



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU OBRÁBĚNÍ DÍLU PRO VSTŘIKOVACÍ FORMU

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF MACHINING
INJECTION MOLDS COMPONENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ HRUŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lukáš Hruška

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Návrh na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu

v anglickém jazyce:

Increasing the Efficiency of the Process of Machining Injection Molds Components

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Popis, rozbor a charakteristika technologie soustružení, frézování
3. Analýza stávajícího stavu obrábění dílu pro vstřikovací formu z hlediska technologie třískového obrábění
4. Návrh inovace výrobního procesu - zefektivnění stávajícího stavu
5. Technicko-ekonomické hodnocení
6. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude návrh na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu. V práci bude provedena analýza stávajícího stavu obrábění dílu pro vstřikovací formu z hlediska technologie soustružení a frézování. Dále bude navržena inovace, která bude zohledňovat zefektivnění stávajícího výrobního procesu. Součástí práce bude rovněž popis a rozbor jednotlivých výrobních pracovišť, včetně zařízení potřebných k obrobení dílu pro vstřikovací formu. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením včetně porovnání a rozboru navrženého řešení.

Seznam odborné literatury:

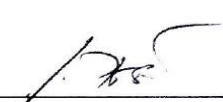
1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
3. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
4. AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.
5. BUMBÁLEK, B. Fyzikální podstata řezání. Brno: FSI VUT v Brně, 2005. 125 s. [online]. Dostupné na World Wide Web:
<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/fyz_pods_rez/Opora05_Fyzikalni_podstata_rezani.pdf>.
6. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

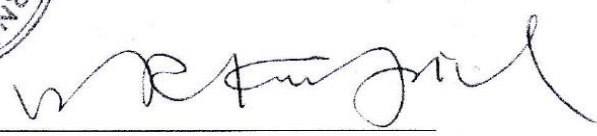
Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Šedlák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 21.11.2013




prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce byl návrh na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu. V práci byl popsán původní stav obrábění dílu vstřikovací formy z hlediska technologie třískového obrábění, zahrnující popis jednotlivých výrobních pracovišť, použitých nástrojů a obráběcích strojů. Hlavní část práce byla zaměřena na zvážení možné cesty, vedoucí k zefektivnění výrobního procesu výroby dílu vstřikovací formy, zahrnující převedení původního způsobu výroby dílu vstřikovací formy na CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500. Dále byly v práci popsány použité nástroje, včetně popisu navržených řídicích programů pro obrobení dílu vstřikovací formy. Součástí práce bylo rovněž technicko-ekonomické hodnocení navrhované varianty řešení, které zahrnovalo rozbor jednotlivých výrobních nákladů a jednotkových časů, kterých bylo při výrobě dosahováno.

Klíčová slova

CNC, obrábění, zefektivnění, návrh, vstřikovací forma

ABSTRACT

The aim of this diploma work was a proposal to make the process of machining of injection mould more efficient. The work described the initial state of machining of a moulding injection part from the technological point of splinter machining, including the description of each production areas, the tool used in the process and the machines. The main part of the diploma work was focused on consideration of a possible way leading to the increase in the efficiency of the production process of machining of an injection mould part that included the transfer of the initial way of machining of a moulding injection part to CNC lathe Gildemeister CTX beta 500. Furthermore the work described the tool that had been used including the description of proposed control programs for machining of an injection mould part. The essential part of the work was a techno-economical assessment of the proposed variant of solution, which included analysis of the production costs and the time indexes that were achieved during the production.

Key words

CNC, Machining, Increase of Efficiency, Proposal, Injection Mold

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRUŠKA, Lukáš. *Návrh na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. 12 příloh. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

30.5.2014

Datum

Bc. Lukáš Hruška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování. Dále bych rád poděkoval vedení společnosti Gregor s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce. Poděkování patří také zaměstnancům společnosti jmenovitě Lud'ku Novotnému, Luboši Hruškovi, Jaroslavu Novotnému za pomoc při realizaci v praktické části. V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu a umožnění studia na vysoké škole.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O SPOLEČNOSTI GREGOR S.R.O.....	10
1.1 Výrobní činnost společnosti	10
1.1.1 Výroba a oprava forem.....	11
1.1.2 Výroba střížných, ohýbacích nástrojů, tvarových dílů a přípravků.....	12
1.1.3 Lisování za studena kovových výztuh	12
1.1.4 BSK - blok studených kanálů	12
1.2 Strojní park společnosti	13
1.3 Rozvoj společnosti.....	14
1.3.1 Investice společnosti	14
1.4 Kvalita.....	15
2 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ, FRÉZOVÁNÍ.....	16
2.1 Technologie soustružení.....	17
2.1.1 Pohyby při soustružení.....	18
2.1.2 Průřez třísky při soustružení	19
2.1.3 Síly při soustružení.....	19
2.1.4 Používané nástroje při soustružení	21
2.2 Technologie frézování	22
2.2.1 Pohyby při frézování	23
2.2.2 Průřez třísky při frézování	24
2.2.3 Síly při frézování	25
2.2.4 Používané nástroje při frézování.....	27
3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU OBRÁBĚNÍ DÍLU PRO VSTŘIKOVACÍ FORMU Z HLEDISKA TECHNOLOGIE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ	29
3.1 Hřídelové těsnicí kroužky (Gufera)	29
3.2 Stávající způsob výroby dílu pro vstřikovací formu	30
3.2.1 Operace č. 1 - Řezání polotovaru	32
3.2.2 Operace č. 2 - Soustružení - hrubování	33
3.2.3 Operace č. 3 - Soustružení - čisté obrábění, dokončování	34
3.2.4 Operace č. 4 - Frézování - hrubování, dokončování	36

3.2.5 Operace č. 5 - Kooperace - Tepelné zpracování - kalení.....	38
3.2.6 Operace č. 6 - Soustružení - dokončování	39
3.2.7 Operace č. 7 - Výstupní kontrola.....	41
3.3 Analýza výrobních časů.....	42
4 NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU - ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	43
4.1 Tříska jako ukazatel aplikace.....	44
4.2 Obráběný materiál	44
4.3 Vyměnitelné břitové destičky	45
4.4 Řezná rychlost.....	45
4.5 Opotřebení nástroje	46
4.6 Sled výrobních operací navrhované varianty zefektivnění	46
4.6.1 CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500	47
4.6.2 Řízení CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500	49
4.7 Navrhovaný postup výroby dílu pro vstřikovací formu	50
4.7.1 Postup výroby - tvorba řídicích programů	51
4.7.2 Postup výroby - seřízení stroje.....	55
4.7.3 Analýza výrobních časů	61
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	62
5.1 Analýza výrobních časů.....	62
5.2 Náklady na výrobu dílu vstřikovací formy	63
6 DISKUZE	66
6.1 Tvorba řídicích programů.....	66
6.2 CAM technologie	66
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

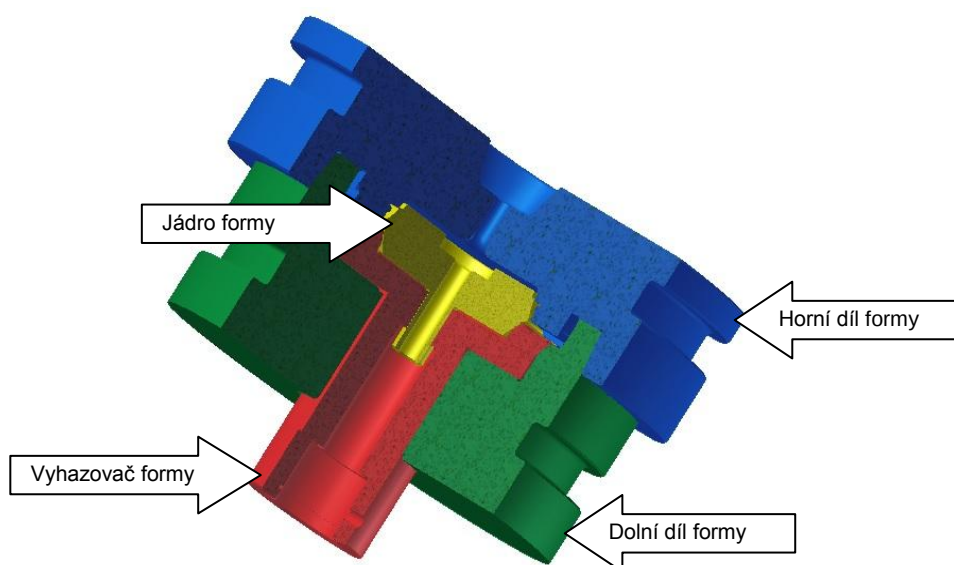
ÚVOD

Strojírenství patří mezi technické obory, které se velice rychle rozvíjí, ruku v ruce s tím jde i rozvoj a konstrukce nových výrobních strojů, materiálů, nástrojů a upínacích systémů. V dnešní době jsou moderní soustružnické stroje schopny provádět více druhů technologií obrábění (soustružení, vrtání, frézování, válečkování, atd.), což činí ze soustružnických strojů, stroje pro univerzální použití. Konstrukce a vývoj nových strojů, materiálů, nástrojů a upínacích systémů směřuje k maximálnímu využití výkonu stroje, snižování výrobních nákladů a v neposlední řadě, také k urychlování a zjednodušování výrobních procesů. S tím také souvisí vývoj nových řídicích systémů a metody programování strojů.

Společnost Gregor s.r.o. v roce 2013 vložila své investice do nákupu nového soustruhu Gildemeister CTX beta 500, který disponuje možnostmi využití poháněných nástrojů. Je vybaven rotační C osou a kromě os X a Z, také lineární Y osou. Tím společnost rozšířila svůj strojní park a možnosti další výroby.

Využití soustruhu mimo soustružnických operací, také např. pro operace frézování, vrtání a gravírování umožňuje převedení stávajícího způsobu výroby dílu pro vstřikovací formu viz **obr. 1** na jediný stroj a tím přinést společnosti produktivnější a rychlejší technologii výroby.

Vstřikovací formy vyráběné společností Gregor s.r.o. slouží pro výrobu hřídelových těsnicích kroužků (Gufer). Hřídelové těsnicí kroužky jsou těsnicí prvky sloužící pro utěsnění hřídelů, ložisek a mnoha dalších strojních součástí, které se v průmyslu vyskytují. Jsou vyráběny v mnoha variantách, pro použití za různých provozních podmínek. Na dílu, který je součástí vstřikovací formy jsou prováděny jak soustružnické operace, tak operace frézování, vrtání a gravírování. Proto byl tento díl zvolen jako stěžejní, pro návrh na zefektivnění výrobního procesu. Stávajícím způsobem výroby je díl vstřikovací formy vyráběn na několika strojích jak CNC (Computer Numerical Control), tak běžných konvenčních.



Obr. 1 Model vstřikovací formy v řezu.

1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O SPOLEČNOSTI GREGOR S.R.O.

Společnost Gregor s.r.o. byla založena v roce 1989. Sídlem ve Skřivanech nedaleko Nového Bydžova viz **obr. 1.1**. Společnost založil Miroslav Gregor - otec a Aleš Gregor - syn. V roce 2006 byla společnost přetransformována na společnost s ručením omezeným dnešní Gregor s.r.o. Majitelem a jednatelem společnosti je Aleš Gregor. Společnost má 100 % český kapitál a je vlastněna jediným společníkem [1].



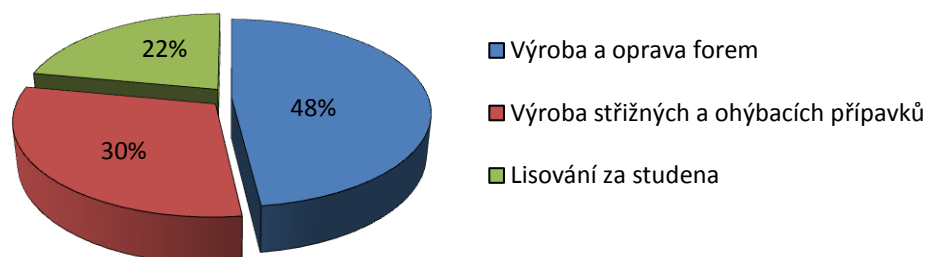
Obr. 1.1 Sídlo společnosti Gregor s.r.o. [1].

1.1 Výrobní činnost společnosti

Společnost Gregor s.r.o. je zaměřena především na [1]:

- výrobu a opravu forem,
- výrobu střižných a ohýbacích nástrojů, tvarových dílů a přípravků,
- lisování za studena kovových dílů viz **obr. 1.2**.

Výrobní činnost společnosti



Obr. 1.2 Zaměření výrobní činnosti společnosti [1].

1.1.1 Výroba a oprava forem

Výroba ve společnosti Gregor s.r.o. se převážně skládá z CNC obrábění, a to jak frézování do rozměru 1000 mm x 2000 mm, soustružení do rozměru 580 mm x 1500 mm, tak i elektroerozivního obrábění. Společnost je vybavena i klasickými konvenčními obráběcími stroji [1].

Výroba sériových, prototypových nástrojů pro lisování pryže, plastů, střížných nástrojů je vyráběna na základě moderních technologií a poznatků. Výroba je založena na dlouholetých zkušenostech vlastních pracovníků ve spolupráci s koncovými uživateli [1].

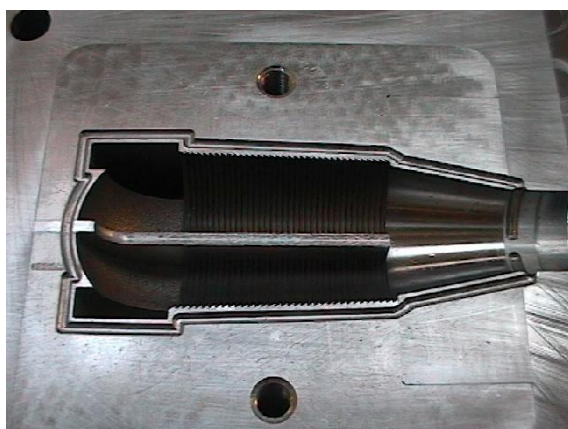
Společnost nabízí výrobu [1]:

- prototypových, vzorkových viz **obr. 1.3 a)** a sériových viz **obr. 1.3 b)** forem, přípravků - pryž, plast,
- přesných měřicích a montážních přípravků,
- střížných a postupových nástrojů pro lisování kovů,
- studených bloků pro formy na pryžové díly.

Ke všem výše uvedeným bodům výroby společnost zajišťuje opravy, úpravy a výrobu nových náhradních dílů [1].

V současné době společnost nabízí [1]:

- CNC soustružení do 64 HRC,
- CNC soustružení malých sérií,
- CNC frézování,
- CNC broušení střížných a tvarových nástrojů,
- broušení rovinné,
- broušení na kulato,
- elektroerozivní obrábění.



a)



b)

Obr. 1.3 Výroba forem a) vzorková forma, b) sériová forma [1].

Společnost je schopna vyrábět nástroje do rozměru 1000 mm x 2000 mm a hmotnosti 2000 kg [1].

1.1.2 Výroba střížných, ohýbacích nástrojů, tvarových dílů a přípravků

V tomto odvětví je společnost zaměřena na potravinářský a gumárenský průmysl. Jsou vyráběny jak nové nástroje, tak i náhradní díly k těmto nástrojům. Tyto díly se vyrábí na CNC strojním vybavení. K dílům jsou dodávány měrové protokoly o 2D rozměrech dílu. Na požádání zákazníka jsou dodávány i naskenované 3D rozměry tažných tvarů, kde je vidět jak je tvar vyroben. Společnost také zabezpečuje balení dílů, které se vyrovnalo evropskému standartu, kdy díly jsou baleny do ochranných obalů, aby nemohlo dojít k poškození tvarových částí výrobků [1].

1.1.3 Lisování za studena kovových výztuh

V současné době se v lisovně vyrábí přes 300 druhů výrobků viz **obr. 1.4**. Jedná se o výrobky dle požadavku zákazníka, které jsou dodávány převážně pro automobilový průmysl. Nástroje pro výrobu jsou vyráběny na základě výkresové dokumentace dodané zákazníkem, popřípadě zpracované vlastním konstrukčním oddělením. Většinu sortimentu tvoří jak kruhové díly, tak i díly tvarové. Výroba je zajištěna na blokových popřípadě postupových nástrojích způsobem - odvíječka - rovnačka - podavač - lis - dělička. Výrobky dodávané zákazníkům je možné v rámci kooperace povrchově upravovat např. zinkováním, fosfátováním, pasivací. Výrobky jsou dodávány ze všech dostupných materiálů již od síly 0,1 mm [1].



Obr. 1.4 Sortiment výrobků lisovny [1].

1.1.4 BSK - blok studených kanálů

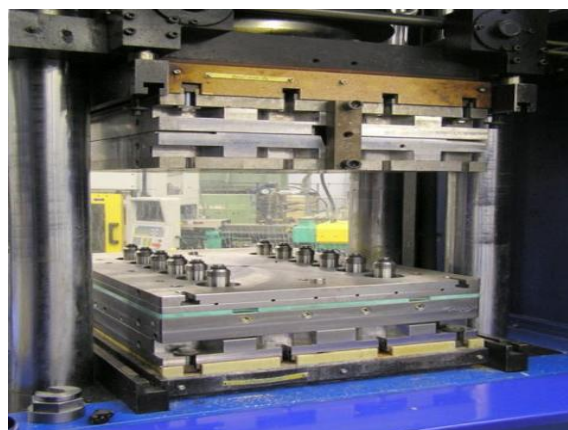
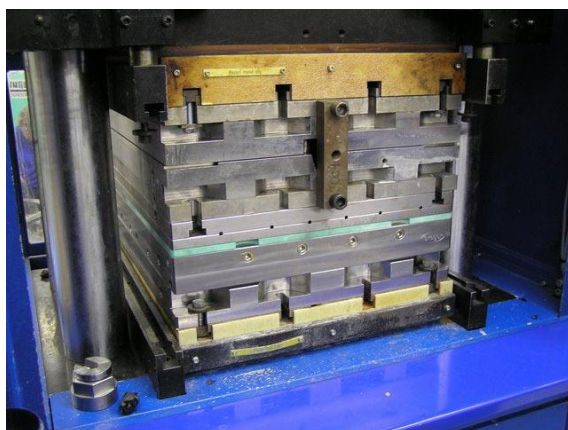
Společnost nabízí nově vyvinutý blok studených kanálů (BSK) druhé generace viz **obr. 1.5**. Použitím bloku studených kanálů (BSK) na vstřikolisových formách se dosahuje nižší spotřeby nástřikové směsi, odpadá nutnost čištění některých částí forem, z čehož vyplývá vyšší produktivita práce a nižší náklady [1].

BSK je konstrukčně navržen tak, aby se při výrobě mohl adaptovat na vstřikovací formy zákazníka [1].

Výhody studených kanálů [1]:

- možnost temperace vodou nebo olejem v jedné nebo několika zónách,
- vysoký výkon a dlouhá životnost temperačního okruhu (velké průměry kanálů),
- možnost vytápění a regulace topné desky v jedné nebo třech zónách,

- frézované jímky v topné desce, umožňují vysokou flexibilitu tvarů topných patron a topných spirál (snadná demontáž patron v případě poškození),
- nízká celková výška celého BSK,
- malý zástavbový rozměr chlazené trysky (mohou být blízko sebe),
- možnost zaslepení jednotlivých trysek při čištění BSK,
- možnost vyjmutí koncovky trysky i při náhodném poškození (zadření),
- odpružená koncovka trysky, zaručující dobrý přitlak k formě.



Obr. 1.5 Nainstalovaný a spuštěný BSK přímo v provozu [1].

1.2 Strojní park společnosti

V **tab. 1.1** je uveden seznam frézek, které patří do strojního parku společnosti. Zbylé stroje, kterými společnost disponuje a patří rovněž do strojního parku společnosti jsou uvedeny v příloze 2.

Tab. 1.1 Seznam strojů - frézky [2].

Frézky	
Název	Rozměry [mm]
Frézka - FCM 16 CNC/B 3 osy + CNC otočný stůl Ø160 [mm]	Pracovní posuvy x, y, z - 300 x 160 x 300, řídicí systém Mikroprog, max. hmotnost obrobku 50 [kg]
Frézka - FGS 40 CNC - 3 osy	Pracovní posuvy x, y, z - 902 x 457 x 457, řídicí systém Heidenhain 426, max. hmotnost obrobku 600 [kg]
Frézka - FGS 50 CNC - otáčení vřetene	Pracovní posuvy x, y, z - 1000 x 500 x 500, řídicí systém Heidenhain iTNC 530, max. hmotnost obrobku 600 [kg]
Frézka - FGS 80 CNC - 5 os	Pracovní posuvy x, y, z - 2000 x 900 x 1000, řídicí systém Heidenhain iTNC 530, max. hmotnost obrobku 6000 [kg]
Frézka - FVT 3 CNC 3 osy	Pracovní posuvy x, y, z - 467 x 330 x 370, řídicí systém Mikroprog, max. hmotnost obrobku 150 [kg]
Frézka - DMU 60 monoBLOCK - 5 os	Pracovní posuvy x, y, z - 730 x 560 x 560, řídicí systém Heidenhain iTNC 530

1.3 Rozvoj společnosti

Společnost v lednu roku 2012 úspěšně zkolaudovala přistavěný areál viz **obr. 1.6**. Nově vzniklé prostory byly využity k rozšíření výroby lisovaných kovových dílů, rozšíření a zkvalitnění skladových prostor (jako jsou např. vjezdové paletové regály) [1].



Obr. 1.6 Nově přistavěný areál [1].

1.3.1 Investice společnosti

Společnost se snaží neustále zkvalitňovat a rozšiřovat sortiment výroby pro své zákazníky a nabízet nová pracovní místa. Z tohoto důvodu společnost investuje do rozvoje a modernizace výrobních technologií [1]:

- v roce 2010 byla zakoupena nová 5-ti osá CNC frézka DMU 60. Frézka má vysokootáčkové vřeteno pro obrábění pomocí mikrofréz viz **obr. 1.7 a**),
- v roce 2011 byla zakoupena elektroerozivní hloubička EDM 313. Nákup tohoto stroje umožnil společnosti rozšířit možnosti jiskření větších forem a zároveň došlo k zproduktivnění výroby viz **obr. 1.7 b**),
- v roce 2012 společnost zakoupila 5-ti osý plynulý CAM software PowerMILL společnosti Delcam,
- v roce 2013 společnost zakoupila nový CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 s řídicím systémem Siemens SINUMERIK 840D. Soustruh disponuje možnostmi využití poháněných nástrojů, které umožňují provádění technologických operací mimo osu rotace dílu (frézování, gravírování, vrtání, atd.),
- záměrem a cílem společnosti do budoucna je nákup brusky na kulato.



a)



b)

Obr. 1.7 Strojní vybavení společnosti

a) CNC frézka DMU 60 [3], b) elektroerzivní hloubička EDM 313 [4].

1.4 Kvalita

Společnost je certifikována dle ČSN EN ISO 9001:2009. Systém managementu jakosti je zpracován s přihlédnutím k požadavkům automobilového průmyslu VDA. Společnost kontinuálně prověřuje kvalitu svých výrobků, jejímž výsledkem je spokojenost a kladné hodnocení odběratelů [1].

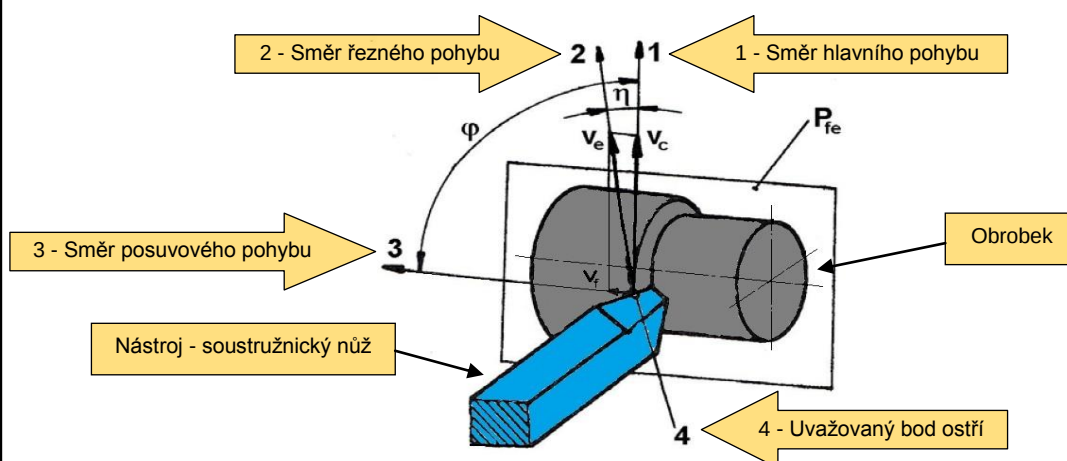
Systém managementu jakosti (QMS - Quality Management System) umožňuje realizaci efektivního systému řízení. Společnost svým vlastníkům, zaměstnancům, zákazníkům a dalším zainteresovaným stranám prostřednictvím certifikace QMS potvrzuje, že vnímá odpovědnost za kvalitu. Deklaruje naplňování svého závazku a potvrzuje, že uplatňované zásady v chování a přístupu ke kvalitě jsou součástí podnikání. Jedná se přitom jak o kvalitu dodávaných výrobků, poskytovaných služeb, tak i o kvalitu na všech organizačních úrovních. Hodnocenou prostřednictvím efektivnosti činností, procesů a celého systému. Předpokladem pro dosahování stanovených cílů je pak i úroveň personálních zdrojů, vybavení a infrastruktury [5].

Certifikace dle ČSN EN ISO 9001 je již nezbytností v mnoha oblastech výroby a poskytovaných služeb. Certifikáty se vyžadují v rámci výběrového řízení nejen v dodavatelských řetězcích, ale i v soutěžích o zadávání veřejných zakázek a v obchodních vztazích [5].

