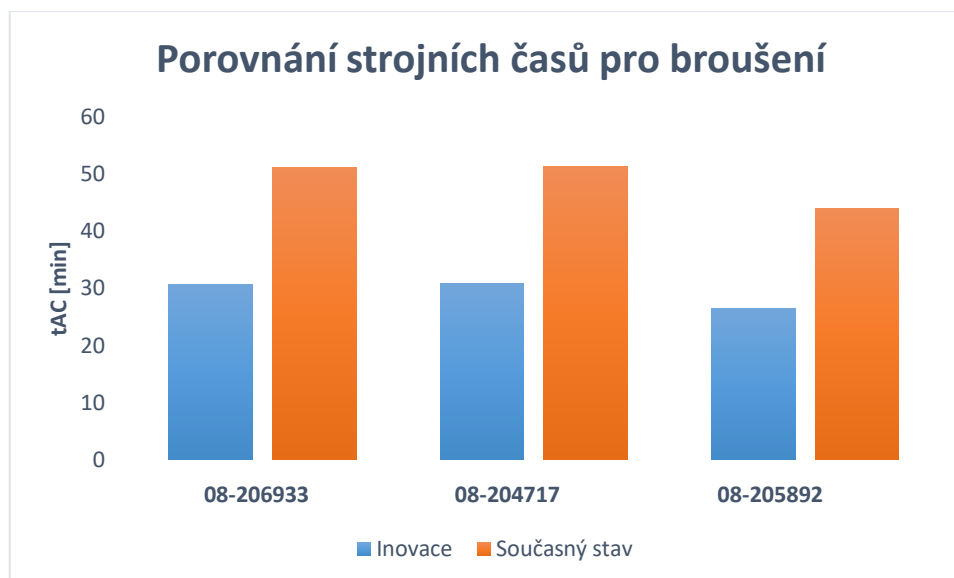
V tabulkách (viz Tabulka 29, Tabulka 30) jsou zobrazeny časy pro broušení na současném a inovovaném stroji, grafické porovnání je zobrazeno (viz Obr. 39). Časy pro přípravu jsou uvedeny v kalkulaci nákladů pro jednotlivé dávky. Redukce času byla určena na základě doporučení a zkušeností z důvodu absence SW pro simulaci broušení.

Tabulka 29 Strojní čas pro brusku Numerika G 800

Položka	08-206933	08-204717	08-205892
Strojní čas $t_{AC}$ [min]	30,6	30,75	26,4

Tabulka 30 Strojní čas pro konvenční brusku

Položka	08-206933	08-204717	08-205892
Strojní čas $t_{AC}$ [min]	51	51,3	44



Obr. 39 Graf porovnání časů broušení

## 8.3 Analyzované údaje

Pro kalkulaci ceny jednoho kusu pro určitou velikost dávky se vychází ze vzorce dle vztahu (8.1). Kalkulace se zhotovuje jak pro obrábění, tak dokončení. Časy pro přípravu dávky pro soustruh Kovosvit SP 430 MC a brusku Numerika G 800 jsou odhadnuty na základě zkušeností s ohledem na seřízení a nastavení podobných strojů ve strojním parku společnosti a dle doporučení (studie) výrobce. V praxi se tyto časy mohou lišit v závislosti na obsluze, podmínkách a typu obrobku. Rovněž se vychází z hodinových režijních sazeb pro stroje s podobnou cenovou sazbou. V tabulkách (viz

Tabulka 31, Tabulka 32, Tabulka 33, Tabulka 34) jsou popsány režijní hodinové sazby stroje (Rhs) a časy pro výrobu a přípravu na jednotlivých strojích.

Tabulka 31 Sazby a přípravné časy pro inovované stroje

Stroj	$t_{BC}$ [min]	Rhs [Kč.h <sup>-1</sup> ]
Kovosvit SP 430 MC	90	1100
Junker Numerika G 800	60	1400

Tabulka 32 Sazby a časy pro položku 08-204717

08-204717				
Stroj	Operace	$t_{AC}$ [min]	$t_{BC}$ [min]	Rhs [Kč.h <sup>-1</sup> ]
Zarovnávačka FZWD160	2	10,2	30	700
Soustruh MT70	3	46,8	45	970
Vyvrtačka stolová WH 10 CNC	4	39,6	40,18	950
Bruska BUB 32	7	29	30	900
Soustruh SUR260	8	11,15	30,375	880
Bruska BUB 32	9	22,3	50	900

Tabulka 33 Sazby a časy pro položku 08-206933

08-206933				
Stroj	Operace	$t_{AC}$ [min]	$t_{BC}$ [min]	Rhs [Kč.h <sup>-1</sup> ]
HEC 800	2	23,5	53,4	1500
Soustruh CTX 600	3	56,21	60	920
Vrtačka VR4A	4	9	19,6	770
Bruska BUB 32	7	26	30	900
Soustruh MT70	8	15,11	85	970
Bruska BUB 32	9	25	54	900

Tabulka 34 Sazby a časy pro položku 08-205892

08-205892				
Stroj	Operace	$t_{AC}$ [min]	$t_{BC}$ [min]	Rhs [Kč.h <sup>-1</sup> ]
Zarovnávačka FZWD160	2	6,49	27,64	700
Soustruh CNC NEF 600	3	13,6	44	960
Soustruh CNC NEF 600	6	10,8	44	960
Hec 800	7	24,6	50,73	1500
Bruska BUB 32	8	44	51	900

$$N = \sum \left( \frac{\text{doba přípravy}[\text{min}]}{60 \cdot \text{počet kusů}} \cdot \text{hodinová sazba}[\text{Kč}] + \right. \\ \left. + \frac{\text{čas pro výrobu jednoho kusu}[\text{min}]}{60} \cdot \text{hodinová sazba}[\text{Kč}] \right) \quad 8.1$$

## 8.4 Kalkulace současného stavu obrábění

Režijní sazby pro stroje jsou upraveny z důvodu interního know-how firmy.

