

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenská technologie – technologie
obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Tvorba technologie pro frézování zadaného dílce s použitím
robotického ramene**

Autor: Tadeáš IVANIČ
Vedoucí práce: Ing. Luboš KROFT, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Tadeáš IVANIČ
Osobní číslo:	S22B0322P
Studijní program:	B0715A270013 Strojní inženýrství
Specializace:	Strojírenská technologie-technologie obrábění
Téma práce:	Tvorba technologie pro frézování zadaného dílce s použitím robotického ramene
Zadávací katedra:	Katedra technologie obrábění

Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky a cíle řešení
2. Analýza současného stavu automatické výroby s využitím robotických ramen
3. Návrh technologie pro zadanou součást a návrh automatizace výroby dílce
4. Praktická ověření navržené technologie
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- MATIČKA, Robert a TALÁCKO, Jaroslav. Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. 2. vyd. Praha: SNTL, 1991. 269 s.
- NĚMEJC, Jiří. Průmyslové roboty a robotizace strojírenské výroby. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. 96 s. ISBN 80-7082-578-2.
- ŠTULPA, Miroslav. CNC: Programování obráběcích strojů. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2015. 244 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- BLECHA, Petr a kol. Mechatronika – Modul 10: Robotika. Brno: Vysoké učení technické, 2011.
- Elektronické informační zdroje dostupné z www.knihovna.zcu.cz
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)
- SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>
- Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Kroft, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jindřich Sýkora**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Luboš KROFT, Ph.D. za jeho čas, projevenou ochotu a věcné připomínky v celém průběhu práce. Také bych chtěl poděkovat rodině za podporu v průběhu celé délky studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Ivanič	Jméno Tadeáš	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kroft, Ph.D.	Jméno Luboš	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Tvorba technologie pro frézování zadaného dílce s použitím robotického ramene		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	51	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce se zaměřuje na tvorbu technologie frézování zadaného dílce s automatizací zakládání polotovaru a následnou manipulací obrobku během obrábění za pomoci robotického ramene. Obsahuje teoretickou část, návrh technologie frézování jednotlivých částí dílce a několik variant automatizované manipulace robotickým ramenem. Výstupem je praktické odzkoušení jedné z variant technologie a výkresová dokumentace jednotlivých částí dílce.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Automatizace, Robotizace, CNC frézování, CAD/CAM, Technologie obrábění, Návrh, Praktické ověření</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Ivanič	Name Tadeáš	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kroft, Ph.D.	Name Luboš	
INSTITUTION	ZČU – FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Creation of technology for milling the specified part using a robotic arm		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	51	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis focuses on the development of milling technology for a given workpiece, with the automation of semi-finished product loading and subsequent manipulation of the workpiece during machining using a robotic arm. It consists of a theoretical section, a design of the milling technology for individual parts of the workpiece, and several variants of automated manipulation using a robotic arm. The output is the practical testing of one of the technological variants and the drawing documentation of individual parts of the workpiece.
KEY WORDS	Automatization, Robotics, CNC machining, CAD/CAM, Machining technology, Design, Practical verification

Obsah

Prohlášení o autorství	4
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod	13
2 Analýza současného stavu.....	14
2.1 Teorie frézování.....	14
2.1.1 Řezné podmínky	14
2.1.2 Způsoby upínání obrobků:	15
2.2 Mechanizace, automatizace a robotizace technologických procesů.....	16
2.2.1 Prostředky automatizace	17
2.2.2 Stupně automatizace a druhy automatizovaných strojů	17
2.2.3 Mechanizace a automatizace vedlejších úkonů.....	17
2.2.3.1 Jednouúčelové manipulátory	18
2.2.3.2 Univerzální manipulátory	18
2.2.3.3 Synchronní manipulátory	18
2.2.3.4 Programovatelné manipulátory (PR 1. generace)	19
2.2.3.5 Kognitivní roboty (PR 3. generace)	19
2.2.3.6 Rozdíl mezi manipulátorem a průmyslovým robotem.....	19
2.3 Průmyslové roboty.....	19
2.3.1 Systémová struktura robotů.....	19
2.3.2 Konstrukční rozdělení akčního systému PR.....	20
2.3.3 Nejčastěji používané typy PRaM	21
2.3.3.1 Kartézská struktura	21
2.3.3.2 Cylindrická (válcová) struktura	21
2.3.3.3 Kulová struktura.....	22
2.3.3.4 Kloubová (antropomorfní) struktura.....	22
2.3.4 Výstupní hlavice (efektory).....	22
2.3.4.1 Manipulační efektory	22
2.3.5 Řízení a programování PR	23
2.3.5.1 Online programování	23
2.3.5.2 Off-line programování	24
3 Návrh technologie výroby	25

3.1	Popis výrobního pracoviště	25
3.1.1	CNC frézka SLV EDU 5axis Siemens	25
3.1.2	Robotická paže Universal Robots	26
3.2	Popis zadaného dílce	27
3.2.1	Tvar a technologický rozbor střenky s čepy	28
3.2.2	Tvar a technologický rozbor střenky s platformou	28
3.2.3	Materiál a polotovar střenek	29
3.3	Volba nástrojů a rezných podmínek	30
3.3.1	Hrubování	30
3.3.2	Dokončování	30
3.3.3	Vrtání	31
3.3.4	Řezání závitu	32
3.3.5	Zkosení hran	32
3.4	Technologie frézování součástí dílce	33
3.4.1	Technologie výroby s manuálním upnutím polotovaru	33
3.5	Technologie s automatizovaným zakládáním pomocí ROBOTY	36
3.5.1	Varianta výroby při automatizovaném upnutí každé střenky zvlášť	36
3.5.2	Varianta s automatizovaným zakládáním a upínáním obou střenek zároveň	36
3.5.3	Varianta zakládání pomocí vakuového gripperu	37
4	Praktická ověření navržené technologie	38
4.1	Problematika varianty s upnutím dvou obrobků	38
4.2	Problematika a průběh ověřované varianty	39
5	Závěr	43
	Seznam použitých zdrojů	44
	PŘÍLOHA č. 1	i
	PŘÍLOHA č. 2	iv

Přehled použitých zkratk a symbolů

CBN	Polykrystalický kubický nitrid bóru
VBD	Vyměnitelná břitová destička
s.r.o.	s ručením omezeným
PLC	Programovatelný logický automat
PRaM;	Průmyslové roboty a manipulátory
PR	Průmyslový robot
3D	Trojdimenzionální
mm	milimetr
m	metr
CNC	číslicové řízení
kW	kilowatt
DC	Řezný průměr
DCONMS	Připojovací průměr na straně stroje
APMX	Max. hloubka řezu
OAL	Celková délka
NOF	Počet zubů
FHA	Stoupání šroubovice
RE	Rohový rádius
LU	Využitelná délka vrtáku
LCF	Délka drážky vrtáku
LS	Délka držáku
PL	Délka špičky
v_f	Rychlost posuvu
CAD	Počítačem podporované projektování (computer aided design)
CAM	Počítačem podporované obrábění (computer aided manufacturing)

Další zkratky jsou znázorněny, či popsány v jednotlivých kapitolách.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pneumatický strojní svěrák se sadou modulárních čelistí [5]	15
Obrázek 2: Vakuová upínací deska [7]	15
Obrázek 3: Stavebnicový přípravek [2].....	16
Obrázek 4: Rozdělení manipulačních zařízení [11]	17
Obrázek 5: Příklad synchronního manipulátoru [12]	18
Obrázek 6: Systémová struktura robotu [12].....	19
Obrázek 7: Konstrukční struktura akčního členu PR [12].....	20
Obrázek 8: Příklad šestiosého PR [14].....	21
Obrázek 9: Robot s kartézskou strukturou [15].....	21
Obrázek 10: Robot s cylindrickou (válcovou) strukturou [12] [15].....	21
Obrázek 11: Robot s kulovitou strukturou [15].....	22
Obrázek 12: Řídicí systém PR [12].....	24
Obrázek 13: Výrobní pracoviště.....	25
Obrázek 14: Osy pohybu vřeteníku [20]	26
Obrázek 15: Robotická ruka UR5	26
Obrázek 16: Rozložený pohled sestavy dílce bez šroubů	27
Obrázek 17: Výsledná sestava nože	27
Obrázek 18: Detailní pohledy na obě střenky	28
Obrázek 19: Hrubovací fréza [23].....	30
Obrázek 20: Dokončovací fréza [23]	30
Obrázek 21: Vrták SCD 020-012-030 [24]	31
Obrázek 22: SCD 049-035-060 [24]	31
Obrázek 23: Závitník s kótami rozměrů [25]	32
Obrázek 24: Fréza na srážení hran [26].....	32
Obrázek 25: Postup frézování první poloviny střenky s čepy	33
Obrázek 26: Finální postup výroby střenky s čepy	34
Obrázek 27: Výrobní postup střenky s platformou	35
Obrázek 28: Příklad upnutí při jednotlivém zakládání	36
Obrázek 29: Příklad upnutí obou střenek zároveň	37
Obrázek 30: Přípravek pro otočení pomocí vakuového gripperu.....	37
Obrázek 31: Horní pohled na upravené čelisti	38
Obrázek 32: Sestava upnutí ověřované varianty	39
Obrázek 33: Postup automatizace robotem	40
Obrázek 34: model upnutí se zvoleným polotovarem pro SolidCAM	41
Obrázek 35: Příklad simulace v programu SolidCAM.....	42
Obrázek 36: Výsledná obrobená polovina střenky.....	42