2 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ, FRÉZOVÁNÍ

Při technologických operacích obrábění dochází k oddělování částic materiálu z povrchu obrobku břitem řezného nástroje. Z hlediska fyzikálně - mechanického se jedná o proces, který je definován jako řezání. V řezném procesu jsou oddělované částice materiálu odebrány ve formě třísek. Vlastní obráběcí proces probíhá za určitých řezných podmínek, které jsou závislé na mnoha faktorech a jsou obecně součástí podmínek obráběcích. Do obráběcího procesu vstupuje obrobek jako objekt obrábění. Výstupem obráběcího procesu jsou požadované obrobené plochy, které vznikají technologiemi obrábění [6].

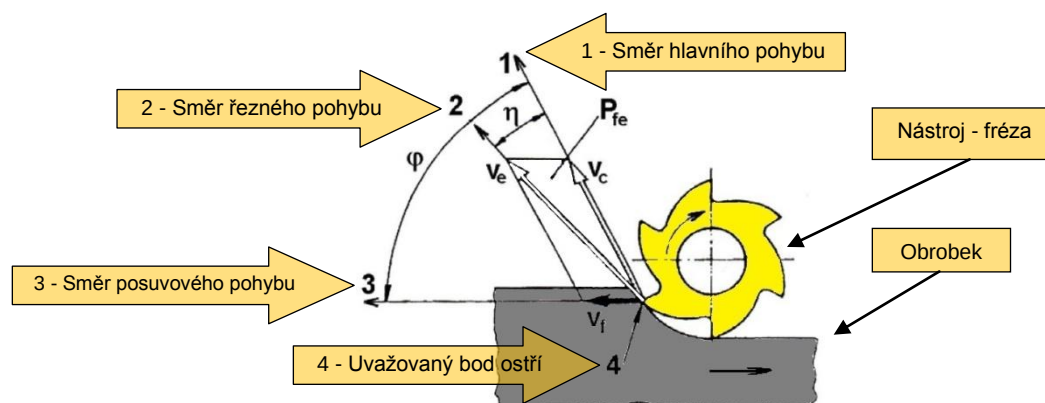
Kinematika řezného procesu je definována pohyby mezi nástrojem a obrobkem. Pohyby mezi nástrojem a obrobkem jsou vyjádřeny vhodnými veličinami popisujícími daný obráběcí proces [6]. Na **obr. 2.1** je zobrazen proces podélného soustružení válcové plochy.



Obr. 2.1 Vzájemné pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení

P_{fe} - pracovní boční rovina, φ - úhel posuvového pohybu, η - úhel řezného pohybu, v_c - řezná rychlost, v_f - posuvová rychlost, v_e - rychlost řezného pohybu [6].

Na **obr. 2.2** je zobrazen proces rovinného frézování válcovou frézou s přímými zuby.



Obr. 2.2 Vzájemné pohyby nástroje a obrobku při nesousledném frézování

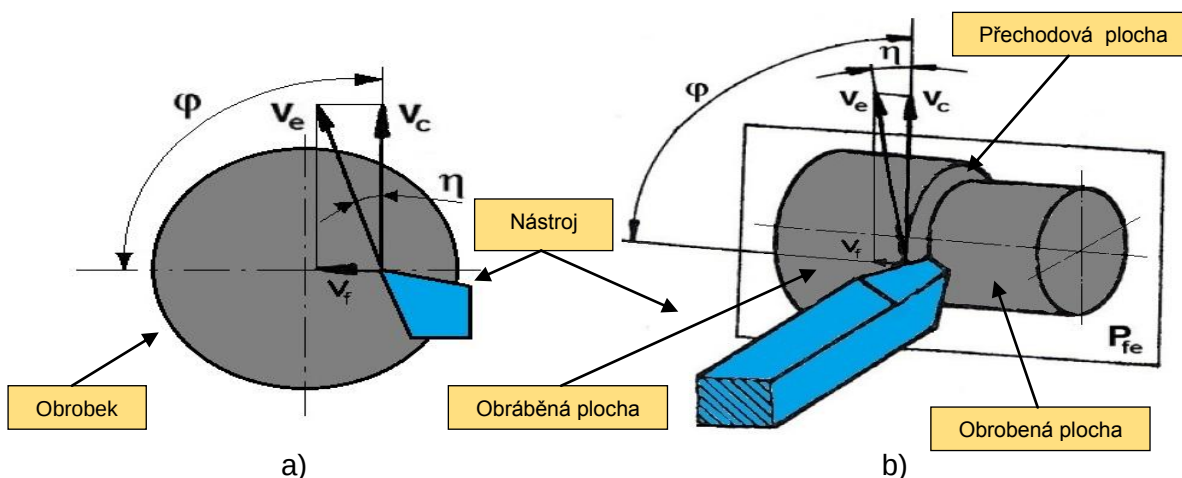
P_{fe} - pracovní boční rovina, φ - úhel posuvového pohybu, η - úhel řezného pohybu, v_c - řezná rychlost, v_f - posuvová rychlost, v_e - rychlost řezného pohybu [6].

Kinematika řezného procesu [6]:

- **hlavní pohyb** - jedná se o vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem,
- **směr hlavního pohybu** - jedná se o směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **řezná rychlost v_c** - je definována jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **posuvový pohyb** - jedná se o relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který umožňuje společně s řeznou rychlostí v_c plynulé nebo přerušované oddělování třísek z povrchu objektu obrábění - obrobku,
- **směr posuvového pohybu** - jedná se o směr okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **posuvová rychlost v_f** - je definována jako okamžitá rychlost posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **řezný pohyb** - je definovaný hlavním a posuvovým pohybem,
- **směr řezného pohybu** - jedná se o směr okamžitého řezného pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **rychlost řezného pohybu v_e** - je definována jako okamžitá rychlost řezného pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k objektu obrábění - obrobku,
- **úhel posuvového pohybu φ** - jedná se o úhel, který je měřený v pracovní boční rovině P_{fe} mezi směry posuvového a hlavního pohybu,
- **úhel řezného pohybu η** - jedná se o úhel, který je měřený v pracovní boční rovině P_{fe} mezi směry řezného a hlavního pohybu.

2.1 Technologie soustružení

Soustružení patří mezi technologie obrábění, při kterém dochází k odebírání materiálu ve formě třísek pomocí nástrojů s definovanou geometrií břitu [6].



Obr. 2.3 Jednotlivé vektory pohybů při soustružení
a) čelní soustružení, b) podélné soustružení [6].

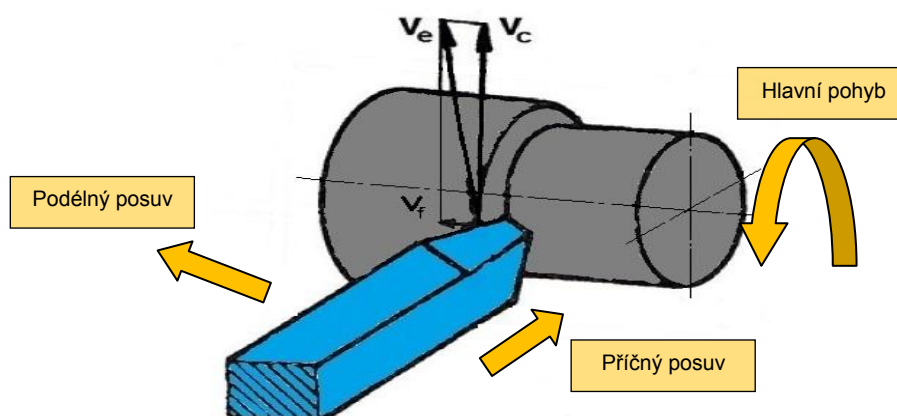
Při soustružení jsou používány ve většině případů jednobřité nástroje, které se liší svým provedením. Soustružení je používáno pro obrábění součástí rotačních tvarů viz **obr. 2.3**. Technologie soustružení je užívána především pro obrábění vnějších a vnitřních válcových, kuželových, tvarových ploch včetně ploch čelních. Dále také pro zapichování, upichování, vrtání, řezání závitů, válečkování, atd. Jedná se o technologii, která je ve strojírenství velice rozšířená a užívaná. Soustružení je považováno za nejjednodušší metodu obrábění a proto také mnoho teoretických úvah je v obrábění vztaheno právě k technologii soustružení [6, 7].

2.1.1 Pohyby při soustružení

Hlavní pohyb při soustružení je rotační a koná ho obrobek viz **obr. 2.4**. Jedná se o pohyb, který je definovaný řeznou rychlostí v_c , která je zároveň rychlostí hlavního pohybu a vyjadřuje se vztahem [6]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}, \quad (2.1)$$

kde: D [mm] - průměr obráběné plochy,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku.



Obr. 2.4 Podélné soustružení [6].

Vedlejší pohyb při soustružení neboli posuv koná soustružnický nůž. Tento pohyb může být přímočarý nebo obecný. Rychlost posuvového pohybu v_f se vyjadřuje vztahem [6]:

$$v_f = \frac{f_n \cdot n}{10^3} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}, \quad (2.2)$$

kde: f_n [mm] - posuv na otáčku obrobku,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku.

Řezný pohyb se při podélném soustružení válcové plochy uskutečňuje po šroubovici, při příčném soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení plochy obecného tvaru po prostorové křivce. Rychlost řezného pohybu v_e se vyjadřuje vztahem [6]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}. \quad (2.3)$$

2.1.2 Průřez třísky při soustružení

Jmenovitý průřez třísky A_D se pro podélné soustružení válcové plochy stanoví za předpokladu $r_\varepsilon \rightarrow 0$ pomocí vztahu [6]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f_n \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.4)$$

kde: b_D [mm] - jmenovitá šířka třísky,
 h_D [mm] - jmenovitá tloušťka třísky,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 f_n [mm] - posuv na otáčku obrobku.

Pro výpočet jmenovité šířky třísky b_D viz **obr. 2.5** za předpokladu $r_\varepsilon = 0$ se vychází ze vztahu [6]:

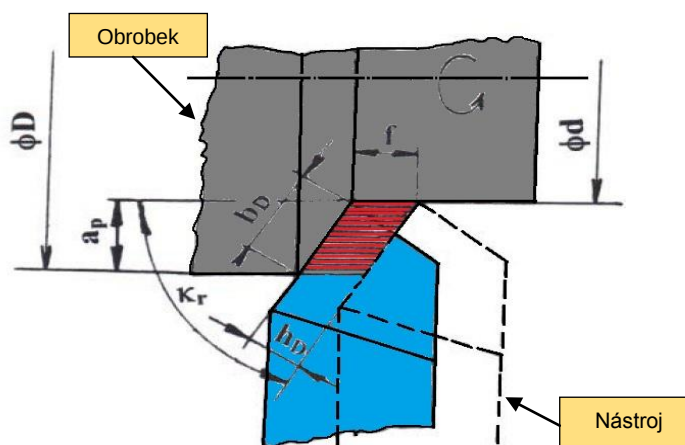
$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde: a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 κ_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

Pro výpočet jmenovité tloušťky třísky h_D viz **obr. 2.5** za předpokladu $r_\varepsilon = 0$ a $\varphi = 90^\circ$ se vychází ze vztahu [6]:

$$h_D = f_n \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

kde: f_n [mm] - posuv na otáčku obrobku,
 κ_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.



Obr. 2.5 Veličiny rozměru třísky při podélném soustružení [7].

2.1.3 Síly při soustružení

Působením řezné části nástroje na obráběnou plochu dochází ke vzniku celkové řezné síly F . Pro rozbor silových poměrů řezného procesu se celková řezná síla F rozkládá do několika složek viz **obr. 2.6**. Do složky řezné síly, která se označuje F_c , složky posuvové síly označené F_f a složky pasivní síly označené F_p . Pro výpočet celkové řezné síly F se uvažuje, že vektor celkové řezné síly F vychází z jednoho uvažovaného bodu ostří nástroje. A zároveň potřebné roviny a směry

k rozboru celkové řezné síly F jsou situovány rovněž do tohoto bodu. Pro podélné soustružení válcové plochy se jednotlivé složky řezné síly vypočítají dle vztahů [6, 7]:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{X_{Fc}} \cdot f_n^{Y_{Fc}} \quad [\text{N}], \quad (2.7)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{X_{Ff}} \cdot f_n^{Y_{Ff}} \quad [\text{N}], \quad (2.8)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{X_{Fp}} \cdot f_n^{Y_{Fp}} \quad [\text{N}], \quad (2.9)$$

kde: C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp} [-] - materiálové konstanty,
 X_{Fc}, X_{Ff}, X_{Fp} [-] - exponenty vlivu a_p ,
 Y_{Fc}, Y_{Ff}, Y_{Fp} [-] - exponenty vlivu f_n ,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 f_n [mm] - posuv na otáčku obrobku.

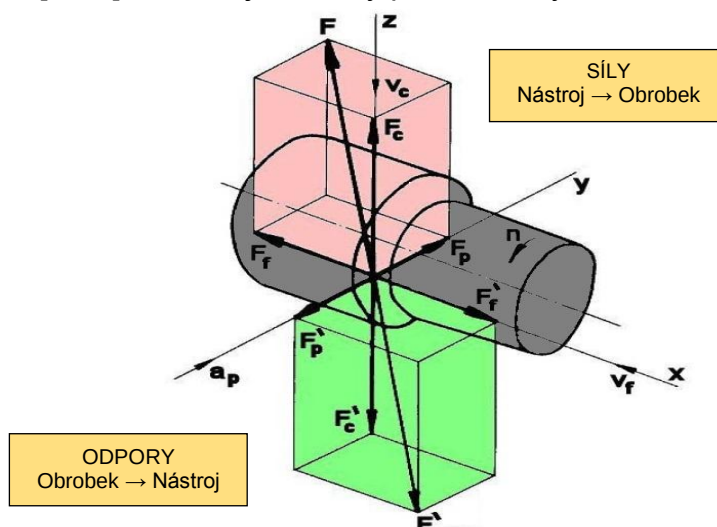
Celková řezná síla F se pro podélné soustružení válcové plochy vypočítá dle vztahu [7]:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [\text{N}]. \quad (2.10)$$

Složku řezné síly F_c je možno také vypočítat na základě známé velikosti měrné řezné síly k_c , kde měrná řezná síla k_c je dána řeznou silou F_c , vztaženou na jednotku plochy průřezu třísky. Pro výpočet měrné řezné síly se vychází ze vztahu [7]:

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad [\text{MPa}], \quad (2.11)$$

kde: F_c [N] - složka řezné síly,
 A_D [mm²] - jmenovitý průřez třísky.



Obr. 2.6 Síly působící při podélném soustružení válcové plochy [7].

Pro výpočet celkového výkonu obráběcího stroje P_c , který je zapotřebí pro pokrytí řezného výkonu a pasivních odporů se vychází ze vztahu [7]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta_m} [\text{kW}], \quad (2.12)$$

kde: F_c [N] - složka řezné síly,
 v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
 η_m [-] - mechanická účinnost obráběcího stroje.

2.1.4 Používané nástroje při soustružení

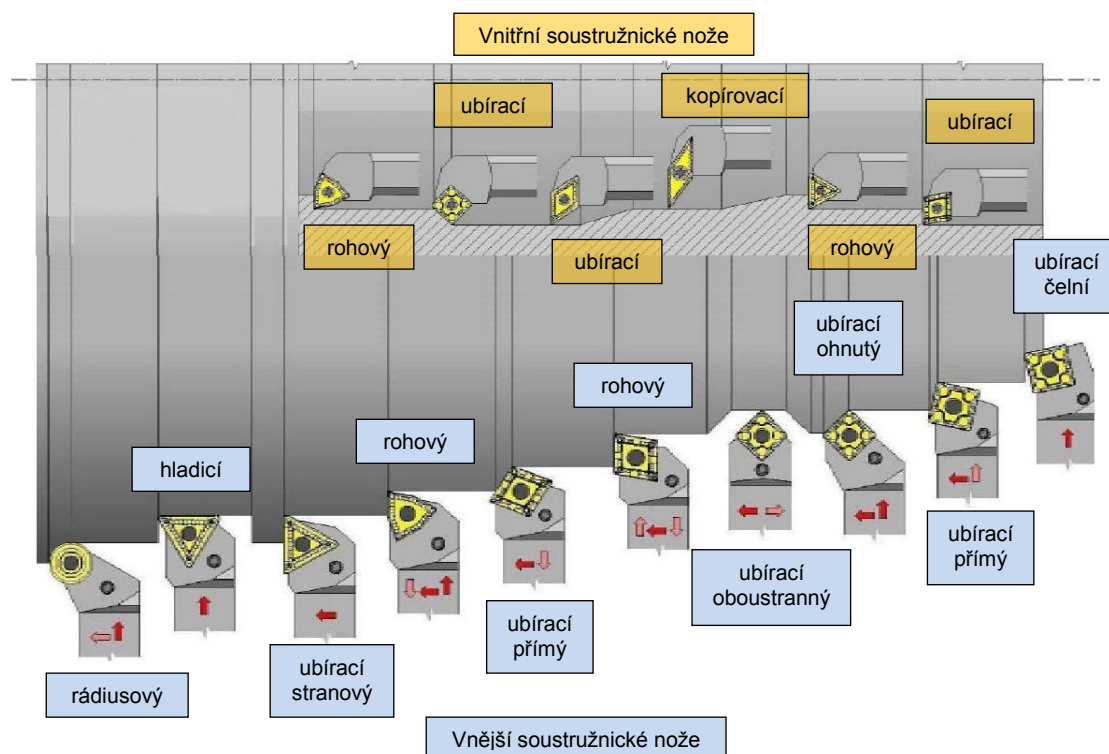
Soustružnické nástroje používané pro obrábění součástí rotačních tvarů se dělí dle různých hledisek. Z technologického hlediska na nože radiální, prizmatické, kotoučové a tangenciální [7].

Radiální nože jsou nejčastěji používané soustružnické nože, které je možno dále členit na [7]:

- radiální nože celistvé,
- radiální nože s pájenými břitovými destičkami,
- radiální nože s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Dle druhu obrábění je možné radiální nože členit na [7]:

- radiální nože pro obrábění vnějších ploch viz **obr. 2.7**,
- radiální nože pro obrábění vnitřních ploch viz **obr. 2.7**,



Obr. 2.7 Soustružnické nože vnější a vnitřní firmy Pramet [8].

Dále je možné radiální nože členit dle směru posuvového pohybu na [7]:

- radiální nože pravé,
- radiální nože levé.

Dle tvaru tělesa nože je možné radiální nože členit na [7]:

- radiální nože přímé,
- radiální nože ohnuté.

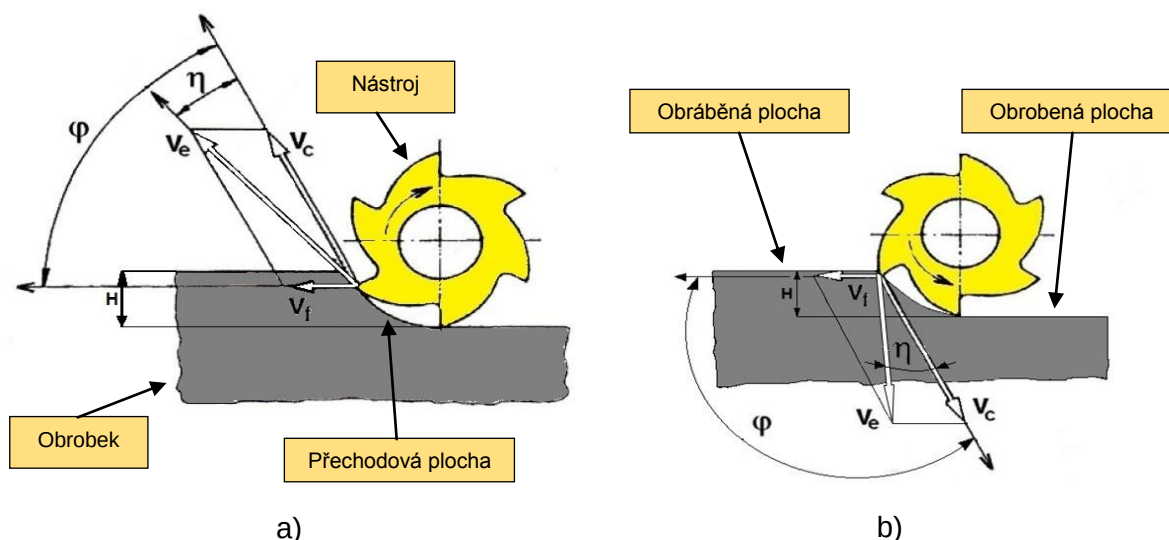
Soustružnické nože uvedené v jednotlivých výše popsanych skupinách je možno dále dělit na [7]:

- nože ubírací,
- nože zapichovací a upichovací,
- nože kopírovací,
- nože závitové,
- nože tvarové.

Výrobci nástrojů i vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů používají jednotný systém označování dle ISO [7].

2.2 Technologie frézování

Frézování patří rovněž jako soustružení mezi technologie obrábění, při kterém dochází k odebrání materiálu ve formě třísek pomocí nástrojů s definovanou geometrií břitu [6].



Obr. 2.8 Jednotlivé vektory pohybů při válcovém frézování
a) nesousledné frézování, b) sousledné frézování [6].

Při frézování je obráběný materiál z obrobku odebrán břity rezného nástroje, který koná rotační pohyb. V závislosti na použitém nástroji, lze rozdělit frézování na válcové viz **obr. 2.8** obvodem frézy a čelní viz **obr. 2.9** čelem frézy. Další způsoby frézování jsou od základních způsobů válcového a čelního frézování odvozeny jako je např. frézování planetové a okružní. Samotný řezný proces je na rozdíl od

soustružení přerušovaný. Jednotlivé zuby frézy odřezávají třísky proměnné tloušťky. Frézování je používáno převážně pro obrábění rovinných a tvarových ploch [7].

Při frézování válcovou frézou jsou zuby frézy vytvořeny na obvodu nástroje. V závislosti na válcovém frézování se rozlišuje nesousledné a sousledné frézování viz **obr. 2.8** [7].

Sousledné frézování - smysl otáčení nástroje a posuvu obrobku je ve stejném smyslu. Tloušťka odřezávané třísky se mění od maximální do minimální hodnoty. Působící řezná síla obvykle působí směrem do obrobku. Tento způsob sousledného frézování vyžaduje tuhé obráběcí stroje, bez vůlí. Jinak dochází k nestejnoměrnému posuvu, který může způsobit poškození nástroje [7].

Nesousledné frézování - smysl otáčení nástroje je proti smyslu posuvu obrobku. Tloušťka odřezávané vrstvy se mění od minimální do maximální hodnoty. Působící řezná síla obvykle působí směrem nahoru a způsobuje odtahování obrobku od stolu frézky [7].

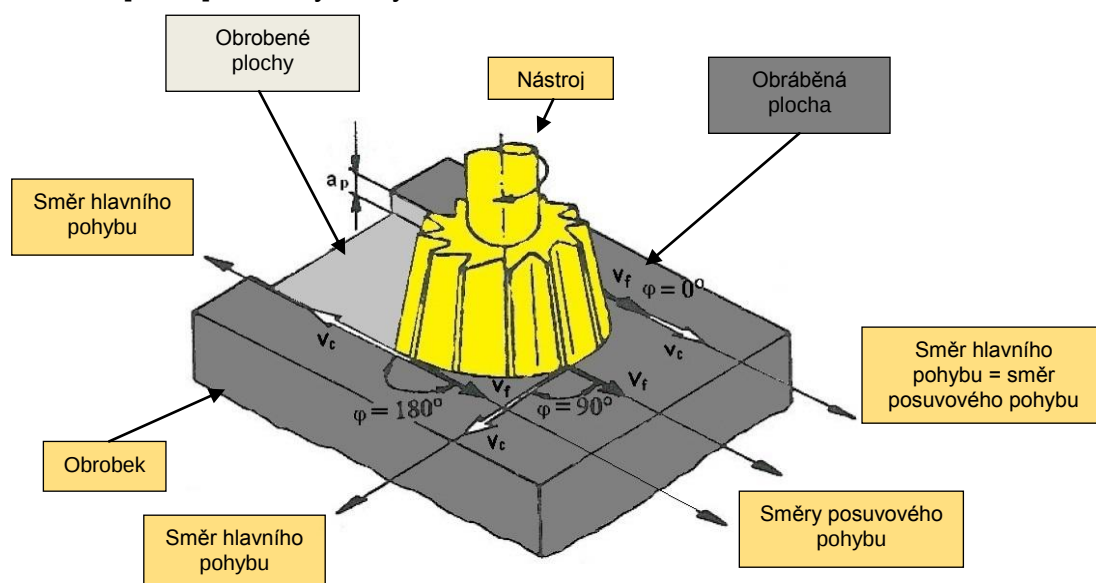
Při čelním frézování jsou zuby frézy vytvořeny jak na čele, tak i po obvodě frézy. Podle polohy osy nástroje vzhledem k obrobku se rozlišuje symetrické a nesymetrické frézování. U symetrického frézování dochází v části záběru k souslednému a nesouslednému frézování [7].

2.2.1 Pohyby při frézování

Hlavní pohyb při frézování je rotační a koná ho nástroj (fréza) viz **obr. 2.9**. Jedná se o pohyb, který je definovaný řeznou rychlostí v_c a vyjadřuje se vztahem [7]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{10^3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}, \quad (2.13)$$

kde: d [mm] - průměr frézy,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy.



Obr. 2.9 Pohyby úhlové čelní frézy a obrobku ve třech bodech nástroje [6].

Vedlejší pohyb při frézování neboli posuv vykonává nejčastěji obrobek. Jedná se o pohyb, který je kolmý na osu nástroje (frézy). U dnešních CNC frézek a obráběcích center jsou posuvy plynule měnitelné a mohou být uskutečněny ve všech směrech. Posuv lze vyjádřit jako posuv na zub f_z (dráha kterou urazí obrobek po dobu záběru jednoho zubu), nebo jako posuv na otáčku f_n (dráha, kterou urazí obrobek za dobu jedné otáčky frézy). Posuv na otáčku f_n lze vyjádřit pomocí vztahu [7]:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \quad (2.14)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje.