### 8.4.1 Kalkulace pro položku 08-206933

**Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{53,4}{60 \cdot 1} \cdot 1500 + \frac{23,5}{60} \cdot 1500 \right) + \left( \frac{60}{60 \cdot 1} \cdot 920 + \frac{56,21}{60} \cdot 920 \right) + \\ + \left( \frac{19,6}{60 \cdot 1} \cdot 770 + \frac{9}{60} \cdot 770 \right) + \left( \frac{85}{60 \cdot 1} \cdot 970 + \frac{15,11}{60} \cdot 970 \right) = 5689,4 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{53,4}{60 \cdot 10} \cdot 1500 + \frac{23,5}{60} \cdot 1500 \right) + \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 920 + \frac{56,21}{60} \cdot 920 \right) + \\ + \left( \frac{19,6}{60 \cdot 10} \cdot 770 + \frac{9}{60} \cdot 770 \right) + \left( \frac{85}{60 \cdot 10} \cdot 970 + \frac{15,11}{60} \cdot 970 \right) = 2196 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{53,4}{60 \cdot 20} \cdot 1500 + \frac{23,5}{60} \cdot 1500 \right) + \left( \frac{60}{60 \cdot 20} \cdot 920 + \frac{56,21}{60} \cdot 920 \right) + \\ + \left( \frac{19,6}{60 \cdot 20} \cdot 770 + \frac{9}{60} \cdot 770 \right) + \left( \frac{85}{60 \cdot 20} \cdot 970 + \frac{15,11}{60} \cdot 970 \right) = 2003,2 \text{ Kč}$$

### 8.4.2 Kalkulace pro položku 08-205892

**Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{27,64}{60 \cdot 1} \cdot 700 + \frac{6,49}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{44}{60 \cdot 1} \cdot 960 + \frac{13,6}{60} \cdot 960 \right) + \\ + \left( \frac{44}{60 \cdot 1} \cdot 960 + \frac{10,8}{60} \cdot 960 \right) + \left( \frac{50,73}{60 \cdot 1} \cdot 1500 + \frac{24,6}{60} \cdot 1500 \right) = 4079,8 \text{ Kč}$$

### **Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{27,64}{60 \cdot 10} \cdot 700 + \frac{6,49}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{44}{60 \cdot 10} \cdot 960 + \frac{13,6}{60} \cdot 960 \right) + \\ + \left( \frac{44}{60 \cdot 10} \cdot 960 + \frac{10,8}{60} \cdot 960 \right) + \left( \frac{50,73}{60 \cdot 10} \cdot 1500 + \frac{24,6}{60} \cdot 1500 \right) = 1380,9 \text{ Kč}$$

### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{27,64}{60 \cdot 20} \cdot 700 + \frac{6,49}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{44}{60 \cdot 20} \cdot 960 + \frac{13,6}{60} \cdot 960 \right) + \\ + \left( \frac{44}{60 \cdot 20} \cdot 960 + \frac{10,8}{60} \cdot 960 \right) + \left( \frac{50,73}{60 \cdot 20} \cdot 1500 + \frac{24,6}{60} \cdot 1500 \right) = 1231 \text{ Kč}$$

### **8.4.3 Kalkulace pro položku 08-204717**

#### **Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 1} \cdot 700 + \frac{10,2}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 1} \cdot 970 + \frac{46,8}{60} \cdot 970 \right) + \\ + \left( \frac{40,18}{60 \cdot 1} \cdot 950 + \frac{39,6}{60} \cdot 950 \right) + \left( \frac{30,375}{60 \cdot 1} \cdot 880 + \frac{11,15}{60} \cdot 880 \right) = 3825,3 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 10} \cdot 700 + \frac{10,2}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 10} \cdot 970 + \frac{46,8}{60} \cdot 970 \right) + \\ + \left( \frac{40,18}{60 \cdot 10} \cdot 950 + \frac{39,6}{60} \cdot 950 \right) + \left( \frac{30,375}{60 \cdot 10} \cdot 880 + \frac{11,15}{60} \cdot 880 \right) = 1882,1 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 1} \cdot 700 + \frac{10,2}{60} \cdot 700 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 1} \cdot 970 + \frac{46,8}{60} \cdot 970 \right) + \\ + \left( \frac{40,18}{60 \cdot 1} \cdot 950 + \frac{39,6}{60} \cdot 950 \right) + \left( \frac{30,375}{60 \cdot 1} \cdot 880 + \frac{11,15}{60} \cdot 880 \right) = 1774,1 \text{ Kč}$$

## 8.5 Kalkulace současného stavu pro dokončení

### 8.5.1 Kalkulace pro položku 08-206933

**Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 1} \cdot 900 + \frac{26}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{54}{60 \cdot 1} \cdot 900 + \frac{25}{60} \cdot 900 \right) = 2025 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 10} \cdot 900 + \frac{26}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{54}{60 \cdot 10} \cdot 900 + \frac{25}{60} \cdot 900 \right) = 891 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 20} \cdot 900 + \frac{26}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{54}{60 \cdot 20} \cdot 900 + \frac{25}{60} \cdot 900 \right) = 828 \text{ Kč}$$

### 8.5.2 Kalkulace pro položku 08-205892

**Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{51}{60 \cdot 1} \cdot 900 + \frac{44}{60} \cdot 900 \right) = 1425 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{51}{60 \cdot 10} \cdot 900 + \frac{44}{60} \cdot 900 \right) = 736,5 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{51}{60 \cdot 20} \cdot 900 + \frac{44}{60} \cdot 900 \right) = 698,25 \text{ Kč}$$

### 8.5.3 Kalkulace pro položku 08-204717

**Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 1} \cdot 900 + \frac{29}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{50}{60 \cdot 1} \cdot 900 + \frac{22,3}{60} \cdot 900 \right) = 1969,5 \text{ Kč}$$

**Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 10} \cdot 900 + \frac{29}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{50}{60 \cdot 10} \cdot 900 + \frac{22,3}{60} \cdot 900 \right) = 889,5 \text{ Kč}$$

### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{30}{60 \cdot 20} \cdot 900 + \frac{29}{60} \cdot 900 \right) + \left( \frac{50}{60 \cdot 20} \cdot 900 + \frac{22,3}{60} \cdot 900 \right) = 829,5 \text{ Kč}$$

## **8.6 Kalkulace inovace obrábění**

Ve zjištěném času obrábění pro stroj SP 430 MC (viz Tabulka 27), je uveden pro přehlednost a srovnání celkový čas obrábění a celkový čas pro upínání obrobku do stroje. Díl je ovšem obráběn na dvě upnutí. Pro správnost výpočtu se celkový čas v kalkulaci rozdělí na jednotlivé operace.

