

Bc. Marek Svoboda

Výroba součásti chapadla

Production of Gripper Components

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bibliografický záznam

Autor: Bc. Svoboda Marek

Název Práce: Výroba součásti chapadla

Studijní program: N0715A270007

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 55

Klíčová slova: čelist, chapadlo, frézování, automatizace

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech automatizační linky od firmy TRYSTOM, spol. s r. o., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne: 2021-05-08



.....
Podpis autora práce

Prohlašuji že:

- na závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- VŠB-TUO má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo nebo poskytnout licenci k jejímu využití, může jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě od něj požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, tato závěrečná práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v DSpace, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 2021-05-08



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Svoboda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Herrmannova 2, Olomouc, 77900

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SVOBODA, M. *Výroba součástí chapadla: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2021, 55 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou součástí chapadla robota, které přemísťuje trubky mezi jednotlivými operacemi. V úvodu této práce je představena firma, v které diplomovou práci realizují včetně strojů, které se podílí na výrobě. Dále jsou zde zmíněny už hotové projekty, které firma realizovala. Poté je zde rozebrána problematika frézování včetně složitých součástí. Následuje praktická část, kde je autorem navržena a technologicky zpracována součást chapadla robota. Vyrobená součást chapadla robota je dokumentována v diplomové práci. V závěru je zpracováno technicko – ekonomické zhodnocení projektu.

ANNOTATION OF THESIS

SVOBODA, M. *Production of Gripper Components: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2021, 55 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The diploma thesis deals with the design and manufacture of a robot gripper component that moves tubes between operations. The introduction of this work introduces the company in which I implement my thesis, including machines that participate in production. Furthermore, already finished projects that the company has implemented are mentioned here. Then the issue of milling, including complex components, is discussed here. The practical part follows, where the author proposes a part of the robot's gripper. The manufactured part of the robot's gripper is documented in the diploma thesis. In the end, the technical – economic evaluation of the project is processed.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
Cíl diplomové práce	9
Úvod	10
1 Obecná charakteristika daného problému	13
1.1 Význam automatizace	14
2 Problematika frézování složitých součástí	14
2.1 Válcové frézování	16
2.2 Čelní frézování	19
2.3 Planetové frézování	20
2.4 Nástroje	20
2.4.1 Upínání nástrojů	23
2.4.2 Upínání obrobků	25
2.5 Stroje (frézky) pro frézování	26
2.6 CNC obrábění	27
2.7 Řezné podmínky	28
2.8 Technologický postup	29
2.8.1 Zásady pro vypracování technologického postupu	30
3 Návrh vlastního řešení – postup	31
3.1 Automatizované pracoviště pro tváření koncovek HMG peanut	31
3.2 Manipulační robot	32
3.3 Dvojitá manipulační hlava	33
3.4 Čelisti chapadla	34
3.5 Řezné podmínky	35
3.6 Technologický postup součásti chapadla	37
4 Diskuze experimentů	42
4.1 Materiál chapadla	42
4.1.1 Nitridace chapadla	42
4.2 Volba obráběcího stroje	42
4.2.1 Obráběcí centrum MCV 750 speed	43
4.3 Volba nástrojů	44
4.3.1 Frézy	44
4.3.2 Vrtáky	47

5 Technicko – ekonomické zhodnocení	47
Seznam použité literatury	51
Příloha B – technické nákresy chapadla GPD5008NC-00-A od firmy Zimmer	53
Příloha C – obrázky z průběhu obrábění v programu SolidCAM	54

Seznam použitých značek a symbolů

CAD – Computer Aided Design = počítačem podporovaný návrh

CAE – Computer Aided Engineering = počítačem podporované inženýrství

CAM – Computer Aided Manufacturing = počítačem podporovaná výroba

CIM – Computer Integrated Manufacturing = výroba integrovaná počítačem

CNC – Computer Numerical Control = počítačem řízený obráběcí stroj

PLC – Programmable Logic Controller = programovatelný logický automat

RTK – robotizovaný technologický komplex

RTP – robotizované technologické pracoviště

a_p – hloubka řezu [mm]

D – průměr nástroje [mm]

F – výsledná řezná síla [N]

F_h – horizontální složka [N]

f_n – posuv na otáčku [mm]

F_o – obvodová složka řezné síly [N]

F_r – radiální složka síly [N]

F_v – vertikální složka [N]

f_z – posuv na zub [mm]

V_c – řezná rychlost [m.min⁻¹]

n – otáčky nástroje [min⁻¹]

v_f – posuvová rychlost [mm.min⁻¹]

z – počet zubů (břitů) nástroje

\varnothing – průměr [mm]

Cíl diplomové práce

Diplomová práce je zaměřena na výrobu součásti chapadla, které je připevněno k hlavě šestiosého robota. Robot je součástí automatizační linky, kde manipuluje s trubkami různých tvarů, průměrů a délek mezi jednotlivými operacemi výrobního postupu.

Nahrazování zejména fyzicky namáhavé a opakující se práce člověka za automatické systémy je základním rysem moderního technického pokroku. Hlavním cílem realizace RTP a RTK je zvyšování produktivity práce při současném snižování výrobních nákladů, redukce personálu, zvyšování kvality a spolehlivosti výrobků, rychlejší inovace a v neposlední řadě zvyšování kultury lidské práce.

V teoretické části diplomové práce je shrnuta obecná problematika automatizace a výroba složitých součástí frézováním.

V praktické části diplomové práce je popsána realizace automatizovaného pracoviště, která přinesla zákazníkovi zefektivnění a zkvalitnění výroby, což byl i cíl celé zakázky. Konkrétně byla autorem navržena součást chapadla robota včetně jejího postupu výroby.

Toto téma je velmi aktuální, protože automatizace a digitalizace je budoucnost nejen pro naši generaci, ale hlavně pro generace budoucí a je jen na nás na lidech, jak k této problematice přistoupíme.

„Pro Česko s jeho vysokou závislostí na zpracovatelském průmyslu asi není nic důležitějšího než si nenechat ujet vlak v tom co Němci nazvali Průmysl 4.0. Potřebujeme rozvíjet tuto komparativní výhodu, jak se dá.... Ve skutečnosti nám peníze na rozvoj nechybějí. Musíme je ale dávat do oblastí, které nás živí, kde už něco umíme, a budeme je dávat za prokazatelný výsledek.“ (Miroslav Zámečník, Euro 47, 2015)

Úvod

Představení firmy a problému

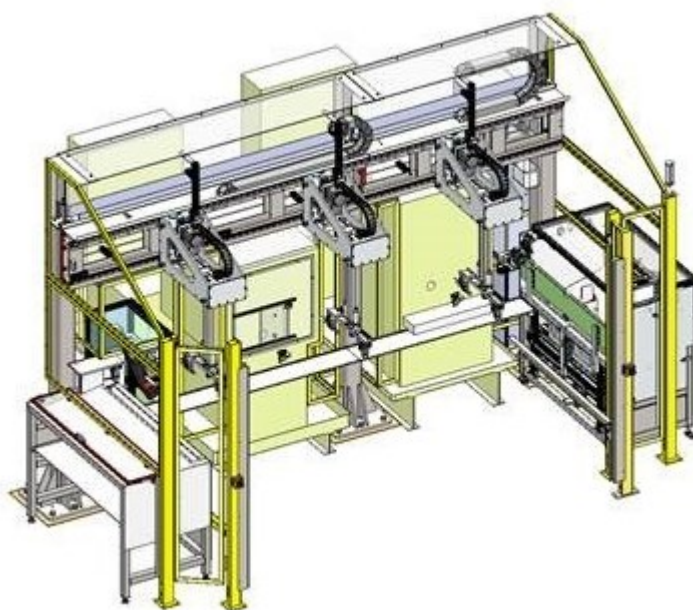
Autor diplomové práce spolupracuje s firmou TRYSTOM, spol. s r. o. v Olomouci, která vznikla v roce 1993 privatizací Vývojových laboratoří a dílen Univerzity Palackého v Olomouci se záměrem pokračování v jejich dlouholeté tradici vývoje a výroby laboratorní a zdravotnické techniky. V roce 2005 vstupuje do společnosti nový spolumajitel a ředitel Ing. Marek Švarc a zakládá vedle sekce Laboratorní a zdravotnické techniky také divizi Průmyslové automatizace společnosti TRYSTOM, přičemž v současné době realizace projektů v oblasti průmyslové automatizace resp. automatizace výrobních procesů tvoří více než polovinu ročního obrátu společnosti. V roce 2008 se Ing. Marek Švarc stává jediným majitelem společnosti a dochází k realizaci dalších investičních projektů do technologického vybavení a personálního rozvoje.

Společnost TRYSTOM, spol. s r. o. je menší firmou s 41 kmenovými zaměstnanci v roce 2021, zahrnujícími všechny profese nezbytné pro vývoj a výrobu laboratorní a zdravotnické techniky, návrh a kompletní dodávku zařízení průmyslové automatizace (konstruktéry, elektroprojektanty, montážní techniky, elektromontážní techniky, zámečníky, svářeče, CNC obráběče).

V nedávné době se na firmu TRYSTOM, spol. s r. o. obrátila společnost Hanon Systems Autopal s. r. o., s požadavkem na výrobu automatizovaného pracoviště pro tváření koncovek HMG peanut. Automatizované pracoviště pro tváření koncovek HMG peanut slouží k automatické manipulaci trubek mezi vstupním zásobníkem, tvářecím strojem, odjehlováním, rozměrovou kontrolou pomocí digitálního profilometru a výstupním zásobníkem. Manipulace je prováděna robotem Fanuc, který je osazen dvojitou manipulační hlavou. Autorem práce v této lince byly navrženy a technologicky zpracovány čelisti chapadla robota, které přemísťuje trubky mezi jednotlivými pozicemi.

Společnost mimo jiné realizovala zakázku automatizované pracoviště pro tváření koncovek crimp. Jedná se o kompletní dodávku automatizovaného pracoviště pro tváření koncovek hliníkových trubek. Linka se skládá ze vstupního zásobníku, čtyř nezávislých manipulačních portálů, výstupního zásobníku hotových trubek a dvou vibračních podavačů pro automatické podávání dílů. Po naplnění zásobníků a zvolení hotového výrobku, pracuje linka automaticky ve výrobním taktu 12 s a obsluha přichází jednorázově zkontrolovat stav, případně doplnit vstupní zásobník nebo vyprázdnit výstupní zásobník.

Linka je řízena pomocí PLC systému SIMATIC a všechny senzory, ventily a ovládací prvky jsou propojeny pomocí digitální komunikace I/O link.



Obrázek 1 – Automatizované pracoviště pro tváření koncovek crimp.

Zdroj: vlastní zdroj

Dále jednoúčelový stroj na montáž krabičky termostatu. Jednoúčelový stroj je řešený jako postupový stroj s otočným stolem. Otočný stůl má 12 pozic. Stroj je zakrytý pomocí Al profilů a polykarbonátových výplní. Otvírání servisních dveří je jištěno bezpečnostními zámky. Takt stroje pro jednu pozici je max. 6s. Výrobní kapacita min. 1200 ks / hod. Obsluha 1 operátor/ka.



Obrázek 2 – Jednoúčelový stroj na montáž krabičky termostatu.

Zdroj: vlastní zdroj

Dále stanice lisování silentbloku. Realizace návrhu a dodávky automatického jednoúčelového stroje na lisování plechového kontaktu do gumového silentbloku. Jedná se o stanici s automatickým podáváním dílců, kontrolou jakosti povrchu kamerou, kontrolou správného zalisování a tříděním na dobré a špatné kusy. Čas cyklu je 2,5 s.



Obrázek 3 – Stanice lisování silentbloku.

Zdroj: vlastní zdroj

Výrobně technické zázemí společnosti

Firma TRYSTOM, spol. s r. o. disponuje moderní technikou:

- pětiosé vrtací a frézovací centrum MCV 750 SPEED,
- čtyřosé CNC obráběcí centrum MCV 750 SPEED,
- čtyřosé obráběcí centrum MCV 1270 SPEED,
- CNC soustruh MASTURN 550 CNC,
- 3D tiskárna STRATASYS FORTUS 250m.



Obrázek 4 – Obráběcí centrum MCV 750 SPEED¹⁷.

1 Obecná charakteristika daného problému

Automatizace patří k rychle rozvíjejícímu se oboru, který nachází uplatnění v mnoha odvětví průmyslu – např. v automobilovém, potravinářském, chemickém, farmaceutickém, těžkém a dalších.

Automatizaci technologických procesů je nutno vnímat komplexně. Nelze ji zúžit jen na vlastní stroj. Zahrnujeme zde i automatizovanou dopravu, manipulace s materiálem, kontrola a měření, výměna nástrojů apod. Automatizaci technologického procesu lze řešit za pomoci univerzálních či jednoúčelových zařízení nebo jejich prvků, případně jejich vhodnou kombinací. Při řešení každé konkrétní automatizace je třeba zabývat se optimalizací řešení, a to po stránce nejen technické, ale i ekonomické. Samozřejmě je třeba každé navržené řešení posoudit i z jiných hledisek jako např. rychlost dodávky určitého systému, přesnost výroby, prostorové možnosti, energetická náročnost apod.

Obráběcí stroje by měly vyrábět stále produktivněji, přesněji a rychleji. Protože se snižují počty kusů ve výrobě a tím se zvyšují nároky na úpravy strojů a také náklady na vyrobený jednotlivý kus, podniky často hledaly země, kde nejsou tak vysoké mzdové náklady. Zákazníci ovšem dnes velmi často požadují v široké míře individualizované výrobky s co nejkratším dodacím termínem. Řešením je automatizace založená na průmyslových robotech, která může výrazně a dlouhodobě zvýšit produktivitu obráběcích strojů a zkrátit dodací lhůty¹.