Při výpočtu posuvové rychlosti v_f se vychází ze vztahu [7]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}, \quad (2.15)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy.

Rychlost řezného pohybu v_e se vyjadřuje vztahem jako při soustružení [6]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}. \quad (2.16)$$

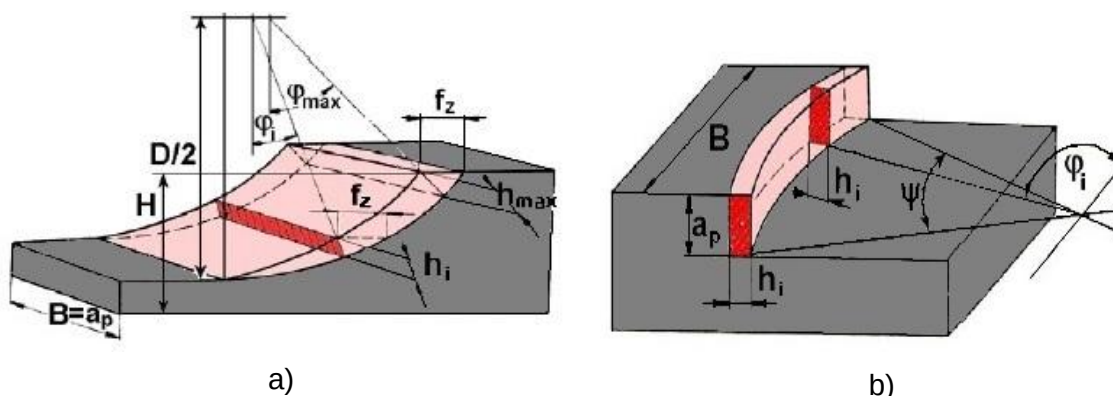
2.2.2 Průřez třísky při frézování

Jednotlivé vztahy pro zjednodušení platí pro válcovou frézu s přímými zuby.

Jmenovitou tloušťku odřezávané třísky h_i lze v libovolné části odřezávání vyjádřit vztahem viz **obr. 2.10** [7]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm]}, \quad (2.17)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.



Obr. 2.10 Průřezy třísky při frézování
a) válcové frézování, b) čelní frézování [7].

Úhel posuvového pohybu φ_i se mění nejen s polohou zubu, ale také podél příslušného ostří např. u fréz se šikmými zuby nebo fréz se zuby ve šroubovici.

Tloušťka odřezávané třísky se mění dle způsobu frézování od maxima do minima nebo opačně [7].

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro libovolnou polohu frézy i lze vyjádřit vztahem [7]:

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.18)$$

kde: h_i [mm] - jmenovitá tloušťka odřezávané třísky,

a_p [mm] - šířka záběru ostří,

f_z [mm] - posuv na zub,

φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.

Dále uvedené vztahy platí pro čelní frézování. Jako u válcového frézování se i u čelního frézování tloušťka odřezávané třísky mění s úhlem posuvového pohybu φ_i a ještě i s úhlem nastavení hlavního ostří κ_r [7].

Jmenovitou tloušťku odřezávané třísky h_i lze v libovolné části odřezávání vyjádřit vztahem [7]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}, \quad (2.19)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,

φ_i [°] - úhel posuvového pohybu,

κ_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro jakékoli φ_i konstantní a vyjádří se vztahem [7]:

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}, \quad (2.20)$$

kde: a_p [mm] - šířka záběru ostří,

κ_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro libovolnou polohu frézy i lze vyjádřit vztahem pro $\kappa_r = 90^\circ$ [7]:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.21)$$

kde: b [mm] - šířka třísky,

h_i [mm] - jmenovitá tloušťka odřezávané třísky,

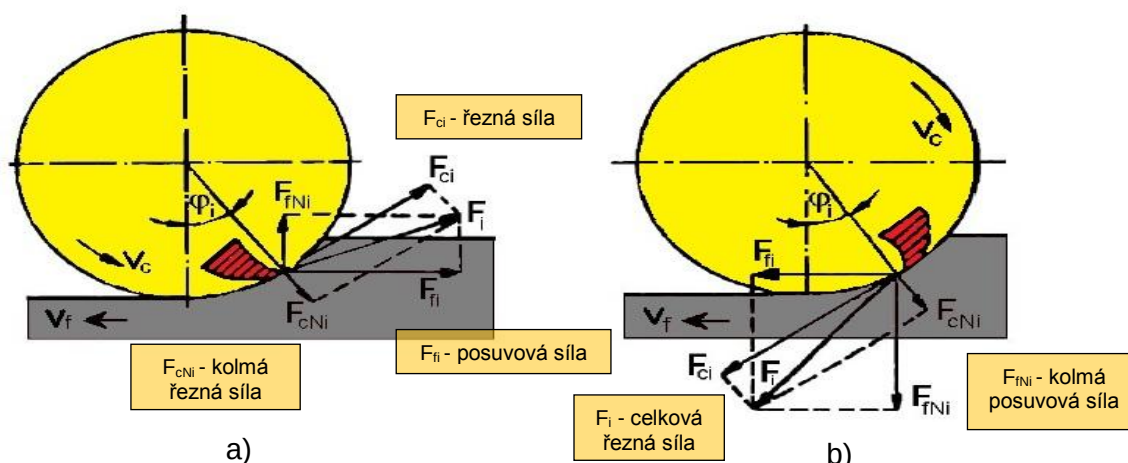
a_p [mm] - šířka záběru ostří,

f_z [mm] - posuv na zub,

φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.

2.2.3 Síly při frézování

Podobně jako u soustružení, dochází při frézování působením řezné části nástroje na obráběnou plochu ke vzniku celkové řezné síly F_i . Při určování řezných sil se uvažují silové poměry působící na jednom břitu nástroje, který je v určité poloze φ_i . Celková řezná síla F_i působící na břitu se pro frézování válcovou frézou s přímými zuby rozkládá do složek F_{ci} , F_{cNi} a složek F_{fi} a F_{fNi} viz **obr. 2.11** [7].



Obr. 2.11 Řezné síly při frézování válcovou frézou
a) nesousledné frézování, b) sousledné frézování [7].

Pro vyjádření řezné síly F_{ci} se vychází ze vztahu [7]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

kde: k_{ci} [MPa] - měrná řezná síla,
 A_{Di} [mm²] - průřez třísky,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.

Pro vyjádření měrné řezné síly k_{ci} se vychází ze vztahu [7]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]}, \quad (2.23)$$

kde: C_{Fc} [-] - konstanta vlivu obráběného materiálu,
 x [-] - exponent vlivu tloušťky třísky,
 h_i [mm] - jmenovitá tloušťka odřezávané třísky,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.

Po úpravě uvedených vztahů se řezná síla F_{ci} vyjádří [7]:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.24)$$

Pro čelní frézování se řezná síla F_{ci} vyjádří podobně jako u válcového frézování viz rovnice (2.22) [7]:

Pro vyjádření měrné řezné síly k_{ci} se vychází ze vztahu [7]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]}, \quad (2.25)$$

kde: C_{Fc} [-] - konstanta vlivu obráběného materiálu,

- x [-] - exponent vlivu tloušťky třísky,
 h_i [mm] - jmenovitá tloušťka odřezávané třísky,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 K_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,
 φ_i [°] - úhel posuvového pohybu.

Po úpravě rovnice (2.22) a (2.25) se řezná síla F_{ci} vyjádří [7]:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} K_r \cdot \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.26)$$

Při frézování je ve většině případů v záběru více zubů současně. Výsledná síla poté závisí na počtu zubů v záběru a na aktuální poloze zubů nástroje vzhledem k obrobku. Celková řezná síla F_c je důležitou veličinou pro potřebný krouticí moment a výkon frézky [7].

Celková řezná síla F_c se pro frézování válcovou frézou stanoví ze vztahu [7]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.27)$$

Pro stanovení počtu zubů v záběru n_z se vychází z rovnice [7]:

$$n_z = \frac{\varphi_{\max}}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (2.28)$$

- kde: $\varphi_{\max}$ [°] - maximální úhel posuvového pohybu,
 z [-] - počet zubů frézy.

Celková řezná síla F_c se pro frézování čelní frézou stanoví ze vztahu [7]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} K_r \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.29)$$

Pro stanovení počtu zubů v záběru n_z se vychází z rovnice [7]:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (2.30)$$

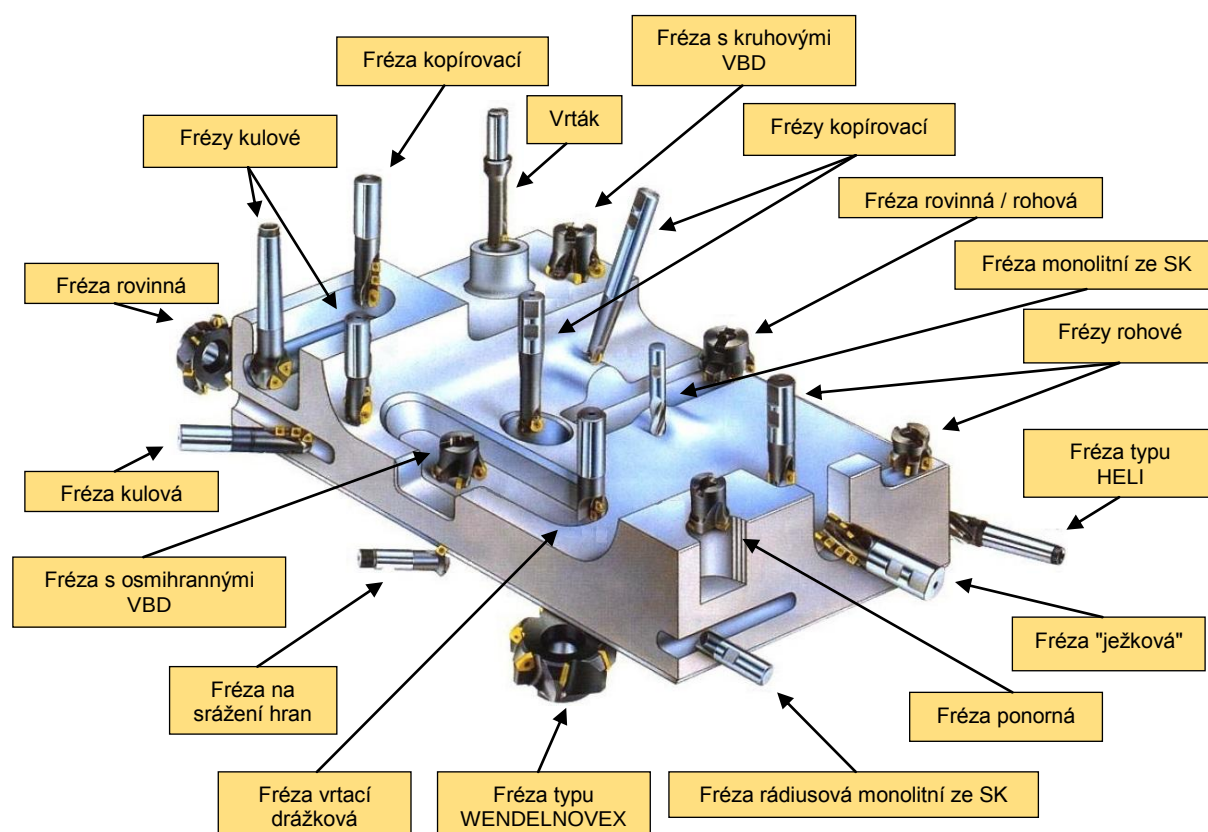
- kde: ψ [°] - úhel záběru frézy,
 z [-] - počet zubů frézy.

2.2.4 Používané nástroje při frézování

Nástroje (frézy) používané pro frézování jsou několikabřité nástroje, které v současné době zahrnují mnoho druhů fréz viz **obr. 2.12**. Technologie frézování je ve strojírenství velice rozšířenou technologií. Frézy používané pro frézování se dělí jako soustružnické nože do různých skupin. Z technologického hlediska lze frézy dělit podle [7]:

- umístění zubů na tělese frézy - frézy válcové, čelní, čelní válcové,

- nástrojového materiálu zubů - frézy z rychlořezné oceli, SK, cermetů, řezné keramiky, CBN, PCD,
- provedení zubů - frézy se zuby frézovanými, podsoustruženými,
- směru zubů vzhledem k ose rotace nástroje - frézy se zuby přímými, ve šroubovici,
- počtu zubů vzhledem k průměru frézy - jemnozubé, polohrubozubé, hrubozubé,
- konstrukčního uspořádání - frézy celistvé, s vyměnitelnými břitovými destičkami, s vloženými noži,
- geometrického tvaru funkční části - např. frézy válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, rádiusové, na výrobu ozubení, atd.,
- způsobu upnutí - frézy nástrčné, stopkové,
- smyslu otáčení při pohledu od vřetena frézky - frézy pravořezné, levořezné.



Obr. 2.12 Různé druhy nástrojů firmy Walter [7].

3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU OBRÁBĚNÍ DÍLU PRO VSTŘIKOVACÍ FORMU Z HLEDISKA TECHNOLOGIE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Společnost Gregor s.r.o. vyrábí jak nové vstřikovací formy, tak provádí opravy stávajících forem. Vstřikovací formy slouží pro výrobu hřídelových těsnicích kroužků (Gufer) viz **obr. 3.1**.



Obr. 3.1 Hřídelové těsnicí kroužky (Gufera).

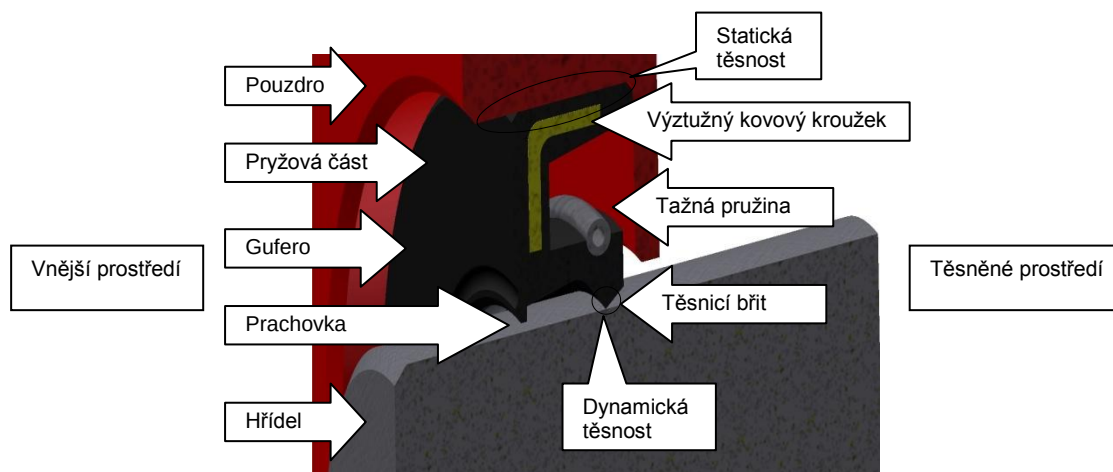
Existuje celá řada druhů konstrukčních řešení hřídelových těsnicích kroužků, které se liší jak rozměry, provedením, tak také materiálem. Rozměry a provedení hřídelových těsnicích kroužků závisí na dané aplikaci použití. Materiál hřídelových těsnicích kroužků závisí na druhu provozního prostředí. Z tohoto důvodu existuje celá řada vstřikovacích forem, které jsou ve společnosti Gregor s.r.o. vyráběny. Návrh na zefektivnění výrobního procesu dílu vstřikovací formy je realizován pro jeden typ formy, konkrétně pro jeden díl. Pokud bude navrhovaná varianta řešení pro společnost efektivnější, produktivnější a ekonomicky výhodnější než stávající způsob výroby, bude se moci aplikovat na jednotlivé druhy dílů vstřikovacích forem, které jsou ve společnosti Gregor s.r.o. vyráběny.

3.1 Hřídelové těsnicí kroužky (Gufera)

Hřídelové těsnicí kroužky jsou těsnicí prvky, které slouží k utěsnění hřídelů, ložisek a mnoha dalších strojních součástí. Jejich funkcí je separace různých druhů prostředí, které mají stejný nebo podobný charakter. Zabraňují úniku těsněného média a vnikání nečistot do prostoru, který má být utěsněn [9].

Hřídelové těsnicí kroužky se skládají z výztužných kovových kroužků, pryžových částí a tažných pružin viz **obr. 3.2**. Výztužné kovové kroužky jsou tvaru prstence. Tento tvar zajišťuje přesnou montáž těsnicích kroužků a spolehlivé upevnění v dosedacích otvorech. Výztužné kovové kroužky jsou vyráběny z hlubokotažné oceli. Dle požadavků aplikace může být zvolen i jiný druh materiálu. Membrána přecházející v těsnicí břit je technologií vulkanizace připevněna k výztužnému kovovému kroužku. Funkcí membrány je snižování úchylek obvodového házení a souososti hřídele, čímž je zajištěno dostatečné těsnění. Těsnicí břit má na vnějším obvodu drážku pro umístění tažné pružiny. Tažná pružina je vyráběna z pružinového ocelového drátu. Je-li použito hřídelového těsnicího kroužku v prašném prostředí, bývá tento hřídelový těsnicí kroužek opatřen prachovkou,

kteřá zabraňuje vnikání prachu a dalších nečistot do těsněného prostoru. Hřídelové těsnicí kroužky jsou vyráběny z pryžových částí, na které jsou kladeny vysoké nároky. Tyto pryžové části zajišťují funkční vlastnosti hřídelového těsnění a mají také zásadní vliv na jeho životnost a spolehlivost [9].



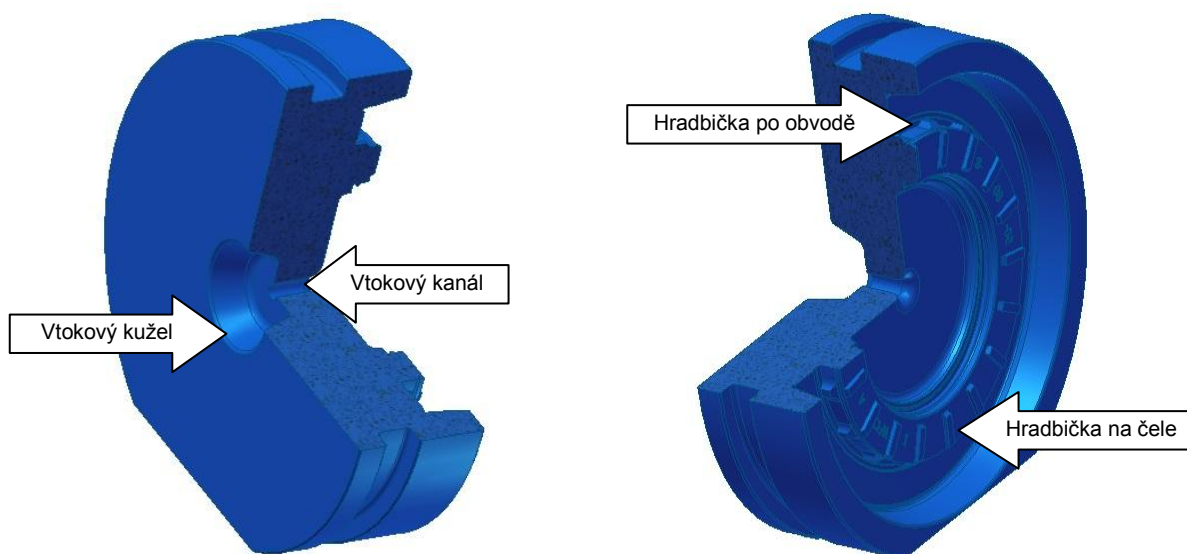
Obr. 3.2 Popis hřídelového těsnicího kroužku (Guferu) [9].

Hřídelové těsnicí kroužky zajišťují dvojitý typ těsnosti viz **obr. 3.2**. Prvním typem je statická těsnost v uložení mezi vnějším průměrem těsnicího kroužku a povrchem otvoru. Přesah vnějšího průměru těsnicího kroužku proti průměru otvoru po zalisování zajišťuje statickou těsnost. Druhým typem těsnosti je dynamická těsnost. Při dynamické těsnosti se vytvoří těsnicí spára, mezi vnějším povrchem hřídele a těsnicím břitem. Vlivem radiálního zatížení se mezi dotýkajícími plochami hřídele a těsnicího břitu vytvoří tlak, který při klidu hřídele vytvoří těsné uložení. Pro zajištění nízkých třecích ztrát a dlouhé životnosti těsnění, při otáčení hřídele je nutné, aby se mezi otáčející se hřídelí a těsnicími plochami vytvořil mazací film [9].

Tření mezi těsnicím břitem a hřídelí způsobuje teplo, které zvyšuje teplotu třecích ploch. Toto teplo musí být odváděno, neboť omezuje použitelnost pryže hřídelového těsnicího kroužku. Hřídelové těsnicí kroužky nejsou vhodné pro hřídele, které mají špatnou tepelnou vodivost, neboť dochází k shromažďování tepla v okolí těsnicího břitu a povrchu hřídele. Povrch hřídele je doporučeno tepelně zpracovávat povrchovým kalením na tvrdost, která je závislá na provozních podmínkách daného prostředí [10].

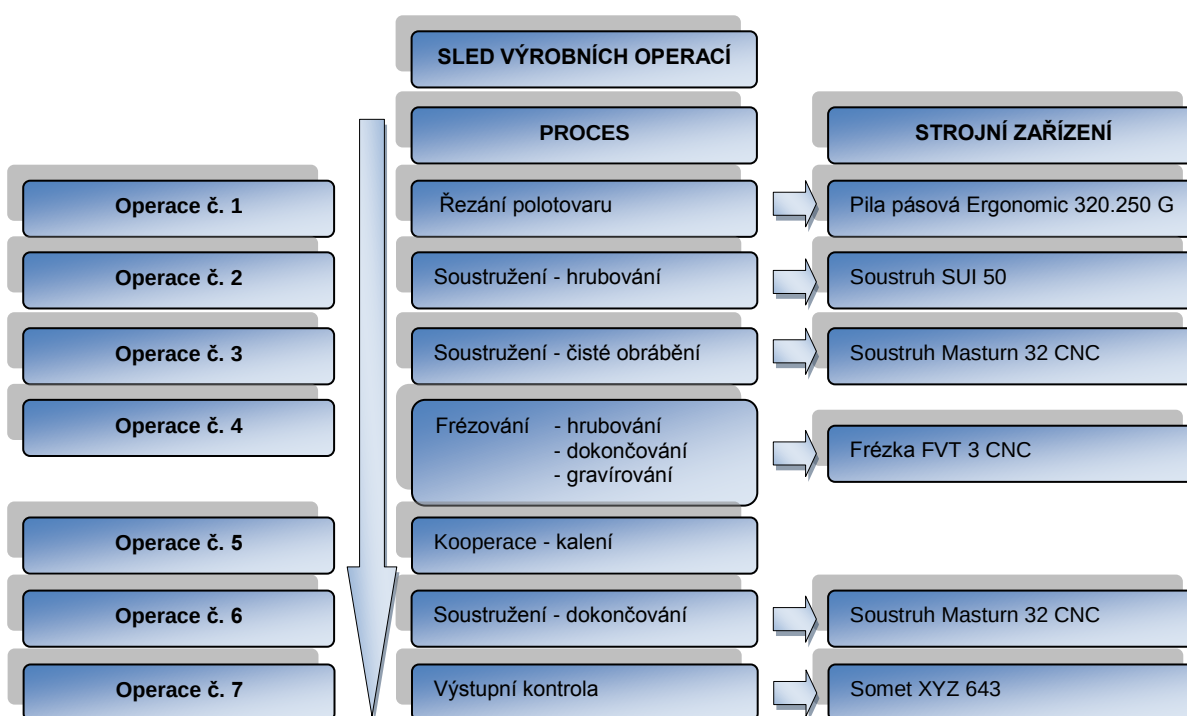
3.2 Stávající způsob výroby dílu pro vstřikovací formu

Vstřikovací forma, která slouží pro výrobu hřídelových těsnicích kroužků (Gufer) je z převážné části soustružená. Na dílu viz **obr. 3.3**, který je součástí vstřikovací formy jsou prováděny jednak soustružnické operace, operace vrtání, frézování a gravírování. Jedná se o díl, který je tvarově nejsložitější. Při jeho výrobě se dosahuje nejdelších výrobních časů ve srovnání s ostatními díly formy. Pro tento díl viz **obr. 3.3** je navržen postup zefektivnění výrobního procesu, který je dále rozebrán viz podkapitola 4.6.



Obr. 3.3 Model horní části vstřikovací formy v řezu.

Stávajícím způsobem výroby je díl viz **obr. 3.3** pro vstřikovací formu vyráběn na několika strojních zařízeních. Na **obr. 3.4** je znázorněn sled výrobních operací, které jsou prováděny na dílu pro vstřikovací formu od řezání polotovaru až po spasování celé formy.



Obr. 3.4 Stávající sled výrobních operací dílu vstřikovací formy.

Jestliže mají hřídelové těsnicí kroužky splňovat všechny požadavky, které jsou na ně kladeny, jsou při výrobě vstřikovacích forem kladeny vysoké nároky na přesnost jejich výroby.

3.2.1 Operace č. 1 - Řezání polotovaru

Polotovaru pro výrobu dílu vstříkací formy je řezán z tyčového materiálu na pásové pile Bomar Ergonomic 320.250 G viz **obr 3.5**. Jedná se o nástrojovou ocel s označením dle normy ČSN 19 436 a podle DIN X210Cr12.



Obr. 3.5 Pásová pila Bomar Ergonomic 320.250 G.