Přípravný čas je pro druhou operaci redukován na polovinu, jelikož všechny nástroje jsou připraveny v revolverové hlavě již při přípravě první operace. Záleží na metodě výroby zadané dávky, tj. pokud se nejdříve zhotoví celá dávka z jedné strany a poté z druhé (z důvodu přesnosti a na základě změření prvního kusu). Vzhledem k rozměru dílce je upínání shodné, tj. vždy za největší průměr, není tedy potřeba většího zásahu do přeseřízení stroje. Při použití shodných přípravných časů by rozdíl ceny byl zhruba 5–10 % pro dávku 20 kusů, tj. nejběžnější typ dávky.

Dalším parametrem (viz Kapitola 5.6.2) je přídatná spodní revolverová hlava, které by pokryla eventuální nedostatek nástrojů. Tato úprava stroje by měla rovněž vliv na přípravný čas. Následující kalkulace má odhadový a názorný charakter a při reálném nasazení stroje do výroby by se jednotlivé časy a režijní sazby měnily v závislosti na ekonomických a výrobních podmínkách. Pro kalkulaci se vychází z použití soustruhu s jedním revolverem.

### **8.6.1 Kalkulace pro položku 08-206933**

#### **Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{15,72}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{23,58}{60} \cdot 1100 \right) = 3195,5 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{15,72}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{23,58}{60} \cdot 1100 \right) = 968 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{15,72}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{23,58}{60} \cdot 1100 \right) = 844,25 \text{ Kč}$$

## 8.6.2 Kalkulace pro položku 08-205892

### Kalkulace pro dávku 1 kusu

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{5,13}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{7,7}{60} \cdot 1100 \right) = 2710,2 \text{ Kč}$$

### Kalkulace pro dávku 10 kusů

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{5,13}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{7,7}{60} \cdot 1100 \right) = 482,7 \text{ Kč}$$

### Kalkulace pro dávku 20 kusů

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{5,13}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{7,7}{60} \cdot 1100 \right) = 358,9 \text{ Kč}$$

## 8.6.3 Kalkulace pro položku 08-204717

### Kalkulace pro dávku 1 kusu

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{11,84}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 1} \cdot 1100 + \frac{17,76}{60} \cdot 1100 \right) = 3017,6 \text{ Kč}$$

### Kalkulace pro dávku 10 kusů

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{11,84}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 10} \cdot 1100 + \frac{17,76}{60} \cdot 1100 \right) = 790 \text{ Kč}$$

### Kalkulace pro dávku 20 kusů

$$N = \left( \frac{90}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{11,84}{60} \cdot 1100 \right) + \left( \frac{45}{60 \cdot 20} \cdot 1100 + \frac{17,76}{60} \cdot 1100 \right) = 666,4 \text{ Kč}$$

## 8.7 Kalkulace inovace pro dokončení

### 8.7.1 Kalkulace pro položku 08-206933

#### Kalkulace pro dávku 1 kusu

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 1} \cdot 1400 + \frac{30,6}{60} \cdot 1400 \right) = 2114 \text{ Kč}$$

#### Kalkulace pro dávku 10 kusů

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 1400 + \frac{30,6}{60} \cdot 1400 \right) = 854 \text{ Kč}$$



### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 20} \cdot 1400 + \frac{30,6}{60} \cdot 1400 \right) = 784 \text{ Kč}$$

### **8.7.2 Kalkulace pro položku 08-205892**

#### **Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 1} \cdot 1400 + \frac{26,4}{60} \cdot 1400 \right) = 2016 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 1400 + \frac{26,4}{60} \cdot 1400 \right) = 756 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 20} \cdot 1400 + \frac{26,4}{60} \cdot 1400 \right) = 686 \text{ Kč}$$

### **8.7.3 Kalkulace pro položku 08-204717**

#### **Kalkulace pro dávku 1 kusu**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 1} \cdot 1400 + \frac{30,75}{60} \cdot 1400 \right) = 2117,5 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 10 kusů**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 10} \cdot 1400 + \frac{30,75}{60} \cdot 1400 \right) = 857,5 \text{ Kč}$$

#### **Kalkulace pro dávku 20 kusů**

$$N = \left( \frac{60}{60 \cdot 20} \cdot 1400 + \frac{30,75}{60} \cdot 1400 \right) = 787,5 \text{ Kč}$$

## **8.8 Porovnání výroby**

Nákladové srovnání jednotlivých typů výrob je zhotoveno zvlášť pro obrábění a dokončení. Zároveň je sestaveno zhodnocení pro všechny díly, které byly součástí zadání této práce.

### **8.8.1 Porovnání obrábění**

Z kalkulací vycházející z předchozích kapitol jsou pro názornost a ucelený přehled sestaveny tabulky (viz Tabulka 35, Tabulka 36, Tabulka 37) a grafy (viz Obr. 40, Obr.

41, Obr. 42), které hodnotí ekonomický aspekt inovace při porovnání se současným stavem výroby.