1.1 Význam automatizace

Zavádění automatizace poskytuje firmám značné výhody v porovnání s ruční výrobou:

- zvýšení produktivity práce – automatizace výrobní operace obvykle zvyšuje rychlost výroby a produktivitu práce,
- snížení pracovních nákladů – s automatizací, klesá jednotková cena výrobku, lepší konkurenceschopnost,
- zmírnění dopadů nedostatku pracovních sil – nedostatek pracovních sil vykonávajících manuální práci je v dnešní době problémem téměř ve všech průmyslových státech,
- minimalizovat opakující se a namáhavou práci – automatizované výrobní procesy se snaží zmírnit podíl fyzicky a psychicky namáhavé práce a zajistit tak zaměstnancům výhodnější pracovní podmínky,
- zlepšení bezpečnosti práce – automatizací dané operace a převedením pracovníka z aktivní účasti na procesu do role dohledu je práce bezpečnější,
- zlepšení kvality výrobků – automatizace má za následek nejen vyšší rychlost výroby než manuální operace, ale i lepší jakost a menší zmetkovitost výrobků,
- snížení doby výroby – automatizace pomáhá zkrátit uplynulý čas mezi objednávkou zákazníka a dodáním produktu a poskytuje výrobcí konkurenční výhodu pro budoucí objednávky,
- výroba složitějších výrobků – některé výrobní procesy nemohou být realizovány bez vhodných výrobních strojů a zařízení,
- snížení rizik neautomatizované výroby – automatizace výroby přináší firmám značnou konkurenční výhodu, lepší image společností².

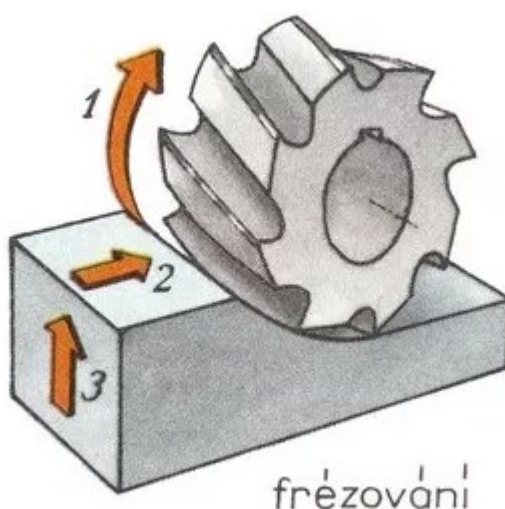
V dnešní době přišla nečekaně další komplikace pro firmy a to je nemoc Covid 19, která se však paradoxně může stát i motivací pro důslednější automatizaci. Investice do rozumné robotizace průmyslových provozů je nyní ekonomicky výhodným řešením, které se může vyplatit i menším firmám.

2 Problematika frézování složitých součástí

Mezi velmi rozšířené metody obrábění patří zejména frézování. Jeho velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Frézování se využívá pro obrábění hranolovitých (prizmatických) rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obráběními závitů a ozubení. Toto široké

uplatnění a možnost frézování velkými řeznými rychlostmi, což umožňuje produktivnější a hospodárnější odebrání materiálu než při obrábění jednobřítými nástroji (hoblování, obrážení), zařadili frézování na významné místo ve strojírenské výrobě^{3,4}.

Při frézování je tříška odebrána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky.



Obrázek 2.1 – Řezné pohyby při frézování (1 – hlavní pohyb, 2 – vedlejší pohyb, 3 – přísuv).

Zdroj: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1185>

Z technologického hlediska se podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišuje frézování:

- válcové – obvodem nástroje – osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou,
- čelní – čelem nástroje – osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje.

Další způsoby frézování:

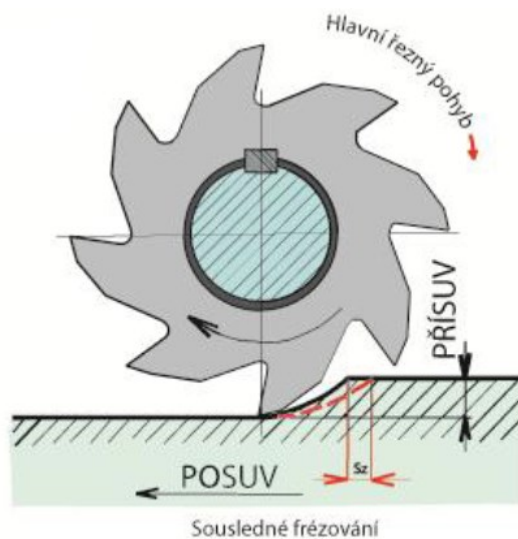
- okružní – osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku. Okružním frézováním lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy,
- planetové – pro obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch⁴.

2.1 Válcové frézování

Při válcovém frézování se využívají válcové a tvarové frézy. Zuby jsou pouze po obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje v rovině kolmé na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje.

Dle směru otáčení nástroje rozlišujeme dva druhy frézování válcovou frézou:

- sousledné – smysl rotace nástroje je při sousledném (sousměrném) frézování ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do nuly.



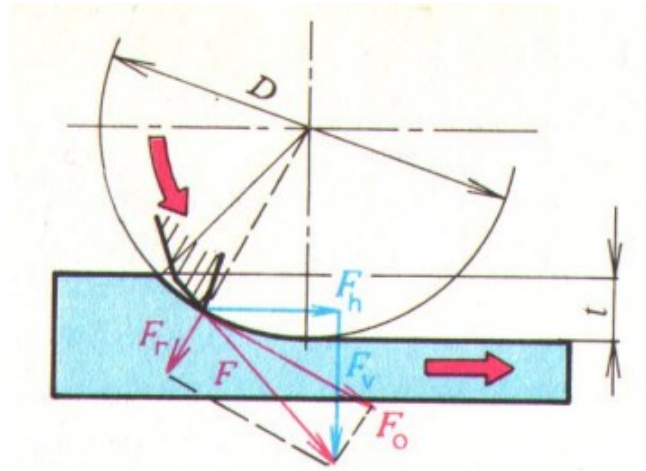
Obrázek 2.2 – Smysl otáčení při sousledném válcovém frézování.

Zdroj: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-20.pdf

Výhody a nevýhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost nástrojů,
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- nižší řezný výkon,
- jednodušší upínání (síla řezání přitlačuje obrobek ke stolu),
- menší sklon ke kmitání,
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakosti,
- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- velká silová zátěž každého zubu při záběru.

Řezné síly při sousledném frézování:



Obrázek 2.3 – Řezné síly při sousledném frézování⁵.

kde F_o – obvodová složka řezné síly,

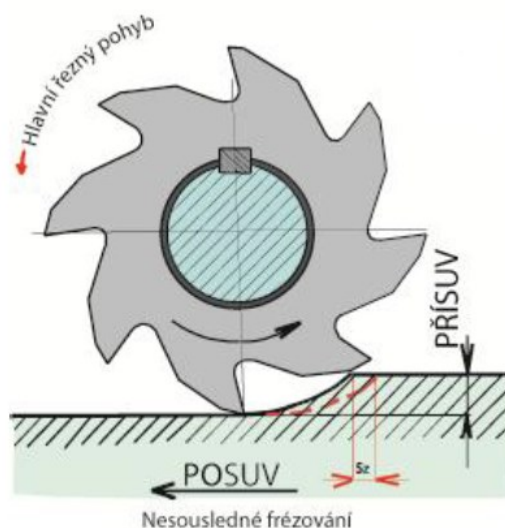
F_r – radiální složka síly,

F – výsledná řezná síla,

F_h – horizontální složka,

F_v – vertikální složka⁵.

- nesousledné – při nesousledném (nesousměrném) frézování se nástroj pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Charakteristickým znakem je proměnlivá tloušťka třísky (mění se od nulové hodnoty na hodnotu maximální). Při vnikání nástroje do materiálu z počátku břit materiál stlačuje. K oddělování třísky dochází v okamžiku, kdy tloušťka odřezávané vrstvy dosáhne určité velikosti. Důvodem je skutečnost, že ostří frézy není vlastně ostrá hrana, ale ploška o poloměru $R = 8$ až 30 mm. Silové účinky a deformace, vznikající při nesousledném frézování, způsobují zvýšené opotřebení břítu.



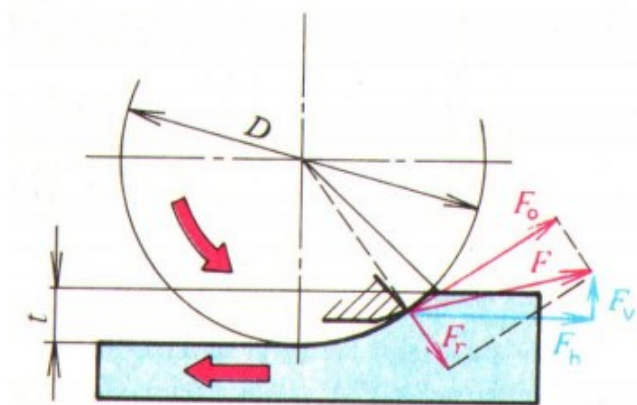
Obrázek 2.4 – Smysl otáčení při nesousledném válčovém frézování.

Zdroj: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-20.pdf

Výhody a nevýhody nesousledného frézování:

- menší opotřebení stroje (šroubu a matice),
- záběr zubů nezávisí na hloubce řezu,
- na trvanlivost nástroje nemá vliv povrchu obrobku,
- zhoršená jakost obrobené plochy,
- nevýhoda směru síly frézování s ohledem na upnutí⁴.

Řezné síly při nesousledném frézování:



Obrázek 2.5 – Řezné síly při nesousledném frézování⁵.

kde F_o – obvodová složka řezné síly,

F_r – radiální složka síly,

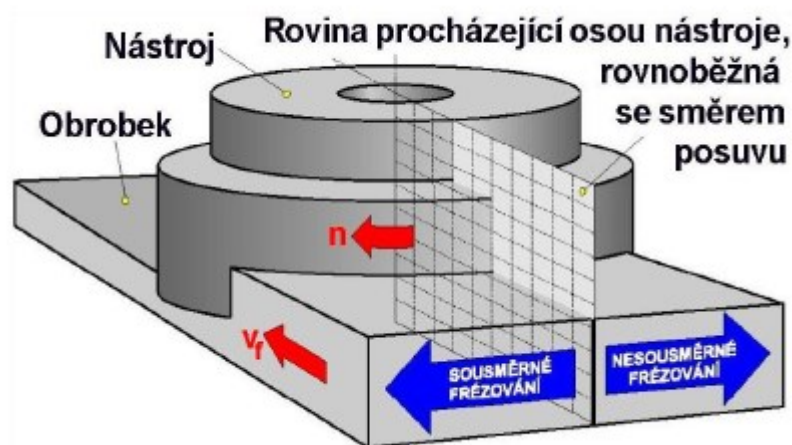
F – výsledná řezná síla,

F_h – horizontální složka,

F_v – vertikální složka⁵.

2.2 Čelní frézování

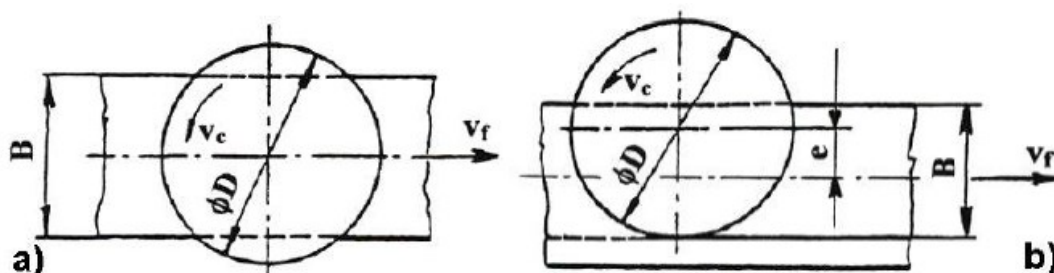
Při frézování čelními válcovými frézami, je tříška odřezávána jak břity, které jsou po obvodu, tak i břity na čele frézy. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Tloušťka třísky se mění od minimální hodnoty na hodnotu maximální podle průměru frézy a šířky obráběné plochy. Tvar třísky je šroubovitý. Můžeme volit větší posuvy, protože je zde v záběru více zubů současně^{3,4}.



Obrázek 2.6 – Čelní frézování⁴.

Podle polohy osy otáčení frézy vzhledem k obráběné ploše existují 2 základní metody:

- symetrické frézování (obr. 2.7a) – osa nástroje prochází středem frézované plochy,
- nesymetrické frézování (obr. 2.7b) – osa nástroje je mimo střed frézované plochy.

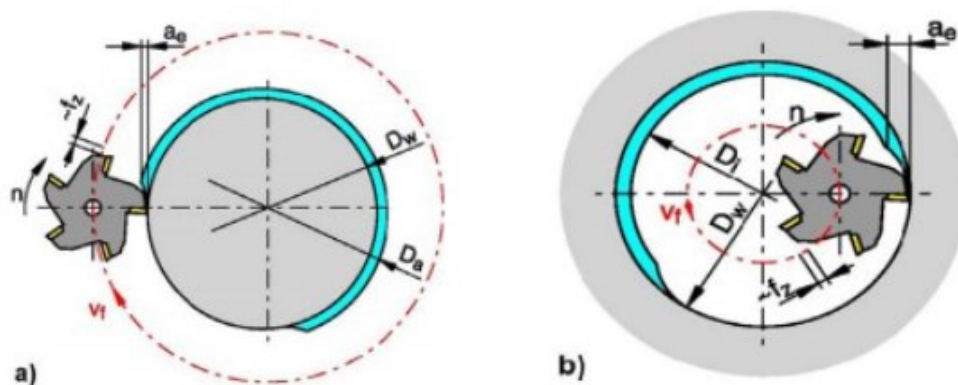


Obrázek 2.7 – Čelní frézování, a) symetrické, b) nesymetrické⁴.