Pásová pila Bomar Ergonomic 320.250 G je vybavena výkonným motorem a převodovkou se šikmým ozubením. Rameno pásové pily je z litiny, která odolává rázům a vibracím. Pásová pila je ovládána z obslužného pultu na přední straně stroje. Přítlak litinového ramene pásové pily do řezu je vyvozen hmotností ramene s hydraulickou regulací rychlosti. Řezaný materiál je upínán pomocí svěráku s rychloupínáním, který umožňuje rychlé a jednoduché upínání. Technické parametry pásové pily jsou uvedeny v **tab. 3.1** [11].

Tab. 3.1 Technické parametry stroje [11].

Pásová pila Bomar Ergonomic 320.250 G		
Rozměry stroje		
Délka - Šířka - Výška	[mm]	1670 - 1166 - 1239
Motor		
Výkon	[kW]	1,1 / 1,5
Elektrické zařízení stroje		
Celkový příkon	[kW]	1,7
Napájecí napětí, frekvence el. sítě	[V], [Hz]	~ 3 x 400 , 50
Hmotnost stroje		
Hmotnost	[kg]	345
Rozměry pásu		
2910 x 27 (25) x 0,9 [mm]		
Řezná rychlost		
40 / 80 [m / min]		
Řezný rozsah		
Max. řezaný kruhový průřez	[mm]	250
Max. řezaný čtvercový průřez	[mm]	250 x 250
Max. řezaný obdélníkový průřez	[mm]	□ 320 x 170
Max. řezaný obdélníkový průřez	[mm]	□ 290 x 250

Ocel 19 436 je vysoce legovaná chromová ocel viz **tab. 3.2** s dobrou prokalitelností na vzduchu a v oleji. Jedná se o ocel, která má dobrou řezivost,

vysokou pevnost v tlaku a nízkou houževnatost v příčném směru. Má vysokou odolnost proti opotřebení kovovými a minerálními látkami. Tato ocel se vyznačuje dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování. Ocel se obtížně tváří za tepla, obtížně brousí a dochází k snížení její obrobitelnosti v žíhaném stavu [12].

Tab. 3.2 Chemické složení oceli 19436 [12].

Značka oceli	Chemické složení oceli v [%]						
	C	Mn	Si	Cr	Ni max.	P max.	S max.
ČSN 19 436	1,8-2,05	0,2-0,45	0,2-0,45	11-12,5	0,5	0,03	0,035

Tato nástrojová ocel nachází své uplatnění při výrobě menších forem s velkou životností. Formy jsou používány pro tváření práškových a plastických hmot, skla, porcelánu a keramických materiálů. Je používána pro všechny druhy nástrojů s velkou životností. Tyto nástroje jsou využívány k děrování materiálů menších tloušťek, pro stříhání na lisech, pro nože tabulových nůžek. Dále je tato ocel vhodná pro symetrické protlačovací nástroje, nástroje na válcování závitů, hladké profilové válce, atd. [12].

3.2.2 Operace č. 2 - Soustružení - hrubování

Hrubovací operace soustružení dílu vstřikovací formy jsou prováděny na univerzálním hrotovém soustruhu SUI 50 viz **obr. 3.6**. Univerzální hrotový soustruh SUI 50 je určen pro obrábění rotačních součástí hřídelového a přírubového tvaru bez náročného seřízení stroje. Na soustruhu lze obrábět plochy čelní, kuželové, rotační vnější a vnitřní. Pomocí šablony lze na soustruhu provádět kopírovací soustružení. Univerzální hrotový soustruh má velký rozsah otáček a posuvů. Je opatřen vodícím šroubem, který umožňuje řezat závitů nožem. Technické parametry stroje jsou uvedeny v **tab. 3.3** [6, 13].



a)



b)

Obr. 3.6 a) Univerzální hrotový soustruh SUI 50, b) pracovní prostor stroje.

Polotovar pro vstřikovací formu je na univerzálním hrotovém soustruhu upínán do tříčelistového sklíčidla. Nástroje pro soustružení jsou upínány do otočné nožové hlavy. Rotační nástroje (vrtáky, výhrubníky, výstružníky, atd.), které mají kuželovou stopku jsou upínány pomocí redukčních pouzder do pinoly koníku. Nástroje s válcovou stopkou jsou upínány do vrtacího sklíčidla, které je upnuto rovněž do pinoly koníku. Díl vstřikovací formy je hrubován s příдавкы pro čisté

obrábění. Celková délka dílu a jednotlivé průměry jsou hrubovány s přídavkem 2 mm. Po obrobení přední strany je díl odepnut, znovu upnut a vyrovnan pomocí číselníkového úchylkoměru, aby bylo možné hrubovat zadní stranu dílu. Průběžná kontrola rozměrů dílu je prováděna pomocí posuvného měřítka.

Tab. 3.3 Technické parametry stroje SUI 50 [13].

Univerzální hrotový soustruh SUI 50		
Rozměry pracovního prostoru		
Oběžný průměr nad ložem	[mm]	500
Vzdálenost mezi hroty	[mm]	1500
Vrtání vřetene	[mm]	56
Motor		
Výkon elektromotoru	[kW]	7,5
Otáčky vřetene	[min ⁻¹]	14 - 2240
Elektrické zařízení stroje		
Celkový příkon	[kW]	1,7
Napájecí napětí, frekvence el. sítě	[V], [Hz]	3 x 380 , 50

Používané nástrojové vybavení při hrubování dílu vstřikovací formy - přední strana:

Nástroje pro soustružení jsou převážně od společnosti ISCAR ČR s.r.o.

➤ **Soustružení - vnější hrubování, zarovnání čelní plochy [14]:**

Soustružnický nůž (držák): DWLNR 2525M-08,
 VBD: WNMG 080408-NR,
 Řezné podmínky:

řezná rychlost	$v_c = 180$ (170 až 280)	[m.min ⁻¹],
otáčky	$n = 560$	[min ⁻¹],
posuv na otáčku	$f_n = 0,25$ (0,18 až 0,5)	[mm],
šířka záběru	$a_p = 2$ (1 až 5)	[mm].

➤ **Vrtání středového otvoru [15]:**

Šroubovité vrták: Ø 44 (HSS), dle
 normy ČSN 22 1140,

Řezné podmínka:

řezná rychlost	$v_c = 11$	[m.min ⁻¹],
otáčky	$n = 56$	[min ⁻¹],
posuv na otáčku	$f_n = 0,2$ (ruční)	[mm].

Zbylé nástroje používané pro hrubování dílu vstřikovací formy jsou uvedeny v příloze 3. Nástroje jsou řazeny dle technologických operací, které jsou na dílu vstřikovací formy prováděny.

3.2.3 Operace č. 3 - Soustružení - čisté obrábění, dokončování

Po vyhrubování je díl pro vstřikovací formu soustružen na soustruhu Masturn 32 CNC viz **obr. 3.7**. Jedná se o univerzální CNC soustruh s vysokým výkonem na vřetenu, který umožňuje kompletní obrobení rotačních dílů přírubového

a hřídelového tvaru. Jeho nasazení je od kusové, opakované až po malosériovou výrobu. Stroj je určen pro přesné tvarové soustružení povrchových, čelních a vnitřních ploch při konstantní řezné rychlosti, řezání závitů a pro vrtání středových otvorů. Soustruh je osazen řídicím systémem HEIDENHAIN MANUALplus 4110. Řídicí systém umožňuje uživatelsky přívětivé dílenské programování pro jeho jednoduché ovládání. Ovládací prvky řídicího systému jsou umístěny na monitoru, který je samostatně posuvný nad ochranným krytem. Technické parametry stroje jsou uvedeny v **tab. 3.4** [16].



a)



b)

Obr. 3.7 a) Soustruh Masturn 32 CNC, b) pracovní prostor stroje.

Vyhrubovaný díl je upínán jako u předešlé operace pomocí tříčelistového sklíčidla. Nástroje pro soustružnické operace jsou upínány do rychloupínacího nožového držáku Multifix. Rotační nástroje, které mají kuželovou stopku jsou upínány pomocí redukčních pouzder přímo do pinoly koníku. Nástroje s válcovou stopkou jsou upínány do CNC rychloupínacího sklíčidla, které je upnuto rovněž do pinoly koníku. Díl pro vstřikovací formu je soustružen na vnitřním tvaru s přídavkem 0,1 mm pro následné technologické operace frézování, tepelné zpracování - kalení a soustružení - dokončování. Části dílu, na kterých není tvar pro hřídelové těsnicí kroužky jsou dokončeny načisto. Řídicí programy pro obrobení dílu vstřikovací formy jsou připravovány přímo u stroje obsluhujícím pracovníkem, prostřednictvím dílensky orientovaného programování v kombinaci s ISO programováním a ručním ovládáním stroje např. při vrtání. Průběžná kontrola rozměrů dílu je prováděna posuvným měřítkem.

Tab. 3.4 Technické parametry stroje Masturn 32 CNC [17].

Univerzální soustruh Mastrun 32 CNC		
Rozměry pracovního prostoru		
Oběžný průměr nad ložem	[mm]	320
Vzdálenost mezi hroty	[mm]	800
Vrtání vřetene	[mm]	50
Hmotnost obrobku		
Max. hmotnost obrobku	[kg]	350
Motor		
Výkon elektromotoru	[kW]	7
Otáčky vřetene	[min ⁻¹]	0 - 4000

Používané nástrojové vybavení při čistém obrábění dílu vstřikovací formy - přední strana:

Pro soustružení jsou používány převážně nástroje od společnosti ISCAR ČR s.r.o.

➤ Soustružení - vnější čisté obrábění, soustružení čela [14]:

Soustružnický nůž (držák):

DWLNr 2525M-06,

VBD:

WNMG 060404-NF,

Řezné podmínky:

řezná rychlost	$v_c = 200$ (170 až 280)	[m.min ⁻¹],
posuv na otáčku	$f_n = 0,1$ (0,08 až 0,25)	[mm],
šířka záběru	$a_p = 1$ (0,6 až 3)	[mm].

➤ Navrtání středicího otvoru [15]:

Středicí vrták:

A1 (HSS), dle normy ČSN 22 110,

Řezné podmínky:

řezná rychlost	$v_c = 28$	[m.min ⁻¹],
otáčky	$n = 2000$	[min ⁻¹],
posuv na otáčku	$f_n = 0,04$ (ruční)	[mm].

Zbýlé nástroje používané pro čisté obrábění a dokončování dílu vstřikovací formy jsou uvedeny v příloze 4. Nástroje jsou řazeny dle technologických operací, které jsou na dílu vstřikovací formy prováděny.

3.2.4 Operace č. 4 - Frézování - hrubování, dokončování

Poté co díl vstřikovací formy projde soustružnickými operacemi, je jeho výroba přesunuta na frézařské pracoviště konkrétně na univerzální nástrojařskou frézku FVT 3 CNC viz **obr. 3.8**. Tato frézka je určena pro frézování rovinných a tvarových ploch v kusové a malosériové výrobě, pro vrtací a vyvrtávací operace. Frézka je řízena řídicím systémem Mikroprog. Technické parametry stroje jsou uvedeny v **tab. 3.5** [6].



a)

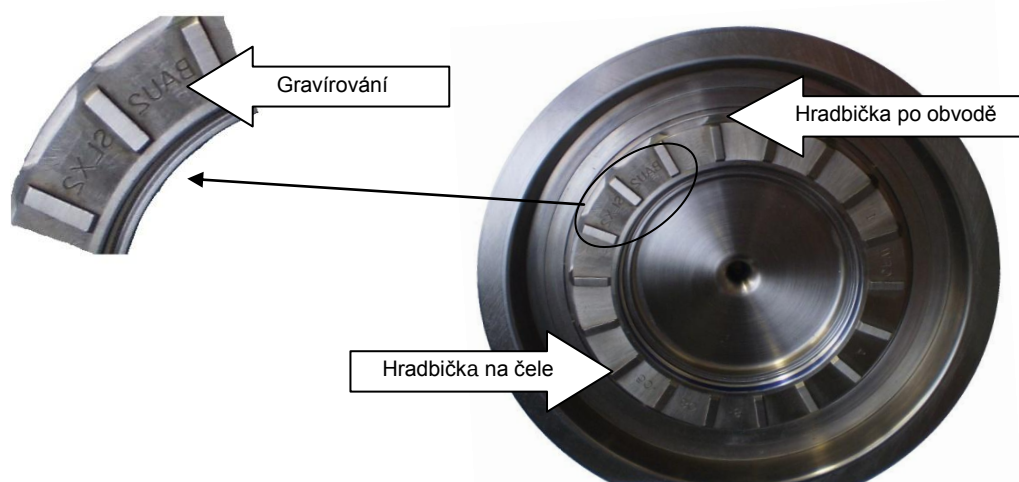


b)

Obr. 3.8 a) Univerzální nástrojařská frézka FVT 3 CNC, b) pracovní prostor stroje.

Díl vstřikovací formy je upínán přímo na pracovní stůl frézky pomocí upínek, podložek, šroubů a matic viz **obr. 3.8**. Nástroje pro frézování jsou upínány pomocí kleštin a kleštinového upínače do vřetena frézky. Zde je na dílu pro vstřikovací formu frézována rovinná plocha společně s hradbičkami na čele a po obvodě viz **obr. 3.9**. Řídicí programy pro frézování hradbiček na čele, po obvodě a pro frézování rovinné plochy jsou připravovány mimo frézařské pracoviště v kanceláři technologa.

Hradbičky na čele a po obvodě jsou frézovány načisto. Stejně jako rovinná plocha na obvodě dílu. Po vyfrézování čelních hradbiček načisto je mezi hradbičky dílu pro vstřikovací formu gravírován nápis pro označení hřídelového těsnicího kroužku (Gufera) viz **obr. 3.9**. Pro gravírování jsou používány karbidové polotovary, které se vybrušují do požadovaného tvaru gravírovací frézy. Nápis pro označení hřídelového těsnicího kroužku (Gufera) musí být gravírován zrcadlově převráceně, aby po jeho zhotovení byl nápis na hřídelovém těsnicím kroužku čitelný. Pro průběžnou kontrolu rozměrů hradbiček je používáno posuvného měřítka.



Obr. 3.9 Horní část vstřikovací formy.

Tab. 3.5 Technické parametry univerzální nástrojařské frézky FVT 3 CNC [18].

Univerzální nástrojařská frézka FVT 3 CNC		
Rozměry pracovního stolu		
Šířka x délka	[mm]	350 x 900
Zdvih souřadnic		
Podélný	[mm]	500
Příčný	[mm]	320
Svislý konzola	[mm]	400
Svislý pinola	[mm]	60
Hmotnost obrobku		
Max. zatížení stolu	[kg]	150
Motor		
Výkon elektromotoru	[kW]	5
Otáčky vřetene	[min ⁻¹]	0 - 5000

Používané nástrojové vybavení při frézování a gravírování dílu vstřikovací formy:

Pro frézování jsou používány nástroje od společnosti TMC CR, s.r.o. dodavatele nástrojů společnosti ARNO Werkzeuge.

➤ Frézování - hradbičky na čele [19]:

Válcová monolitní fréza:

AFG50140-060,

Řezné podmínky:

řezná rychlost	$v_c = 60$	$[m \cdot min^{-1}]$,
otáčky	$n = 2500$	$[min^{-1}]$,
posuv na zub	$f_z = 0,01$	$[mm]$,
šířka záběru	$a_p = 3$	$[mm]$,
radiální šířka záběru	$a_e = 6$	$[mm]$.

➤ Frézování - hradbičky po obvodě [19]:

Válcová monolitní fréza:

AFG50140-040,

Řezné podmínky:

řezná rychlost	$v_c = 60$	$[m \cdot min^{-1}]$,
otáčky	$n = 2500$	$[min^{-1}]$,
posuv na zub	$f_z = 0,008$	$[mm]$,
šířka záběru	$a_p = 6$	$[mm]$,
radiální šířka záběru	$a_e = 0,8$	$[mm]$.

Zbylé nástroje používané pro frézování a gravírování dílu vstřikovací formy jsou uvedeny v příloze 5. Nástroje jsou řazeny dle technologických operací, které jsou na dílu vstřikovací formy prováděny.

3.2.5 Operace č. 5 - Kooperace - Tepelné zpracování - kalení

Díl pro vstřikovací formu je po operacích soustružení a frézování kalen. Kalení probíhá v rámci kooperace s firmou Bodycote HT s.r.o. na tvrdost 62 ± 2 HRC. Kalením je zvýšena tvrdost dílu a tím dochází k nárůstu odolnosti proti opotřebení. Vzhledem k možnostem změny rozměrů dílu po tepelném zpracování - kalení, je díl na tvarových částech soustružen s přídatky pro následné dokončovací operace (soustružení).

Tepelné zpracování slitin železa je proces, při kterém dochází k strukturním a fázovým přeměnám v tuhém stavu. Cílem tepelného zpracování je získání požadovaných funkčních, technologických a mechanických vlastností tepelně zpracovávaných materiálů. Při tepelném zpracování se nejčastěji používá cílené řízení změn teploty. Ohřev probíhá většinou v pecích nebo lázních. Pro výšku teploty tepelného zpracování jsou důležité změny, které v kovu probíhají. Stejně jako způsob mechanického zpracování materiálu před tepelným zpracováním. Jako kalicí prostředí jsou používány vzduch, olej a voda. Mezi základní druhy tepelného zpracování patří žíhání, kalení a popouštění. Volba druhu tepelného zpracování závisí na materiálu a vlastnostech, které mají být dosaženy [20, 21].

Kalení je způsob tepelného zpracování, při kterém vznikají částečně nebo zcela nerovnovážné struktury v důsledku martenzitické nebo bainitické přeměny. Cílem kalení je dosažení martenzitické struktury, čímž dochází k zvýšení stupně tvrdosti

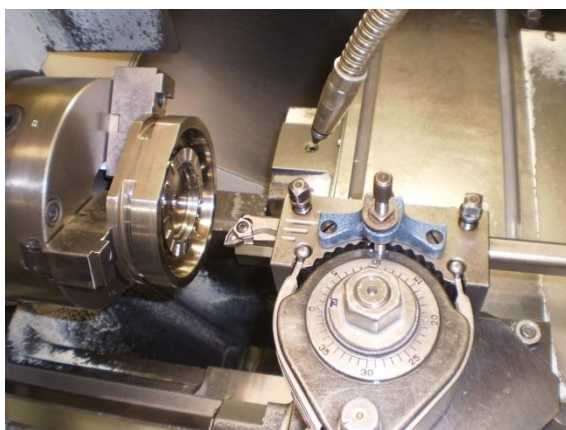
u ocelí. Při kalení je důležitá rychlost ochlazování, která musí být vyšší než je kritická rychlost ochlazování, aby došlo k přeměně austenitu na martenzit [20, 21].

Kalitelnost ocelí je závislá na obsahu uhlíku v austenitu a na množství vytvořeného martenzitu. Kalitelnost je dána vlastností oceli tvořit martenzit. Jedná se o vlastnost ocelí určující hloubku zakalené vrstvy pod povrchem ocelí, kde obsah martenzitu je vyšší jak 50 % [21].

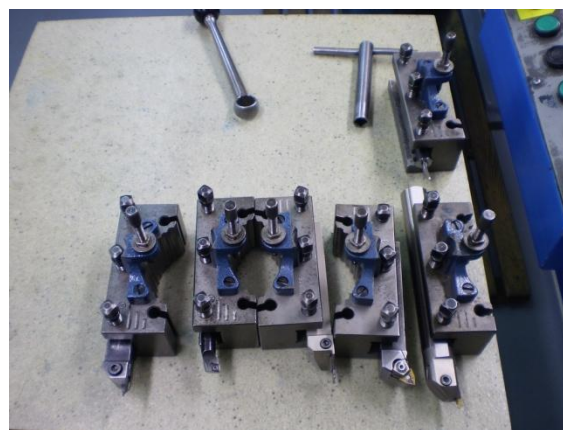
Výška kalicí teploty je velice důležitá pro samotný výsledek kalení. Při nízkých kalicích teplotách není možné dosažení požadované tvrdosti. Naopak při velmi vysokých kalicích teplotách dochází k zhrubnutí zrna ve struktuře, vedoucí ke zhoršení mechanických vlastností tepelně zpracovávaných ocelí. Dodavatelé materiálů zpravidla dodávají potřebné informace o tepelném zpracování (rozsahu teplot, postupech) pro jednotlivé druhy materiálů. Volba kalicí teploty z rozsahu doporučených teplot je závislá na velikosti tepelně zpracovávaného dílu a na volbě ochlazovacího prostředí. Po ohřátí dílu na kalicí teplotu nastává proces kalení ochlazováním dílu do některého z prostředí voda, olej nebo vzduch [21].

3.2.6 Operace č. 6 - Soustružení - dokončování

Po tepelném zpracování - kalení je díl pro vstřikovací formu znovu soustružen na soustruhu Masturn 32 CNC. V této operaci je díl soustružen načisto na rozměry dle výkresové dokumentace viz **obr. 3.10**. Popis stroje a jeho technické parametry viz **tab. 3.4** jsou uvedeny v předešlé podkapitole **3.2.3**, stejně jako způsob upínání dílu a nástrojů. Po kalení vzroste tvrdost dílu na 62 ± 2 HRC. Proto je nutné s ohledem na tuto skutečnost přizpůsobit řezné podmínky a použít vyměnitelné břitové destičky vhodné pro obrábění kalených materiálů. Držák nástroje používaný pro dokončovací soustružení čelního zápichu je stejný, jako při soustružení - čistém obrábění. Použitá vyměnitelná břitová destička je zde také stejná, jsou zde změněny pouze řezné podmínky. Pro dokončování vnitřního tvaru je použita vyměnitelná břitová destička (CBN) určená pro obrábění kalených materiálů.



a)



b)

Obr. 3.10 Soustruh Masturn 32 CNC

a) Soustružení dílu pro vstřikovací formu načisto, b) nástrojové vybavení.

Do této operace, patří také spasování celé vstřikovací formy viz **obr. 3.11**. Ať už jde o výrobu celé nové vstřikovací formy, nebo jen o výrobu některých částí formy.

U nové vstřikovací formy, kde jsou vyráběny všechny díly formy, jsou jednotlivé díly vyráběny dle výkresové dokumentace. Vyrábí-li se jen např. jeden díl formy přijde celá forma od zákazníka zpět. Díl, který má být zhotoven je vyroben dle výkresové dokumentace a podle rozměrů již používaných protikusů, aby byla zajištěna správná funkce vstřikovací formy.

Používané nástrojové vybavení při dokončovacím obrábění dílu vstřikovací formy - přední strana:

Pro soustružení jsou používány převážně nástroje od společnosti ISCAR ČR s.r.o.

➤ **Soustružení - vnitřní dokončovací obrábění tvaru [14]:**

Soustružnický nůž (držák): S12M SCLCR-06,

VBD: CCMT 060204T,

Řezné podmínky:

řezná rychlost $v_c = 100$ (80 až 120) [m.min⁻¹],

posuv na otáčku $f_n = 0,1$ (0,05 až 0,2) [mm],

šířka záběru $a_p = 0,1$ (0,05 až 0,5) [mm].

➤ **Soustružení - dokončování čelního zápichu [22]:**

Soustružnický nůž (držák): HFHR 25-75-5T14,

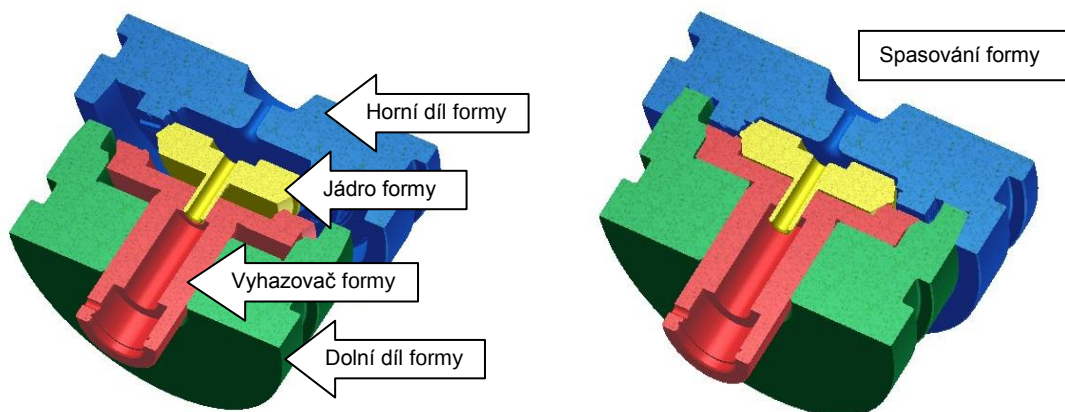
VBD: GRIP 5005Y,

Řezné podmínky:

řezná rychlost $v_c = 25$ (20 až 30) [m.min⁻¹],

posuv na otáčku $f_n = 0,18$ (0,12 až 0,24) [mm],

šířka záběru $a_p = 0,1$ [mm].



Obr. 3.11 Model vstřikovací formy.

Volba typu nástroje a s ním spojená volba nástrojového materiálu mají rozhodující vliv na přesnost obrobku jak tvarovou, tak i rozměrovou. S tím souvisí i velikost dosahované drsnosti povrchu součástí a hospodárnost obrábění. Nevhodná volba řezného materiálu, při obrábění tvrdých materiálů může vést k rychlému opotřebení břitu řezného nástroje, k vysoké teplotě v oblast třísky, k tvorbě trhlin, atd. [21, 23].

Dříve bylo možné součásti z kalených ocelí obrábět převážně broušením nebo při nízkých řezných rychlostech. V dnešní době s vývojem moderních řezných materiálů (např. kubický nitrid bóru, slinutý karbid, cermet, řezná keramika, atd.) je

možné kalené oceli třískově obrábět (soustružit, frézovat, atd.). Za tvrdé jsou obecně považovány materiály, jejichž tvrdost přesahuje hodnotu 50 HRC [21].