Tabulka 35 Porovnání nákladů pro položku 08-206933

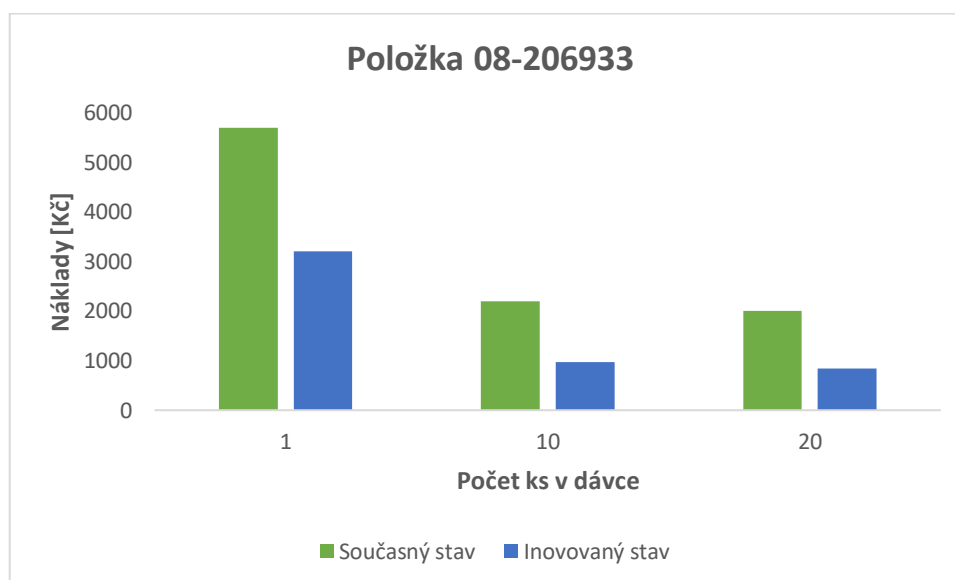
<b>Položka 08-206933</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	5689,4	2196	2003,2
<b>Inovovaný stav</b>	3195,5	968	844,25

Tabulka 36 Porovnání nákladů pro položku 08-205892

<b>Položka 08-205892</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	4079,8	1380,9	1231
<b>Inovovaný stav</b>	2710,2	482,7	358,9

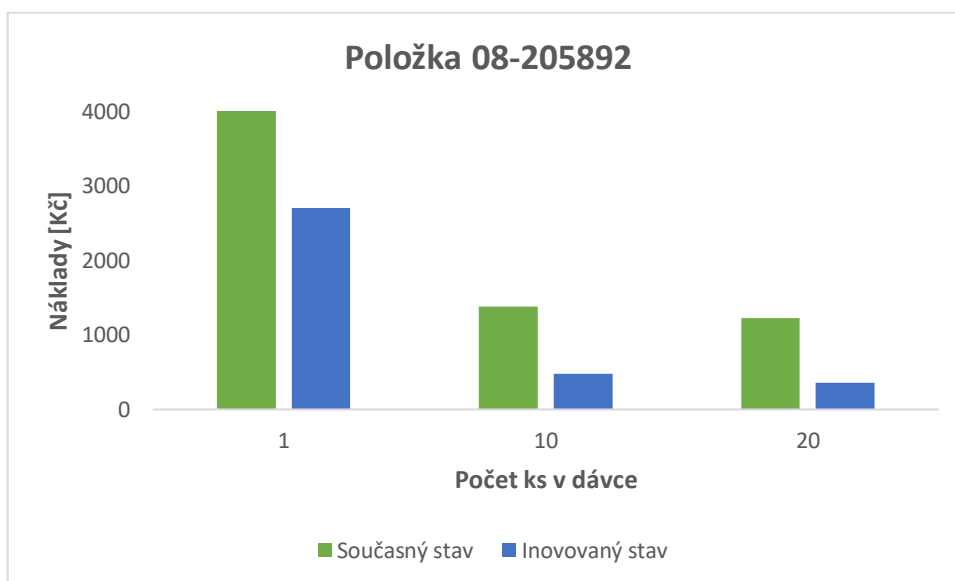
Tabulka 37 Porovnání nákladů pro položku 08-204717

<b>Položka 08-204717</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	3825,3	1882,1	1774,1
<b>Inovovaný stav</b>	3017,6	790	666,4

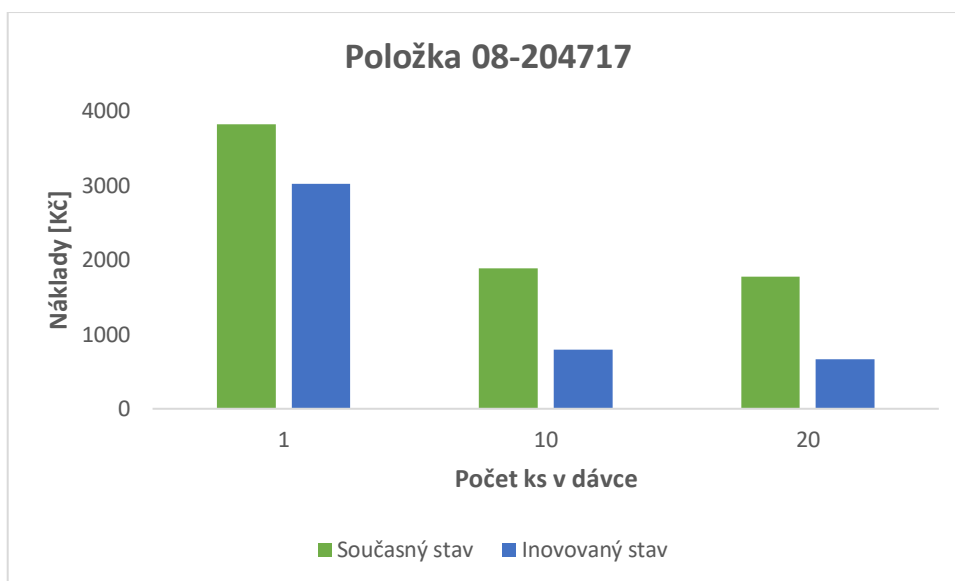


Obr. 40 Graf porovnání nákladů pro položku 08-206933

Úspora nákladů (viz Obr. 40) pro největší díl byla docílena na zhruba 40 % původního stavu pro dávku 20 ks, jakožto nejběžnější velikost dávky při výrobě.



Obr. 41 Graf porovnání nákladů pro položku 08-205892



Obr. 42 Graf porovnání nákladů pro položku 08-204717

Úspory nákladů pro zbylé díly viz (Obr. 41, Obr. 42) byla redukovány na zhruba 32–40 % oproti původnímu stavu pro dávku 20 ks.