Seznam tabulek

Tabulka 1: Mechanické vlastnosti slitiny hliníku EN AW 6063 [22]	29
Tabulka 2: Rozměry hrubovací frézy [23]	30
Tabulka 3: Řezné podmínky hrubovací frézy [23]	30
Tabulka 4: Rozměry dokončovací frézky [23]	30
Tabulka 5: Řezné podmínky dokončovací frézy [25]	31
Tabulka 6: Rozměry vrtáku SCD 020 [24]	31
Tabulka 7: Řezné podmínky vrtáku SCD 020 [24]	31
Tabulka 8: Rozměry vrtáku SCD 049 [24]	31
Tabulka 9: Řezné podmínky vrtáku SCD 049 [24]	31
Tabulka 10: Rozměry závitníku [25]	32
Tabulka 11: Rozměry frézky pro srážení hran [26]	32
Tabulka 12: Řezné podmínky při srážení hran [26]	32

1 Úvod

Trendem technologie obrábění je několik posledních let automatizace ovládacích prvků stroje v podobě počítačového řízení u dnes nejvíce používaných CNC strojů. Výhodou takto automatizovaných strojů je především přesnost výroby a rychlost vyrábění výrobků při velkoobjemových a sériových výrobcích. Pro dosažení maximální efektivity výrobního procesu a nahrazení člověka u opakujících se činnostech jako je zakládání polotovarů, manipulace s obrobkem mezi jednotlivými operacemi atd., je dnes čím dál větší snaha o robotizaci výroby pomocí robotických ramen, dopravníků a jiných manipulátorů. Dosažení plně automatické výroby mnohdy znamená pro výrobce nižší náklady na výrobu, zkrácení času výroby a větší konkurenční schopnost na trhu. V úvahu se však musí také brát, že tento typ automatické výroby je vhodný právě pro sériovou výrobu, při kusové se hlavně projeví větší náročnost na kvalifikovanost obsluhy CNC strojů při přípravě výroby, což je spojeno s větším finančním ohodnocením a horší ekonomickou výhodností výroby.

Během vytváření této práce je jedním z cílů uvědomění si úskalí robotizace, automatizace, osvojení si základů tvorby technologie frézování s využitím dnešních CAD/CAM systémů a seznámení s programováním robotické ruky využití pro zakládání polotovaru a manipulaci s obrobkem. Dalším cílem je pak samotné vytvoření několika variant automatizované technologie frézování zadaného dílce v podobě jednoduchého malého nože.

Pro dosažení těchto cílů se práce bude skládat z rešerše na téma technologie frézování, mechanizace, automatizace a charakteristika a programování průmyslových robotů. Poté přijde na řadu návrh samotné technologie obrábění zadaného dílce, kde bude popsáno výrobní pracoviště a prostředky použité pro realizaci technologie, dále popíšu z kolika součástí se zadaný dílec sestává a jaká je technologická náročnost jednotlivých součástí. Následovat bude nastínění technologie frézování bez automatizace robotem a dále návrh několika variant technologie za použití robota. Následně se jedna z variant vybere a odzkouší se její proveditelnost v univerzitní laboratoři.

2 Analýza současného stavu

Návrh technologie výroby je v dnešní době spojen s velkým tlakem na efektivitu, přesnost a ekonomičnost výroby. Z hlediska obrábění je tedy nutno používat moderní stroje s číslicovým řízením a inovované nástroje s využitím moderních materiálů pro dosažení lepších řezných podmínek. Roste i tlak na automatizaci a robotizaci výroby, čímž jsou firmy ve strojírenském průmyslu čím dál více nuceny zabudovávat různé prostředky automatizace jako např. průmyslové roboty, robotická ramena apod. Využívání těchto nových prvků v oblasti obrábění je však spojeno se základními znalostmi použité technologie a všech náležitostí s ní spojenou. [2]

2.1 Teorie frézování

Technologie frézování je jednou ze základních metod obrábění převážně nerotačních ploch, při které dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem otáčejícího se nástroje (frézy) za účelem vytvoření plochy požadovaného tvaru, rozměrů, struktury povrchu a přesnosti vzájemné polohy jednotlivých ploch. Řezný proces je přerušovaný, pravidelně se opakující. Každý zub frézy při řezném procesu odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Hlavní pohyb při frézování je rotační pohyb nástroje, posuvný pohyb pak nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém na osu nástroje. U víceosých CNC frézek, obráběcích center a dalších moderních frézovacích strojů jsou ovšem posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech.[2][3]

2.1.1 Řezné podmínky

Pro vytvoření technologie frézování je nezbytné určit potřebné parametry spadající do této kapitoly. Tyto parametry by měli co nejvíce zaručit dosažení požadovaných hodnot jakostí povrchů a přesností, předepsaných většinou v technické dokumentaci obráběných dílců. U frézování se jedná hlavně o parametry: [2]

- *Řezná rychlost*: - je uvedena v tabulkách výrobce nástroje, díky ní jsme schopni dopočítat otáčky nástroje
- *Posuv na zub*: - též uvádí výrobce a je nutný pro výpočet minutového posuvu, známe-li průměr a počet zubů nástroje
- *Hloubka řezu* – ve směru axiálním a radiálním

Používané vzorce při určování řezných podmínek:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

v_c – řezná rychlost [m/min]

D – průměr rotující frézy [mm]

n – otáčky za minutu

$$s_{min} = s_z \cdot Z \cdot n$$

$s_{min} (f_{min})$ – posuv minutový [mm/min]

$s_z (f_z)$ – posuv na zub frézy [mm]

Z – počet zubů frézy

n – otáčky za min vypočítané z řezné rychlosti

Hodnoty potřebné pro výpočty jsou pro každý nástroj specifické a lze je najít v katalozích výrobců daných nástrojů. V dnešním online světě jsou k dispozici skoro vždy na stránkách výrobců, někteří výrobci (např. Walter CZ s.r.o.) mají dokonce k dispozici i aplikace pro mobilní telefony s indikovanou funkcí výpočtů řezných podmínek.

2.1.2 Způsoby upínání obrobků:

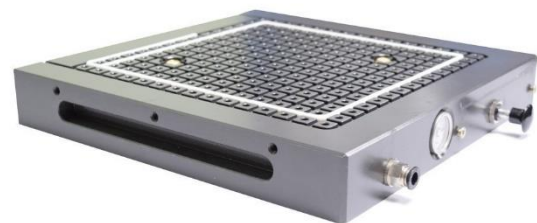
Znalost způsobů upínání, a hlavně požadavků nutných k správnému zvolení onoho způsobu, bude klíčovým hlavně v pozdější fázi této práce při návrhu různých variant automatizace manipulační části technologie obrábění pomocí robotické ruky.