2.3 Planetové frézování

Planetové frézování se používá pro obrábění rotačních ploch nebo jen jejich částí na číslicově řízených frézách nebo obráběcích centrech s kruhovou interpolací. Obrobek lze frézovat jak z vnější strany (obr. 1.11), tak i z vnitřní strany (obr. 1.12). Tímto způsobem můžeme obrobít:

- vnitřní zápichy,
- kruhová zaoblení,
- vnější válcové výstupky,
- větší otvory,
- čelní plochy⁹.



Obrázek 2.8 – Planetové frézování, a) vnější, b) vnitřní¹⁰.

2.4 Nástroje (frézy) pro frézování

Fréza je vícebřítý nástroj různého tvaru, otáčející se při práci kolem své osy, na nichž jsou břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy. U čelních fréz jsou i na čelní ploše. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velmi mnoho druhů fréz, z nichž většina je normalizovaná⁴.

Frézy můžeme rozdělit dle různých kritérií.

Podle ploch, kde leží ostří:

- válcové – ostří se nachází na válcové ploše,
- čelní – ostří se nachází na čelní ploše,
- válcové čelní – ostří se nachází na čelní i válcové ploše.

Podle druhu materiálu nástroje:

- frézy z rychlořezné oceli,

- frézy ze slinutých karbidů,
- frézy z cermetů,
- frézy z řezné keramiky.

Podle způsobu výroby zubů:

- se zuby frézovanými – mezery jsou vyrobeny kuželovými frézami, čelo i hřbet rovinná plocha, ostření se provádí na hřbetu,
- se zuby podsoustruženými – hřbetní plocha vytvořena jako část Archimédovi spirály, čelo zubu je plochou rovinnou, ostření se provádí na čele.

Podle směru zubů vzhledem k ose rotace:

- frézy se zuby přímými,
- frézy se zuby ve šroubovici – pravé nebo levé, výhodou šroubovité drážky je postupné vnikání zubů do záběru a tudíž je řezný proces plynulý a klidnější, stoupání šroubovice je 10° až 45° , někdy více.

Podle počtu zubů vzhledem k ose rotace:

- frézy jemnozubé,
- frézy polohrubozubé,
- frézy hrubozubé.

Pro zajištění klidného chodu frézy má být počet zubů takový, aby byly v záběru nejméně 2 zuby.

Podle konstrukčního uspořádání:

- frézy celistvé – pro zuby i těleso stejný materiál,
- frézy s vyloženými zuby,
- frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Podle geometrického tvaru funkční části:

- frézy válcové,
- frézy kotoučové,
- frézy úhlové,
- frézy drážkovací,
- frézy kopírovací,

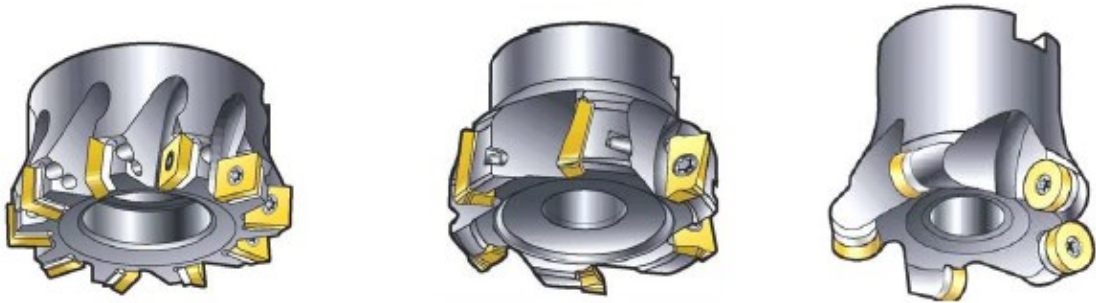
- frézy rádiusové,
- frézy na výrobu ozubení.

Podle způsobu upnutí:

- frézy nástrčné – upínají se centrální otvor,
- frézy stopkové – upínají se na válcovou nebo kuželovou stopku.

Podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena:

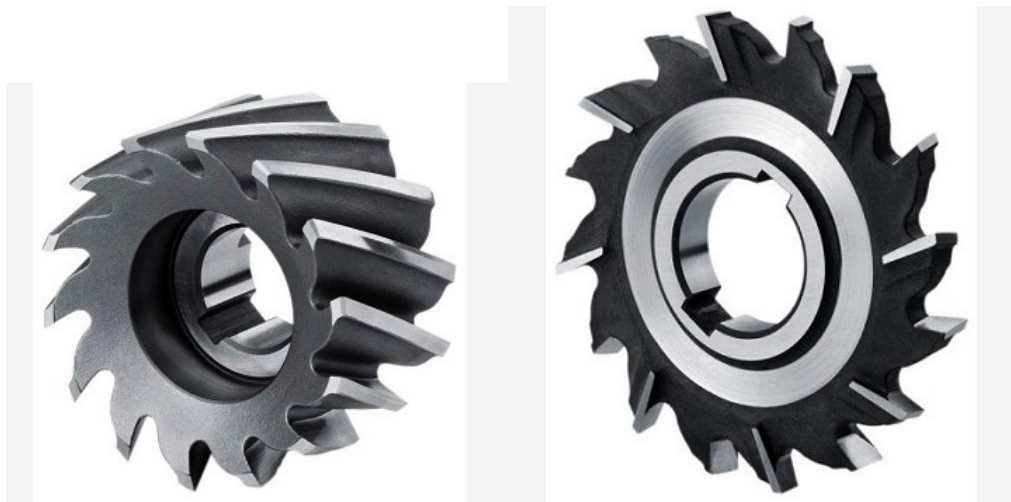
- frézy pravořezné,
- frézy levořezné^{3,4}.



Obrázek 2.9 – (vlevo) fréza čelní, zuby ze slinutých karbidů ve šroubovici, polohrubozubá, s vyměnitelnými břitovými destičkami, (uprostřed) fréza hrubozubá, čelní, s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů, (vpravo) fréza čelní s přímými zuby, hrubozrná, s vyměnitelnými břitovými destičkami⁴.



Obrázek 2.10 – (vlevo) fréza válcová čelní, ze slinutých karbidů, se zuby frézovanými ve šroubovici, hrubozubá, celistvá, drážkovací, (vpravo) fréza kopírovací, čelní válcová, ze slinutých karbidů, celistvá se zuby ve šroubovici⁴.



Obrázek 2.11 – (vlevo) fréza válcová čelní, levořezná, jemnozubá, nástrčná, z rychlořezné oceli, (vpravo) fréza kotoučová, polohrubozubá, z rychlořezné oceli.

Zdroj: <https://www.i-nastroje.cz/Freza-kotoucova-polohrubozuba-HSS-63x22x8-mm-CSN-222161-F720370-d927.htm>

2.4.1 Upínání nástrojů (fréz)

Frézy musí být upnuty vždy pevně a spolehlivě. Při špatném upnutí frézy házejí, jsou jednostranně namáhány, špatně řezou a obrobené plochy nejsou kvalitní. Na upínací systém nástrojů jsou kladeny také tyto požadavky:

- souosost frézy a vřetena stroje,
- musí být zaručena opakovaná přesnost upnutí při výměně nástrojů,
- pevnost proti axiálním silám i proti pootočení,
- vhodnost pro vysoké otáčky⁶.

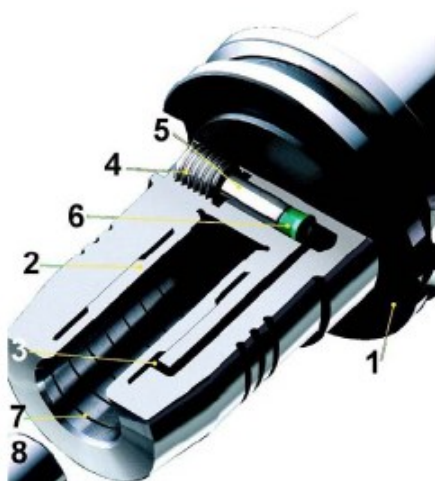
Nástrčné frézy (válcové, kotoučové, tvarové apod.) se upínají na frézovací trny. Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetene se vyrábí buď metrický s kuželovitostí 1:20, Morse 1:19 až 1:20, nebo strmý 1:3,5. Tím, že jsou metrický a Morse kužel samosvorné, přenášejí krouticí moment z vřetena na trn. Pro dokonalý přenos krouticího momentu má konec vřetena obdélníkové vybrání, do něhož zapadá zploštělý nákrůžek na konci frézovacího trnu. U strmého kužele se krouticí moment přenáší dvěma kameny upevněnými na čele vřetena. Ten přímo zapadá do vybrání nákrůžku frézovacího trnu^{4,6}.



Obrázek 2.12 – Upínání nástrčné frézy⁶.

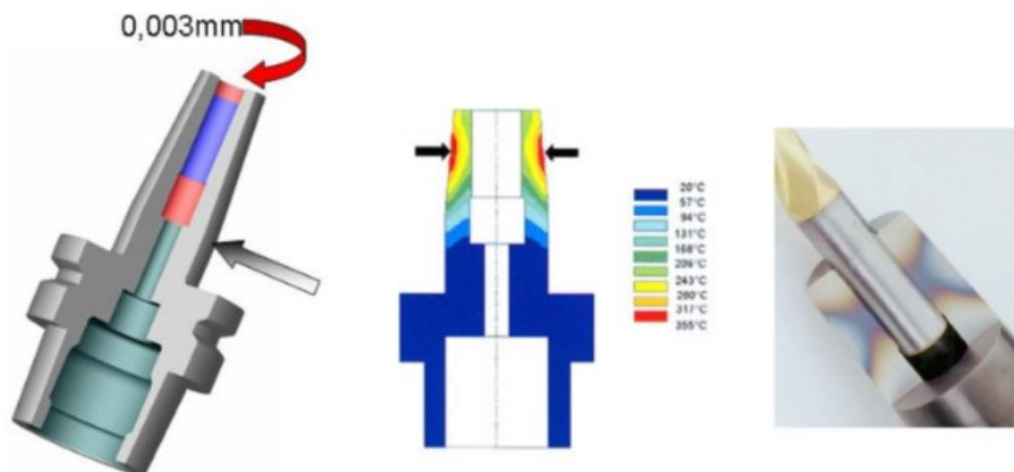
Frézy s kuželovou upínací stopkou se upínají přímo do kuželové dutiny vřetena frézky v případě, je-li kužel upínací stopky frézky a dutiny vřetena shodný. Je-li kužel upínací stopky menší než kužel dutiny vřetena, je nutno k upínání použít redukční pouzdra⁶.

Pro upínání fréz s válcovou stopkou (průměr 3-50 mm) se velmi často používají speciální tepelné nebo hydraulické upínače. Princip tepelného upínače spočívá v ohřívání nástroje, který je vložen do tělesa upínače, magnetickým polem cívky vysokofrekvenčního generátoru. Proces ohřevu je tak rychlý, že zvýšení teploty nástroje v důsledku vedení tepla je minimální⁴.



- 1 – hydraulický upínač
- 2 – pouzdro
- 3 – dutina upínače
- 4 – šroub
- 5 – píst
- 6 – těsnění
- 7 – drážky
- 8 – válcová stopka nástroje

Obrázek 2.13 – Hydraulický upínač fréz⁴.



Obrázek 2.14 – Tepelný upínač s indukčními cívkami⁶.

2.4.2 Upínání obrobků

Účelem upnutí obrobku je zajištění jeho správné polohy vůči nástroji, zabezpečení obrobku proti posouvání vzhledem k nástroji a zachycení řezných sil vyvolaných nástrojem při obrábění. Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upínání obrobků musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Obrobek však nesmí být deformován upínací silou.

Upínání může být:

- mechanické,
- elektromagnetické,
- hydraulické,
- pneumatické.

Menší obrobky se obvykle upínají do běžných strojních svěráků, otočných a sklopných svěráků. Rozměrnější obrobky se upínají různými upínacími pomůckami, jako jsou upínky, opěrky, podpěrky, atd. Upínací pomůcky se upevňují do T-drážek stolu frézky pomocí speciálních šroubů s čtvercovou hlavou.

Na číslicově řízených frézách při přesném obrábění slouží k upínání technologické palety, se kterými se obrobek může pohybovat mezi jednotlivými obráběcími stroji.

Při navrhování způsobu upnutí obrobku je třeba uvažovat předpokládaný směr působení řezné síly, její velikost a proměnlivost. Volba způsobu upnutí a výběr upínacího prostředku závisí:

- na druhu a způsobu frézování,
- na velikosti a tvaru obrobku,

- na počtu vyráběných kusů,
- na požadované přesnosti^{4,7}.

2.5 Stroje (frézky) pro frézování

Frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů, velikostí i výkonů s rozmanitým příslušenstvím.

- Konzolové frézky

Patří mezi nejrozšířenější. Jsou charakterizovány výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje ve svislém směru po vedení stojanu stroje. Na konzole je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Proto lze přestavování obrobku upnutého na pracovním stole provádět ve třech pravouhlých souřadnicích vzhledem k nástroji. Používají se pro obrábění rovinných a tvarových ploch menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě.

Dělíme je na:

- vodorovné – mají vodorovnou osu pracovního vřetene, která je rovnoběžná s plochou podélného stolu a současně kolmá na směr pohybu podélného stolu, pro obrábění se používají především válcové, kotoučové a tvarové frézy, stůl je ve vodorovné rovině otočný kolem svislé osy o $\pm 45^\circ$,
- svislé – mají osu pracovního vřetene kolmou k upínací ploše stolu, natáčení svislé hlavy je možné o $\pm 45^\circ$ na obě strany, pro obrábění se používají čelní frézy upnuté na krátkém trnu nebo frézy s kuželovou stopkou, upínané přímo do kužele vřetena, frézují se zejména rovinné plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky v těchto plochách a tvarové plochy,
- univerzální – spojují výhody obou výše uvedených typů, jsou vybaveny výsuvným ramenem pro upínání trnu s válcovou frézou a také svislou hlavou pro upínání čelních fréz a frézovacích hlav, s výhodou se dají použít pro frézování šroubových drážek na vrtácích, zubových mezer na frézách a výhrubnicích se zuby ve šroubovici atd., mohou být vybaveny i frézovací hlavou, otočným stolem, obrážecí hlavou, dělicím přístrojem.