Dnešní moderní řezné materiály v podobě slinutých karbidů s různými typy povlaků pokrývají většinu obráběcích operací. I přesto je nutné v některých případech používat řezné materiály, určené pro konkrétní operace jako je např. obrábění kalených ocelí. Mezi tyto řezné materiály, patří některé druhy kubického nitridu bóru, syntetického diamantu a keramiky. Řezné materiály určené pro obrábění kalených ocelí musejí mít především vysokou tvrdost za tepla, chemickou stabilitu a v neposlední řadě, také odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Používáním destiček z řezné keramiky, kubického nitridu bóru a syntetického diamantu je podmíněno především stabilním upnutím destiček v držáku nástroje, stabilitou stroje a volbou řezných podmínek, které závisí především na vlastnostech obráběného materiálu [21].

Obrábění kalených ocelí kubickým nitridem bóru, by mělo probíhat bez procesní kapaliny, aby se zabránilo tepelným šokům břitu nástroje. Je-li použita procesní kapalina, měla by být přiváděna přímo na řezný břit. Destičky z kubického nitridu bóru dosahují ve většině případů delší trvanlivosti než je tomu u slinutých karbidů nebo keramiky. Keramické řezné materiály lze použít za vysokých řezných rychlostí. Mají značnou odolnost za vysokých teplot a chemicky nereagují s obráběným materiálem. Při správně zvolených řezných podmínkách lze dosahovat značného úběru materiálu z obrobku [21].

Při dokončovacích operacích soustružení kalených ocelí, může docházet k tzv. efektu hladkého válce. Jedná se o tvorbu velice hladké povrchové vrstvy, na jejímž povrchu se minimalizuje možnost vzniku trhlin. Ve většině případů je dosahovaná přesnost vyšší, než při operacích broušení a zároveň dosahovaná produktivita obrábění je vyšší [21].

3.2.7 Operace č. 7 - Výstupní kontrola

Poté co díl pro vstřikovací formu projde všemi výrobními operacemi je provedena kontrola rozměrů dle výkresové dokumentace na 3D měřicím zařízení Somet XYZ 643 viz **obr. 3.12**. Pokud jde o výrobu celé nové vstřikovací formy je provedena kontrola rozměrů na všech dílech formy.



a)



b)

Obr. 3.12 Výstupní kontrola

a) měřicí přístroj Somet XYZ 643, b) pracovní prostor stroje.

3.3 Analýza výrobních časů

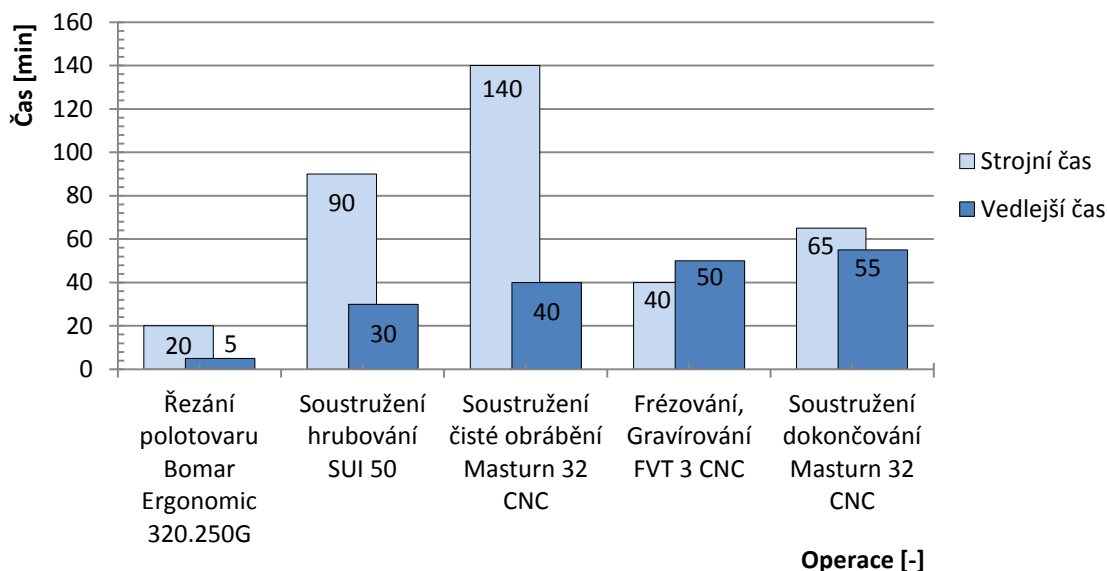
Dosahované časy na jednotlivých výrobních pracovištích jsou uvedeny v **tab. 3.6**. Na **obr. 3.13** je grafické znázornění jednotlivých výrobních časů v procesu obrábění, kterých je dosahováno při výrobě dílu vstříkovací formy. Strojní čas zahrnuje časy spojené se samotným procesem obrábění, časem na výměnu nástrojů, včetně proměrování jednotlivých rozměrů dílu vstříkovací formy v procesu obrábění. Vedlejší čas je charakterizován např. časem spojeným s upnutím polotovaru, jeho vyrovnáním, přípravou nástrojového vybavení potřebného k obrobení dílu, časem tvorby řídicích programů, seřízením stroje, atd.

Tab. 3.6 Časy jednotlivých výrobních operací - stávající postup.

Časy jednotlivých výrobních operací					
Operace		Strojní zařízení	Strojní čas t_s [min]	Vedlejší čas t_v [min]	Jednotkový čas t_{AP} [min]
1	Řezání polotovaru	Pila pásová Bomar Ergonomic 320.250 G	20	5	25
2	Soustružení - hrubování	Soustruh SUI 50	90	30	120
3	Soustružení - čisté obrábění	Soustruh Masturn 32 CNC	140	40	180
4	Frézování + gravírování	Frézka FVT 3 CNC	40	50	90
5	Soustružení - dokončování	Soustruh Masturn 32 CNC	65	55	120
Celkové časy			355	180	535

Z **obr. 3.13** je patrné, že nejdelších výrobních časů je dosahováno při operacích soustružení - čisté obrábění.

Časy jednotlivých výrobních operací



Obr. 3.13 Časy jednotlivých výrobních operací - stávající postup.

Stávajícím způsobem výroby dílu vstříkovací formy prochází díl několika výrobními pracovišti, na kterých je zhotoven. U stávajícího výrobního postupu, je nutno brát v potaz možnosti a technický stav strojního vybavení, které má společnost k dispozici.

4 NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU - ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

Efektivita a hospodárnost výrobního (obráběcího) procesu je ovlivňována mnoha různými faktory, mezi kterými hraje obrábění podstatnou roli. S ohledem na výrobní náklady je pro firmy důležité, aby jejich výrobky byly na trhu konkurenceschopné a obráběcí proces byl co nejefektivnější. Ke zvyšování konkurenceschopnosti a efektivity obráběcího procesu přispívá řada faktorů, mezi které patří zavádění nových výrobních technologií, včetně zavádění nových řezných nástrojů, řezných materiálů a obráběcích strojů. Obráběcí stroje a řezné nástroje mohou značnou měrou zvyšovat výkon a rychlost obrábění. Důraz je především kladen na co možná nejefektivnější využívání výrobního času, který mají firmy k dispozici (maximum výstupu za jednotku času) [21, 24].

Jednou z možných variant, jak zvýšit efektivitu využívání výrobního času v obráběcích procesech, je nákup nových obráběcích strojů. Kde správná volba obráběcího stroje může znamenat pro firmu zisk nebo ztrátu. Méně nákladným způsobem efektivnějšího využívání výrobního času, bez nutnosti investic do nových obráběcích strojů je správná volba nástrojů a s ním spojená volba řezných podmínek. Vývoj v oblasti obrábění je velice rychlý, ať už se jedná o vývoj procesních kapalin, řezných materiálů a s ním spojený vývoj nástrojů, obráběcích strojů, atd. Změnou starého řezného nástroje za nový, ať už na starém nebo novém stroji, je možné dosáhnout zvýšení efektivity výrobního času, zisku a konkurenceschopnosti. Tím dochází ke zvyšování výkonu obráběcích strojů a zproduktivnění práce obsluhy. Výrobní čas nepředstavuje pouze čistý čas obrábění (chod stroje), ale také čas potřebný např. pro upínání obrobků, výměnu a upínání nástrojů, proměřování dílů atd. Proto se nejedná pouze o zvyšování produktivity v podobě čistého času obrábění (chod stroje), ale také o mnoho dalších faktorů, které mají zásadní vliv na samotný proces obrábění. Náležitého využívání dostupného výrobního času lze dosáhnout v případech, kdy výměna nástrojů a přeseřízení stroje bude z časového hlediska co nejkratší a stroj bude v maximální možné míře využit pro samotný proces obrábění [21, 24].

Nové řezné materiály umožňují zvýšení řezné rychlosti a posuvů, které mají zásadní vliv na proces obrábění, ať už z hlediska zisku, výrobních nákladů, výrobního času, atd. Řezné části nástrojů, které zaručují delší trvanlivost umožňují obrobení stanoveného počtu obrobků, za současného snížení času prostojů při seřízení obráběcích strojů a při výměně nástrojů. Dnešní moderní nástroje umožňují sloučení několika výrobních operací do jednoho nástroje. Tím dochází k úspoře časů pro výměnu nástrojů a zkrácení výrobních časů. I přes malý podíl řezných nástrojů na výrobních nákladech, je jejich vliv na výkon a hospodárnost obráběcího procesu významný [24].

Zvyšování efektivity obrábění má rozhodující vliv na návratnost nákladů, ať už se jedná o náklady na řezné nástroje nebo obráběcí stroje. Optimalizace obráběcího procesu může být zaměřena na minimální náklady výrobního procesu nebo na maximální výrobnost, což vede ke snižování obráběcích časů [21].

Má-li být dosaženo zefektivnění stávajícího výrobního procesu dílu pro vstřikovací formu, je nutné mít celkový přehled o stávajícím způsobu výroby a možnostech zefektivnění výrobního procesu [21].

Předností obráběcích procesů je možnost hledání kompromisů mezi kombinací vysoké produktivity výroby s uspokojivou životností a trvanlivostí nástrojů. Životnost a trvanlivost řezných nástrojů hraje důležitou roli, neboť u nástrojů s krátkou životností a trvanlivostí, je nutné často přerušovat vlastní obráběcí proces za účelem výměny nebo přeoštění nástrojů. Je-li obráběcí proces včetně zvolených řezných podmínek nastaven tak, že trvanlivost a životnost řezných nástrojů je příliš dlouhá na úkor produktivity obráběcího procesu, dochází k nedostatečnému využívání výrobních časů, které jsou k dispozici a tím ke snížení produktivity obrábění. Jedná se o kombinaci faktorů, které jsou založeny na požadavcích výrobního procesu a vlastních zkušenostech. Volba nástrojového vybavení, jeho správné používání včetně zvolených řezných podmínek má zásadní vliv na optimální a efektivní obráběcí proces [24].

4.1 Tříska jako ukazatel aplikace

Samotný proces obrábění je proces, při kterém dochází k utváření třísky. Výkon obráběcího procesu, který je charakterizován vysokou produktivitou odebrání materiálu z povrchu obráběné součásti je důležitý z hlediska efektivnosti obrábění. Je však také nutné kontrolovat jednotlivé parametry procesu obrábění, mezi které patří mimo jiné oddělování třísky z povrchu obrobku. Tříska se z povrchu obrobku odděluje na základě definovaných parametrů, určujících velikost a tvar oddělované třísky. Nevhodně zvolený proces obrábění, nástrojové vybavení, řezné podmínky, procesní kapaliny, atd. mohou vést k tvorbě nežádoucích dlouhých neforemných třísek. Tyto třísky se mohou během krátké doby obrábění nashromáždit v pracovním prostoru obráběcího stroje a snížit tak efektivitu obrábění. Neboť vlivem těchto nežádoucích třísek dochází k prostojům obráběcích strojů, ke snižování životnosti nástrojů, kvality povrchu obráběných součástí, včetně snižování bezpečnosti obsluhy. Z tohoto důvodu je důležité, aby odebírané třísky byly dělené, krátké a pokud možno zabíraly co nejmenší objem [24].

Mezi hlavní parametry, které mají zásadní vliv na tvorbu třísky je šířka záběru ostří a_p , posuv nástroje f , poloměr špičky nástroje r_e , a nástrojový úhel nastavení hlavního ostří K_r . Šířka záběru ostří a_p definuje šířku třísky. Posuv f nástroje definuje tloušťku třísky a společně s šířkou záběru ostří a_p má zásadní vliv na tvar třísky. Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří K_r a poloměr špičky nástroje r_e ovlivňují formování třísky. Jedná se o parametry, které jsou závislé na technologii výroby, volbě řezných nástrojů, materiálu obrobku, obráběcím stroji, způsobu upnutí, atd. [24].

4.2 Obráběný materiál

Při procesech obrábění hraje důležitou roli znalost obráběného materiálu. I přes neustálý vývoj v oblasti řezných materiálů a nástrojů, které se stávají univerzálnějšími. Pro dosažení efektivního obráběcího procesu je důležité rozdělení řezných materiálů (nástrojů) do jednotlivých skupin, pro obrábění různých druhů materiálů. Příkladem mohou být velice užívané slinuté karbidy, které jsou rozděleny dle použití do tří základních skupin P (pro obrábění uhlíkových, slitinových a feritických korozivzdorných ocelí), skupina M (zahrnuje austenitické korozivzdorné oceli, lité oceli) a skupina K (pro obrábění litiny, nekovových materiálů a neželezných slitin). Tyto tři skupiny zahrnují většinu

materiálů, které jsou v praxi obráběny. Mimo těchto tří základních skupin P, M, K je možné slinuté karbidy rozdělit do dalších skupin. Skupina N (pro obrábění neželezných slitin na bázi Al, Mg, Cu, plastů, dřeva). Skupina S (pro obrábění slitin Ti a žárovevých slitin na bázi Ni, Co) a skupina H (pro obrábění zušlechťovaných, kalených ocelí a tvrzených litin). Všechny skupiny slinutých karbidů P, M, K, N, S, H jsou charakterizovány způsobem utváření třísky. Tyto skupiny specifikují použití řezných nástrojů, pro jednotlivé druhy obráběných materiálů, a tím také zajišťují dosažení požadované efektivity obrábění [24, 25].

Jeden univerzální řezný nástroj, který by pokrýval celou škálu obráběných materiálů by nedosahoval požadovaného výkonu a spolehlivosti při procesech obrábění. Jako je tomu u nástrojů určených pro danou skupinu materiálů. Proto je znalost obráběného materiálu z hlediska efektivity, výrobních časů, spolehlivosti a výkonu obrábění natolik důležitá [24].

4.3 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelné břitové destičky v sobě zahrnují mnoha léty prověřenou výzkumnou činnost. Konstrukční a geometrické provedení VBD musí zajišťovat různé požadavky na ně kladené, jako např. bezpečný odvod třísek z místa řezu, snadný řez, formování třísek, pevný břit a podle druhu aplikace umožňovat hluboké řezy. Volba VBD do značné míry ovlivňuje možnost použití řezných rychlostí, hloubek řezů a posuvů, které mají vliv na efektivitu obrábění. Jednotlivé konstrukce a geometrické provedení VBD má určitou doporučenou oblast použití. Používání VBD mimo tyto doporučené hodnoty vede ke snižování produktivity obrábění. Použitím VBD mimo doporučený rozsah dochází ke zvýšenému opotřebení břitu, což vede ke snižování životnosti a trvanlivosti VBD. Dochází k tvorbě nežádoucích třísek, které zapříčiňují přerušování obráběcího procesu, ať už se jedná např. o třísky dlouhé neforemné nebo o třísky krátké, které se tlačí na čelo VBD a snižují jejich trvanlivost [24].

4.4 Řezná rychlost

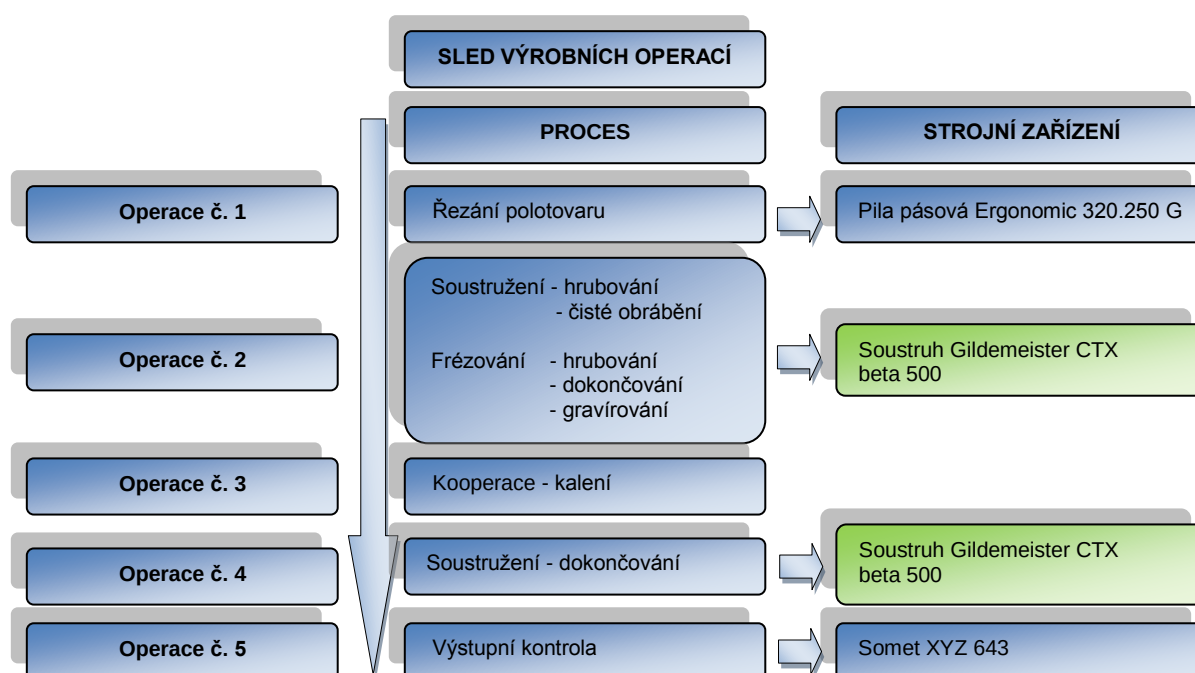
Ve výrobních procesech, jakož to i v procesech obrábění hraje rychlost v obecném slova smyslu velice důležitou roli. V obráběcích procesech se jedná jednak o rychlost obrábění součástí, rychlost výměny nástrojů a seřízení strojů, rychlost zásobníků nástrojů, rychlost obsluhujících pracovníků, atd. Při volbě řezných podmínek je důležitá řezná rychlost a s ní spojené otáčky vřetene. Řezná rychlost je ve vztahu k produktivnímu obrábění jednou z důležitých veličin. Jedná se o hodnotu, která je společně s doporučenou hloubkou řezu a posuvem uváděna u jednotlivých druhů řezných nástrojů. Výrobci nástrojů uvádějí jejich doporučené hodnoty v určitém rozsahu, ve kterém je doporučeno se pohybovat pro dosažení optimálního procesu obrábění. Řezná rychlost společně s tvrdostí obrobku jsou jedním z hlavních faktorů, které mají vliv na životnost nástrojů. Neboť při určité řezné rychlosti vede zvýšená tvrdost obráběné součásti ke snížení trvanlivosti nástroje, a naopak snížená tvrdost obráběné součásti při stejné řezné rychlosti může vést k prodloužení trvanlivosti řezného nástroje. Optimalizace s ohledem na řeznou rychlost vede k udržování rovnováhy mezi produktivním obráběcím procesem a bezpečností výroby. Jedná se o udržení rovnováhy mezi faktory, které mají vliv na využívání dostupných výrobních časů [24].

4.5 Opotřebení nástroje

Při nadměrném opotřebování řezného nástroje, dochází ke snižování produktivity obrábění a výkonu obráběcího procesu. Optimalizace produktivity a životnosti řezného nástroje vede ke sledování samotného procesu obrábění. Sledování průběhu a druhu opotřebení na břitě řezného nástroje je nezbytné, k zdárnému procesu obrábění. Neboť, dle zjištěných hodnot lze provádět odpovídající korekce parametrů obráběcího procesu, které vedou k produktivnímu obrábění. Sledování průběhu včetně kontroly výsledného druhu opotřebení a zjištění příčin tohoto opotřebení, vede k optimalizaci obráběcího procesu. Základem optimalizace průběhu opotřebení je přiblížení se k ideálnímu průběhu opotřebení. Neboť, opotřebení břítu řezného nástroje má vliv na produktivitu a životnost řezných nástrojů. Při snaze snížit všechny druhy opotřebení břítu řezného nástroje na minimální možnou hodnotu, a tím tak dosáhnout vyšší trvanlivosti břítu řezného nástroje je cestou, která vede ke snižování produktivity obráběcího procesu. Neboť, nedochází k maximálnímu možnému využívání výrobních časů a zdrojů. Proto je nutné hledat kompromisy, které vedou k přiblížení se ideálnímu průběhu opotřebení s ohledem na produktivitu obrábění [24].

4.6 Sled výrobních operací navrhované varianty zefektivnění

Společnost Gregor s.r.o. se v rámci konkurenceschopnosti vydala cestou rozvoje a modernizace výrobních technologií. Svůj stávající strojní park v roce 2013 rozšířila o nový CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 viz **obr. 4.2** s řídicím systémem Siemens SINUMERIK 840D. Nákupem tohoto CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 společnost rozšířila své výrobní možnosti a kapacity. Navrhovaný sled výrobních operací s variantou použití nového CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 viz **obr. 4.1**.



Obr. 4.1 Navrhovaný sled výrobních operací dílu pro vstřikovací formu.

Díl vstřikovací formy, pro který byl navržen postup zefektivnění výrobního procesu je z převážné části soustružen. Na dílu jsou však také prováděny operace vrtání, frézování a gravírování, jak je uvedeno v podkapitole 3.2. CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 umožňuje provádění všech těchto obráběcích operací na jedno upnutí obrobku. Proto byl tento stroj zvolen jako stěžejní, pro návrh na zefektivnění stávajícího způsobu výroby dílu pro vstřikovací formu. Soustruh disponuje možnostmi využití poháněných nástrojů, a tím umožňuje převedení stávajícího způsobu výroby dílu pro vstřikovací formu na jediné soustružnické pracoviště. To přináší společnosti produktivnější a efektivnější způsob výroby dílu pro vstřikovací formu.

Možnost využití poháněných nástrojů, které rozšiřují technologické možnosti CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500, umožňují provádění obráběcích operací mimo osu rotace dílů. Jedná se v podstatě o další řízenou osu [26].

4.6.1 CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500

Řada soustruhů s označením CTX je nabízena jako inteligentní modulární konstrukce, kterou si zákazník může přizpůsobit dle vlastní potřeby. V základu se jedná o stroje s jedním vřetenem a rychlým revolverovým zásobníkem nástrojů, až po multifunkční stroje s protivřetenem a Y-osou. Tyto možnosti činí ze soustruhů řady CTX stroje univerzální s širokým uplatněním. Jsou vhodné pro těžké obrábění součástí přírubového a hřídelového tvaru až po přesné dokončování [27].



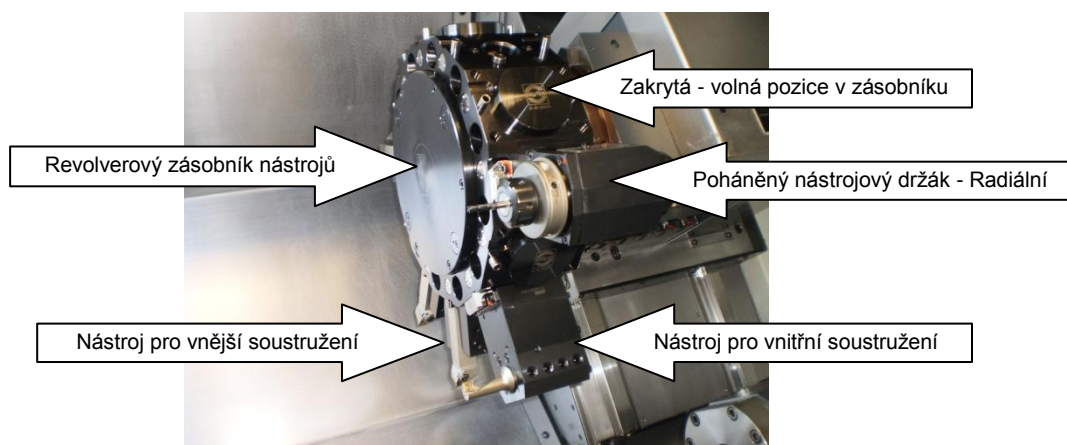
Obr. 4.2 CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 [27].

CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 je vybaven systémem automatické výměny nástrojů (revolverovým zásobníkem nástrojů viz **obr. 4.3**), který značným způsobem snižuje vedlejší čas. Tento vedlejší čas je spojený se samotnou výměnou nástrojů v procesu obrábění, bez zásahu obsluhujícího pracovníka.

Specifikace CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 [27]:

- integrovaný motor včetně chlazení vodou pro vysokou dynamiku,
- pohony pro dosažení vysoké přesnosti polohování,
- inteligentní modulární systém s možností rozšíření,
- v základu poháněné nástroje a C-osa,
- osa Y,
- senzory pro absolutní polohování (bez najíždění referenčních souřadnic),
- 12 pozic v revolverovém zásobníku nástrojů,
- vysoká stabilita, řezný výkon a životnost,
- 19" obrazovka a 3D - software.