Upínání obrobků na frézách se odehrává na pracovních stolech daných strojů. Tyto stoly jsou vybaveny drážkami, do kterých se zasouvají upevňovací prvky (šrouby, speciální matice) upínacích prostředků pro polotovary. Přes tyto prvky se pak přenáší momenty a síly působící na polotovaz od nástroje do základů stroje. Díky kolísání a velikosti řezných sil musí být upnutí dostatečně tuhé a pevné, aby se zajistila nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Musíme se však vyhnout deformaci obrobku, aby neutrpěla přesnost práce. [7] [2] [4]

K upínání se používá více druhů upínacích prostředků, jedním z nich je upnutí do *strojních svěráků* ovládaných ručně, hydraulicky nebo pneumaticky. Tento způsob je vhodný pro upnutí všech polotovarů k obrábění nejen z normalizovaných hutních materiálů, ale i tvarových těles kovaných, odlévaných apod. Pro složitější tvary obrobků (kulatiny) je možné svěrák vybavit modulárními nebo prizmatickými čelistmi ať už jednoduchými, nebo vybavené dorazovým šroubem pro přesnější nastavení obrobku. [2] [4] [8]



Obrázek 1: Pneumatický strojní svěrák se sadou modulárních čelistí [5]



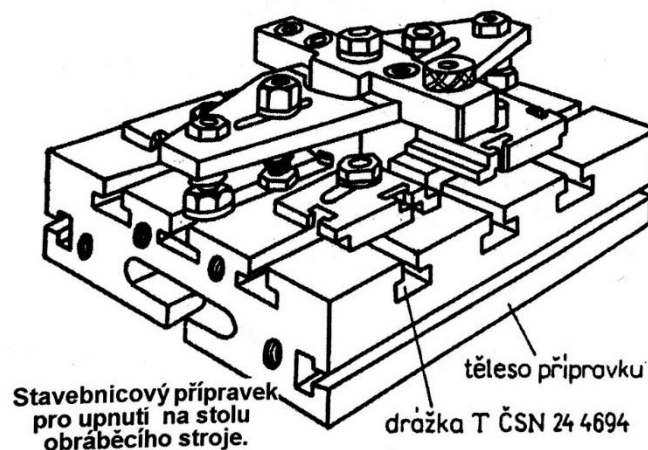
Obrázek 2: Vakuová upínací deska [7]

Pokud je obrobek už natolik složitý, nebo z jakéhokoliv jiného důvodu nemůžeme použít upnutí do strojního svěráku, používá jeden z možných typů upínání, a to upnutí přímo na stůl pomocí šroubů a upínek. Jedná se o časově náročný a pracný způsob nicméně možnost upnutí je při správném výběru upínek a jiných pomůcek, jako jsou různé narážky, podložky, rychloupínací páky, téměř neomezená. Pro sériovou výrobu je možnost vylepšení upínek o pneumatické a hydraulické upínání, avšak roste pak i cena tohoto způsobu. [2]

Dalším používaným způsobem upínání, který se dříve používal spíše na bruskách při broušení „na plocho“, je *magnetické* upínání. S vývojem nových technologií se právě tento způsob

upínání začíná uplatňovat i u technologie frézování, a to i přes vysoké pořizovací náklady. Dostatečných sil k upnutí se dosahuje spojením více magnetů v jeden celek. Předností je rychlost upínání a odepínání a možnost obrobení obrobku téměř ze všech stran, nevýhodou je pak nemožnost použití u nemagnetických materiálů. Pro upínání i nemagnetických materiálů na podobný způsob se pak dnes užívají *vakuové* upínací desky. [2]

Jedním z posledních způsobů upínání při frézování jsou pak *upínací přípravky*. Jedná se o speciální součást tvořenou z různých částí uzpůsobených tvaru daného obrobku. Může se jednat o základní desku s několika „T“ drážkami, sadou upínek se šrouby a podložkami, nebo prizmatickými čelistmi. Takovýto přípravek se sestavuje mimo stroj přímo pro danou součást a pak je následně vcelku připevněn pomocí čepu nebo šroubů k pracovnímu stolu frézky. Používá se hlavně pro sériovou a hromadnou výrobu, kde je zajištěna rentabilita výrobku. [2]



Obrázek 3: Stavebnicový přípravek [2]

2.2 Mechanizace, automatizace a robotizace technologických procesů

V této kapitole položíme základy tématům, pro správné pochopení problematiky automatizace výroby a využití robotické ruky. Tento prvek automatizace bude, jak už bylo zmíněno, využit hlavně pro mezioperační manipulaci s obrobkem v navržené technologii v pozdější části práce.

Všechny uvedené pojmy v nadpisu této kapitoly mají jedno společné, a to nahrazení jakékoliv úlohy člověka ve výrobním procesu strojem, či systémem více spolupracujících strojů dohromady. Člověk je schopen pracovat dlouhodobě pouze v zdravotně nezávadných podmínkách, jeho fyzické možnosti jsou omezené a je také zdrojem chybovosti v závislosti na jeho psychickém a fyzickém rozpoložení. Nahrazením jeho přítomnosti ve fyzicky náročné a monotónní části pracovního procesu vede k následnému zvýšení produktivity práce, což je také hlavním motivem této výměny. [9] [10]

Ačkoliv hlavní motiv je společný jednotlivé pojmy se ve svém pravém slova smyslu malinko odlišují. Pojem *mechanizace* se zabývá hlavně náhradou lidské svalové síly prací různými typy motorů neboli silou mechanickou. Což vede hlavně k zvýšení výkonnosti pracovních nástrojů až na jejich technologické hranice a pracovní podmínky. Zatímco *automatizace* se zajímá o zvýšení produktivity přenesením i vedlejších úkonů pracovního procesu jako je upínání, podávání, ale i řízení a kontrola z člověka na stroj. Člověk se tak zbaví monotónní, mnohdy nedůstojné a zdraví škodlivé práce a může se tak věnovat tvořící a plánovací stránce výrobního procesu. *Robotizace* je pak pouze formou automatizace, kdy se k nahrazení vedlejších úkonů používá průmyslových robotů. [9] [10]

2.2.1 Prostředky automatizace

K tomu abychom byli schopni nahradit člověka strojem musíme nahradit jeho schopnost vnímání, ovládání a zpracování informací. K čemuž slouží čtyři skupiny technických prostředků automatizace. K nahrazení vnímání, zajištění přehledu o prostorové orientaci zajišťují hlavně dvě první skupiny, do kterých spadají různá čidla, citlivé elementy, zesilovací zařízení. Křížové voliče, počítače, PLC spadající do třetí skupiny pak nahrazují schopnost zpracování informací člověka, a nakonec schopnost ovládání a manipulace zastoupí různé pracovní mechanismy, mechanické paže a další prostředky, které vykonávají fyzicky nejnáročnější práci. [10]

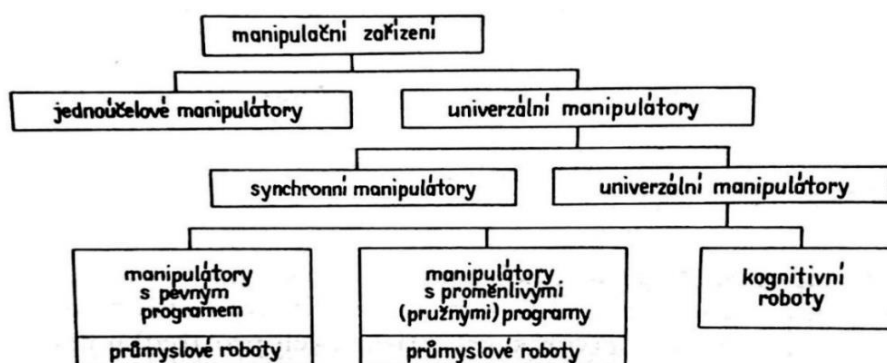
2.2.2 Stupně automatizace a druhy automatizovaných strojů

V závislosti na technické úrovni ve světě a ekonomických možnostech se pak prostředky automatizace postupně implementují do výrobního procesu. Toto řešení a realizace výrobního procesu pomocí mechanizace a automatizace se pak dělí do několika stupňů od nulového zapojení automatizačních prostředků až k plně automatizovanému systému bez účasti lidí. Cílem je tedy získat automatický systém, který umožní vytvoření výrobku od polotovaru až po hotový kus (pracovní cyklus) automaticky bez, nebo s malou účastí člověka. Podle schopnosti dosažení takového systému se pak dělí i jednotlivé pracovní stroje od strojů s ručním ovládáním přes poloautomaty a automaty až ke komplexnímu automatickému výrobnímu zařízení (výrobnímu úseku). [9]

Stroje se dále dají dělit dle využití na *univerzální*, určené pro široký tvarový sortiment výrobků, a na *jednoučelové* určené pro jednu specifickou operaci, nebo omezený počet operací. [9]