### 8.8.2 Porovnání dokončení

Pro zhodnocení dokončení se vychází rovněž z kalkulací z předchozích kapitol a pro názornost s uceleným přehledem jsou sestaveny tabulky (viz Tabulka 38, Tabulka 39, Tabulka 40) a grafy (viz Obr. 43, Obr. 44, Obr. 45), které hodnotí ekonomický aspekt inovace broušení při porovnání se současným stavem výroby.

Tabulka 38 Porovnání nákladů pro položku 08-206933

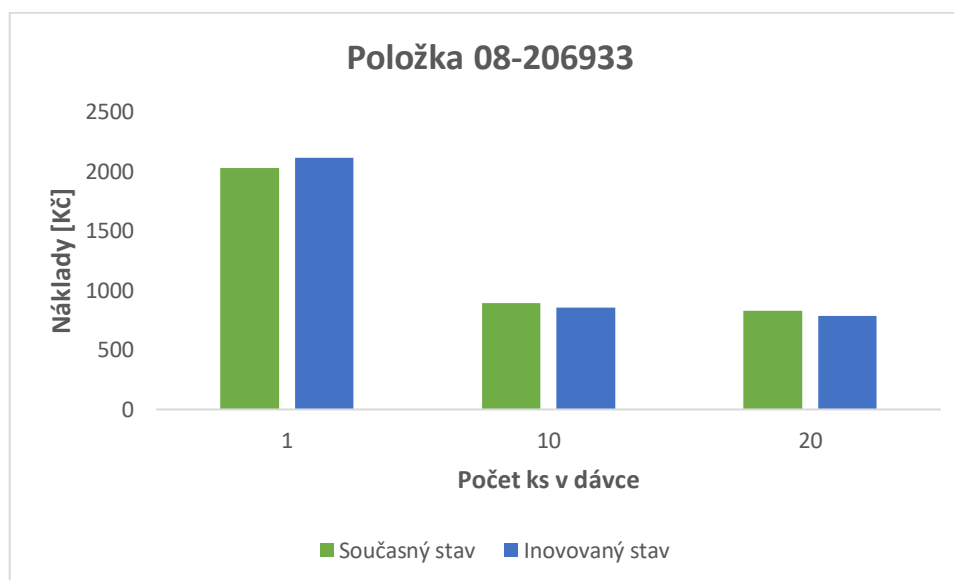
<b>Položka 08-206933</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	2025	891	828
<b>Inovovaný stav</b>	2114	854	784

Tabulka 39 Porovnání nákladů pro položku 08-205892

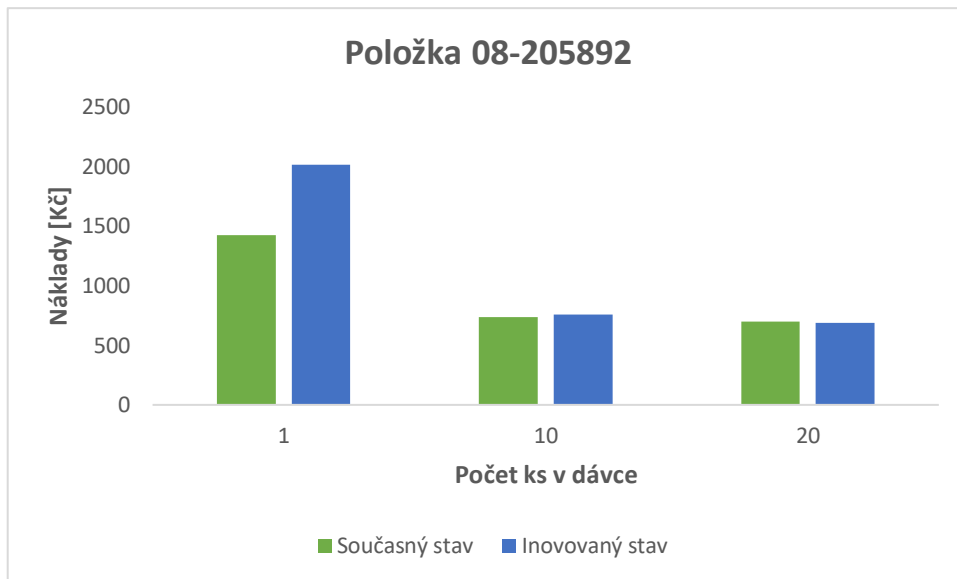
<b>Položka 08-205892</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	1425	736,5	698,25
<b>Inovovaný stav</b>	2016	756	686

Tabulka 40 Porovnání nákladů pro položku 08-204717

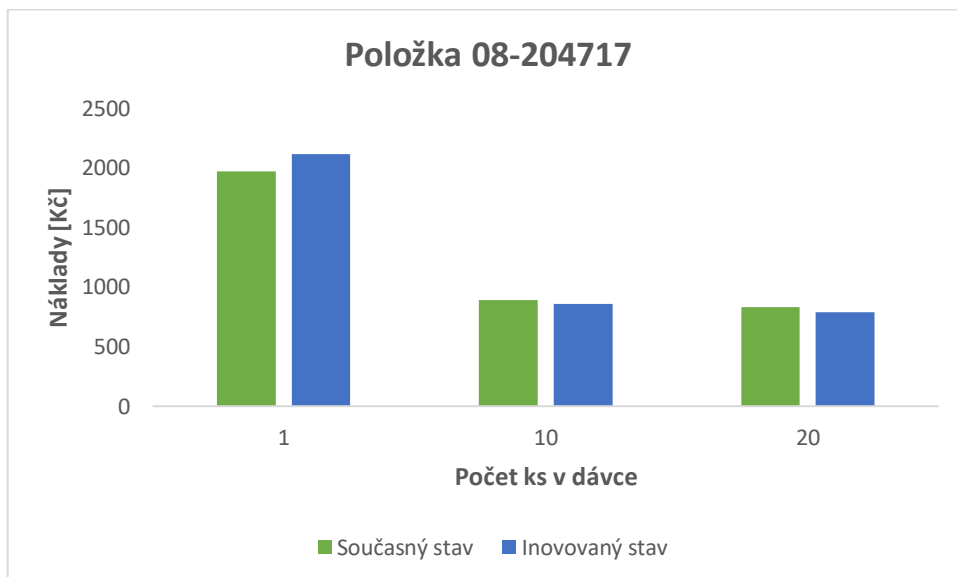
<b>Položka 08-204717</b>			
Způsob výroby	Cena výroby dílce pro určitou velikost dávky [Kč]		
	Dávka 1 ks	Dávka 10 ks	Dávka 20 ks
<b>Současný stav</b>	1969,5	889,5	829,5
<b>Inovovaný stav</b>	2117,5	857,5	787,5