- Stolové frézky

Mají podélný příčný stůl. Svislý pohyb je prováděn přemísťováním vřeteníku po vedení stojanu stroje. Na stolových frézkách lze produktivně a zároveň velmi kvalitně obrábět velké a těžší součásti. Existují jak vodorovné tak svislé.

- Rovinné frézky

Jsou to robustní stroje, které patří mezi nejvýkonnější ze všech druhů frézek. Je na nich tedy možné obrábět obrobky velkých rozměrů a hmotností. Na rovinných frézkách se obrábí nejčastěji frézovacími hlavami při obrábění vodorovných, šikmých i svislých ploch a stopkovými frézami při frézování úzkých ploch a drážek⁴.

2.6 CNC obrábění

Současné náročné požadavky na výrobek, na jeho kvalitu a funkčnost, požadavky na výrazné zvýšení produktivity práce, rostoucí nároky na flexibilitu výrobního systému, rychle se měnící sortiment výroby, zkracování časů na inovace, větší nároky na spolehlivost výrobního systému a mnohé další požadavky už není možné v současnosti realizovat konvenčními metodami přípravy, plánování a řízení výroby. Na tyto náročné požadavky reaguje koncept integrované výroby využívající nejmodernější prostředky výpočetní techniky a progresivní metody informačních technologií a vznikají obráběcí centra⁸.

Klíčovou předností CNC strojů je velmi snadný přechod mezi jednotlivými typy vyráběných součástí. Přechod z jednoho typu obrobku na jiný se provádí změnou řídicího programu (NC programu), který buď částečně, nebo úplně využívá seřízeného nástrojového a měřicího vybavení. Další významnou předností CNC strojů je jejich zcela automatický chod. Ovládání veškerých funkcí (jednotlivé pohyby řezného nástroje, nastavení pohybových rychlostí i otáček nástrojů, výměny nástrojů nebo obrobků pro jednotlivé výrobní operace atd.) je realizováno postupným zpracováváním jednotlivých řádků NC programu (zpracováváním tzv. bloků). Všechny informace nezbytné pro obrobení součástí na stroji jsou tedy předem zaznamenány formou řad alfanumerických znaků. Mezi tyto nezbytné výrobní informace je možno zařadit:

- rozměrové informace pro výrobu jednotlivých ploch součástí,
- informace o otáčkách řezného nástroje, posuvové rychlosti, řezném prostředí atd.

Číslicově řízené obráběcí stroje jsou tedy již konstrukčně uzpůsobovány pro práci v automatickém režimu. Jejich programování se realizuje prostřednictvím speciálního komunikačního (strojního) panelu nebo zcela externě na pracovištích vybavených výkonnými počítačovými stanicemi. Z pohledu NC programování tak rozlišujeme např. CAD/CAM systémy, dílensky orientované programování a tzv. ISO programování (někdy také nazývané programování v G-kódu). Spojení CAD systému SolidWorks a CAM systém SolidCAM nabízí propracované řešení obrábění přímo v prostředí SolidWorks^{8,11}.

Podle počtu os zapojených do obrábění dělíme obráběcí centra na:

- 2osé frézování – obrábění typických strojních dílců prizmatického charakteru, opracování odlitků či výkovků, nejčastěji používané funkce jsou konturování, kapsování, drážkování a vrtací a závitovací operace,
- 3osé frézování – uplatňuje se při obrábění tvarových dílců, vstřikovacích forem, kovacích zápustek nebo slévárenských modelů, soubor obráběcích strategií je sestaven s ohledem na obrábění těch nejsložitějších 3D tvarů,
- 4osé a 5osé frézování – umožňuje vysoký řezný výkon nástroje při jeho plynulém řízení po zvolené dráze s plynulou změnou vektoru osy nástroje, obrobení nedostupných oblastí^{8,11,12}.

2.7 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je závislá na vstupních parametrech:

- druhu obráběného materiálu,
- materiálu břitu řezného nástroje,
- způsobu práce,
- způsobu upnutí obrobku,
- druhu řezné kapaliny¹³.

Řezná rychlost v_c se měří na největším průměru frézy – jedná se tedy o obvodovou rychlost frézy.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, \text{ popřípadě po úpravě výpočet } n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}, \text{ kde} \quad (2.1)$$

D – průměr nástroje [mm],

n – otáčky nástroje [min^{-1}].

Posuv na zub f_z [mm] je základní jednotkou posuvového pohybu. Je to délka dráhy obrobku za dobu záběru zubu. Posuv na otáčku f_n je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje.

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \text{ kde} \quad (2.2)$$

z – počet zubů (břitů) nástroje [-].

Výpočet posuvové rychlosti v_f :

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}, \text{ kde} \quad (2.3)$$

n – otáčky nástroje [min^{-1}].

Rychlost posuvu také závisí na:

- obrobitelnosti materiálu,
- druhu použité frézy,
- na průřezu třísky,
- na požadované drsnosti obrobené plochy^{4,13}.

2.8 Technologický postup

Technologický postup je organizovaný sled kvalitativních a kvantitativních změn, jimiž prochází obrobek při své přeměně v hotový výrobek. Určuje potřebné výrobní zařízení, nástroje, přípravky, řezné, upínací, pracovní a měřicí podmínky potřebné pro danou operaci tak, aby součást byla podle daného postupu vyrobitelná s minimálními náklady a splňovala požadavky dané technickou dokumentací.

Technologické postupy můžeme dělit do čtyř stupňů:

- operace – ukončená a souvisle prováděná část výrobního procesu vykonaná na jednom nebo několika pracovních předmětech na jednom pracovišti, zpravidla jedním nebo skupinou pracovníků (např. frézování),
- úsek – část operace, při které se vykonává práce za přibližně stejných technologických podmínek,
- úkon – ucelená jednoduchá pracovní činnost (např. upnutí obrobku, nastavení řezných podmínek),
- pohyb – nejjednodušší část pracovní činnosti ve výrobním postupu (např. uchopit klíč).

Výrobní postup je vedle výrobního výkresu a konstrukčního kusovníku jedním ze základních výrobních dokumentů. Kromě identifikačních údajů (číslo zakázky, číslo výkresu součásti apod.) obsahuje výrobní postup technické, organizační a ekonomické informace nezbytné pro realizaci výrobního procesu. Je ovlivňován mnoha činiteli.

Jedním z faktorů, které významně ovlivňují výslednou přesnost součásti je správná volba základen:

- konstrukční základny – jsou plochy, osy nebo body umožňující určit polohu součásti vzhledem k ostatním součástem při jejich funkci,
- technologické základny – určují polohu obrobku při jeho ustanovení na stroji nebo v přípravku vůči řezným nástrojům a současně zajišťují podmínky pro dodržení všech požadavků na jakost výrobku,
- kontrolní základny – slouží pro kontrolu dosažených parametrů rozměrové a tvarové přesnosti vyráběné součásti.

Operace by měly být řazeny v takovém sledu (pořadí), aby výrobní postup zajišťoval technické podmínky požadované konstruktérem ve výrobním výkrese. Při návrhu sledu operací je nutné přihlížet k tomu, aby předcházející operace upravovaly povrch součásti pro operace následující, a to tak, aby se součásti daly ve stroji rychle, bezpečně, přesně ustavit a upnout.

Obecně první operací je příprava materiálu, která zajišťuje přípravu polotovaru a hutního materiálu. Pro další sled operací platí pravidlo, že hrubovací operace se zařazují na počátek a operace, které dávají součásti konečný tvar, ovlivňují přesnost a jakost se zařazují až na konec výrobního postupu.

2.8.1 Zásady pro vypracování technologického postupu

Vypracování technologických postupů je velmi různorodé a ani výrobní postupy na stejnou součást nejsou v různých dílnách téhož závodu shodné. Při tvorbě technologického postupu se zpracovává velké množství informací. Neexistuje přesný návod pro jeho tvorbu, ovšem lze všeobecně postupovat podle níže uvedené metodiky:

- studium výrobních výkresů (zohlednit tvary, rozměry, tolerance, jakost povrchu, údaje v popisném poli, poznámky o tepelném zpracování, povrchové úpravě aj.),
- kontrola údajů o materiálu zadaných konstruktérem z hlediska navržené technologie (určení přídavků, velikosti polotovaru, neopomenout přípravu materiálu ve skladu a v případě nutnosti předepsat materiálové zkoušky),

- určení výchozí základny, což je plocha, od které bude součást obráběna, nebo ke které jsou ostatní plochy a osy vztaženy,
- stanovení operací a optimálního sledu těchto operací,
- popis rozsahu operací (měl by být stručný, srozumitelný, jednoznačný a úplný, pokud je to požadováno, tak rozpis až na úseky, úkony a pohyby),
- stanovení pracoviště a stroje (podle číselníku se stanoví, na které dílně a stroji bude operace prováděna),
- kooperace (pokud se jedná o součást celku, kterou nejsme schopni vyrobit, tak je nutno zajistit její výrobu v jiném podniku),
- určení výrobních pomůcek (běžné i speciální),
- rozbor a zhodnocení jednotlivých variant výrobních postupů,
- konečný návrh výrobního postupu,
- hodnocení hospodárnosti zvoleného postupu.

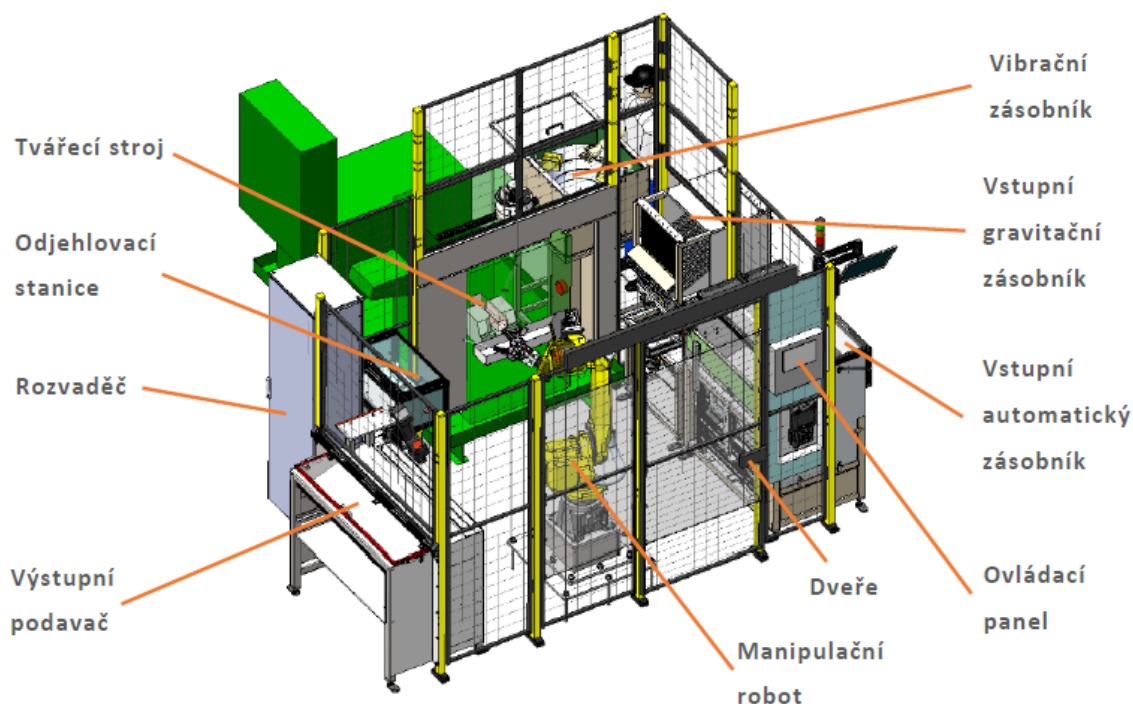
Důležitá je taktéž komunikace mezi technologem a konstruktérem. Každý technolog musí být také konstruktérem a opačně⁴.

3 Návrh vlastního řešení – postup

3.1 Automatizované pracoviště pro tváření koncovek HMG peanut

Autor spolupracuje s firmou TRYSTOM, spol. s r. o., která se zabývá především automatizací výroby. Nyní pracovala na lince sloužící pro tváření koncovek. Zde autorem práce byly navrženy čelisti chapadla, které přemísťují trubky mezi jednotlivými operacemi automatizované linky. Dále byl autorem práce navrhnout technologický postup výroby čelistí a to včetně stroje, nástrojů a řezných podmínek.

Automatizované pracoviště pro tváření koncovek HMG peanut, viz obr. 3.1, slouží k automatické manipulaci trubek mezi vstupním zásobníkem, tvářecím strojem, odjehlováním, rozměrovou kontrolou pomocí digitálního profilometru a výstupním zásobníkem. Manipulace je prováděna robotem Fanuc, který je osazen dvojitou manipulační hlavou.