2.2.3 Mechanizace a automatizace vedlejších úkonů

Mezi vedlejší úkony pracovních procesů patří zakládání a vyjmutí polotovaru ze stroje, přemísťování materiálu mezi stroji, výměna nástroje a další manipulační a dopravní úkony, které provádí obsluha. Nejjednodušší možností automatizace dopravních činností, kdy potřebujeme dostat předmět pouze v jedné rovině z jednoho místa na druhé vzdálené několik metrů od sebe je použití dopravníků nebo jiných mobilních manipulátorů. Činnost takovýchto manipulátorů je omezena a vhodná pouze pro přepravu. Pro složitější manipulační práce jsou pak určeny manipulační zařízení typu automatická ruka, robot, či univerzální podávací zařízení, které vykonávají pohyby podobné lidské paži či ruce. Jejich vzniku můžeme vděčit různým technickým předchůdcům jako byli mechanické ruce a jiné jednoduché manipulační prostředky, které snižovali námahu, zajišťovaly větší bezpečnost a zkracovali vedlejší časy práce. Podle složitosti provedení a stupně řízení lze pak manipulační zařízení rozdělit dle obrázku výše.[9][11]



Obrázek 4: Rozdělení manipulačních zařízení [11]

2.2.3.1 Jednoučelové manipulátory

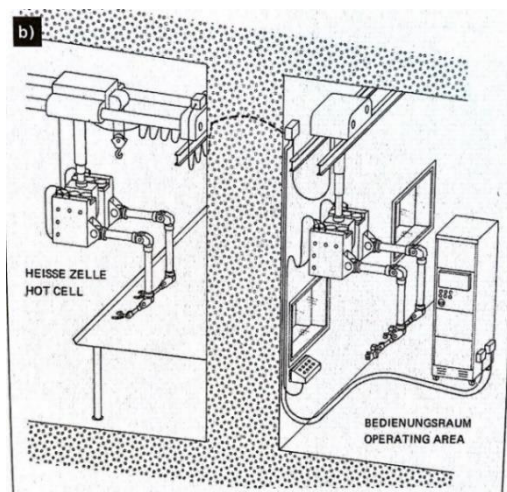
Jsou to většinou zařízení, které vykonávají jednu specifickou, opakovanou manipulační operaci. Jejich použití je většinou omezeno typem stroje, nebo vykonávaným pohybem anebo polohou a druhem součásti při manipulaci. Jednoučelovost je zkrátka potřeba chápat z mnoha hledisek, jako je omezení počtu stupňů volnosti, omezený rozsah pohybů, specifické možnosti řídicího systému a prostorového uspořádání pro danou aplikaci. Bývají součástí jednoúčelového stroje, kterým jsou mnohdy poháněny a řízeny. Jedná se především o různé podavače, zvedací zařízení, manipulační ramena a jiné. [11]

2.2.3.2 Univerzální manipulátory

Od jednoúčelových se liší hlavně širším spektrem manipulačních možností. Použitelnost tohoto druhu manipulátorů není do určité míry omezena typem stroje ani součástí. Rozhodujícími parametry jsou především kinematické parametry (počet stupňů volnosti, druh dílčích pohybů), rozsahy jednotlivých pohybů, přesnost polohování, maximální zatížení. Pro manipulaci s předměty se obvykle používají jednoúčelové úchopné hlavice (efektory), přizpůsobeny tvaru předmětu a jejich rozměrům. Tyto manipulační mechanismy lze díky jejich vlastnostem použít na různých pracovištích, nebo i k obsluze několika strojů zároveň. Tomuto druhu manipulátorů odpovídají především průmyslové roboty.[11]

2.2.3.3 Synchronní manipulátory

Dle způsobu řízení univerzálních manipulátorů dělíme tyto mechanismy do různých skupin, jednou z těchto skupin jsou synchronní manipulátory. Tento typ pracuje synchronně s operátorem, což je většinou člověk, který ví, co přesně chce, aby manipulátor udělal a předává tyto informace manipulátoru většinou prostřednictvím ukázky. Příklad realizace tohoto typu mohou být dva konstrukčně podobné mechanismy, jeden vybaven úchopnými hlavicemi, druhý ovládacími prvky. Tyto mechanismy jsou odděleny stěnou, z důvodu nepříznivých podmínek pro operátora v manipulační místnosti, a propojeny komunikačním systémem. Operátor pak díky mechanismu s ovládacími prvky ovládá mechanismus, který manipuluje synchronně s operátorem se součástí v manipulační místnosti. Popsaný řídicí systém se v literatuře nazývá systém „MASTER-SLAVE“.[12]



Obrázek 5: Příklad synchronního manipulátoru [12]

2.2.3.4 Programovatelné manipulátory (PR 1. generace)

Mechanismy s programovým řízením, nejsou závislé na operátorovi. Jsou určeny na vykonávání pevně naprogramovaných postupných úkonů. Řídí se heslem „zvedni a ulož“ (pick and place). Díky jednoduchosti programování této generace, která je dána hlavně vykonáváním jednoduchých pohybů a konstrukční jednoduchostí oproti jiným typům manipulátorů, vyniká tato skupina univerzálností a použitelností. Další generaci těchto manipulátorů získáme zajištěním manipulátoru vnímaví schopnost pomocí senzorů, snímačů polohy a mnohem složitějším řízením.[12]

2.2.3.5 Kognitivní roboty (PR 3. generace)

Roboty vybavené řídicím systémem, který jim umožňuje získání určitého stupně inteligence, jsou určeny k automatizaci nejenom fyzikální práce člověka, ale v jisté míře i jeho intelektuální činnosti. K tomuto účelu jsou tyto stroje vybaveny elementy umělé inteligence. Vynikají i schopností učení a adaptace na zadanou práci.[12]

2.2.3.6 Rozdíl mezi manipulátorem a průmyslovým robotem

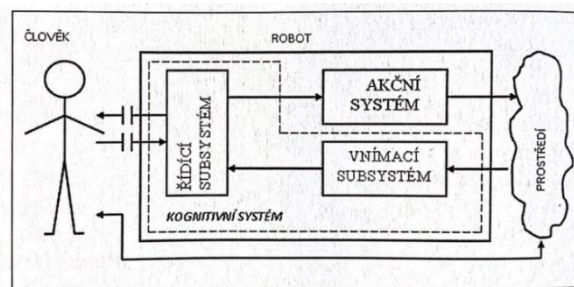
S předchozích kapitol vyplývá, že rozdíl mezi manipulátorem a průmyslovým robotem je velice malý. Můžeme svým způsobem říct, že z manipulátoru se stane robot, pokud mu zajistíme určitý řídicí systém, který mu přidá na univerzálnosti a odpoutá ho od operátora při provádění potřebného úkonu. Složitostí a úrovní řídicího systému pak roboty rozdělujeme do jednotlivých generací popsaných v předchozích podkapitolách. Robot je zkrátka manipulační mechanismus, který vykonává úkony blízké se typickým úkonům člověka, čím blíže se k těmto úkonům přiblíží, tím vyšší je jeho generace. Na přesné definici průmyslového robotu se však odborná literatura úplně nedohodla a můžeme nalézt spousty různých definic. Jednotné měřítko na oddělení manipulátoru a průmyslového robotu mezi sebou však neexistuje.

2.3 Průmyslové roboty

Pro pochopení a vystavení základů této kapitoly použijeme definici PR, kterou použil prof. P.N. Beljanin [13]: „*Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez prostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.*“

2.3.1 Systémová struktura robotů

Z hlediska systémového pojetí robotů jsou průmyslové roboty sjednoceným řídicím a informačním systémem, který se skládá ze tří subsystémů (viz obrázek 11). Tyto subsystémy se nazývají:



Obrázek 6: Systémová struktura robotu [12]

- A. Vnímací (senzorkový) subsystém,
- B. Řídící a rozhodovací subsystém,
- C. Akční (motorický) subsystém.

Vnímací subsystém zprostředkovává vazbu mezi prostředím a PR, obsahuje potřebné senzory vzhledem k zaměření robotu, které snímají vnitřní a vnější informace z pracovního prostředí. Mozkem mechanismu PR je řídicí a rozhodovací subsystém, má za úkol zpracovávat veškeré informace, které přicházejí od vnímacího subsystému a informace, jež jsou uloženy v paměti robotu. Na základě zpracování těchto informací je pak subsystémem rozhodnuto o úkonech, které má robot provádět. Řídící podsystém se skládá ze zařízení pro:

- vytvoření programu,
- reprodukci programu,
- zapamatování programu,
- vykonání programu.