Obr. 43 Graf porovnání nákladů pro položku 08-206933

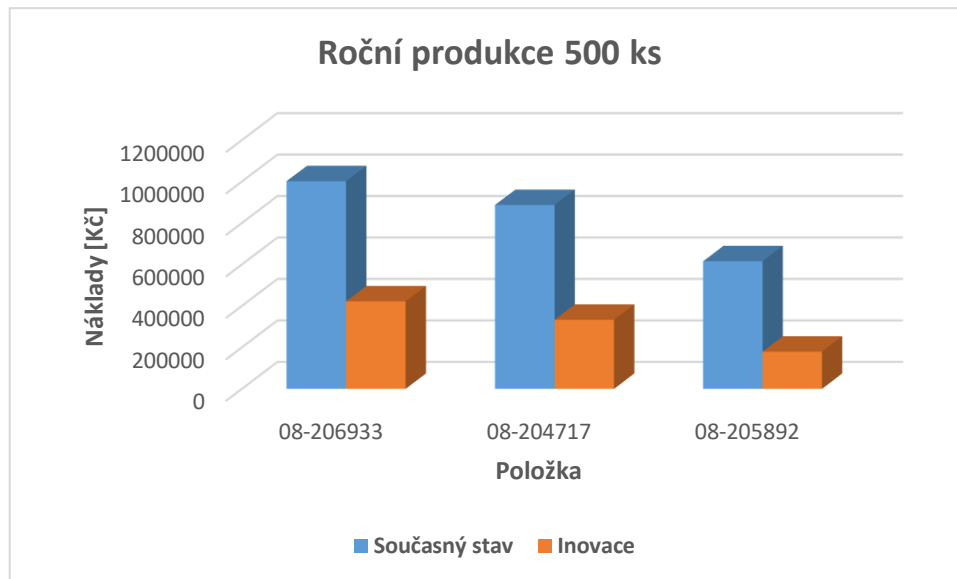


Obr. 44 Graf porovnání nákladů pro položku 08-205892



Obr. 45 Graf porovnání nákladů pro položku 08-204717

Úspory pro dokončení v podobě broušení nejsou tak výrazné jako u obrábění. Úspory se dosahuje až při větších kusech v dávce a v jednotkách procent. Je to způsobeno převážně vysokou režijní sazbou stroje. Ovšem při uvážení inovace z pohledu času se docílilo toho, že za zhruba stejnou (nepatrně nižší) cenu je možno vyprodukovat o 40 % více výrobků oproti současnému stavu.



Obr. 46 Porovnání nákladů pro 500 ks

Celková roční úspora je vztažena na 500 ks od jednotlivých představitelů. Úspora vychází z ceny jednoho kusu a docílilo se rovněž až 65 % snížení nákladů pro celkovou roční produkci pastorků.

## 8.9 Ekonomické vyhodnocení

Z kalkulace a následného srovnání pro obrábění vychází, že bylo dosaženo znatelného snížení nákladů, díky využití produktivního stroje, nástrojů a výrobního postupu. Náklady na výrobu byly redukovány v průměru o 33 %, pro dávku 1 ks. Tato velikost dávky je spíše ilustrační a pro běžnou sériovost zcela nevhodná a jedná se spíše o nárazové a nečekané obrábění, popř. úpravy na jednotlivém dílci. Nejčastější a nejtypičtější velikost dávky je 20 ks, pro kterou se náklady zredukovaly až o 65 % při maximálním využití stroje s krajními hodnotami řezných podmínek. Při případné nákladové optimalizaci (redukci) podmínek na základě odzkoušení na prvních kusech, pro stanovení optimální trvanlivosti nástroje, by se úspora částečně snížila. Strojní a přípravné časy se ve firmě neustále optimalizují a je tedy při ekonomickém a technickém hodnocení možné odchýlení a neaktuálnost od momentálních výrobních časů.

Z kalkulace pro dokončení je zřejmé, že se finanční úspory dosahuje až u vyšších počtu kusů v dávce (20 ks), a ne tak razantní, jako u inovace obrábění. Je třeba ovšem potřeba brát v úvahu hrubý časový odhad, na základě zkušeností a doporučení, bez reálného odzkoušení a následného odladění na stroji. Největší vliv na cenu výroby má režijní sazba stroje, která je znatelně vyšší než u konvenčního broušení. Při pohledu na širší portfolio výrobků firmy, je rovněž vhodné uvážit využití stroje pro větší a tvarově

složitější součásti, pro které bruska Numerika G 800 beze sporu rovněž najde využití. Při pohledu na inovaci z hlediska úspor času a tím pádem navýšení kapacity výroby je celkový návrh vhodný a aplikovatelný. Je tedy možno za stejnou (popř. nepatrně nižší) cenu opracovat o 40 % více dílců oproti konvenčnímu broušení. Při zahrnutí manipulace s dílci mezi jednotlivými pracovišti by byla časová a finanční úspora dalším benefitem pro navrženou inovaci. Vzhledem k rozsahu a náročnosti práce má kalkulace spíše orientační a předběžný charakter a pro přesnější výsledek by bylo vhodné ji koncipovat detailněji se všemi aspekty, které vstupují do výrobního procesu.

Výpočty na návratnost investic strojů a optimálních velikostí dávek přesahují vymezený rozsah práce a rovněž z důvodu nedostatku dat, potřebných k realizaci výpočtů, jako např. prodejní cenu (marži) pro jednotlivé kusy, fixní náklady a eventuální zisky nejsou do ekonomického zhodnocení zahrnuty.