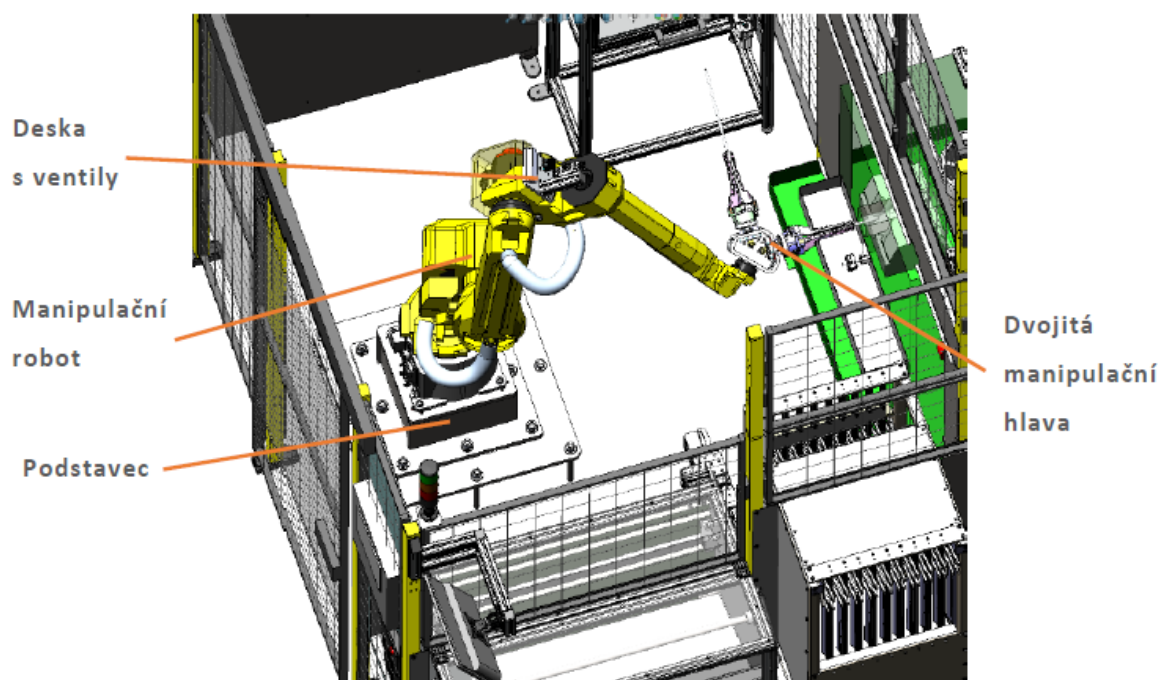
Obrázek 3.1 – Automatizované pracoviště pro tvářeni koncovek HMG peanuty.

Zdroj: vlastní zdroj

Automatizační linka se skládá z manipulačního robota na podstavci, který je opatřen dvojitou manipulační hlavou. Na pravé straně linky se nachází vstupní automatický zásobník pro materiál (hliníkové trubky délky 90-1000 mm), vedle něj stojí vstupní gravitační zásobník na trubky s již natvarovaným netvářeným koncem do určité délky, která nejde podávat z automatického vstupního podavače. V zadní části se nachází tvářecí stroj. Po jeho pravé straně stojí vibrační zásobník, který tvářecímu stroji podává peunaty. Po levé straně tvářecího stroje se nachází odjehlovací stanice s rozměrovou kontrolou. Na levé straně se nachází výstupní zásobník s prostorem pro OK a NOK výrobky. Celý pracovní prostor robota je uzavřen v bezpečnostním oplocení X-Guard, přístup do něj je zajištěn pomocí posuvných dveří.

3.2 Manipulační robot

Základním prvkem automatizační linky je manipulační robot Fanuc M-20iA/12L, viz obr. 3.2, stojící na svařovaném podstavci, který je pevně ukotven k podlaze. Na třetí ose robota se nachází deska s blokem ventilů pro ovládání dvojité hlavy robota. Šestá osa je osazena dvojitou manipulační hlavou, pro uchopování trubek při manipulaci.

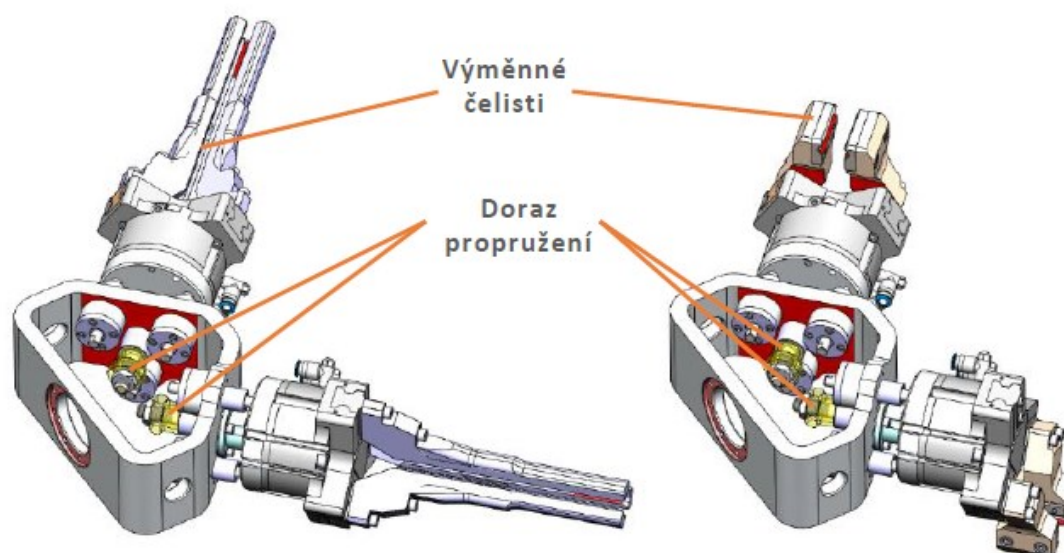


Obrázek 3.2 – Manipulační robot Fanuc, deska s ventily s ovládáním robota a dvojitá manipulační hlava robota.

Zdroj: vlastní zdroj

3.3 Dvojitá manipulační hlava

Manipulační hlava, viz obr. 3.3, se skládá z dvojice pneumatických tříčelistových chapadel Zimmer, která jsou upevněna na vodících tyčích. Chapadla na tyčích jsou uložena odpruženě a maximální rozsah propružení je 5 mm.



Obrázek 3.3 – Dvojitá manipulační hlava robota

Zdroj: vlastní zdroj

Dvojitá manipulační hlava je vyrobena ve dvojitým provedení z důvodu variability celé linky. Hlava robota uchopuje trubky různých průměrů i délek. Autorem práce byly navrženy a vyrobeny čelisti chapadla viz obr. 3.3 (pravé). Z důvodu variability linky jsou chapadla vyrobeny ve dvojitým provedení viz obr. 3.3 (levé pro delší trubky a pravé pro kratší trubky).

3.4 Čelisti chapadla

Autorem bylo zaměřeno především na pneumatický upínač GPD5008NC-00-A od firmy Zimmer, viz obr. 3.4, na které se připevňují čelisti chapadla. Jedná se tříčelist'ové centrické chapadlo vysoké kvality poháněné stlačeným vzduchem.



Obrázek 3.4 – Pneumatický upínač GPD5008NC-00-A od firmy Zimmer.

Zdroj: <https://www.zimmer-group.com/sk/technologie-a-komponenty/manipulacna-technika/chapadla/pneumaticke/3-celustove-centricke-chapadla/seria-gpd5000/izdelki/gpd5008nc-00-a>

Tab. 3.1 – Technické parametry pneumatického upínače GPD5008NC-00-A¹⁴

zdvih na čelist [mm]	8
uchopovací síla [N]	1690
pružinou zabezpečená uchopovací síla [N]	430
doba sevření [s]	0.035
čas rozevření [s]	0.055
hmotnost chapadla [kg]	0.7
max. provozní tlak [bar]	7
min. provozní tlak [bar]	4
provozní teplota [°C]	-10...+90
max. uchopovací délka čelisti [mm]	115

Technické nákresy celého chapadla viz příloha B.

Autorem práce byla uvažována zejména místa trubek za, které jej budou čelisti uchopovat. Čelisti, dle parametrů rozevření tříčelistového pneumatického upínače a dle míst uchycení trubek, byly navrženy tak, aby se upínač dostatečně rozevřel k bezproblémovému najetí na místo úchopu trubek a rovněž sevřel v místech k tomu určených viz výkres č. P0012801 a P0012799. Na funkční ploše čelistí se nachází kapsa, která byla autorem práce navržena z důvodu variability uchopování různých průměrů trubek, na které se připevňuje vyměnitelné prizma. Další výhodou prizmatu je jeho snadná výměna. A rovněž nedochází k výraznému opotřebení čelistí.

3.5 Řezné podmínky

Řezné podmínky byly autorem práce vypočítány na základě doporučených řezných rychlostí a posuvů dle jednotlivých výrobců viz kapitola 4.3. Výpočty otáček vřetene a posuvových rychlostí byly vypočítány pomocí vzorců (2.1, 2.3) viz kapitola 2.7.

$$\text{Pro fréza } \varnothing 12\text{mm: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{240 \cdot 1000}{12 \cdot \pi} = 6366 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,09 \cdot 4 \cdot 6366 = 2291 \text{ [mm/min]}$$

$$\text{Pro fréza } \varnothing 8\text{mm: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{240 \cdot 1000}{8 \cdot \pi} = 9600 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,05 \cdot 4 \cdot 9600 = 1920 \text{ [mm/min]}$$

$$\text{Pro fréza } \varnothing 6\text{mm: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{220 \cdot 1000}{6 \cdot \pi} = 11671 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,04 \cdot 4 \cdot 11671 = 1867 \text{ [mm/min]}$$

$$\text{Pro fréza } \varnothing 4\text{mm: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{150 \cdot 1000}{4 \cdot \pi} = 11933 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,035 \cdot 4 \cdot 11933 = 1670 \text{ [mm/min]}$$

$$\text{Pro fréza } \varnothing 3\text{mm: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{110 \cdot 1000}{3 \cdot \pi} = 11677 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,028 \cdot 4 \cdot 11677 = 1307 \text{ [mm/min]}$$

$$\text{Pro TK rádiusová fréza: } n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{145 \cdot 1000}{4 \cdot \pi} = 11535 \text{ [1/min]}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,03 \cdot 4 \cdot 11535 = 1384 \text{ [mm/min]}$$

Pro TK odjehlovač hran: $n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{100 \cdot 1000}{6 \cdot \pi} = 5305 \text{ [1/min]}$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,03 \cdot 4 \cdot 5305 = 636 \text{ [mm/min]}$$

Pro vrták $\varnothing 5,2\text{mm}$: $n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{120 \cdot 1000}{5,2 \cdot \pi} = 7362 \text{ [1/min]}$

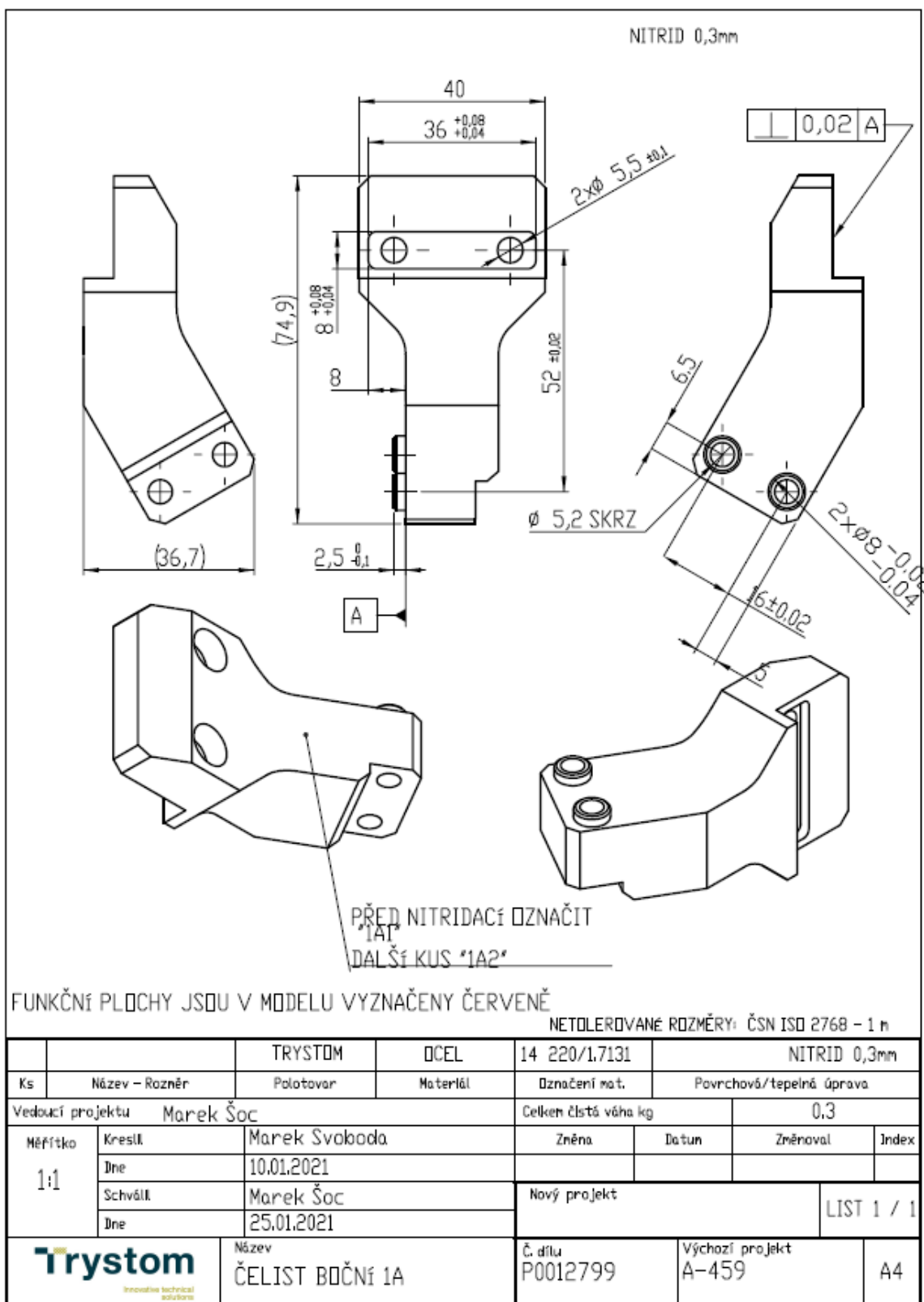
$$v_f = f_n \cdot n = 0,15 \cdot 7362 = 1105 \text{ [mm/min]}$$