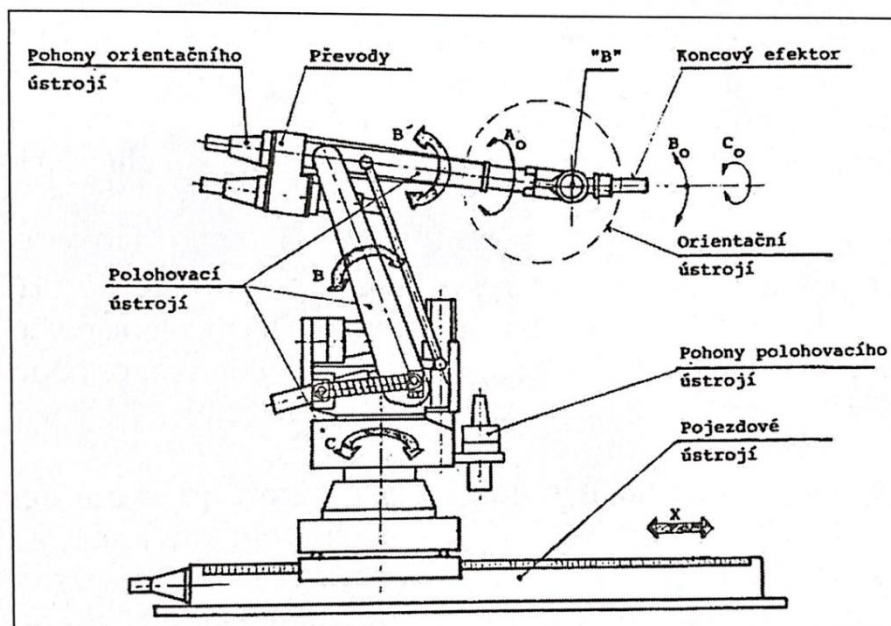
Vnímací a řídicí subsystém spolu vytvářejí myslící jednotku nazvanou kognitivní systém.

Funkce akčního podsystému je pak vykonávací neboli tento podsystém slouží k vykonání úkonů, které zadá kognitivní systém. Tím pádem má přímý vliv na prostředí, které můžeme chápat jako součást, kterou je potřeba přemístit z jednoho místa na jiné. [12]

2.3.2 Konstrukční rozdělení akčního systému PR

Z konstrukčního hlediska se akční systém průmyslového robotu rozděluje na tyto prvky:

- a) Pojezdové (lokomoční) ústrojí, sloužící k tomu, aby robot konstruovaný jako stacionární zařízení byl schopen se přemísťovat z bodu A do bodu B, nemusí být však součástí každého robotu, robot může i jednoduše stát na své základně na jednom místě.
- b) Polohovací ústrojí, mechanismus s určitým počtem kinematických dvojic, který umožňuje, aby se předmět, s kterým manipulujeme dostal do požadované polohy.
- c) Orientační ústrojí, můžeme si představit, že toto ústrojí má funkci zápěstí, které dává robotu schopnost správně orientovat manipulovaný předmět.
- d) Výstupní hlavice (koncové efekty), sloužící k úchopu manipulovaného předmětu.

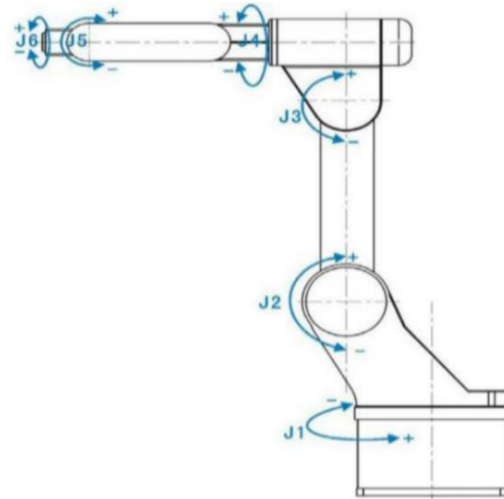


Obrázek 7: Konstrukční struktura akčního členu PR [12]

2.3.3 Nejčastěji používané typy PRaM

Průmyslových robotů existuje na trhu celá řada a dělí se podle několika hledisek, ať už je to dle počtu stupňů volnosti, podle druhu pohonu a kinematické struktury, které je podle mého nejlépe rozpoznatelná, a bude předmětem dalších podkapitol.

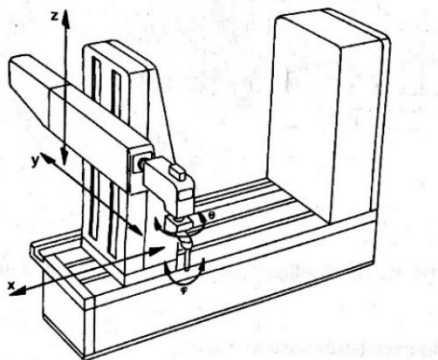
Největší roli v rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů, hraje jeho nejviditelnější část, kterou je akční člen. Různou konstrukcí akčního členu, a to převážně jeho polohovacího ústrojí, můžeme jednoduše říct, jak velký a jaký tvar může mít manipulační prostor robotu. Podstata polohovacího ústrojí je pohybování referenčním bodem „B“, který můžeme vidět na předchozím obrázku (Obrázek 12). Této podstaty je dosaženo spojením několika paží pomocí buď posuvných nebo rotačních kinematických dvojic. To umožní přemístění referenčního bodu na požadované místo pomocí několika na sebe nezávislých pohybů paží okolo svých os. Počet těchto nezávislých pohybů vyjadřuje počet stupňů volnosti. Podle počtu a typu použitých kinematických dvojic vznikne struktura PRaM s různou podobou manipulačního prostoru, podle této struktury můžeme PRaM rozdělit na různé typy. [12]



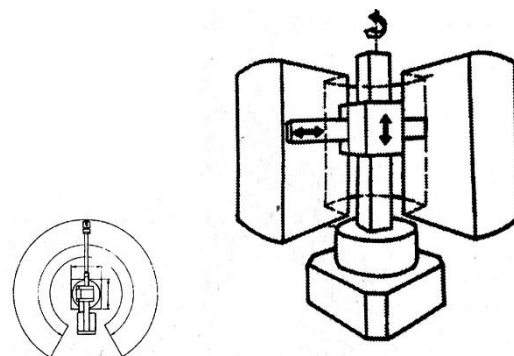
Obrázek 8: Příklad šestiosého PR [14]

2.3.3.1 Kartézská struktura

Polohovací ústrojí je složené z ramen, které jsou spojeny pouze posuvnými kinematickými dvojicemi, které umožňují pohyb v kartézském systému podle myšlených os x, y a z. Pracovní prostor je tedy krychlový. Výhodami je velká únosnost, vysoká stabilita, přesnost a jednoduché řízení oproti tomu nejsou tak pohyblivé a univerzální jako další typy. [15]



Obrázek 9: Robot s kartézskou strukturou [15]



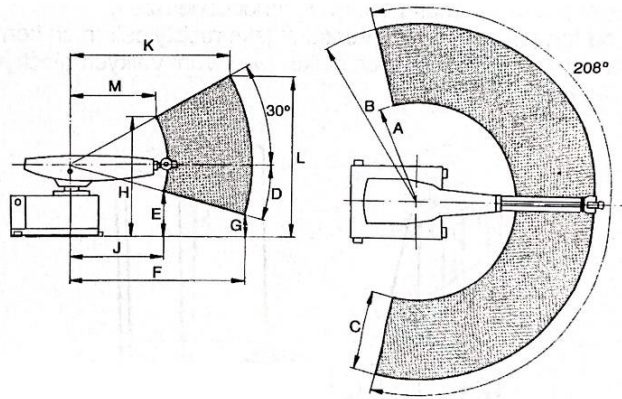
Obrázek 10: Robot s cylindrickou (válcovou) strukturou [12] [15]

2.3.3.2 Cylindrická (válcová) struktura

Vznikne zakomponováním rotační kinematické vazby do konstrukce polohovacího ústrojí. Použité kinematické vazby jsou pak dvě posuvné a jedna rotační, čímž se orientační ústrojí může pohybovat ve válcové výseči, nebo pokud je umožněno otočení ramene s rotační vazbou o 360°, tak má manipulační prostor podobu celého válce.

2.3.3.3 Kulová struktura

Dvě rotační a jedna posuvná vazba kterými jsou spojeny hlavní osy ramen umožní pohyb robota v manipulačním prostoru ve tvaru segmentu duté koule. Pro popis pohybu se pak využívají souřadnice polární. Řízení je poměrně složité a nákladné.