## **8.10 Technické vyhodnocení**

Pro návrh inovace byly s ohledem na rozměrové a kvalitativní požadavky řešených součástí navrženy stroje SP 430 MC pro soustružnické a vrtací operace od výrobce Kovosvit MAS a Numerika G 800 od výrobce Junker pro dokončení. Původní alternativy byly z důvodu určitých nedostatků, jako např. nedostatečný pracovní prostor, horší produktivita, cena, aplikační komplikace apod. vyřazeny.

Při pohledu na současný stav je největším nedostatkem převážně neefektivní využití obráběcích center na součásti typu pastorek. Pro racionální aplikaci se obráběcí centra typu HEC 800 hodí spíše na větší a složitější obrobky. Zároveň použití starších vrtaček a konvenčních soustruhů prodlužuje vzhledem k nutnému zásahu obsluhy celkový čas výroby. Dalším nedostatkem je použití konvenčních brusek, které se musí z důvodu kuželovitosti přeseřizovat, což s sebou nese operaci navíc. Pro kompletní obrobení na jednom stroji je důležitým hlediskem počet dostupných nástrojových pozic. Pro zhotovený návrh je množství nástrojů v jedné revolverové nástroje pro běžné i poháněné nástroje krajně dostačující. Při požadavku na jiný typ součásti, která by si vyžadovala použití většího počtu nástrojů, by bylo nezbytné přejít na koncepci soustruhu se dvěma revolvery nebo vyměnit nástrojové jednotky. Toto řešení by zvýšilo eventuální cenu stroje a mělo tak vliv na konečné náklady při výrobě, popř. by prodloužilo dobu výroby, ovšem úspora z pohledu času a nákladů by byla stále dostačující. Nástroje byly vybrány od současného dodavatele firmy Seco Tools a Paul Horn. Řezné podmínky se zvolily na

základě doporučení s ohledem na materiál a výkonnost stroje pro maximální produktivitu. Znatelnou nevýhodou při analýze obrábění je absence kinematického modelu stroje, který by umožnil velice věrohodně predikovat reálný čas odbavení na stroji a přispěl tak ke zpřesnění celkového hodnocení.

Upínání na soustruhu se realizuje za největší průměr do stavitelného sklíčidla a obrobek je celkově opracován na dvě upnutí. Nejdříve se hrubuje kontura a vrtá se, společně se závity z jedné strany, následuje přeupnutí dílce a zhotoví se druhá strana pastorku obdobným způsobem. Toto se aplikuje pro celou dávku. Vzhledem ke geometrickým a tvarovým požadavkům a odzkoušení na podobném stroji stejným principem obrábění, je výsledná přesnost a kvalita vyhovující.

V inovaci pro dokončovací operace se porovnávala technologie tvrdého obrábění a konvenčního broušení. Z tohoto porovnání na základě řešeršních zdrojů, konzultací s odborníky na danou problematiku a posouzení výsledných parametrů integrity povrchu pro hřídele z legované ocele vyšlo lépe pro daný typ dílců a sériovost CNC broušení. Doporučením do budoucna při eventuálním nasazením soustruhu pro obrábění zakalených součástí jako hlavní dokončovací operace by bylo vhodné, nechat si detailně zpracovat studii od výrobce, kde by se obdobné hřídelové součásti nechali opracovat na specifickém stroji a následně by se rozhodlo, zda má přechod na tuto metodu v podmínkách firmy smysl.

Úspora času a snížení počtu operací bylo hlavním cílem inovace. V průměru se počet operací snížil, díky sloučení určitých operací z původních 11 na 7, což představuje přibližně 35 % úsporu počtu operací pro výrobu pastorků a zároveň přináší znatelnou úsporu s manipulací a přesunem dílce mezi pracovišti. Pro největší díl se strojní čas podařilo zredukovat z původních 103 minut na 39 minut. Pro nejmenší díl z původních 55 minut na zhruba 13 min. Návrh inovace znamená redukci času o 60-70 %.

Přípravné časy byly určeny na základě odhadu a zkušeností pro podobné typy strojů. Při nasazení strojů do výroby a následném odladění na několika dávkách je možné dosáhnout určitého snížení v přípravě času stroje.



## 9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo inovovat současný výrobní proces ozubených pastorků pro tramvajové převodovky ve firmě Wikov MGI a.s. Zadány byly tři hlavní představitelé výroby v podobě nejmenšího, středního a největšího dílu, pro které byl hlavní úkol unifikovat výrobní proces pro všechny typy pastorků tak, aby bylo dosaženo zvýšení produktivity a snížení nákladů. Nejprve byla provedena základní analýza současného stavu výroby pro obrábění pastorků ve firemním závodě v Hronově. Cílem bylo odhalit současné nedostatky výrobního procesu a určit postup, jak koncipovat požadovanou inovaci. Na základě analýzy byly navrženy tři vstupní varianty inovace z hlediska strojů a technologií, které měly za úkol částečně nahradit a optimalizovat současný výrobní proces. Pro jednotlivé varianty se provedlo detailní posouzení technických a aplikačních možností a vícekritériálním hodnocením pro ověření vhodnosti výběru správné varianty. Převážná část inovace se zabývala zefektivněním technologií soustružení, vrtání a dokončení. Zbytek výrobních operací se realizuje současným způsobem a ekonomické hodnocení pro ně není uvažováno. Při detailním posouzení technických, cenových a aplikačních možností jednotlivých výrobců byly vybrány dva stroje. Jedná se o soustruh s poháněnými nástroji a jedním vřetenem Kovošvit SP 430 MC (popřípadě se dvěma revolverovými hlavami) a CNC bruska pro dokončení Junker Numerika G 800. Další část práce se věnovala zhotovením výrobních postupů, určení řezných podmínek a výběru vhodných nástrojů. Návrh inovace přinesl snížení počtu operací v průměru ze současných 11 na 7, převážně díky sloučení operací soustružení a vrtání, které se původně realizovali na samostatných pracovištích a přechodu z konvenčního na CNC broušení. V následující části se provedla simulace obrábění v softwaru NX pro zjištění strojních časů.