Možnost využití poháněných nástrojů upínaných do revolverového zásobníku nástrojů v kombinaci s pracovním vřetenem, které je možné polohovat pomocí C-ose v požadované poloze, umožňuje využití CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 pro široké spektrum technologických operací. Neboť je možné při obráběcích procesech využívat více řízených os, které umožňují komplexní obrobení součásti na jedno upnutí. Podle druhu technologické operace je možné poháněné nástroje umísťovat do revolverového zásobníku nástrojů v radiálním nebo axiálním směru. Poháněné nástroje jsou v podstatě poháněné nástrojové držáky, které mohou být dle konstrukčního uspořádání axiální, radiální viz **obr. 4.3** nebo speciální. Procesní kapalina je dle konstrukčního řešení přiváděna středem nástroje nebo je přiváděna vnějším přívodem [26].



Obr. 4.3 Revolverový zásobník nástrojů.

Podle provedení mají poháněné nástroje rozdílné vlastnosti, především tuhost v axiálním a radiálním směru. S tím souvisí i volba řezných podmínek, které lze při obráběcích procesech použít [26]. Technické parametry CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 jsou uvedeny v **Tab. 4.1**.

Tab. 4.1 Technické parametry CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 [28].

CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500		
Rozměry pracovního prostoru		
Max. oběžný průměr	[mm]	700
Max. průměr obrábění	[mm]	410
Max. délka obrobku s koníkem (která může být obráběna)	[mm]	550
Vzdálenost mezi vřetenem a koníkem	[mm]	675
Pojezd v ose X	[mm]	300
Pojezd v ose Y	[mm]	±60
Pojezd v ose Z	[mm]	550
Hlavní vřeteno		
Max. otáčky vřetene	[min ⁻¹]	5000
Výkon elektromotoru	[kW]	34
Krouticí moment	[N.m]	380
Vrtání vřetene	[mm]	67
Zásobník nástrojů		
Počet pozic v zásobníku	[-]	12
Počet poháněných nástrojových pozic	[-]	12
Max. otáčky poháněných nástrojů	[min ⁻¹]	4000
Doba polohování - 30°	[s]	0,4
Rychloposuv v osách X/ Y/ Z	[m.min ⁻¹]	30/ 22,5/ 30
Výkon elektromotoru	[kW]	11,3
Krouticí moment	[N.m]	28
Koník		
Přítlačná síla	[KN]	8
Stroj		
Hmotnost	[kg]	5000

4.6.2 Řízení CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500

CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 poskytuje uživateli příjemné uživatelské rozhraní, včetně možností zobrazení množství informací v pracovním prostředí, pomocí DMG ERGOline kontroly s 19" obrazovkou viz **obr. 4.4**. 19" displej je dobře čitelný s možností sloučení dalších DMG SoftKeys (měkkých kláves) a pokročilých funkcí, pro větší efektivitu při ovládání a programování. Rozhraní displeje včetně uspořádání a ovládacího panelu je možné přizpůsobit dle požadavků obsluhy [29].

Hlavní znaky DMG ERGOline kontroly s řídicím systémem Siemens SINUMERIK 840D [29]:

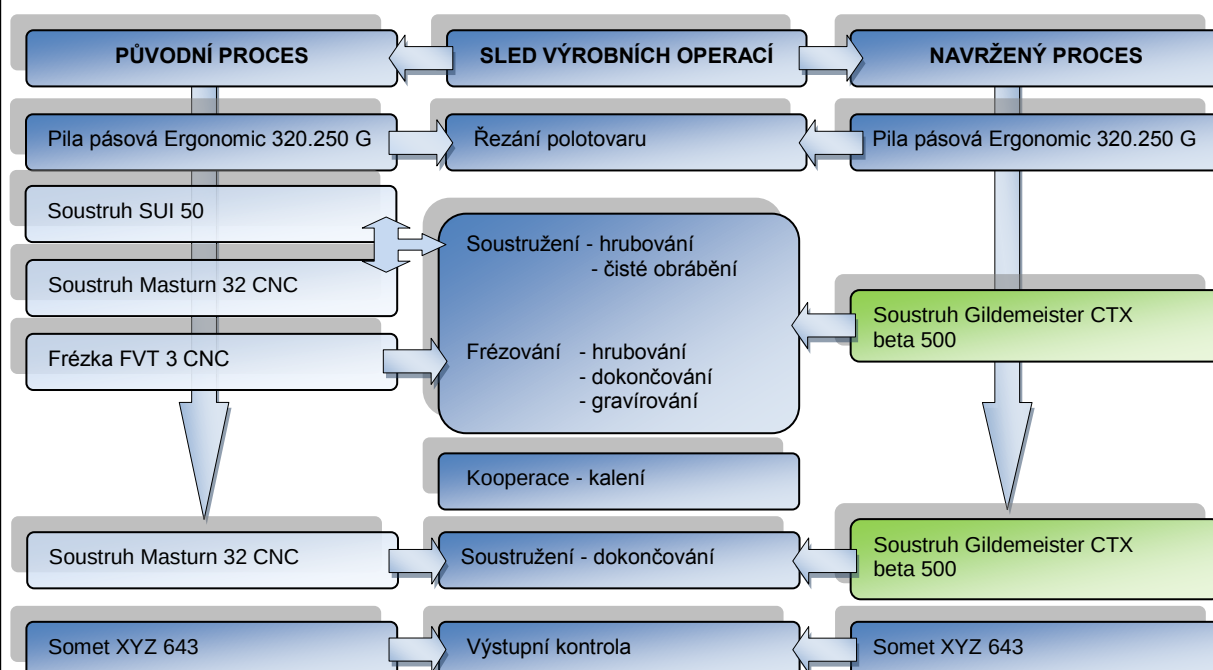
- možnost přímého programování,
- 3D - grafika se simulací v reálném čase,
- jednodušší programování pomocí grafické podpory,
- možnost dílensky orientovaného programování v kombinaci s ISO programováním,
- kontrola diagnostiky u všech pohonů,
- zlepšená konstrukce displeje,
- rozhraní Ethernet pro rychlý přenos dat.



Obr. 4.4 Ovládací panel CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 [29].

4.7 Navrhovaný postup výroby dílu pro vstřikovací formu

Tato podkapitola je zaměřena na popis zefektivnění stávajícího způsobu výroby dílu pro vstřikovací formu. Na **obr. 4.5** je možné porovnat stávající způsob výroby s navrženým postupem výroby dílu pro vstřikovací formu. Na první pohled je patrné, že s navrženou variantou dojde využitím CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 ke snížení potřebného počtu obráběcích strojů, které jsou pro zhotovení dílu vstřikovací formy nezbytné. Dále je možné předpokládat, že dojde ke zkrácení vedlejších časů spojených s přemísťováním dílu pro vstřikovací formu mezi jednotlivými pracovišti.



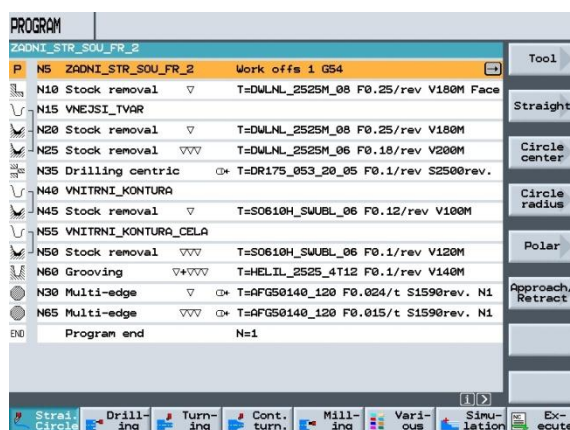
Obr. 4.5 Porovnání původního procesu s navrženým procesem výroby dílu vstřikovací formy.

Při stávajícím procesu výroby dílu pro vstřikovací formu je nutné brát v potaz stav strojního zařízení, které je k výrobě dílu použito. Jedná se především o univerzální

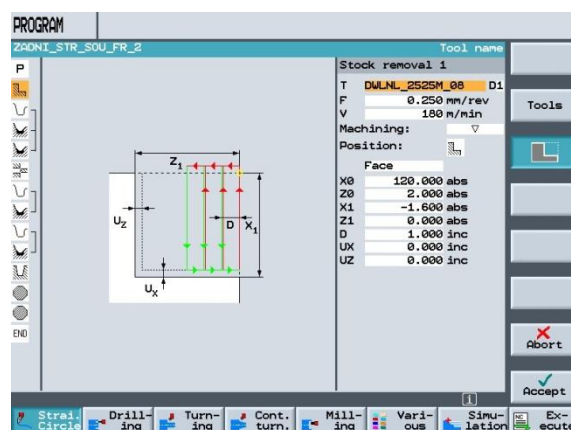
hrotový soustruh SUI 50 a univerzální nástrojařskou frézku FVT 3 CNC, na kterých již není možné dosahovat potřebných parametrů, kterých by bylo zapotřebí pro efektivní obrábění dílu vstřikovací formy. Dnešní nástroje využívané pro obrábění umožňují použití řezných podmínek, které na strojích vzhledem k jejich technickému stavu nelze dosáhnout.

4.7.1 Postup výroby - tvorba řídicích programů

Řídicí programy pro obrábění dílu vstřikovací formy byly vytvářeny pomocí programu SinuTrain Verze 06.03 Edition 4 v modulu ShopTurn Open Verze 06.04. Modul ShopTurn podporuje tvorbu programů vytvářených prostřednictvím dílensky orientovaného prostředí viz **obr. 4.6**.



a)



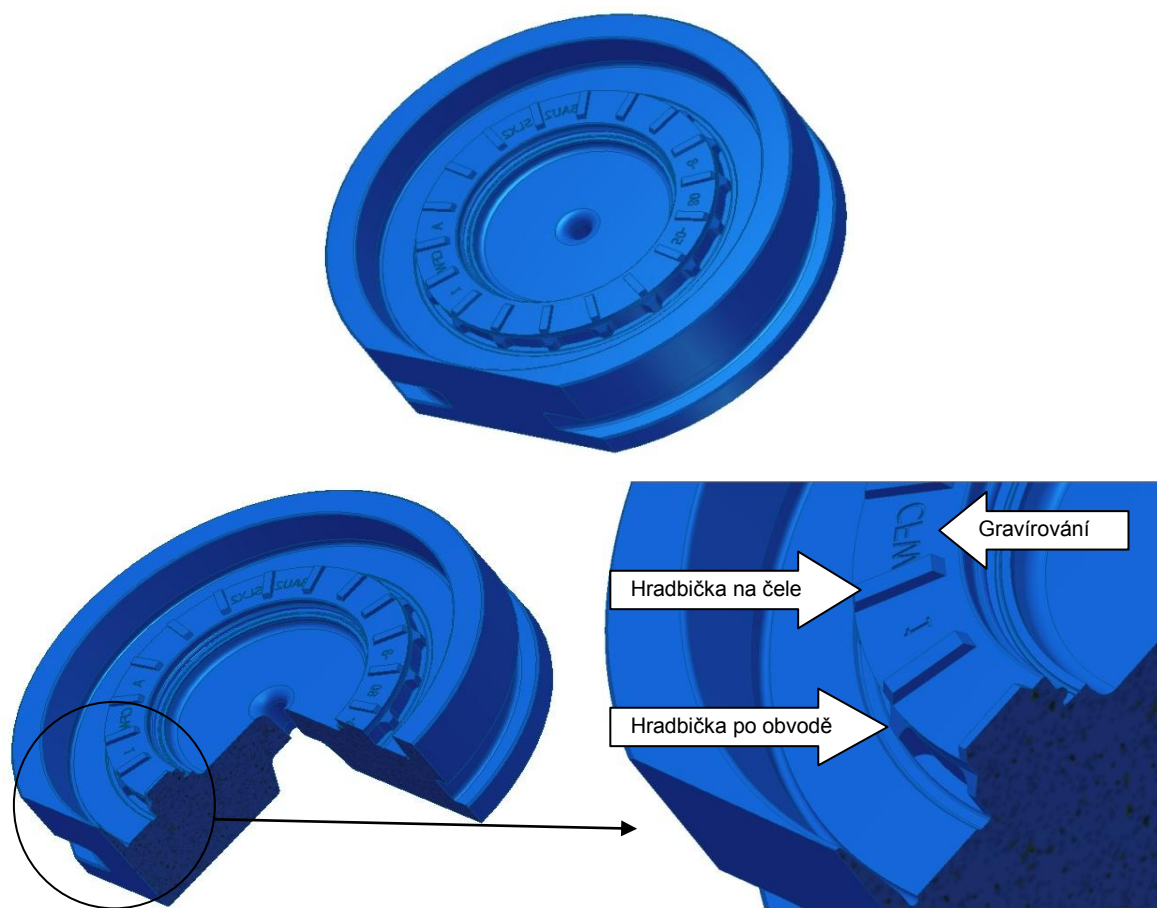
b)

Obr. 4.6 ShopTurn - dílensky orientované prostředí
a) struktura programu, b) definice cyklu.

Jedná se o programovací prostředí, ve kterém jsou vytvářeny programy v podobě technologického postupu. Programovací prostředí je doprovázeno grafickým rozhraním s množstvím nápověd, které značně usnadňují práci při vytváření programu. Nejedná se o klasické ISO programování, při kterém jsou vytvářeny programy pomocí G-kódů, ale jde o vyplňování předpřipravených tabulek viz **obr 4.6 b**). Při programování není nutno striktně znát jednotlivé funkce, bez kterých bychom se při ISO programování neobešli. Při programování je vhodné mít dopředu promyšleno, které operace a v jakém pořadí budou na dílu prováděny. Tím nám může do značné míry pomoci technologický postup obráběného dílu. Další nezbytnou informací, kterou je nutno znát jsou řezné podmínky používaných nástrojů. Prvotní volbu řezných podmínek nám ulehčují výrobci řezných nástrojů. Výrobci řezných nástrojů doporučují pro daný řezný nástroj a aplikaci rozsah použití řezných podmínek, ve kterých je vhodné se při procesech obrábění pohybovat, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebovávání břitu řezného nástroje, obráběcí proces byl plynulý a bezpečný. Dodatečné a nutné odladění řezných podmínek je prováděno přímo na obráběcím stroji, dle zkušeností obsluhujícího pracovníka nebo seřizovače. Na vlastní proces obrábění má vliv spousta faktorů mezi které patří např. materiál obráběného dílu, jeho obrobiteľnost, volba řezných nástrojů, použitý obráběcí stroj, tuhost soustavy stroj - nástroj - obrobek, náročnost operace (plynulý řez, přerušovaný řez), použití

procesních kapalin, způsob upnutí obráběného dílu, atd. Optimalizace řezných podmínek hraje důležitou roli pro dosažení efektivního procesu obrábění.

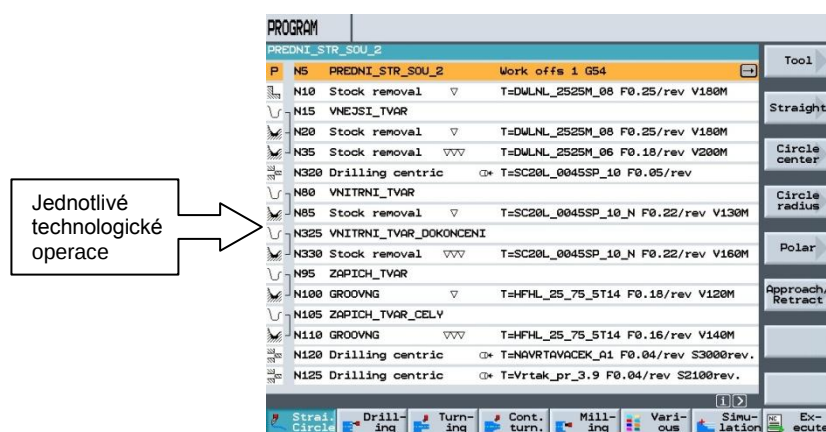
Vzhledem k tvarové složitosti dílu vstřikovací formy viz **obr. 4.7**, byl navrhnut technologický postup a nástrojové vybavení, které zohledňují výrobní možnosti CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500. Navržený technologický postup je v příloze 7.



Obr. 4.7 Model dílu vstřikovací formy s detailem tvaru.

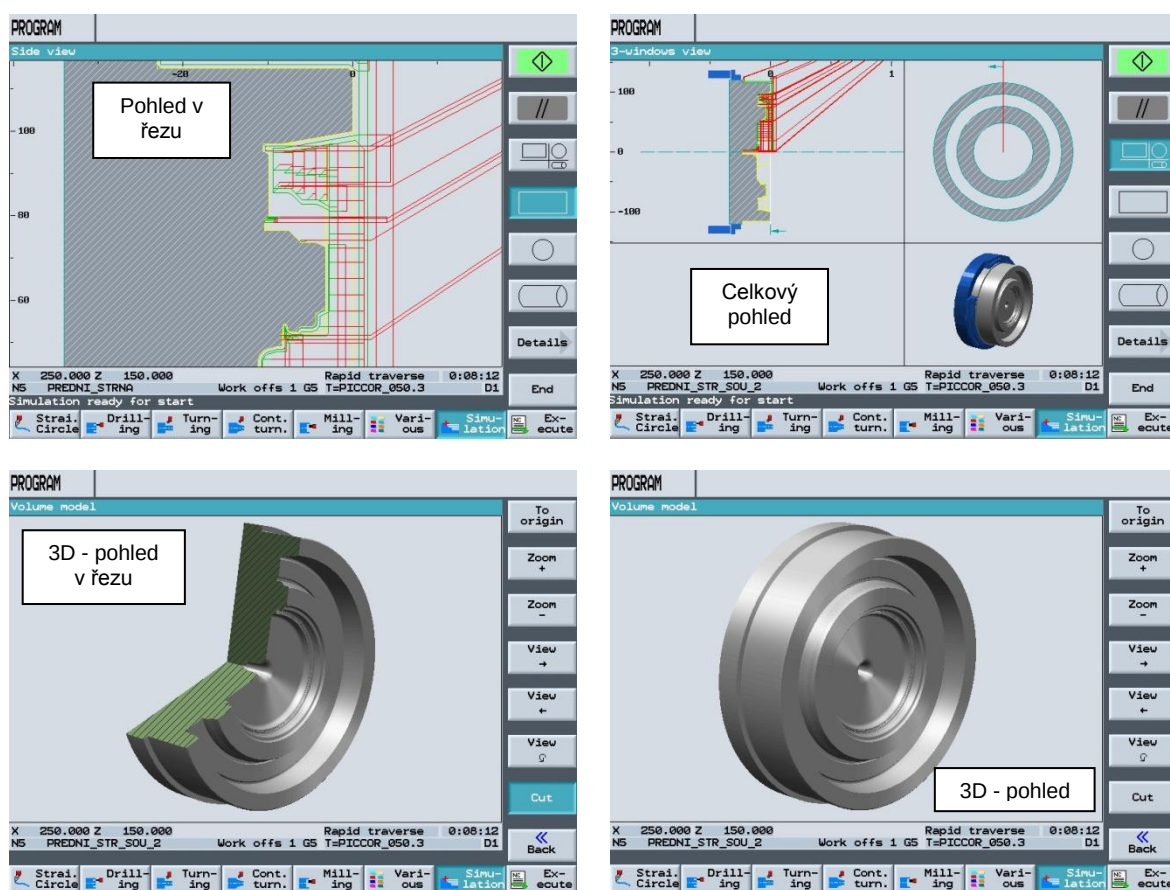
Vzhledem k množství operací, které jsou na dílu vstřikovací formy prováděny, byla jeho výroba rozdělena do několika procesů. S tím byla spojena i tvorba řídicích programů. Nejprve byl vytvořen řídicí program pro soustružení a vrtání přední strany dílu vstřikovací formy. Následovala tvorba řídicího programu pro frézování a gravírování přední strany dílu. Poté byl vytvořen řídicí program pro obrábění zadní strany dílu. Po vytvoření těchto programů následovala tvorba řídicího programu pro dokončení přední strany dílu vstřikovací formy, který byl tepelně upraven kalením jak je uvedeno v podkapitole 3.2.5.

Pro přední stranu dílu vstřikovací formy byl vytvořen řídicí program, ve kterém je přední strana dílu obrobena bez frézování a gravírování viz **obr. 4.9**. Z důvodu obsazení všech volných pozic v zásobníku nástrojů, nástroji pro soustružení a vrtání. Část programu pro obrobění přední strany dílu vstřikovací formy je možné vidět na **obr. 4.8**.



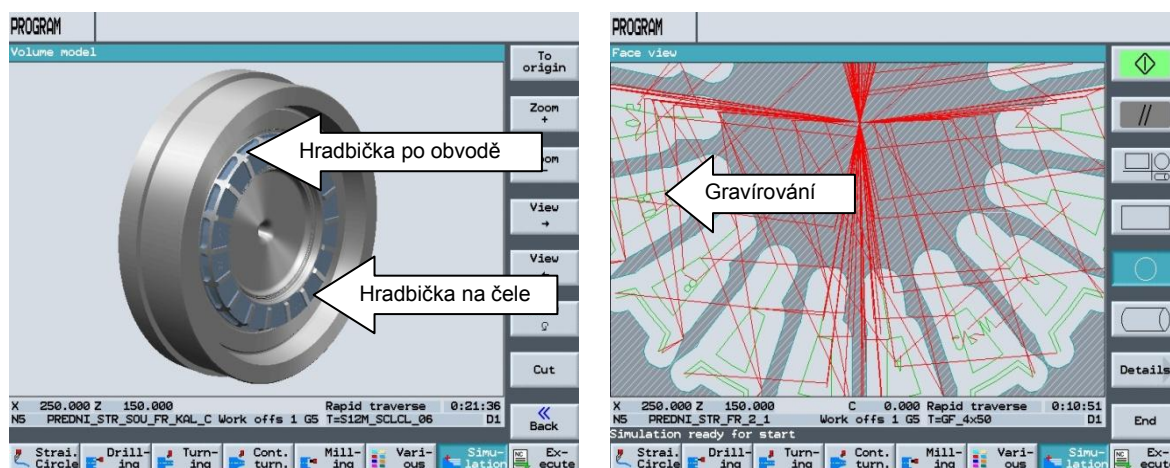
Obr. 4.8 Část programu pro obrobení přední strany dílu v modulu ShopTurn.

Celý program pro obrobení přední strany dílu vstříkovací formy je v příloze 9.



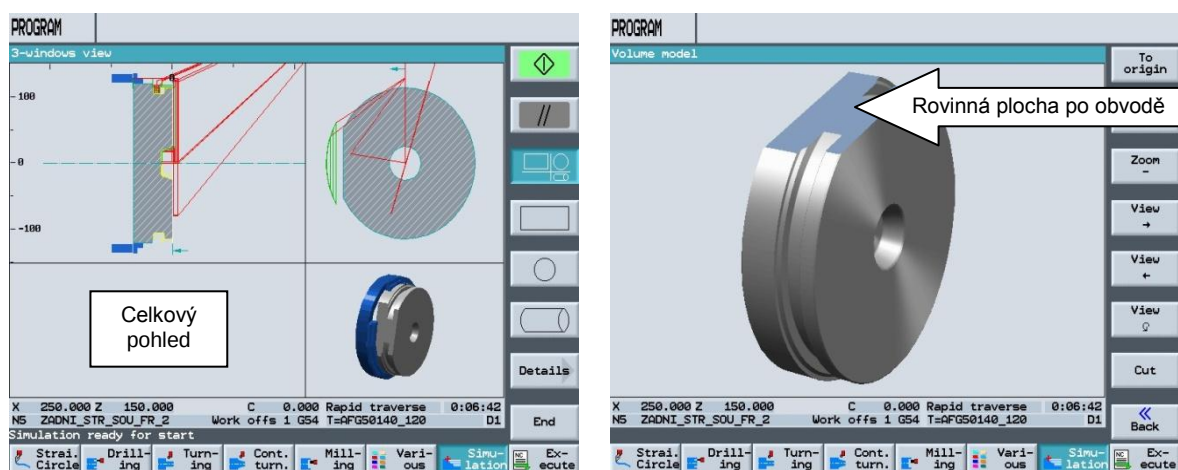
Obr. 4.9 Simulace po obrobení přední strany dílu v programu SinuTrain modulu ShopTurn.

Dle programu pro frézování a gravírování přední strany dílu byly na přední straně dílu vstříkovací formy frézovány hradbičky na čele a po obvodě společně s gravírováním nápisu pro označení hřídelového těsnicího kroužku (Gufera) viz **obr. 4.10**.



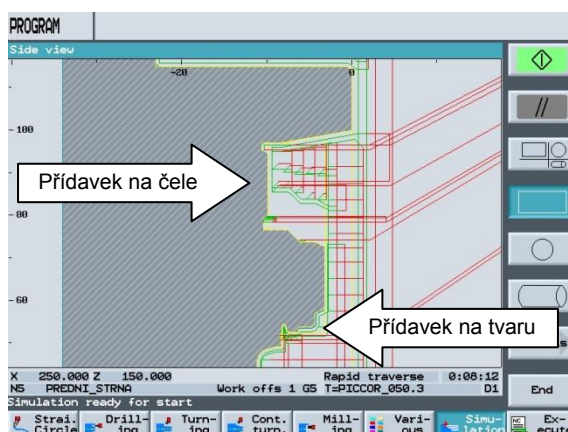
Obr. 4.10 Simulace po frézování a gravírování přední strany dílu v programu SinuTrain modulu ShopTurn.

Zadní strana dílu byla obrobena dle programu, ve kterém byly vytvořeny soustružnické operace včetně frézování rovinné plochy po obvodě viz **obr. 4.11**.



Obr. 4.11 Simulace po obrobení zadní strany dílu v programu SinuTrain modulu ShopTurn.

Takto vytvořené programy slouží pro hrubování a čisté obrábění dílu vstřikovací formy. Přídavky, které byly na dílu vstřikovací formy ponechány byly odebrány až po tepelném zpracování - kalení, které probíhá v rámci kooperace. Přídavky pro dokončování byly nechávány na čelní ploše čelního zápichu a tvaru pro hřídelový těsnicí kroužek (Gufero) viz **obr. 4.12**, z důvodu možností změn rozměrů, ke kterým může dojít po tepelném zpracování - kalení. Takto byly vytvořeny všechny řídicí programy, kterých bylo zapotřebí pro hrubování, čisté obrábění a dokončování dílu vstřikovací formy. Po tvorbě řídicích programů bylo možné přistoupit k samotnému seřízení CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500.