Obrázek 11: Robot s kulovitou strukturou [15]

2.3.3.4 Kloubová (antropomorfní) struktura

Ramena spojena rotačními kinematickými dvojicemi, čímž se robot může pohybovat v manipulačním prostoru neurčitého geometrického tvaru. Jedná se o nejpoužívanější typ robota. Jeho použití, je díky výjimečné pohyblivosti, téměř neomezené (svařování, lakování, obsluha výrobních strojů), má však nevýhodu ve větší nepřesnosti, jelikož se sčítá nepřesnost jednotlivých kloubů ramen. Příklad kloubové struktury viz Obrázek 8.

2.3.4 Výstupní hlavice (efektory)

Dle vykonávané technologické operace můžeme tyto výkonné orgány průmyslového robota, které mají hlavně zastupovat úchop lidské ruky, rozdělit na:

- a) Technologické efektory
- b) Manipulační (chapidla)
- c) Kombinované
- d) Speciální

Pro realizaci této práce nás budou zajímat především efektory manipulační.

2.3.4.1 Manipulační efektory

Manipulační (úchopné) výstupní hlavice slouží hlavně k uchopování předmětů za účelem další manipulace s nimi. Části hlavic, které přicházejí bezprostředně do styku s přenášenými objekty, se označují jako „úchopné prvky“. Úchopné prvky se dle charakteru styku s objekty při aktivování úchopné síly dělí na úchopné prvky:

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové

Současně je možné tyto prvky dělit také na pasivní a aktivní.[12]

Pasivní úchopné prvky jsou takové, které k vyvození úchopné síly nepotřebují jiné zařízení. Využívají pouze své konstrukce k uchopení předmětu (různé kleštiny, mechanické čelisti s pružinou, permanentní magnety apod.). Aktivní úchopné prvky pak k vyvození úchopné síly

využívají různá jiná zařízení, jako jsou hydromotory, elektromotory, vývěvy a elektromagnety ovládané řídicími prvky.[12]

2.3.5 Řízení a programování PR

Vytvoření programu a nastavení řídicího subsystému je základem práce s robotem, bez které by robot neměl využít. Jde o vytvoření drah pohybů, které po načtení programu bude robot vykonávat. V praxi však nenastavujeme pouze pohyby, ale celkovou práci robota na robotickém pracovišti, které je mnohdy složeno z více automatizačních prvků, jako jsou různé senzory, dopravníky a jiné. Jde tedy o nastavení koordinace pohybu robota, manipulační či technologické práce výstupní hlavice s dalšími prvky robotického pracoviště. K tomuto účelu se využívají dva typy programování PR, a to online a off-line. V dnešní době se firmy jako je KUKA, FANUC snaží i o kombinaci těchto dvou možností vyvíjením různých aplikací pro simulaci online programování robota, které si můžeme stáhnout na webových stránkách firem.[12] [16]

2.3.5.1 Online programování

Je to způsob, kdy obsluha programuje robot přímo na pracovišti pomocí ovládacího panelu tzv. pendantu nebo teach-pendantu. Většinou se program robota skládá z několika pohybů do jednotlivých bodů a jednoduché manipulace. Postupným provedením všech těchto úkonů pak dostaneme výsledný pohyb robota, který chceme, aby za nás robot vykonával. V ovládacím panelu tedy vytvoříme programový strom, který se skládá z jednotlivých pohybů a úkonů, které má robot na konci tohoto pohybu vykonat (manipulace, čekání, a jiné). Jednotlivé body trasy programu se určují najetím robota pomocí ovládacího rozhraní (šipek, joysticku) na teach-pendantu, nebo pokud to robot umožňuje, navedením robota ručně manipulací jeho polohovacího ústrojí (základna, rameno, loket, zápěstí) do požadovaného bodu trasy. Tyto dva přístupy se v literatuře označují jako teach-in (joystick, šipky) a play-back (ruční navádění). Body trasy se většinou vztahují k TCP robota, což je střední bod nástroje (gripperu), který právě používáme. U gripperu s dvojicí čelistí, bývá tento bod uprostřed manipulačních ploch mezi těmito čelistmi.[12][17]

Před definováním bodů trasy se určují pohyby, který robot bude mezi jednotlivými body bude provádět. Základními pohyby jsou:

- Obecný pohyb
- Lineární pohyb
- Kruhový pohyb

U obecného pohybu se robot pohybuje mezi danými body nejrychlejším možným způsobem. Většinou neplatí pravidlo nejkratší trasa musí být ta nejrychlejší a z pravidla se nejedná o pohyb po přímce. Používá se u pomocných pohybů, kde nehrozí žádná kolize.[12]

Lineární pohyb je jednoduchý pohyb po přímce mezi definovanými body konstantní definovanou rychlostí.[12]

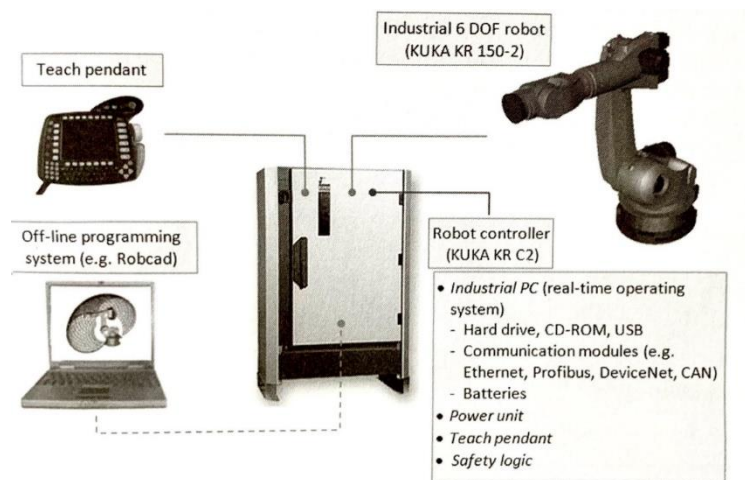
Kruhový pohyb je pohybem danou rychlostí po kruhové trajektorii z výchozího do koncového bodu.[12]

Pro zrychlení celkové práce robota se používá i možnost aproximace pohybů robota. Je to způsob, kdy nedojíždíme přesně do definovaných bodů, ale pokud je to možné, tak navážeme dva po sobě jdoucí pohyby křivkou. Tím se vyruší zpomalení robota v koncových bodech, které způsobuje delší pracovní časy.[12]

Po vytvoření všech pohybů, bodů trasy, manipulačních úkonů efektoru, se výsledný program pomocí ovládacího panelu uloží do řídicí jednotky robotu a robot může pracovat, dokud není potřeba nutného zásahu člověka.

2.3.5.2 Off-line programování

Jiným možným způsobem je pak programování robotu offline, kdy program můžeme psát mimo pracoviště v softwaru, který umožňuje vymodelování příslušného robotického pracoviště ve 3D modelu. V tomto programu definujeme pohyby a dráhy. Takto připravený program vyexportujeme do příslušného formátu, který podporuje daný robot a na reálném pracovišti program nahrajeme přímo do robotu. Velkou výhodou tohoto způsobu je programování bez nutnosti zastavení linky a přerušení výroby, čímž je tato metoda mnohdy finančně výhodnější.[12]



Obrázek 12: Řídicí systém PR [12]

3 Návrh technologie výroby

Návrh technologie výroby neekonomičtějším a nejefektivnějším způsobem je úzce spjat s tvarem a technologickou náročností součásti, výrobních možností na dostupných strojích a v praxi často s počtem kusů vyráběného dílce. V této kapitole tedy budou popsány stroje, výrobní prostředky dostupné na univerzitě a zadaný dílec (jeho účel a technologická náročnost). Po charakteristice technologických možností, pak bude nastíněna samotná technologie výroby jednotlivých součástí v zadané sestavě dílce.

3.1 Popis výrobního pracoviště

Pracoviště, na kterém bude probíhat praktické ověření navržených variant technologie se skládá z pětiosého portálového obráběcího stroje a jeho dodaného příslušenství ve formě pneumatického svěráku, dotykové sondy a držáků na nástroje. Pro zakládání a manipulaci s obrobkem je pracoviště vybaveno kooperativní robotickou paží s dvoučelistovým gripperem a ovládacím panelem (teach-pendantem). Jedná se o stroje uživatelsky přívětivé, výrobcem určené mimo jiné pro akademické účely, tudíž jejich programování by pro mě bez předchozích zkušeností mělo být snadno pochopitelné a zavádění navržené technologie, by mělo proběhnout hladce.