V konečné části práce se zhotovilo technicko-ekonomické vyhodnocení. Strojní čas pro obrábění se snížil u největšího dílu ze 103 minut na 39 minut a z 55 minut na 13 minut u nejmenšího dílu, což představuje úsporu o 60-70 %. Náklady na výrobu se snížily průměrně o 65 % při dávce 20 ks, tj. ze 2003 Kč na 844 Kč pro největší díl a ze 1231 Kč na 359 Kč pro nejmenší díl. Při hodnocení inovace dokončení se finanční úspory dosahuje až při vyšších počtech kusů v dávce, a ne tak znatelné jako při obrábění. Je to způsobeno převážně vysokou režijní sazbou stroje oproti konvenčnímu broušení. Čas výroby se zkrátil na 60 % původního stavu. Inovace tedy přináší možnost opracovat za přibližně stejnou cenu o 40 % větší počet dílců a dosáhnout zvýšení produktivity.

## 10 Bibliografie

- [1] Wikov MGI. *Www.wikov.com* [online]. b.r. [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <https://www.wikov.com/cs/o-nas>
- [2] Přehled vlastností oceli 18CrNiMo7-6. *Www.bolzano.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-18crnimo7-6>
- [3] 18CrNiMo7-6+FP / 1.6587. *Www.hertsch.ch* [online]. b.r. [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: [https://www.hertsch.ch/\\_lagerliste/F10\\_F11\\_18CrNiMo7\\_6\\_FP.pdf](https://www.hertsch.ch/_lagerliste/F10_F11_18CrNiMo7_6_FP.pdf)
- [4] *Značení ocelí* [online]. b.r. [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <http://www.dds-czech.cz/znacenidleu.php>
- [5] *Ročníkový projekt II – obrábění* [online]. b.r. [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: [http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/RocnikovyProjekt\\_II-obrabeni.pdf](http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf)
- [6] NEF 600. <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustrueni/univerzalni-soustruzeni/nef/nef-600> [online]. b.r. [cit. 2018-11-14].
- [7] *Čelní unašeč* [online]. b.r. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/novinky/neidlein-unaseni-obrabeni-na-jedno-upnuti-1847.htm>
- [8] SUR 260. <https://www.machinio.com/listings/13575917-skoda-sur-260-in-blansko-czech-republic> [online]. b.r. [cit. 2018-11-14].
- [9] Hedelius 800. <https://www.starrag.com/en-us/v/brand/7/series/31/machine/65> [online]. b.r. [cit. 2018-11-14].
- [10] *Pfauter 600* [online]. b.r. [cit. 2018-11-14]. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/models/gleason-pfauter-p-600-s>
- [11] *BUB 32* [online]. b.r. [cit. 2018-11-14]. Dostupné z: <http://www.cee-machines.com/stroj/9177/>
- [12] *Bruska Niles* [online]. b.r. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.kapp-niles.com/en/machines/profile-grinding-machine/ze-400-800/>
- [13] *Interní dokumentace firmy Wikov MGI*. 2019.
- [14] Materiálový tok. <http://logistika.studentske.cz> [online]. b.r. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://logistika.studentske.cz/2009/06/materialovy-tok.html>

- [15] *Logistika v praxi* [online]. b.r. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOIpd4JcagIJsVc kj-qcsReboz27aFII0BA](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOIpd4JcagIJsVc kj-qcsReboz27aFII0BA)
- [16] WFL M40X. *Wfl.at* [online]. b.r. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <https://www.wfl.at/maschinen/millturn/m40-m40-g>
- [17] Obrábění kalených součástí kubickým nitridem boru. *MM Spektrum*. 2004, (4), 48.
- [18] Efektivnější soustružení tvrzených součástí. *MM Spektrum*. 2013, (6), 71.
- [19] *Dokončovací tvrdé soustružení nahrazuje broušení* [online]. b.r., 2006 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/dokoncovaci-tvrde-soustruzeni-nahrazuje-brouseni\\_15570.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/dokoncovaci-tvrde-soustruzeni-nahrazuje-brouseni_15570.html)
- [20] *Holandská nástrojářská firma Hembrug vyvinula první CNC soustruhy využívající CNC systémy FANUC Oi-D na světě* [online]. b.r. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/hembrug>
- [21] *Mikroturn 500xl* [online]. b.r. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.hembrug.com/machine/mikroturn-500-xl/>
- [22] *Bruska Numerika* [online]. b.r. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.junker-group.com/cs/brousici-stroje/products/numerika/>
- [23] *Dvouvrátenové soustruhy* [online]. b.r. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/okuma/katalog-detail/lt3000-ex-2t2my-okuma-twin-star-lt3000-ex-2t2my/>
- [24] *CTX beta 800 4A* [online]. b.r. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustruzeni/produkcni-horizontalni-soustruzeni/ctx-4a/ctx-beta-800-4a>
- [25] SP 430 MC. *Kovosvit.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-430-p13.html#technicaldata>
- [26] *KNCS-N* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: [https://www.smwautoblok.com/media/uploads/kncsn\\_3jaw.pdf](https://www.smwautoblok.com/media/uploads/kncsn_3jaw.pdf)
- [27] *Brousící kotouč* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.prodej Brusiva.cz/kotouc-t1-400x50x127-454a462h5v40-305285-tyrolit>
- [28] *Capto* [online]. b.r. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant\\_capto/](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto/)
- [29] *Capto nástrojové řešení* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machine-tooling-solutions/tooling-considerations/pages/quick-change-solutions.aspx>

- [30] *Katalog nástrojů-Seco Tools* [online]. b.r. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/#article/84565>
- [31] *Katalog nástrojů-Paul Horn* [online]. b.r. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.phorn.de/produkte/produktkataloge/>
- [32] *CAM* [online]. b.r. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.rusinak.cz/cz/produkty/nx-cam>
- [33] *NX CAM* [online]. b.r. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24816-nx-cam>