Pro vrták $\varnothing 5,5\text{mm}$: $n = \frac{vc \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{120 \cdot 1000}{5,5 \cdot \pi} = 6948 \text{ [1/min]}$

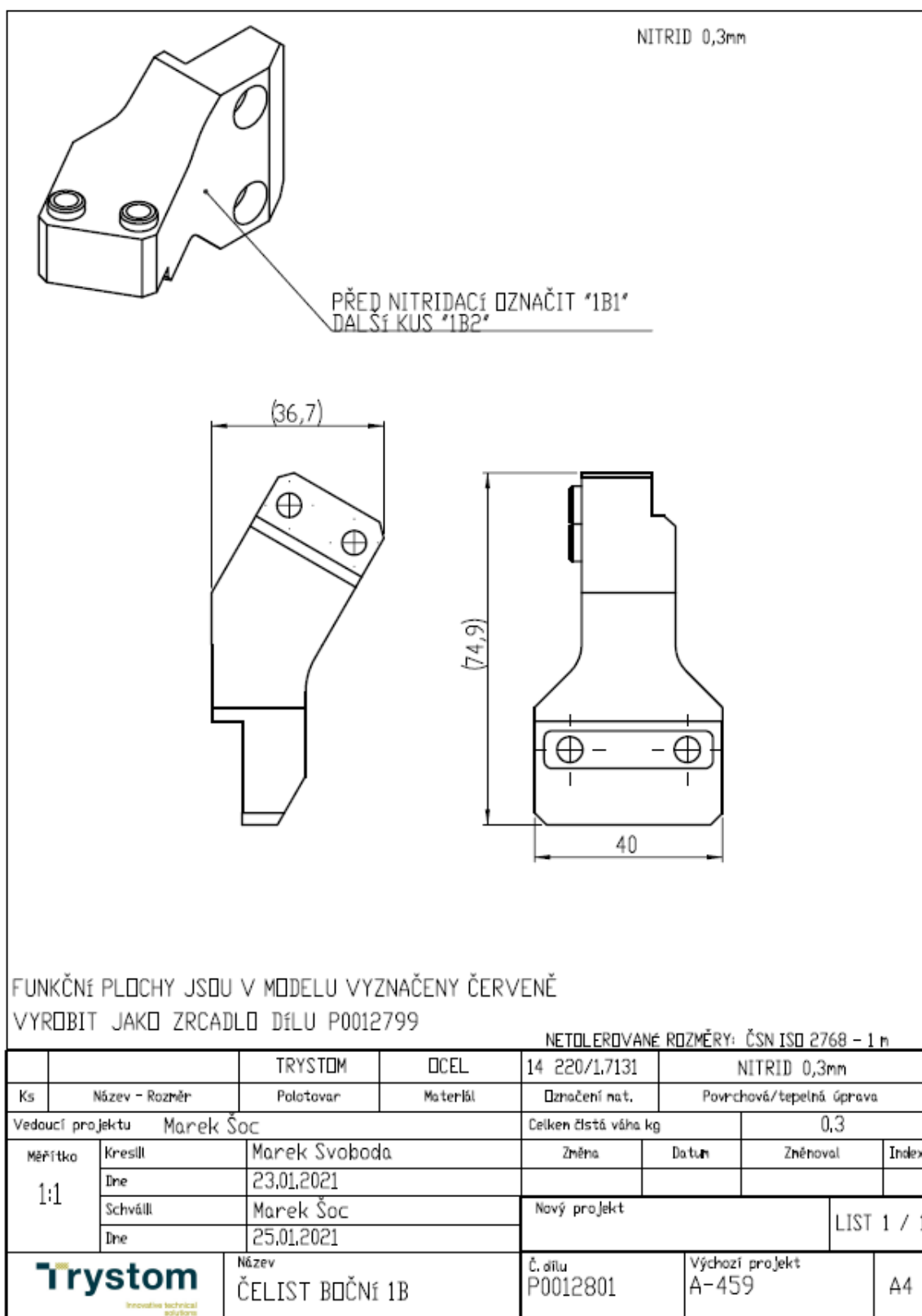
$$v_f = f_n \cdot n = 0,15 \cdot 6948 = 1042 \text{ [mm/min]}$$

3.6 Technologický postup součásti chapadla

Výkres č. P0012799 – Čelist chapadla 1A



Výkres č. P0012801 – Čelist chapadla 1B

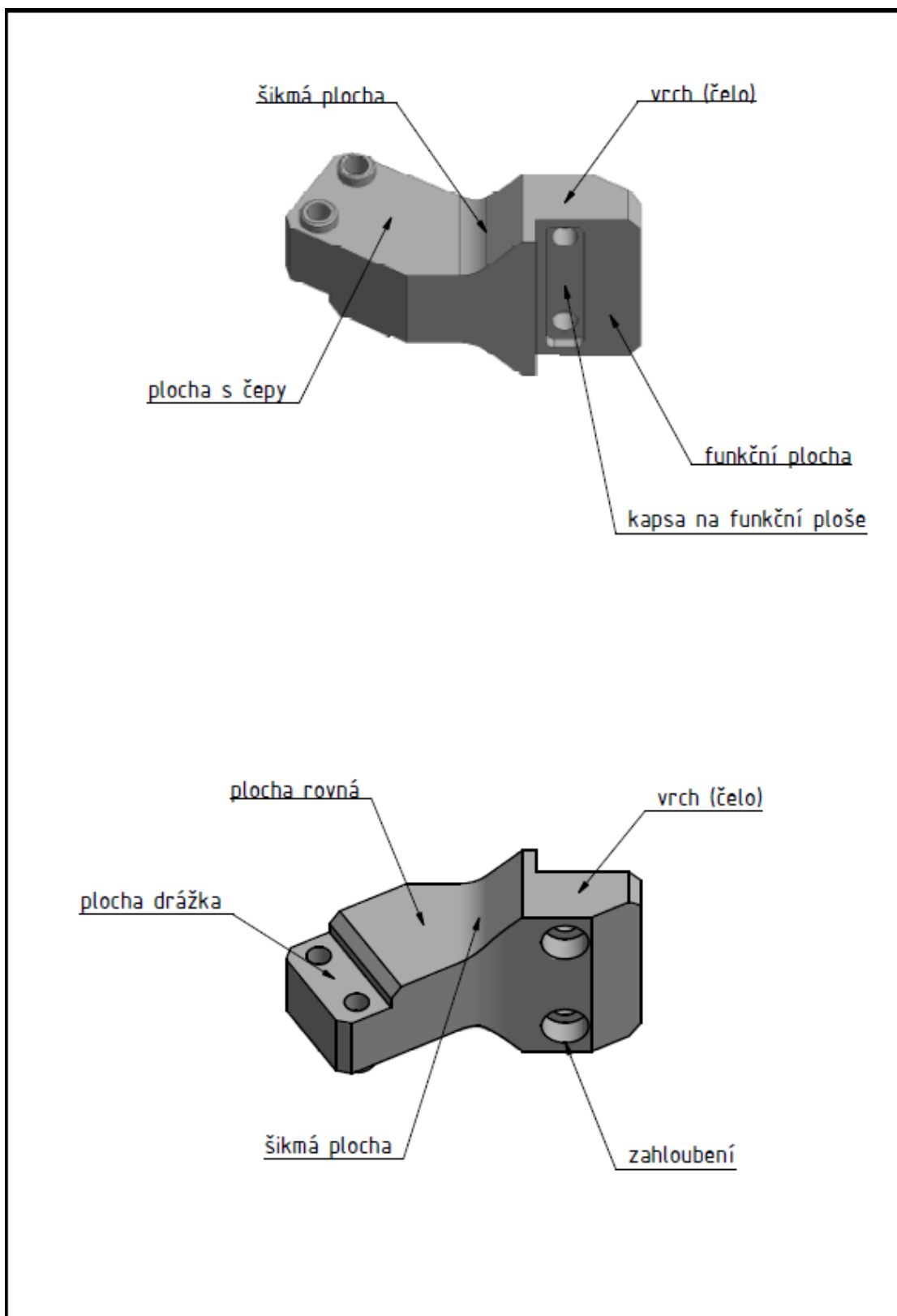


TECHNOLOGICKÝ POSTUP							List 1
TRYSTOM, spol. s r. o.				výchozí projekt A-459	č. výkresu P0012799		
Výrobek ČELIST BOČNÍ 1A					Série		Počet kusů 1
pos.	ks	Hmotn.	Rozměr polotovaru	Jakost materiálu	Zpracoval		cena Kč
	1	0,3	4HR50, dl. 0,1m	14 220	Marek Svoboda		-
č.o.	popis práce			stroj, nástroj, měřidlo	f _z [mm/ot]	ap,ae [mm]	v _c [m/min]
1	Upnutí do svěráku za rozměr 50 mm (upnutí 5 mm)			MCV 750	-	-	-
2	Hrubovat obvod + vrch			GP fréza ø12 mm, přídavek 0,2 mm	0,09	3	240
3	Dokončení vrch (čelo)			GP fréza ø12 mm	0,09	0,2	240
4	Dokončení obvod (kromě funkční plochy)			GP fréza ø12 mm	0,09	0,2	240
5	Vrtání díra ø5,2 mm skrz, 2x			GP uni vrták ø5,2 mm	0,15	-	120
6	Vrtání díra ø5,5 mm skrz, 2x			GP uni vrták ø5,5 mm	0,15	-	120
7	Hrubovat funkční plocha			GP fréza ø4 mm, přídavek 0,2 mm dno+bok	0,035	3	150
8	Hrubovat kapsu na funkční ploše			GP fréza ø4 mm, přídavek 0,2 mm dno+boky	0,035	3	150
9	Hrubovat roh + šikmá plocha			GP fréza ø4 mm, přídavek 0,2 mm	0,035	3	150
10	Hrubovat plocha kolem čepů + čepy			GP fréza ø4 mm, přídavek 0,2 mm dno+čepy	0,035	3	150
11	Dokončení funkční plochy			GP fréza ø4 mm	0,035	0,2	150
12	Dokončení plocha kolem čepů + čepy			GP fréza ø4 mm	0,035	0,2	150
13	Dokončení kapsy na funkční ploše			GP fréza ø3 mm	0,028	0,2	110
14	Dokončení úhlů 90° na funkční ploše, v kapse a kolem čepů			GP fréza ostrá ø3 mm	0,028	-	110

15	Zahloubení pro šrouby $\phi 6$ mm	GP fréza $\phi 6$ mm,	0,04	3	220
16	Dokončení roh + šikmá plocha	TK rádiusová fréza MTC 4mm	0,03	0,2	145
17	Odjehlení hran + zahloubení + díry $\phi 5,2$ a $\phi 5,5$ mm	TK odjehlovač hran 6mm 90° TiAlN	0,03	-	145
18	Zkosení čepů + odjehlení vnitřních průměrů čepů	TK odjehlovač hran 6mm 90° TiAlN	0,03	-	145
19	Vyjmutí, otočení, upnout do svěráku za druhou stranu	-	-	-	-
20	Hrubovat vrch+obvod	GP fréza $\phi 12$ mm, přídavek 0,2 mm	0,09	3	240
21	Dokončení vrch (čelo)	GP fréza $\phi 12$ mm	0,09	0,2	240
22	Hrubovat plochu rovnou	GP fréza $\phi 12$ mm, přídavek 0,2 mm	0,09	3	240
23	Hrubovat plochu (drážka)	GP fréza $\phi 12$ mm, přídavek 0,2 mm dno+bok	0,09	3	240
24	Hrubovat rohy + šikmé plochy	GP fréza $\phi 12$ mm, přídavek 0,2 mm	0,09	3	240
25	Dokončení plochy rovné	GP fréza $\phi 8$ mm	0,05	0,2	240
26	Dokončení plochy (drážka)	GP fréza $\phi 8$ mm	0,05	0,2	240
27	Dokončení rohy + šikmé plochy	TK rádiusová fréza MTC 4mm	0,03	0,2	145
28	Dokončení úhlu 90° na ploše (drážka)	GP fréza ostrá $\phi 3$ mm	0,028	-	110
29	Odjehlení hran a otvorů pro šrouby	TK odjehlovač hran 6mm 90° TiAlN	0,03	-	145
30	Kontrola	Mikrometr, digitální úchylkoměr, držák na měření kolmosti	-	-	-
31	Nitridace 0,3mm	kooperace	-	-	-

Níže je přidán náhled, viz příloha A, na model s popisem ploch, jak jsou označené v technologickém postupu.

Příloha A – Model s popisem ploch



Modelování a konstrukce čelistí byly autorem práce prováděny v programu SolidWorks. Následně byl technologický postup zpracován s ohledem na programování

obrábění v programu SolidCAM, kde programátor má k dispozici modely, výkresy a technologický postup. Z tohoto důvodu jsou na výkresech pouze základní rozměry a tolerance kvůli přehlednosti.

Na konci diplomové práce byla autorem práce přidána příloha C s obrázky průběhu obrábění v programu SolidCAM.

4 Diskuse experimentů

4.1 Materiál chapadla

Materiál byl autorem práce zvolen ČSN 14220. Jedná se o ušlechtilou konstrukční mangan-chromovou ocel. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena, je dobře obrobitelná a svařitelná. Vhodná pro strojní součásti pro zušlechťení do průměru 35 mm, k cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy a zubové spojky¹⁵.