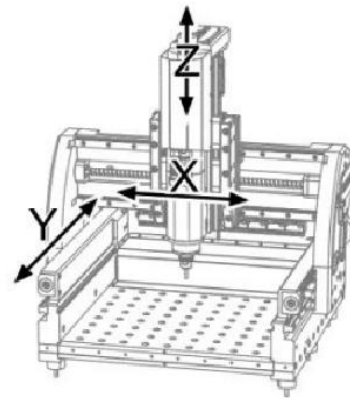
Obrázek 13: Výrobní pracoviště

3.1.1 CNC frézka SLV EDU 5axis Siemens

V praxi při výběru stroje musíme brát v potaz mnoho faktorů, jako jsou velikost, váha a materiál polotovaru, předepsané tolerance pro přesnost obrobku, tvarová složitost výrobku, počet vyráběných kusů, aby se nám výroba na CNC stroji vůbec vyplatila. Dle těchto faktorů se pak na základě parametrů stroje a ceny jeho chodu určí, který stroj bude pro výrobu nejlepší. Pro odzkoušení technologie však v mém případě byl na základě dostupnosti předurčen stroj SLV EDU 5 axis od firmy SolidVision.

Jedná se o CNC portálovou frézku s pěti řízenými osami, vhodnou pro obrábění tvarově složitých dílců z různých materiálů od dřeva, plastů, barevných kovů až po hliníkové slitiny.

Řídicím systémem stroje je software Sinumerik ONE od firmy Siemens. Ten ovládá pohyb vřeteníku ve třech základních osách (viz Obrázek 14) a další dva rotační pohyby pracovního stolu okolo vlastních souřadnicových os. Rotační pohyb okolo osy A, dopředu a dozadu o 110° a 100° , a rotační pohyb desky stolu o 360° (osa C, rovnoběžná s osou Z). Na pracovní stůl stroje je možno upnout polotovary o maximálních rozměrech $200 \times 200 \times 160$ mm a váze 10 kg. Pro připevnění upínacích prostředků ke stolu je stůl vybaven několika T-drážkami. Opakovaná přesnost, kterou je stroj schopný dosáhnout je $\pm 0,02$ mm. Stroj je vybaven vřetenem o výkonu 1,5 kW, které se dokáže roztočit až do 24 000 otáček za minutu a pro upínání upínačů nástrojů je využito upínacích kuželů ISO20 nebo BT20.[21][20]



Obrázek 14: Osy pohybu vřeteníku [20]

Z popsaných parametrů stroje je více než patrné, že pro tvarově jednoduché součásti zadaného dílce je stroj více než vyhovující. Jelikož nemáme k dispozici jiný stroj není z hlediska výběru jiná možnost, nicméně pokud bych navrhoval technologii více zaměřenou na ekonomičtější kusovou výrobu, bylo by nejspíše vhodné zvolit stroj určený pro jednodušší výrobky, který má nižší náklady na výrobu.

3.1.2 Robotická paže Universal Robots

K manipulaci obrobku při technologickém postupu bude použita robotická ruka od firmy Universal Robots s označení UR5. Jde o kolaborativní robotickou ruku, která je tedy díky několika bezpečnostním nastavením vhodná pro spolupráci s člověkem, bez nutnosti použití ochranných stěn. Její polohovací soustava se skládá z šesti rotačních kinematických dvojic (KD), dvě KD spojují první paži robota s podstavou a umožňují jí tak otočení o 360° a naklání dopředu a dozadu. Další rotační KD spojuje první a druhou paži a poslední tři rotační KD najdeme u spoje druhé paže s nástavcem pro zapojení efektoru. Celkem tak toto spojení vytváří kloubovou (antropomorfní) strukturu a umožňuje robotu pohybovat s obrobkem jakýmkoliv způsobem.



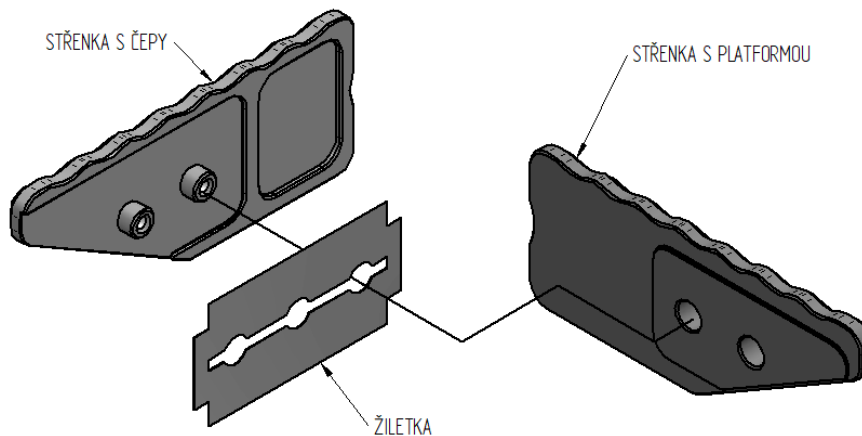
Obrázek 15: Robotická ruka UR5

I když z hlediska technologické náročnosti výrobku, zejména jeho malé hmotnosti, nebude tak velký tlak na technické specifikace průmyslové ruky, pro lepší přehled pár specifikací zmíním. Jak už je řečeno výše jedná se o robotickou ruku se šesti kinematickými dvojicemi, které vytváří kloubovou strukturu s dosahem až 850 mm. Pro realizaci technologie v této práci je nutné zmínit únosnost robotické ruky, která je až 5 kg, a tudíž nebude s únosností žádný problém. Přesnost opakovatelných pohybů je okolo 0,03 mm se zatížením, což je pro správné založení obrobku více než dostačující. Pro bezpečnou kolaboraci s člověkem je robot

vybaven 17 bezpečnostními funkcemi včetně monitoringu lokte. Programování se provádí na jednoduchém grafickém prostředí promítaném na 12-ti palcovou obrazovku teach-pendantu, který je vybaven tlačítkem pro ruční navádění robotu do požadované polohy. Jako efektor pro tuto technologii bude sloužit gripper s dvěma pogumovanými čelistmi, které se rovnoběžně svírají k sobě.[27]

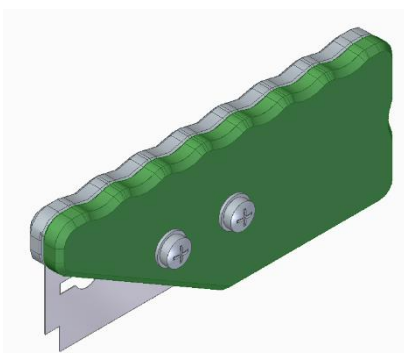
3.2 Popis zadaného dílce

Zadaným dílcem je jednoduchý malý nůž. Jedná se o sestavu složenou ze tří dílů, žiletky a dvou střepek, které slouží k úchopu a ustavení žiletky na jednom místě. Pro názornější ukázkou byl vytvořen v programu SolidEdge rozložený pohled sestavy, který můžete vidět na obrázku 16 níže.



Obrázek 16: Rozložený pohled sestavy dílce bez šroubů

Z rozloženého pohledu plyne i jednoduchý montážní postup celého nože. Jako první krok nasadíme žiletku na čepy vyhovující střenky. Musí být dodržena správná rozteč čepů, aby montáž proběhla bez problémů a díly do sebe správně zapadali. Dalším krokem bude zajištění žiletky stříškou s platformou. U platformy musí být zajištěna dostatečná rovinnost, aby byl rovnoměrně rozložen tlak na žiletku a nemohla se vzpříčit. Rozměry platformy musí odpovídat výkresové dokumentaci, tak aby platforma zapadala do příslušné drážky ve stříšce s čepy a žiletku správně zajistila bez vzniku nežádoucích mezer mezi stříškami. Důležitou roli při montáži hraje hlavně přesnost výroby čepů a děr u střepek, které musí být vyrobeny v požadované toleranci. Celá sestava se proti samovolnému rozložení zajistí šroubem s podložkou, který se zašroubuje do závitů v čepích. Vznikne nám tak výsledná sestava nože.