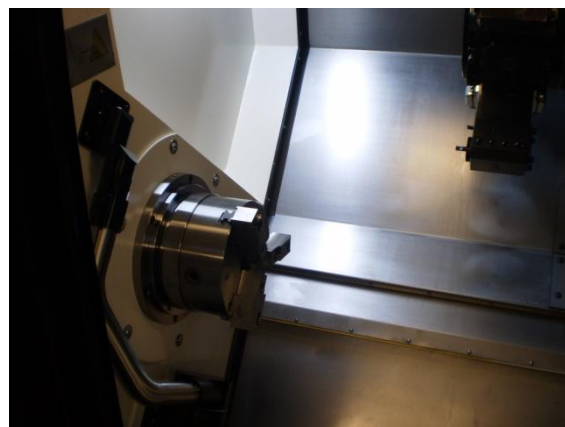
Obr. 4.12 Simulace před dokončením přední strany dílu v programu SinuTrain modulu ShopTurn.

4.7.2 Postup výroby - seřízení stroje

Všechny operace obrábění (soustružení, vrtání, frézování a gravírování), které byly prováděny na dílu vstřikovací formy, byly realizovány na CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 viz **obr. 4.13**.



a)



b)

Obr. 4.13 a) Soustruh Gildemeister CTX beta 500, b) pracovní prostor stroje.

Po vytvoření řídicích programů, které byly vytvářeny v programu SinuTrain modulu ShopTurn, bylo možné přistoupit k samotnému seřízení CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500. Seřízení stroje před procesem obrábění spočívá především ve:

- volbě vhodného univerzálního sklíčidla a čelistí pro upnutí polotovaru včetně jeho upnutí,
- otevření a načtení příslušného programu pro obrábění,
- volbě a osazení nástrojů do revolverového držáku, které budou používány podle technologického postupu,
- otestování jednotlivých nástrojů umístěných v revolverovém držáku na měřicí zařízení (sondu) pro zjištění korekcí jednotlivých nástrojů,
- dále v najetí nulového bodu obrobku.

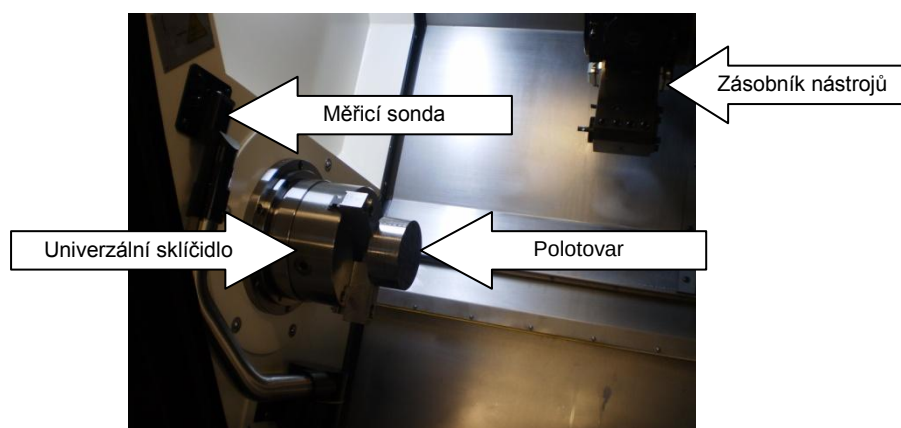
Tím je připraven obráběcí stroj pro samotný proces obrábění. Před spuštěním stroje do obráběcího procesu, umožňuje systém ShopTurn grafickou simulaci vytvořeného řídicího programu na ovládacím panelu obráběcího stroje viz **obr 4.14**.



Obr. 4.14 Simulace vytvořeného programu na ovládacím panelu obráběcího stroje.

Tím je možné odhalit případné chyby ve vytvořeném řídicím programu, které se zde mohou objevit vlivem chyby programátora nebo obsluhujícího pracovníka, který vytváří řídicí programy přímo na panelu obráběcího stroje. Jako je např. kolize nástroje s obrobkem nebo sklíčidlem a tím tak předejít případnému poškození používaného nástrojového vybavení, polotovaru nebo dokonce obráběcího stroje. Simulace umožňuje odsimulování obráběcího procesu v plynulém režimu nebo blok po bloku, kde je možné zkontrolovat jednotlivé souřadnice, do kterých nástroj během obrábění najíždí. Simulace rovněž umožňuje zobrazení času obrábění, kterého je při simulaci dosahováno a dává nám tak představu o časové náročnosti výroby daného dílu.

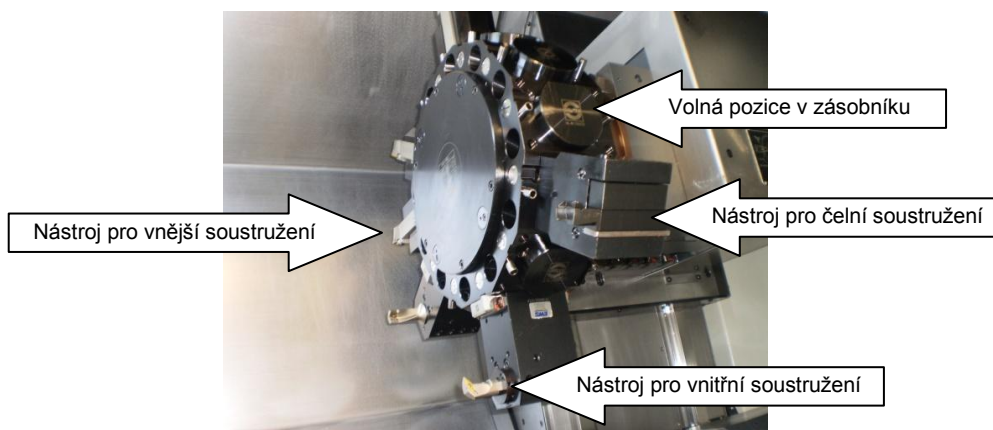
Před samotným procesem obrábění byl polotovar pro výrobu dílu vstřikovací formy upnut do univerzálního sklíčidla pomocí měkkých čelistí viz **obr. 4.15**.



Obr. 4.15 Upnutý polotovar v pracovním prostoru CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500.

CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 disponuje možnostmi osazení revolverového zásobníku nástrojů 12 nástroji. Proto byly voleny řezné nástroje,

kteří umožňují univerzální použití s možnostmi využití pro více než jednu obráběcí operaci. Pro obrobení přední strany dílu vstřikovací formy bylo osazeno všech 12 pozic revolverového zásobníku nástrojů soustružnickými a vrtacími nástroji. Plnění revolverového zásobníku nástrojů, nástroji pro obrábění přední strany dílu vstřikovací formy viz **obr. 4.16**.



Obr. 4.16 Plnění revolverového zásobníku nástrojů.

Řezné nástroje pro obrábění dílu vstřikovací formy, byly voleny dle nástrojového vybavení, které má společnost k dispozici. Společnost není zaměřena pouze na jeden druh vstřikovacích forem pro výrobu hřídelových těsnicích kroužků, ale ve společnosti je vyráběna široká škála druhů vstřikovacích forem, pro různé typy hřídelových těsnicích kroužků (Gufer). Z tohoto důvodu je společnost vybavena nástroji, které umožňují použití pro široké rozmezí technologických operací.

Jedná se především o nástroje, od společností ISCAR ČR s.r.o. a společnosti TMC CR, s.r.o. dodavatele nástrojů od společnosti ARNO Werkzeuge. Nástroje použité pro obrábění dílu vstřikovací formy jsou uvedeny v příloze 6. Dále je uveden jen multifunkční nástroj od společnosti Arno Werkzeuge, na který bych chtěl poukázat vzhledem k jeho možnostem využití pro více technologických operací viz **obr. 4.17**.

➤ **Vrtání a soustružení vnitřního tvaru [30]:**

Multifunkční nástroj (držák):

SC20L-0045SP-10,

VBD:

LPET 10T304EN-WI,

Řezné podmínky - vrtání:

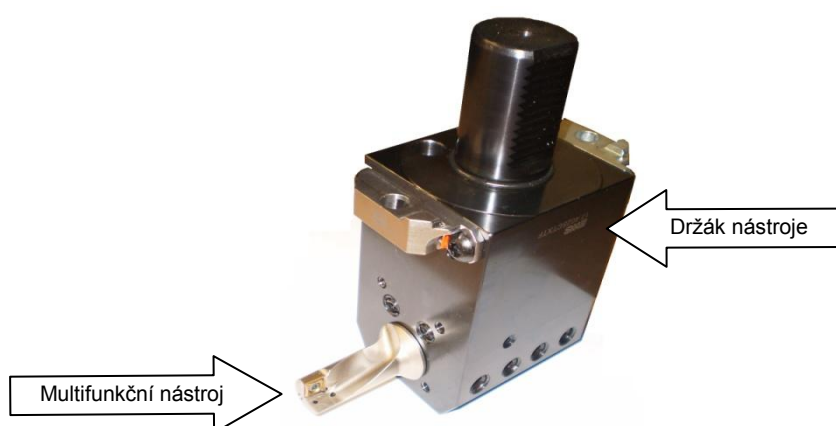
řezná rychlost	$v_c = 130$	(100 až 160)	$[m.min^{-1}]$,
otáčky	$n = 2000$		$[min^{-1}]$,
posuv na otáčku	$f_n = 0,05$	(0,03 až 0,1)	$[mm]$.

Řezné podmínky - soustružení:

řezná rychlost	$v_c = 130$	(100 až 160)	$[m.min^{-1}]$,
posuv na otáčku	$f_n = 0,22$		$[mm]$.
šířka záběru	$a_p = 2$		$[mm]$.

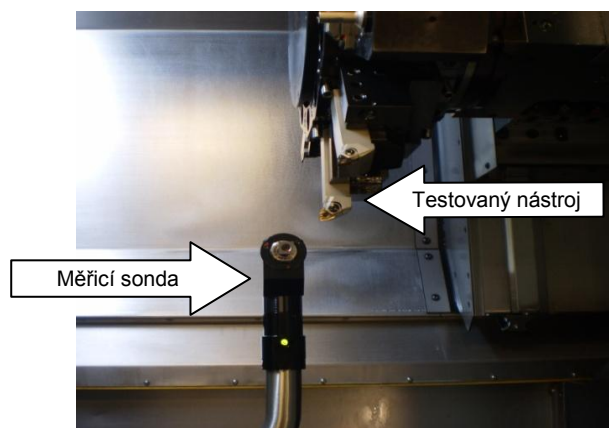
Multifunkční nástroj má společnost ARNO - Werkzeuge označen jako SHARK - CUT. Multifunkční nástroj SHARK - CUT umožňuje při obráběcích operacích sloučit několik výrobních úkonů do jediného nástroje. Nástroj umožňuje vrtat do

plného materiálu s rovným dnem, soustružit čelní plochy včetně soustružení vnitřních kontur a při změně otáček provádět i vnější soustružení. Při definici nástroje v řídicím systému je nutné nástroj definovat podle prováděných technologických operací. Jsou-li prováděny nejprve vrtací operace, je nástroj v řídicím systému definován jako vrták a pro soustružnické operace je nutné nástroj definovat jako soustružnický nůž.



Obr. 4.17 Multifunkční nástroj v držáku pro upnutí do revolverového zásobníku nástrojů.

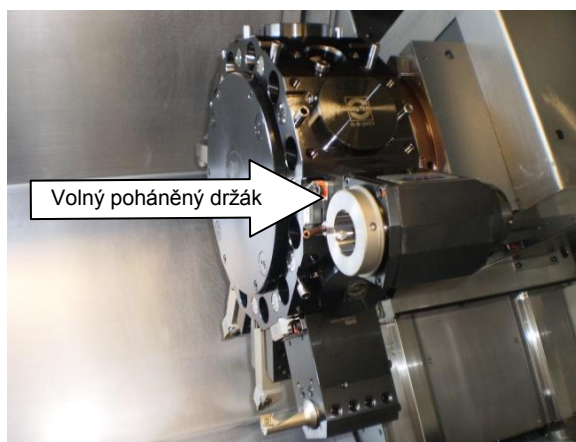
Po naplnění revolverového zásobníku nástrojů, potřebnými nástroji pro obrábění přední strany dílu vstřikovací formy, následovalo otestování jednotlivých nástrojů umístěných v revolverovém zásobníku na měřicí sondu viz **obr. 4.18**.



Obr. 4.18 Testování nástroje na měřicí sondu.

Poté co byly na dílu vstřikovací formy provedeny operace dle programu pro obrobení přední strany dílu, bylo nutné provést nové seřízení stroje, které spočívalo ve výměně nástrojů v revolverovém zásobníku nástrojů viz **obr 4.19 a), c)**. Dále v načtení programu pro frézování a gravírování přední strany dílu a jejich otestování viz **obr. 4.19 d)**. Revolverový zásobník nástrojů byl osazen nástroji pro frézování a gravírování přední strany dílu, společně s nástroji pro obrobení zadní strany dílu vstřikovací formy. U nástrojů, které byly použity pro obrobení přední strany dílu a mohly být použity i pro obrobení zdaní strany dílu vstřikovací formy, byly překontrolovány VBD. Nástroje, které mohly být použity, byly v revolverovém zásobníku ponechány. Nástroje, které nebylo možno použít, byly z revolverového

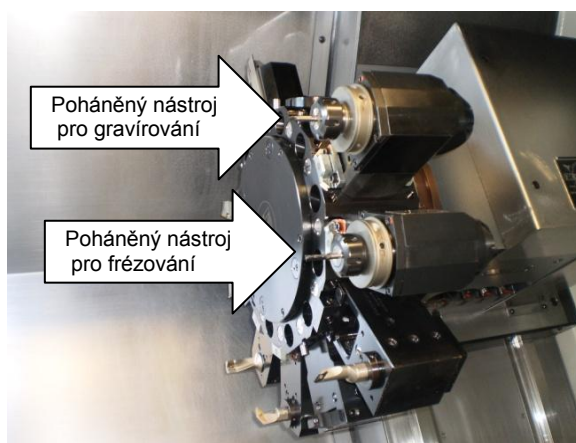
zásobníku vyjmuty a zásobník byl doplněn nástroji, kterých bylo zapotřebí pro následné technologické operace obrábění.



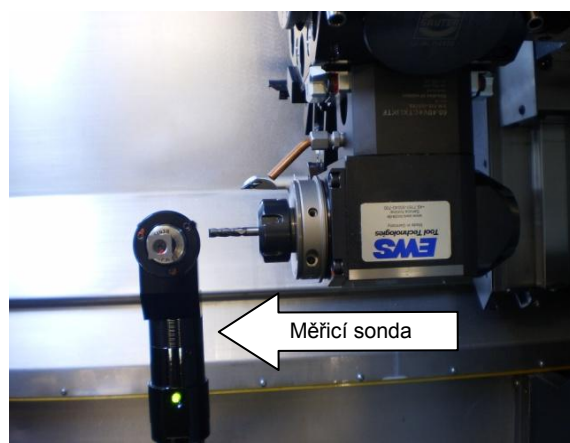
a)



b)



c)



d)

Obr. 4.19 Výměna nástrojů v revolverovém zásobníku

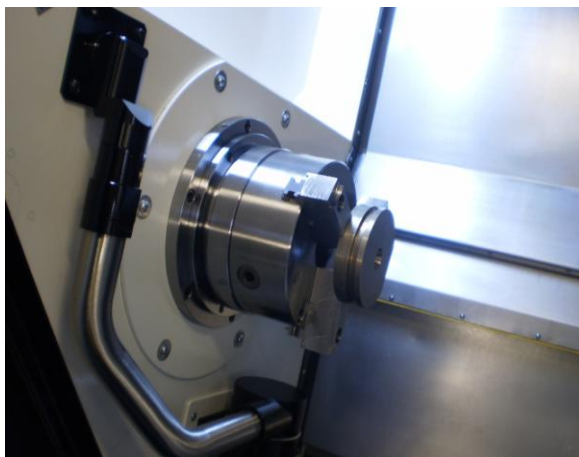
a) revolverový zásobník nástrojů, b) fréza v upínací,
c) osazené nástroje v revolverovém zásobníku, d) testování frézy na měřicí sondu.

V revolverovém zásobníku nástrojů byly ponechány pouze nástroje pro vnější soustružení. Jinak došlo k výměně všech nástrojů, které byly v zásobníku nástrojů umístěny.

Po vyfrézování hradbiček na čele a po obvodě bylo nutné obráběný díl vstříkovací formy odepnout, otočit, vyrovnat pomocí číselníkového úchylkoměru, aby bylo možné obrábět zadní stranu dílu. Obrábění probíhalo pomocí nástrojů, které byly umístěny do pozic v revolverovém zásobníku při předešlém seřízení stroje.

Nástroje pro vnější soustružení použité pro soustružnické operace zadní strany dílu vstříkovací formy, byly stejné jako při obrábění přední strany dílu.

Zadní strana dílu vstříkovací formy byla obrobena na jedno seřízení stroje. Včetně soustružnických operací a frézování rovinné plochy po obvodě dílu vstříkovací formy viz **obr. 4.20**. Zadní strana dílu vstříkovací formy byla obrobena na čisto.



Obr. 4.20 Obrobený díl vstříkovací formy.

Po obrobení zadní strany dílu vstříkovací formy byla forma připravena pro odeslání do kooperace na tepelné zpracování - kalení. Ještě před odesláním byly na dílu vstříkovací formy zkontrolovány jednotlivé rozměry. Kontrola byla prováděna posuvným měřítkem. Tepelným zpracováním - kalením byla zvýšena tvrdost dílu na 62 ± 2 HRC. Vzhledem k této skutečnosti bylo nutno volit nástrojové vybavení, konkrétně VBD, které umožňují obrábění kalených materiálů. Většina rozměrů dílu vstříkovací formy byla před odesláním na tepelné zpracování - kalení soustružena a frézována na čisto. Právě z důvodu nárůstu tvrdosti po tepelném zpracování - kalení. Poté co díl vstříkovací formy přijde z tepelného zpracování - kalení je znovu upnut do univerzálního sklíčidla a vyrovnán, aby mohly být odebrány přídavky na čelní ploše čelního zápichu a přídavky na vnitřním tvaru. Seřízení stroje probíhá obdobně jako u předešlých popisovaných operací.

Po této operaci je díl vstříkovací formy dokončen viz **obr. 4.21**. Následuje kontrola jednotlivých rozměrů na 3D měřicím zařízení Somet XYZ 643 jak je popsáno v podkapitole **3.2.7**.



Obr. 4.21 Díl vstříkovací formy po dokončení.

4.7.3 Analýza výrobních časů

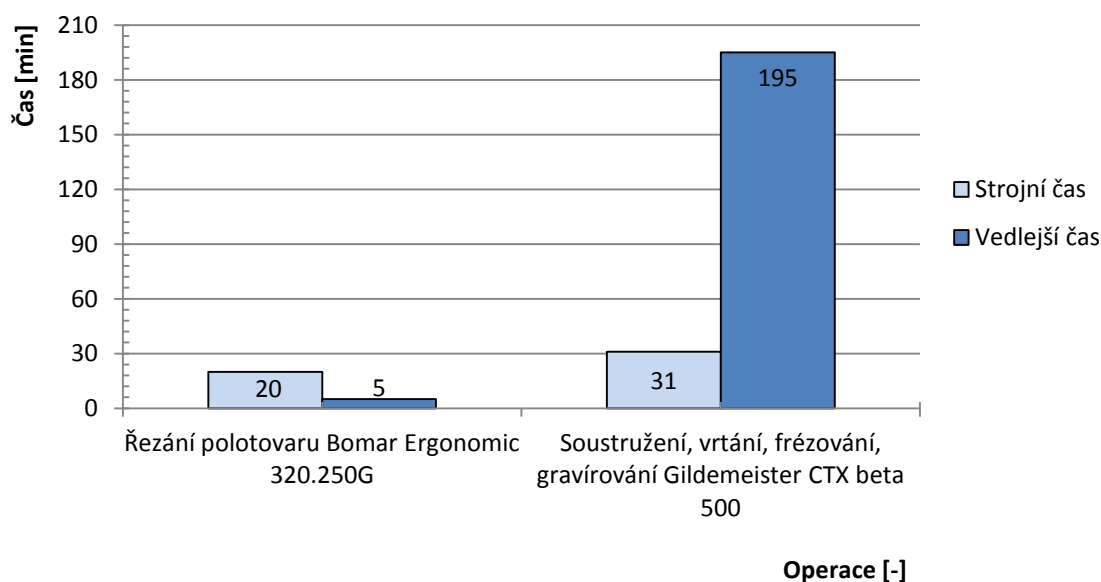
Dosahované časy na jednotlivých výrobních pracovištích jsou uvedeny v **tab. 4.2**. Na **obr. 4.22** je grafické znázornění jednotlivých výrobních časů v procesu obrábění, kterých je dosahováno při výrobě dílu vstřikovací formy.

Tab. 4.2 Časy jednotlivých výrobních operací - navrhované varianty řešení.

Časy jednotlivých výrobních operací					
Operace		Strojní zařízení	Strojní čas t _s [min]	Vedlejší čas t _v [min]	Jednotkový čas t _{AN} [min]
1	Řezání polotovaru	Pila pásová Bomar Ergonomic 320.250 G	20	5	25
2	Soustružení - hrubování	CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500	31	195	226
3	Soustružení - čisté obrábění				
4	Frézování + gravírování				
5	Soustružení - dokončování				
Celkové časy			51	200	251

Z **obr. 4.22** je patrné, že při výrobě dílu vstřikovací formy je největší část jednotkového času spotřebována v podobě vedlejšího času. Jedná se především o čas spojený se samotným seřizením stroje (osazením revolverového zásobníku nástrojů, nástroji pro následné technologické operace obrábění), tvorbou řídicích programů, atd.

Časy jednotlivých výrobních operací



Obr. 4.22 Časy jednotlivých výrobních operací - navrhovaného postupu.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Tým, že společnost Gregor s.r.o. v rámci konkurenceschopnosti investuje do rozvoje a modernizace výrobních technologií, včetně nákupu nových obráběcích strojů, bylo možné navrhnout nový postup výroby dílu vstřikovací formy, který zohledňuje požadavky zvýšení produktivity výroby a snížení výrobních nákladů. Navrhovaný postup výroby dílu vstřikovací formy vychází do značné míry z původního postupu výroby dílu. Stěžejním faktorem při návrhu nového postupu výroby dílu vstřikovací formy, byl nákup nového CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500.

Rozšířením strojního parku společnosti o CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500, který disponuje možnostmi využití poháněných nástrojů, je možné převést obrábění dílu vstřikovací formy na tento stroj. Převedením původního způsobu výroby dílu vstřikovací formy na jediný stroj, dochází nejen k úspoře výrobních časů při výrobě dílu, ale také k uvolnění výrobních kapacit obráběcích strojů, které jsou při výrobě dílu vstřikovací formy používány. Jedná se především o hrotový soustruh SUI 50, který je používán pro hrubovací operace, dále o univerzální soustruh Masturn 32 CNC, který slouží pro čisté obrábění a dokončování. A v neposlední řadě také o univerzální nástrojařskou frézku FVT 3 CNC určenou pro frézování rovinné plochy, hradbiček na čele a po obvodě, včetně gravírování nápisu pro označení hřídelového těsnicího kroužku (Gufera) viz kapitola 3. Nákup tohoto stroje přináší společnosti nejen rozšíření výrobních kapacit, ale také možnosti ve využití pro širší sortiment obráběných součástí.

5.1 Analýza výrobních časů

V **tab. 5.1** jsou uvedeny jednotkové časy původní a navrhované varianty řešení, kterých je dosahováno při výrobě jednoho kusu dílu vstřikovací formy. Jednotkový čas zahrnuje časy spojené se strojním a vedlejším časem.

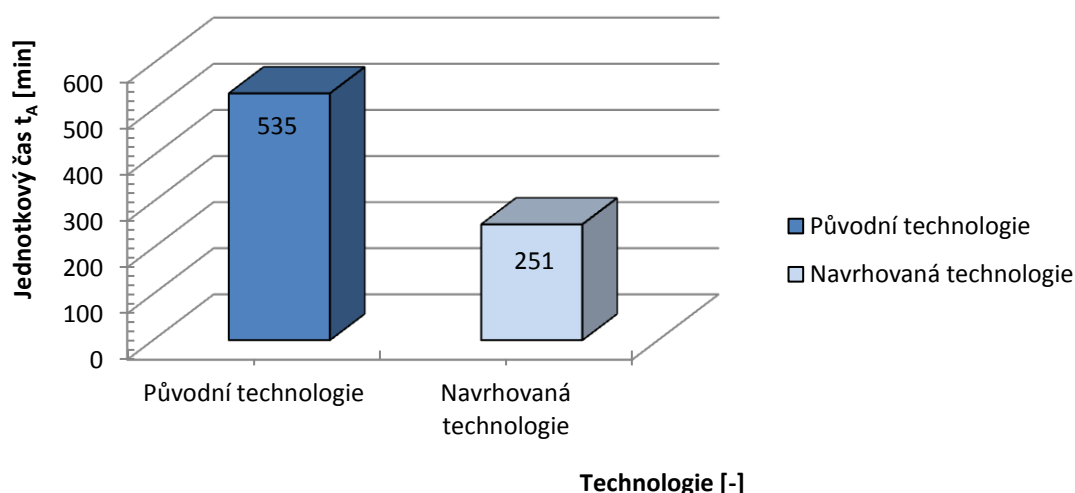
Tab. 5.1 Porovnání jednotkových časů.