Tab. 4.1 – Chemické složení oceli ČSN 14220 (hm. %)¹⁶

C	Si	Mn	Cr	P	S
0.14- 0.19	0.17- 0.37	1.10- 1.40	0.80- 1.10	max. 0,035%	max. 0,035%

4.1.1 Nitridace chapadla

Na konci výroby bylo autorem práce navrženo chemicko – tepelné zpracování a to nitridace. Tloušťka vrstvy 0,3mm. Nitridace byla navržena z důvodů:

- zvýšení tvrdosti,
- vytvoření hladší a otěruvzdornější vrstvy,
- tvrdost nitridací převyšuje tvrdost kalením,
- delší životnosti chapadla.

4.2 Volba obráběcího stroje

Jelikož firma disponuje několika obráběcími stroji, tak autorem práce bylo navrženo obrábění na obráběcím centru MCV 750 speed. Výjimečně, pokud nestačí firemní výrobní kapacity, tak se zadává výroba do kooperace.

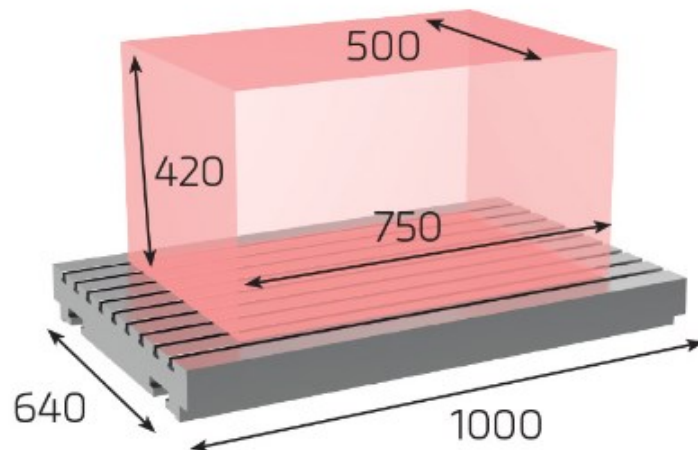
4.2.1 Obráběcí centrum MCV 750 speed viz obr. 4

- Vysoce efektivní obrábění je zajištěno aplikací vysokorychlostních vřeten a vysokými rychloposuvy,
- snadný přístup do pracovního prostoru díky posuvným krytům, které odkrývají jeden roh pracovního prostoru,
- vysoká tuhost nosného rámu stroje umožňuje jak silové obrábění, tak velice přesné obrábění složitých dílců,
- dynamika lineárních os umožňuje vysokorychlostní obrábění forem,
- možnost 4 a 5-ti osého obrábění s využitím přídavného otočného a sklopného stolu,
- přímé odměřování – rychlé a přesné polohován,
- účinné odstraňování třísek,
- použití výkonných nástrojů s vysokotlakým středovým chlazením¹⁷.

Tab. 4.2 – Technické parametry stroje¹⁷

upínací plocha stolu [mm]	1000 x 640
T – drážky (počet, šířka, rozteč) [mm]	4 x 18 x 125
maximální zatížení stolu [kg]	650
pracovní rozsah X – osa [mm]	750
pracovní rozsah Y – osa [mm]	500
pracovní rozsah Z – osa [mm]	500
vzdálenost čela vřetena od upínací plochy stolu [mm]	145 – 645
kuželová dutina vřetena	ISO 40/HSK A63
maximální otáčky [min^{-1}]	12000
změna otáček	plynule měnitelné
pracovní posuv X, Y, Z [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	1 - 40000
rychloposuv [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	40
počet míst v zásobníku	24
maximální délka nástroje [mm]	350
maximální průměr nástroje [mm]	77
max. průměr nástroje s vynecháním sousedních nástrojů	150
čas výměny sousedního nástroje [s]	4
maximální hmotnost nástroje [kg]	6.5
výkon motoru vřetena SIEMENS (S1/S6 - 40%) [kW]	32/48

jmenovitý krouticí moment (S1/S6 - 40%) [Nm]	130/200
přesnost nastavení polohy [mm]	0.01
opakovatelnost nastavení polohy [mm]	0.004
pracovní tlak vzduchu [MPa]	0.55 – 0.6
rozměry (d x š x v) [mm]	3700 x 2220 x 2735
hmotnost stroje [kg]	5250



Obrázek 4.1 – Pracovní prostor obráběcího centra MCV 750 speed¹⁷.

4.3 Volba nástrojů

Nástroje byly autorem práce vybrány na základě obráběného materiálu viz kapitola 4.1, obráběcího stroje viz kapitola 4.2 a zkušenostech s nástroji od firmy Precitool a Hoffman Group, které dodávají nástroje pro přesné obrábění.

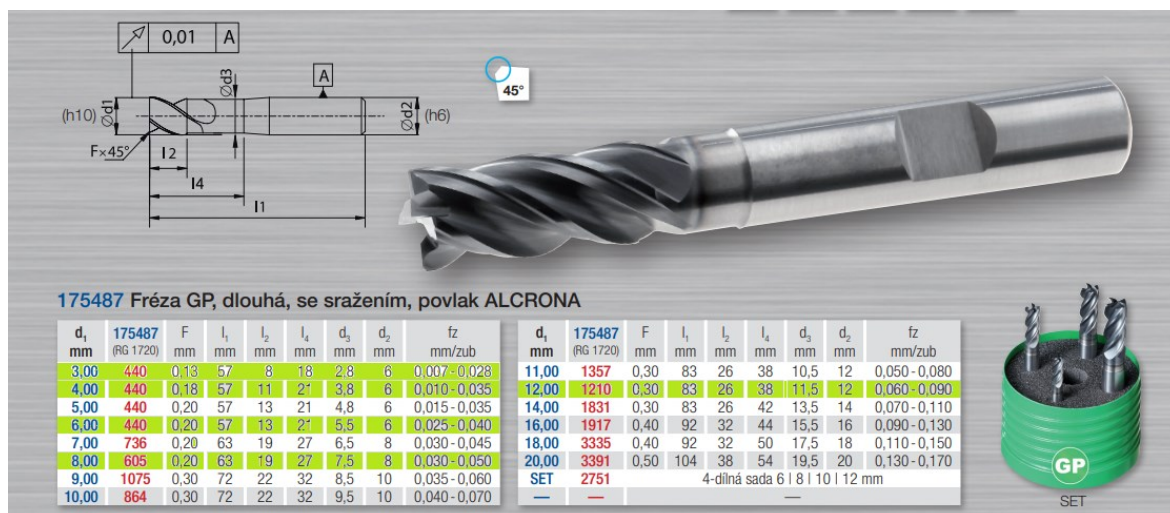
4.3.1 Frézy

GP uni vysoce výkonné frézy s podbroušenou stopkou:

- 4 břity,
- proměnná šroubovice,
- dlouhé provedení,
- ochranné sražení 45°,
- povlak AlCrN,
- univerzální použití,
- pro hrubování i dokončování,
- pro velkou hloubku řezu,
- extrémně vysoký výkon,

- velmi klidný chod¹⁸.

Jednotlivé vybrané GP frézy včetně jejich parametrů jsou na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 – Vybrané frézy včetně jejich parametrů¹⁸.

Tab. 4.3 – Doporučené řezné podmínky pro vybrané GP frézy¹⁸

řezná rychlost v_c [m/min] $\varnothing 3, 4, 6, 8, 12$ [mm]	110-280
posuv na zub f_z [mm] $\varnothing 3$ [mm]	0,028
posuv na zub f_z [mm] $\varnothing 4$ [mm]	0,035
posuv na zub f_z [mm] $\varnothing 6$ [mm]	0,04
posuv na zub f_z [mm] $\varnothing 8$ [mm]	0,05
posuv na zub f_z [mm] $\varnothing 12$ [mm]	0,09

Dále Fréza GP, dlouhá, ostrá, povlak ALCRONA 3mm

- řezné podmínky shodné, jak GP fréza $\varnothing 3$ mm se sražením viz tab. 4.3.

TK rádiusová fréza MTC 4mm

- 4 břity,
- žádné zkreslení profilu,
- dvojitě podbroušený úhel hřbetu,
- povlak TiAlN.
- úhel sklonu šroubovice 45° ¹⁹.



Obrázek 4.3 – Vybraná fréza od společnosti Hoffman Group¹⁹.

Tab. 4.4 – Parametry TK rádiusové frézy MTC 4mm¹⁹

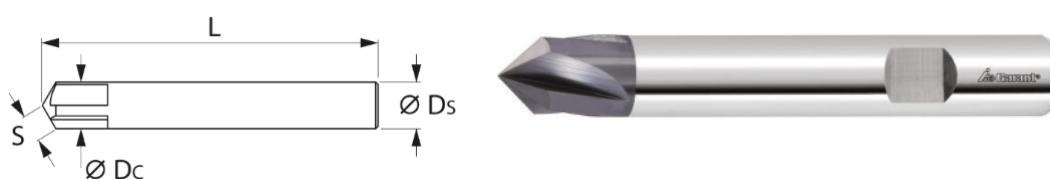
L [mm]	Lc [mm]	øDs [mm]
75	8	4

Tab. 4.5 – Doporučené řezné podmínky pro TK rádiusovou frézu MTC 4mm¹⁹

řezná rychlost v_c [m/min]	145
posuv na zub f_z [mm]	0,03

TK odjehlovač hran 90° TiAlN

- úhel hrotu kuželového záhlubníku 90°,
- povlak TiAlN,
- 4 břity
- vhodný pro srážení a začišťování hran a pro konturovací práce²⁰.



Obrázek 4.4 – Vybraná fréza od společnosti Hoffman Group²⁰.

Tab. 4.6 – Parametry TK odjehlovač hran 90° TiAlN²⁰

L [mm]	S [mm]	øDs [mm]
57	4,2	6

Tab. 4.7 – Doporučené řezné podmínky pro TK odjehlovač hran 90° TiAlN²⁰

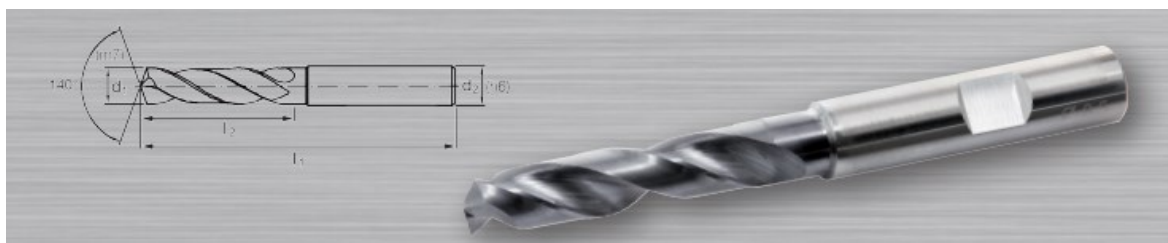
řezná rychlost v_c [m/min]	100
posuv na zub f_z [mm]	0,03

4.3.2 Vrtáky

GP uni vysoce výkonné vrtáky:

- nejnovější technologie povlaku na bázi TiAlN,
- zesílená geometrie pro procesně spolehlivé obrábění,
- vynikající životnost díky pečlivému výběru tvrdokovu,
- dobré samostředění,
- optimální lámání třísky i ve velkých hloubkách,
- široký aplikační záběr i při neoptimálních výrobních podmínkách,
- skvělé výsledky při rotačním i stacionárním způsobu obrábění,
- vysoká přesnost,
- skvělá kvalita povrchu otvoru¹⁸.

Jednotlivé vybrané vrtáky včetně jejich parametrů jsou na obrázku 4.5.



d ₁ mm	102731 (RG 1027)	102732 (RG 1027)	l ₁ mm	l ₂ mm	d ₂ mm	f mm/ot.
5,50	510	537	66	28	6	0,130-0,200
5,20	510	537	66	28	6	0,130-0,200

Obrázek 4.5 – Vybrané vrtáky včetně jejich parametrů¹⁸.

Tab. 4.8 – Doporučené řezné podmínky pro vybrané vrtáky¹⁸

řezná rychlost v_c [m/min]	120
posuv f [mm/ot]	0,15

5 Technicko – ekonomické zhodnocení

Před zprovozněním této automatizační linky pro tváření koncovek na stanovišti pracovali tři lidé jako obsluha na jedné směně. Pracoviště prakticky nebylo vůbec automatizované a veškerý pohyb trubek mezi jednotlivými operacemi zprostředkovávala obsluha. Po zprovoznění linky stačí na veškerou obsluhu jeden zaměstnanec na směnu.

Jeho hlavní pracovní náplní je doplňování zásobníků. V případě poruchy nebo zastavení linky z nějakého důvodu volá ihned kompetentní osobu pro nápravu chodu linky.

Bohužel autorem práce nebyla zjištěna konkrétní celková cena zakázky z důvodu přísných vnitřních norem. Autorem práce bylo alespoň vycházeno z úspory zaměstnanců.

Tab. 5.1 – Mzdové náklady na jednoho pracovníka linky

Kč/hodina	180 Kč
hodin/měsíc	163 hodin
Kč/měsíc	29 340 Kč
odvody za zaměstnance [33,8%]	9 917 Kč
celkový mzdový náklad	39 257Kč

Tab. 5.2 – Mzdové náklady pracovních sil před a po zavedení linky

	před zavedením	po zavedení
počet zaměstnanců na směnu	3	1
počet zaměstnanců na tři směny	9	3
měsíční náklady na tři směny	353 313Kč	117 771 Kč
měsíční mzdová úspora		235 542 Kč

Dále musíme zmínit efektivní pracovní čas zaměstnance, který je výrazně nižší než efektivní čas automatizační linky. Po naběhnutí celé linky by mělo pracoviště pracovat v taktu 17 vteřin, což je opět výrazné navýšení zhotovených kusů za směnu.

Automatizační linka přinesla zákazníkovi nemalé množství technických vylepšení. Především se jedná o zlepšení jakosti výrobků, kde moderní technologie produkuje daleko méně vadných výrobků, např. odjehlování trubek viz obr. 5.1.



Obrázek 5.1 – Odjehlení trubky před a po zavedení moderní technologie.

Zdroj: vlastní zdroj

Velkou výhodou linky je její variabilita. Dále se výrazným způsobem zvýšila produktivita výroby. Kapacita linky dává do budoucna možnost přijímat objemově větší zakázky. Nesmíme opomenout ani zlepšení bezpečnosti práce při jednotlivých operacích a pracovní prostředí pro zaměstnance.

Čelisti chapadla navržené autorem práce jsou rovněž variabilní. Do kapsy na čelistech se připevňuje vyměnitelné prizma. Lehkou výměnou prizmatu čelisti můžou uchopovat trubky jiného rozměru a zároveň nevzniká výrazné opotřebení čelistí.

Závěrem lze říci, že se automatizační linka zrealizovala bez problémů a firma TRYSTOM, spol. s r. o. splnila cíl, který byl ze strany zákazníka požadován.

- Došlo k výraznému zvýšení kapacity,
- k zlepšení jakosti výrobku,
- k výrobě s minimálním procentem vadných výrobků,
- k variabilitě linky, kde lze zhotovovat vícero druhů trubek,
- k redukci zaměstnanců,
- k zvýšení konkurenceschopnosti firmy,
- ke zlepšení pracovního prostředí,
- k výrazné úspoře financí.

Rád bych poděkoval doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

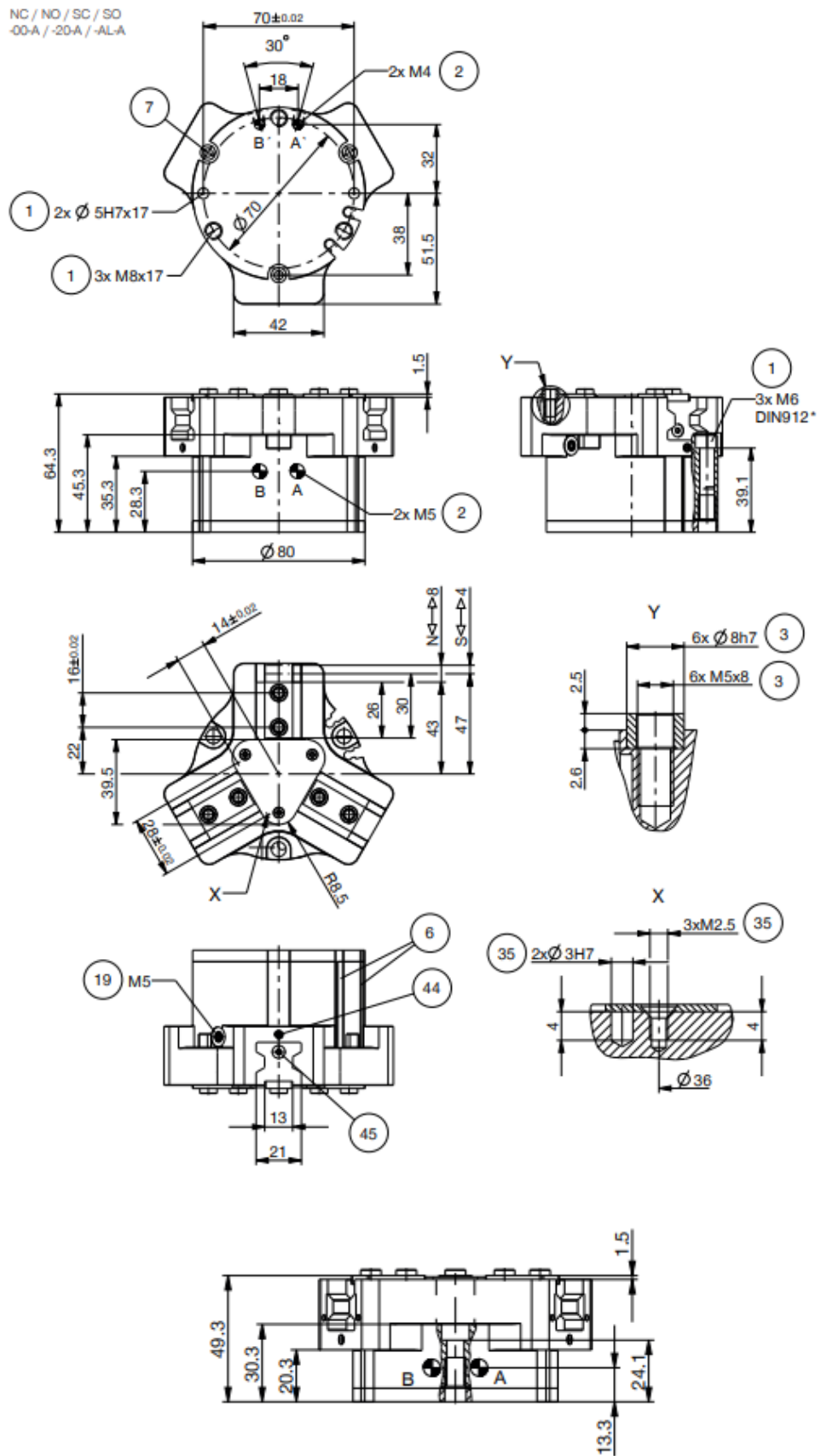
Seznam použité literatury

1. LACKO Branislav, MAIXNER Ladislav, BENEŠ Pavel a ŠMEJKAL Ladislav. *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace 1.*, vydání Praha: Computer Press, 2000. 1. vydání, 97 s. ISBN 80-7226-246-7
2. GROOVER, Mikell. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Fourth edition. Boston: Pearson, 2015. ISBN 978-0-13-349961-2.
3. BILÍK, Oldřich. *Obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 130 s. ISBN 80-7078-811-9.
4. BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. [I]Nové směry v progresivním obrábění[I]. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na: <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
5. Řezné síly. www.moodle-trebesin.cz [online]. 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9915/mod_resource/content/0/FREZOVANI.pdf
6. ELUC. *Elektronická učebnice*. [online]. 2014 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1228>
7. ELUC. *Elektronická učebnice*. [online]. 2014 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1229>
8. ELUC. *Elektronická učebnice*. [online]. 2014 [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1284>
9. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005, 270s. ISBN 80-214-3068-0.
10. BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. Ostrava: VŠB -Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1822-1.
11. POLZER, Aleš. *Technický deník*. [online]. 2009 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-3_8538.html
12. Solidcam. www.top-tech.cz. [online]. 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.top-tech.cz/produkty/obrabeni-cam/solidcam/solidcam-frezovani>
13. ELUC. *Elektronická učebnice*. [online]. 2014 [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1238>
14. Pneumatické chapadlo. www.zimmer-group.com. [online]. 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.zimmer-group.com/sk/technologie-a->

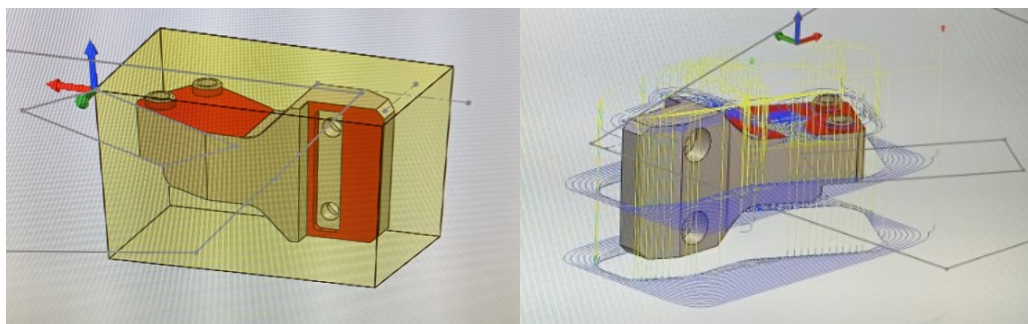
[komponenty/manipulacna-technika/chapadla/pneumaticke/3-celustove-centricke-chapadla/seria-gpd5000/izdelki/gpd5008nc-00-a](http://www.ust.fme.vutbr.cz/komponenty/manipulacna-technika/chapadla/pneumaticke/3-celustove-centricke-chapadla/seria-gpd5000/izdelki/gpd5008nc-00-a)

15. Ocel 14220. [www.ust.fme.vutbr.cz](http://ust.fme.vutbr.cz). [online]. 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_14220.pdf
16. LEINVEBER Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. vyd. Úvaly: Albra, 2011. 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
17. Stroj MCV 750 speed. www.kovosvit.cz. [online]. 2021 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-750-p7.html#technicaldata>
18. Frézy. www.precitool.cz. [online]. 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: http://www.precitool.cz/cz/bk/catalogs/B1302_F1302/pdf/complete.pdf
19. Frézy. www.hoffmann-group.com. [online]. 2021 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Mono-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/TK-fr%C3%A9zy/TK-r%C3%A1diusov%C3%A1-fr%C3%A9za-MTC-TiAlN/p/207460-4?tId=469#anchor_description
20. Frézy. www.hofmann-group.com. [online]. 2021 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Mono-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/TK-fr%C3%A9zy/TK-odjehlova%C4%8D-hran-90%C2%B0-TiAlN/p/208120?tId=982>

Příloha B – Technické nákresy chapadla GPD5008NC-00-A od firmy Zimmer.

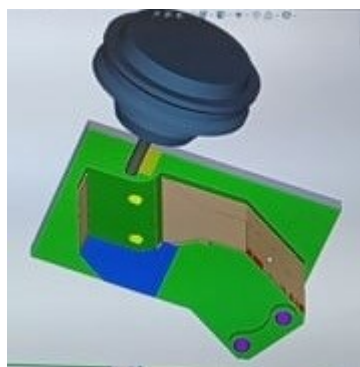


Příloha C – Obrázky z průběhu obrábění v programu SolidCAM.

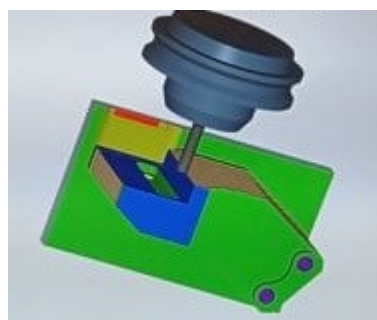


Obrázek C1 – Čelist a polotovary.

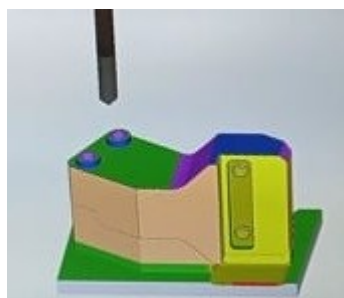
Obrázek C2 – Dráhy nástroje.



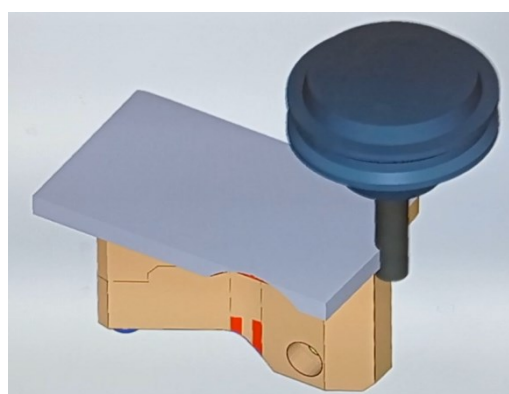
Obrázek C3 – Hrubování funkční plochy (7).



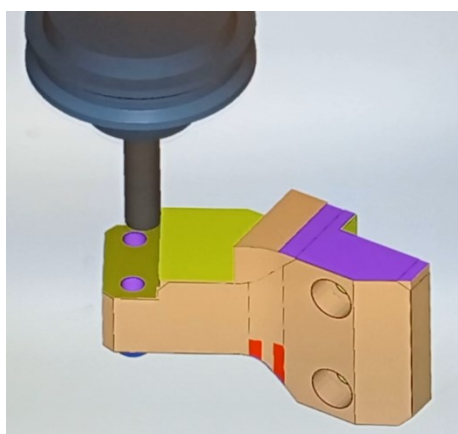
Obrázek C4 – Dokončení funkční plochy (11).



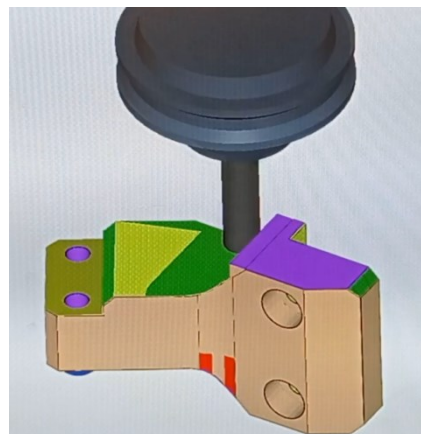
Obrázek C5 – Dokončení plochy s čepy (12).



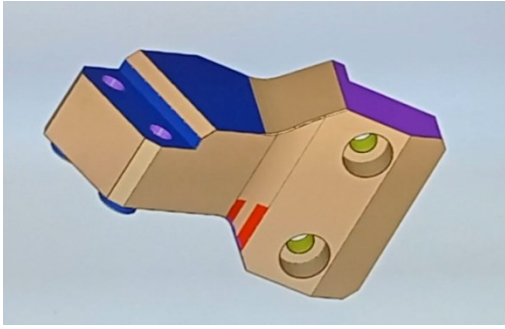
Obrázek C6 – Hrubování vrchu + obvod (20).



Obrázek C7 – Hrubování plochy drážka(26).



Obrázek C8 – Hrubování rohů a šikmých ploch (24).



Obrázek C9 – Hotová čelist po odjehlení.