Časy výroby jednoho kusu dílu vstřikovací formy		
Operace	Jednotkový čas původní výrobní operace t_{AP} [min]	Jednotkový čas navrhované výrobní operace t_{AN} [min]
1 Řezání polotovaru	25	25
2 Soustružení - hrubování	120	226
3 Soustružení - čisté obrábění	180	
4 Frézování + gravírování	90	
5 Soustružení - dokončování	120	
Celkové časy	535	251

Zavedením nové technologie, především použitím CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500, který umožňuje provádění soustružnických, vrtacích a frézovacích operací na jednom stroji a jedno upnutí, dochází ke značné úspoře jednotkového času. Při zavedení navrhované technologie výroby dochází k úspoře jednotkového času až o jednu polovinu ve srovnání s původní technologií výroby. Na **obr. 5.1** je porovnání původní technologie výroby dílu vstřikovací formy s navrhovanou variantou řešení. Snižováním jednotkového času při výrobě dochází k lepšímu využívání dostupného výrobního času, který má společnost k dispozici a tím k zvýšení konkurenceschopnosti a efektivity výroby. Do značné míry má na

snižování jednotkového času vliv možnost obrábění dílu vstříkovací formy na jednom stroji, tím dochází k úspoře vedlejších časů spojených s manipulací dílu vstříkovací formy mezi jednotlivými pracovišti, upínáním a vyrovnáváním.

Porovnání jednotkových časů



Obr. 5.1 Časy původní a navrhované technologie výroby.

5.2 Náklady na výrobu dílu vstříkovací formy

Dalším důležitým faktorem, který má vliv na technologický proces, z hlediska konkurenceschopnosti a efektivity je snižování výrobních nákladů. V **tab. 5.2** jsou uvedeny výrobní náklady původní technologie výroby dílu vstříkovací formy. Díl prochází jednotlivými výrobními pracovišti, na kterých je obráběn a právě s těmito pracovišti jsou spojeny náklady na jednotlivé výrobní operace prováděné na dílu vstříkovací formy.

Výrobní náklady pro výrobu dílu vstříkovací formy byly spočteny dle vztahu (5.1). Náklady jsou spočteny pro operaci řezání polotovaru, hodnoty pro zbylé výrobní operace jsou uvedeny v **Tab. 5.2**. Stejným způsobem se postupovalo i při výpočtech výrobních nákladů navrhované varianty řešení.

$$N = \frac{t_j \cdot S_z}{60} \text{ [Kč]}, \quad (5.1)$$

kde: N [Kč] - výrobní náklady,
 t_{AP} [min] - jednotkový čas původní výrobní operace,
 S_z [Kč/hod] - sazba pro daný stroj.

$$N = \frac{t_j \cdot S_z}{60} = \frac{25 \cdot 250}{60} = 104,2 \div 104 \text{ [Kč]}.$$

Tab. 5.2 Výrobní náklady původní technologie výroby.

Časy jednotlivých výrobních operací					
Operace		Strojní zařízení	Sazba S _z [Kč/hod]	Jednotkový čas t _{AP} [min]	Náklady N [Kč]
1	Řezání polotovaru	Pila pásová Bomar Ergonomic 320.250 G	250	25	104
2	Soustružení - hrubování	Soustruh SUI 50	280	120	560
3	Soustružení - čisté obrábění	Soustruh Masturn 32 CNC	350	180	1050
4	Frézování + gravírování	Frézka FVT 3 CNC	350	90	525
5	Soustružení - dokončování	Soustruh Masturn 32 CNC	350	120	700
Celkové časy				535	2939

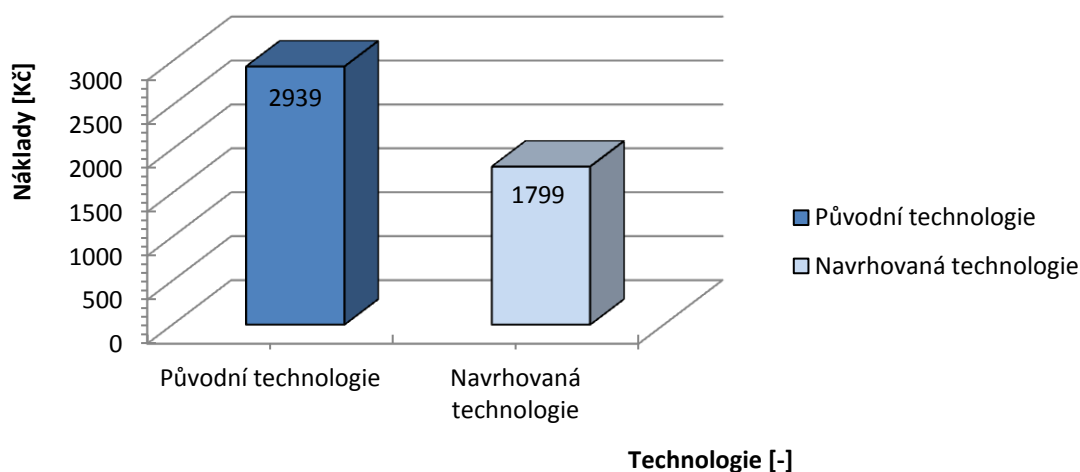
Zavedením navrhované varianty řešení v porovnání s původní technologií výroby dílu vstřikovací formy, z hlediska výrobních nákladů dochází k jejich úspoře až o 38,8 %. Z původních výrobní nákladů 2939 Kč na 1799 Kč. Výrobní náklady navrhované varianty řešení jsou uvedeny v **tab. 5.3**.

Tab. 5.3 Výrobní náklady navrhované varianty řešení.

Časy jednotlivých výrobních operací					
Operace		Strojní zařízení	Sazba S _z [Kč/hod]	Jednotkový čas t _{AN} [min]	Náklady N [Kč]
1	Řezání polotovaru	Pila pásová Bomar Ergonomic 320.250 G	250	25	104
2	Soustružení - hrubování	CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500	450	226	1695
3	Soustružení - čisté obrábění				
4	Frézování + gravírování				
5	Soustružení - dokončování				
Celkové časy				251	1799

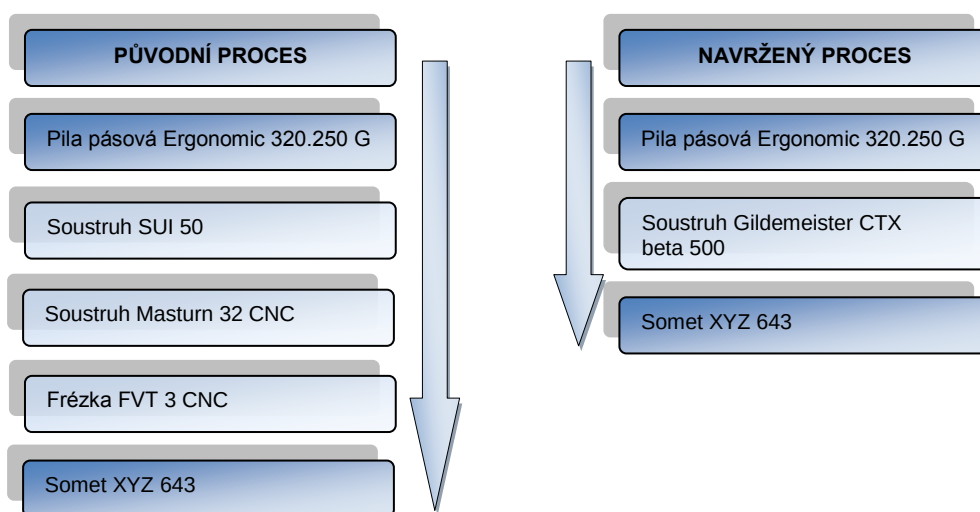
Na **obr. 5.2** je porovnání výrobních nákladů původní technologie výroby dílu vstřikovací formy s navrhovanou variantou řešení.

Porovnání výrobních nákladů

**Obr. 5.2** Výrobní náklady původní a navrhované technologie výroby.

Porovnáním původní technologie výroby dílu vstřikovací formy s navrhovanou variantou řešení viz **tab. 5.1**, **tab. 5.2**, **tab. 5.3**, **obr. 5.1** a **obr. 5.2** lze prohlásit, že s navrhovanou variantou řešení dochází k:

- úspoře jednotkového času na jeden kus o 284 min z 535 min na 251 min,
- úspoře výrobních nákladů na jeden kus o 1140 Kč z 2939 Kč na 1799 Kč,
- snížení počtu obráběcích strojů potřebných k obrábění dílu vstřikovací formy ze 3 na 1 viz **obr. 5.3**,
- snížení počtu pracovníků z 5 na 3.



Obr. 5.3 Porovnání původního procesu s navrženým procesem výroby dílu vstřikovací formy z hlediska použitých strojů.

6 DISKUZE

Společnost Gregor s.r.o. se zaměřuje především na kusovou a malosériovou výrobu. Navržený postup výroby dílu vstřikovací formy, kterým se zabývá tato diplomová práce je možné aplikovat i na jiné druhy dílů vstřikovacích forem, které jsou ve společnosti vyráběny. Různé druhy dílů vstřikovacích forem, které jsou vyráběny mají podobný charakter, liší se ve většině případů rozměry a tvarem. Z tohoto důvodu nebyly navrženy řezné nástroje, konkrétně pro popisovaný díl vstřikovací formy, ale byly navrženy nástroje, které mohou pokrývat širší škálu druhů dílů vstřikovacích forem. Výroba dílů forem spadá do řádů jednotek kusů pro daný druh vstřikovacích forem.

6.1 Tvorba řídicích programů

Řídicí programy pro obrábění dílu vstřikovací formy byly vytvářeny v programu SinuTrain modulu ShopTurn. Jedná se o programovací prostředí, které simuluje prostředí řídicího systému Siemens Sinumerik 840D, kterým je osazen obráběcí stroj (CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500). Program SinuTrain je určen pro instalaci na osobní počítače. Jedná se o program, který je využíván pro tvorbu řídicích programů a jejich simulaci bez nutnosti použití obráběcího stroje. Program je především určen pro výuku programování v řídicím systému Siemens Sinumerik. Vytvořené programy však mohou být použity pro přenos do obráběcího stroje a aplikovány v procesu obrábění. Takto bylo postupováno při výrobě dílu vstřikovací formy. Došlo tak k úspoře času, který mohl být využit pro samotný proces obrábění. V současné době jsou řídicí programy pro ovládání obráběcích strojů ve společnosti Gregor s.r.o. vytvářeny přímo na ovládacích panelech obráběcích strojů, především prostřednictvím dílensky orientovaného prostředí v kombinaci s ISO programováním.

6.2 CAM technologie

Za zvážení by stála úvaha o možnosti nasazení CAM technologie, která by řešila problematiku programování obráběných dílů vstřikovacích forem. Tím by došlo k přesunu přípravy řídicích programů z pracoviště (ovládacího panelu řídicího stroje) do kanceláře programátora. Obráběcí stroj, by tak byl ve větší míře využíván pro samotný proces obrábění, čímž by došlo k nárůstu využívání dostupného obráběcího času, který má společnost k dispozici. Obráběcí stroj by nebyl využíván pro samotnou přípravu řídicích programů, jejichž příprava není z časového hlediska zanedbatelná. Společnost Gregor s.r.o. má ve svém strojním parku obráběcí stroje (soustruhy), které mají různé řídicí systémy pro jejich ovládání a programování (řídicí systém Sinumerik 840D, řídicí systém GE Fanuc, HEIDENHAIN MANUALplus 4110). Nasazením CAM technologie by mohla být tvorba řídicích programů pro tyto stroje především (CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500, soustruh SKT 28L, Soustruh - Masturn 32 CNC a Soustruh - Masturn 40 CNC) přesunuta do kanceláře programátora. Nejednalo by se o využití CAM technologie pouze pro přípravu řídicích programů pro obrábění dílů vstřikovacích forem, ale o možnosti tvorby řídicích programů pro širokou škálu dílů, které jsou ve společnosti obráběny.

Druhou stránkou nasazení CAM technologie je zvážení nákladů na její pořízení, včetně zvýšení odborné kvalifikace a zaškolení pracovníků. Jedná se o aspekty, které mají vliv na ekonomickou stránku společnosti.

ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zefektivnění procesu obrábění dílu pro vstřikovací formu ve společnosti Gregor s.r.o. Společnost Gregor s.r.o. je zaměřena především na výrobu a opravu forem, výrobu střížných a ohýbacích nástrojů, tvarových dílů, přípravků a na lisování za studena kovových dílů. Díl, pro který byl navrhnout postup zefektivnění je součástí vstřikovací formy, která slouží pro výrobu hřídelových těsnicích kroužků (Gufer). V úvodu práce je představena společnost Gregor s.r.o. Dále je práce rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části práce jsou stručně popsány a charakterizovány technologie třískového obrábění (soustružení a frézování), které jsou ve strojírenství velice rozšířeny. V praktické části práce byl popsán stávající způsob výroby dílu pro vstřikovací formu z hlediska technologie třískového obrábění, včetně popisu jednotlivých výrobních pracovišť, používaných nástrojů a obráběcích strojů. Součástí práce je navržení nové inovativní varianty řešení zohledňující zefektivnění stávajícího výrobního postupu dílu vstřikovací formy, zahrnující rovněž popis výrobních pracovišť, použitého nástrojového vybavení a obráběcích strojů.

Tím, že společnost Gregor s.r.o. neustále zkvalitňuje a rozšiřuje sortiment výroby pro svoje zákazníky, investuje do rozvoje a modernizace výrobních technologií, včetně nákupu nových obráběcích strojů, bylo možné navrhnout zefektivnění stávajícího procesu výroby dílu pro vstřikovací formu. Nákupem nového CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500, který lze využít mimo soustružnických operací, také např. pro operace frézování bylo možné navrhnout efektivnější způsob výroby dílu pro vstřikovací formu. Na dílu vstřikovací formy, pro který byl navrhnout nový postup výroby jsou prováděny jednak soustružnické operace, operace frézování, vrtání a gravírování. CNC soustruh Gildemeister CTX beta 500 umožňuje provádění všech těchto obráběcích operací na jedno upnutí obrobku, a tím přinést společnosti produktivnější a efektivnější způsob výroby dílu. Stávajícím způsobem výroby prochází díl vstřikovací formy několika pracovišti včetně řady výrobních zařízení. CNC soustruh Gildemeister umožňuje převedení stávajícího způsobu výroby dílu vstřikovací na jediný obráběcí stroj. Proto byl tento stroj zvolen jako stěžejní pro návrh nové technologie výroby.

Technicko-ekonomickým zhodnocením byla ověřena skutečnost, že investice do rozvoje a modernizace výrobních technologií v podobě nákupu nového CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 přináší pro společnost nejen rozšíření výrobních kapacit, ale také nové možnosti, které přináší efektivnější využívání dostupného výrobního času, který má společnost k dispozici. Navrhovaná technologie výroby dílu vstřikovací formy v porovnání se stávajícím způsobem výroby přináší pro firmu především:

- úsporu jednotkového času o 53 % z 535 min na 251 min,
- úsporu výrobních nákladů o 38,8 % z 2939 Kč na 1799 Kč,
- snížení počtu obráběcích strojů potřebných pro obrobení dílu ze 3 na 1,
- snížení počtu pracovníků z 5 na 3.

Navržený postup výroby pro jeden druh dílu vstřikovací formy přinesl již zmíněné úspory, ať už v podobě času, výrobních nákladů, počtu obráběcích strojů a pracovníků.

Společnost Gregor s.r.o. vyrábí různé druhy vstřikovacích forem pro výrobu hřídelových těsnících kroužků (Gufer), pro které je možné navrhovaný postup výroby aplikovat. Tím dochází k úspoře nejen pro popisovaný díl vstřikovací formy, ale pro širokou škálu různých druhů dílů vstřikovacích forem, které jsou ve společnosti vyráběny.

Dosažené zefektivnění, které bylo realizováno především použitím nového CNC soustruhu Gildemeister CTX beta 500 přineslo pro společnost produktivnější a rychlejší způsob výroby dílu vstřikovací formy. Navržená varianta zefektivnění bere v potaz stávající strojní park společnosti, který je k dispozici. Za zvážení by do budoucna stála možnost nasazení CAM technologie, která by řešila problematiku přípravy řídicích programů pro obrábění součástí, která by mohla přinést další nárůst úspor při tvorbě programů.

Cíl diplomové práce spočívající v navržení efektivnějšího způsobu výroby dílu vstřikovací formy byl plně dosažen.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GREGOR s.r.o. [online]. c 2013 [vid. 2014-02-01]. Dostupné z: <http://www.nastrojarna-gregor.cz/>
2. GABČAN, Jan. GREGOR s.r.o. *Strojový park*. Skřivany, 2013, 2 s.
3. DMU 60 MONOBLOCK: 5 axis cnc machine. *Machine Tools, Lathes, Turning Centers: DMG MORI* [online]. c 2014 [vid. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.dmgmori-usa.com/five-axis-dmu-series/dmu-60-monoblock>
4. EDM 313: Elektroeroze a elektroerozivní stroje jsou náš život!. *PENTA TRADING s.r.o.* [online]. c 2009 [vid. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.penta-edm.cz/text-edm-313/>
5. Elektrotechnický zkušební ústav. *Certifikace systému managementu jakosti podle ČSN EN ISO 9001:2009* [online]. c 2009 [vid. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.ezu.cz/index.php?u=/certifikace-systemu-rizeni/ISO-9001-2009/&a=ArticleDisplay>
6. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
7. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003, 138 s. [online]. [vid. 2014-03-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
8. BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. [online]. [vid. 2014-03-05]. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
9. Gufero. *VK LOŽISKA: OBECNÁ ČÁST* [online]. [vid. 2014-03-08]. Dostupné z: http://www.vkloziska.cz/editor/image/produkty1_soubory/obecna-cast.pdf
10. Gufero. *VK LOŽISKA: TECHNICKÁ ČÁST* [online]. [vid. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.vkloziska.cz/editor/image/produkty1_soubory/technicka-cast.pdf
11. BOMAR pásová pila na kov ERGONOMIC 320.250 G. *Pásové pily Pilous, Bomar, Pegas Gonda: KARAS pily s.r.o.* [online]. c 2008 [vid. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.pasove-pily.eu/bomar-pasova-pila-na-kov-ergonomic-320-250-g-27885.html>
12. Nástrojová ocel 1.2080. *Přehled nabízených produktů: JKZ Bučovice a.s.* [online]. c 2010 [vid. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/82>
13. Manuály a návody k obráběcím strojům. *Technologie strojího obrábění kovů a broušení nástrojů: Manuál soustruhu SUI 40 a SUI 50* [online]. c 2010 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/download/>

14. ISCAR ČR s.r.o. *TURNING & THREADING TOOLS: Metric Version Catalog 2012* [online]. [vid. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/Turning%20and%20Threading%20Tools.pdf>
15. LEINVEBER, Jan, Pavel VÁVRA a Jaroslav ŘASA. *Strojnické tabulky*. 3. uprav. a dopl.vyd. Praha: Scientia, 1999, 911 s. ISBN 80-7183-164-6.
16. Univerzální hrotové soustruhy Masturn 32, 54 a 70 CNC z Kovosvitu Sezimovo Ústí. *Technický týdeník* [online]. 1.1.2006 [vid. 2014-04-08]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/univerzalni-hrotove-soustruhy-masturn-32-54-a-70-cnc-z-kovosvitu-sezimovo-usti_11259.html
17. Masturn 32CNC (d320 mm - L800 mm). *Industrial help service "Promspravka"* [online]. c 2014 [vid. 2014-04-09]. Dostupné z: http://www.promspravka.com/catalog/D/K/29/4/42/2/21/290/tok_2788.html?l=1&print=1
18. Frézka konzolová - FVT 3 CNC - B. *Strojezemna.cz: Parametry FVT 3 CNC* [online]. 4.3.2014 [vid. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.strojezeman.cz/zeman/MachineS.nsf/0/4dbfad3057f6cbe9c1257484002d6501>
19. MK nástroje s.r.o. *ARNO WERKZEUGE: TIEFSTPREISE* [online]. [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: http://www.mknastroje.cz/images/stories/katalogy/arno/Fraser_Bohrer.pdf
20. PTÁČEK, Luděk et al. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
21. SANDVIK COROMANT ; [PŘELOŽIL MIROSLAV KUDELA]. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Praha: Scientia, c 1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972299-4-6.
22. ISCAR ČR s.r.o. *GROOVE-TURN TOOLS: Metric Version Catalog 2012* [online]. [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/Groove-Turn%20Tools.pdf>
23. PÍŠKA, Miroslav et al. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
24. GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ A REPROGRAFIE: SJÖSTRÖMS TEXT & REPRO. *Produktivní obrábění kovů*. Sandviken: Sandvik Coromant, c 1997, 300 s.
25. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
26. BORO VAN, Petr. Upínače nástrojů (5): Poháněné nástroje a jejich upínání. *Technický týdeník* [online]. 30.4.2012 [vid. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-5-pohanene-nastroje-a-jejich-upinani_8501.html

27. CTX beta 500 / linear: A CNC Lathe by DMG MORI. *DMG MORI: Lathes, Milling Machines, Service and Software* [online]. c 2014 [vid. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/ctx/ctx-beta-500-linear#Intro>
28. Technical Data CTX beta 500 / linear: A CNC Lathe by DMG MORI. *DMG MORI: Lathes, Milling Machines, Service and Software* [online]. c 2014 [vid. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/ctx/ctx-beta-500-linear#Technic>
29. Control CTX beta 500 / linear: A CNC Lathe by DMG MORI. *DMG MORI: Lathes, Milling Machines, Service and Software* [online]. c 2014 [vid. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/ctx/ctx-beta-500-linear#Control>
30. TMC CR, s.r.o. *ARNO WERKZEUGE: BOHREN 2013* [online]. [vid. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.tmccr.cz/cs/nastroje/arno-nastroje-pro-obrabeni/vrtani/>
31. TMC CR, s.r.o. *ARNO WERKZEUGE: DREHEN UND GEWINDEDREHEN 2013* [online]. [vid. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.tmccr.cz/cs/nastroje/arno-nastroje-pro-obrabeni/soustruzeni/>
32. Gravírovací frézy. *RYTECKÉ MATERIÁLY PRAHA* [online]. [vid. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.rmp.cz/frezy.html>
33. ISCAR ČR s.r.o. *HOLE MAKING TOOLS: Metric version Catalog 2012* [online]. [vid. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/Catalogs/zip/CMS%20Catalogs/Hole%20Making%20Tools.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	Dvoudimenzionální - dvourozměrný
3D	[-]	Trojdimenzionální - trojrozměrný
BSK	[-]	Blok studených kanálů
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing - označení pro počítačem podporovanou výrobu
CBN	[-]	Cubic boron nitride - kubický nitrid bóru
CNC	[-]	Computer Numerical Control - označení číslicově řízeného obráběcího stroje
ČSN	[-]	Česká státní norma
DIN	[-]	Německá národní norma
EN	[-]	Evropská norma
HRC	[-]	Tvrdost dle Rockwella
HSS	[-]	High speed steel - rychlořezná ocel
ISO	[-]	International Organization for Standardization - mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem
PCD	[-]	Polycrystalline Diamond - polykristalický diamant
P_{fe}	[-]	Pracovní boční rovina
QMS	[-]	Quality Management System - Systém řízení kvality
SK	[-]	Slinutý karbid
s.r.o.	[-]	Společnost s ručením omezeným
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
VDA	[-]	The German Association of the Automotive Industry - certifikace managementu kvality

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	Jmenovitý průřez třísky
a_e	[mm]	Radiální šířka záběru ostří
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
b_D	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp}	[-]	Materiálové konstanty
D	[mm]	Průměr obráběné plochy
d	[mm]	Průměr frézy
η	[°]	Úhel řezného pohybu
η_m	[-]	Mechanická účinnost obráběcího stroje
F	[N]	Celková řezná síla
F_c	[N]	Složka řezné síly
F_f	[N]	Složka posuvové síly
F_p	[N]	Složka pasivní síly
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
φ	[°]	Úhel posuvového pohybu
h_D	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
k_c	[MPa]	Měrná řezná síla
K_r	[°]	Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
N	[Kč]	Výrobní náklady
n	[min ⁻¹]	Otáčky
n_z	[-]	Počet zubů v záběru
P_c	[kW]	Celkový příkon obráběcího stroje
ψ	[°]	Úhel záběru frézy
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
R_q	[μm]	Střední kvadratická hodnota drsnosti
r_ϵ	[mm]	Poloměr špičky nástroje
S_z	[Kč/hod]	Sazba pro daný stroj
t_{AN}	[min]	Jednotkový čas navrhované výrobní operace

t_{AP}	[min]	Jednotkový čas původní výrobní operace
t_s	[min]	Strojní čas
t_v	[min]	Vedlejší čas
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	Rychlost řezného pohybu
v_f	[m.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
x	[-]	Exponent vlivu tloušťky třísky
x_{Fc}, x_{Ff}, x_{Fp}	[-]	Exponenty vlivu a_p
y_{Fc}, y_{Ff}, y_{Fp}	[-]	Exponenty vlivu f_n
z	[-]	Počet zubů nástroje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Certifikát systému managementu kvality
Příloha 2	Strojní park společnosti
Příloha 3	Používané nástrojové vybavení - původní technologie (soustruh SUI 50)
Příloha 4	Používané nástrojové vybavení - původní technologie (soustruh Masturn 32 CNC)
Příloha 5	Používané nástrojové vybavení - původní technologie (frézka FVT 3 CNC)
Příloha 6	Používané nástrojové vybavení - navrhované technologie (soustruh Gildemeistr CTX beta 500)
Příloha 7	Technologický postup
Příloha 8	Osazení revolverového zásobníku nástrojů
Příloha 9	Řídicí program pro obrobení dílu vstřikovací formy - přední strana
Příloha 10	Výkres dílu vstřikovací formy
Příloha 11	Výkres - Horní díl tvar pro soustruh
Příloha 12	Výkres - Horní díl tvar pro soustruh - frézování, gravírování