Obrázek 17: Výsledná sestava nože

3.2.1 Tvar a technologický rozbor střenky s čepy

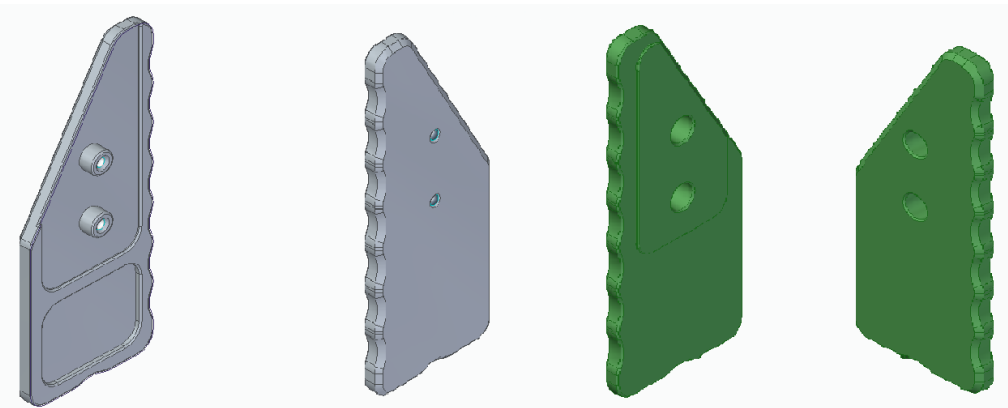
Základním tvarem střenky je kvádr o rozměrech 69×28×3,5 mm s jedním zkoseným rohem horní, krátké plochy o 30°. Na středu stykové plochy součásti s přilehlou střenkou jsou umístěny dva čepy s výškou 3 mm od dna drážky pro založení žiletky. Zmíněná drážka je hluboká 0,5 mm a její hlavní rozměry jsou odvozeny od rozměrů žiletky. Průměr čepů je 4,9 mm s mezní úchytkou mínus 0,1 mm, pro snadnou montáž. V čepích je pak průchozí metrický závit M 2,5 s horním sražením 0,5x45° a dolním 0,3x45°. Pod drážkou okolo čepů je pro odlehčení vyfrézována další symetrická drážka ve tvaru obdélníku se zaoblenými rohy s rádiusem 3,5 mm, šířkou 22,2 mm a délkou 16,9 mm. Horní hrana obdélníku je od spodní hrany střenky vzdálena o 19,9 mm. Na pravém a spodním boku střenky je pak pro lepší úchop vytvořeno několik vybrání s rádiusem 6 mm. Všechny hrany střenky jsou sraženy o sražení viz výkresová dokumentace v příloze č. 1.

Co se týče náročnosti na výrobu, tak se jedná o součást s malými rozměry, která není nijak tvarově složitá, tudíž by neměli nastat při použití vhodných strojů a nástrojů, žádné problémy. Na výkresové dokumentaci, nebyli předepsány žádné geometrické tolerance. Tolerance drsnosti povrchu použité na výkresu jsou běžně dosažitelné při strojním frézování a vrtání, není tedy potřeba, zařazovat do technologického návrhu broušení, ani jiné dokončovací metody. Komplikací může být dodržet přesnost výroby při obrábění čepů, aby bylo možné celou sestavu při finální kompletaci sestavit a vzhledem k malé tloušťce může nastat problém při upínání obrobku.

3.2.2 Tvar a technologický rozbor střenky s platformou

Jedná se o střenku o stejném základním tvaru a stejných rozměrech jako u střenky s čepy, akorát zrcadlově převráceném a rozdílné šířce 3,9 mm. Platformou máme namysli výčnělek o 0,4 mm ve tvaru obdélníku se sražením jednoho rohu kopírujícím sražení střenky. Ten má za úkol přitlačit žiletku do vybrání kolem čepů ve střence s čepy a zabránit možnému vyklání žiletky v noži. Ve výčnělku jsou pak uprostřed střenky vyvrtány dvě díry, jako protikus vůči čepům. Spodní díra je od spodní hrany střenky vzdálena 33,5 mm a mezera mezi dírami je 13 mm, odpovídající rozpětí děr v žiletce. Vzhledem k tomu, aby díry a čepy při montáži do sebe správně zapadli, bez nutnosti použití větší síly, je pro průměr předepsaná mezní úchylnka plus 0,1 mm. Pro lepší úchop nože jsou pak stejně jako u předchozí střenky zvoleny stejné vybrání. Konkrétní rozměry a sražení hran jsou předepsány na výkresové dokumentaci v příloze č. 1.

Z technologického hlediska se nejedná o nijak složitou součást platí stejné poznatky jako u předchozí střenky. Jedinou menší komplikací bude dodržení přesnosti vyvrtání děr, pro snadnou montáž.



Obrázek 18: Detailní pohledy na obě střenky

3.2.3 Materiál a polotovary střenek

Pro volbu materiálu bude důležitá hlavně jeho obrobiteľnosť, vzhľadom k malým rozměrům součástí. Dalším kritériem bude odolnosť vůči korozi, jelikož se jedná o nůž a dá se tedy předpokládat, že bude v kontaktu s vodou na příklad při oplachování. V neposlední řadě volíme materiál dle technických prostředků dostupných na univerzitě, na kterých bude navrhovaná technologie prakticky odzkoušena. Materiálem tedy dle zmíněných kritérií bude slitina hliníku s označením EN AW 6063 ve stavu T66. Označení odpovídá stavu po rozpouštěcím žihání a umělém stárnutí s dosažením lepších mechanických vlastností než samotná slitina ve stavu T6. Charakteristické vlastnosti této slitiny jsou výborná schopnost k tváření, dobrá svařitelnost, odolnosť vůči korozi a mechanická obrobiteľnosť při středních pevnostních vlastnostech. Rozsah použití je všeobecný, ale především v komponentech pro dopravu, segmentech mostních konstrukcí, architektury a v oblasti sportovního vybavení na příklad rámy jízdních kol. [18][19]

Tepelné zpracování	Napětí na mezy kluzu	Mez pevnosti v tahu	Tažnost		Tvrđost
	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	A _{50mm} [%]	HB
T66	180-200	225-245	8	6	80

Tabulka 1: Mechanické vlastnosti slitiny hliníku EN AW 6063 [22]

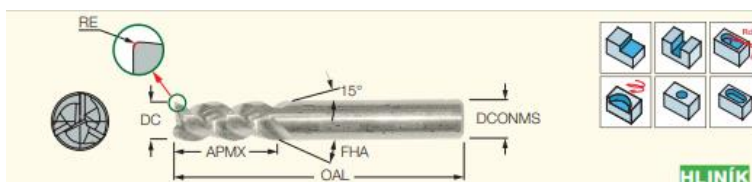
Při volbě polotovaru byli brány v potaz největší rozměry střenek s připočtením přídavků na obrábění a technologického přídavku na upnutí, který bude po pře upnutí odfrézován. Šířka součástí je 28 mm nejbližší dostupný rozměr polotovaru, dle katalogu dodavatele ehlinik.cz, je 30 a 35 mm na šířku. Z ekonomického hlediska vychází o něco lépe menší polotovar, a jelikož nároky na přesnost a drsnost povrchu výrobku nejsou nijak extrémní, tak bych se přiklonil k menší variantě polotovaru. Výška polotovaru pak vychází z výšky střenky s čepy, která je 6 mm, k té byl připočten 1 milimetr jakožto přídavek na obrábění a 3 mm jako technologický přídavek pro upnutí, tudíž rozměr polotovaru vychází 30 mm na šířku a 10 mm na výšku. Pro oba obrobky bude polotovar stejný, u střenky s platformou se pouze obrobí více materiálu při hrubování. Polotovar je dostupný na e-shopu ehlinik.cz, kde je možné si z celkové délky tyče 6 m nechat uříznout požadovanou délku bez nutnosti krácení, čehož bych využil, jelikož vytváříme technologii pro jeden kus dílce. Tento postup je však pouze pro účely písemné části práce, v praktické stránce technologie se nejspíše využije materiál dostupný na univerzitě. Výsledné označení polotovaru bude PLO 30x10 – EN 573-3 AW 6063 T66 ČSN EN 755-5.

3.3 Volba nástrojů a řezných podmínek

Nástroje byli zvoleny na základě použitého materiálu polotovaru a geometrie samotných obrobků, tak aby bylo technologii možné provést. Pro příklad průměr dokončovací frézy nemůže být větší než průměry vnitřních zaoblení, závitník musí odpovídat požadovanému závitů. Zmíněná označení a řezné podmínky vycházejí z katalogů výrobců.

3.3.1 Hrubování

Pro hrubování byla zvolena monolitní karbidová fréza od firmy ISCAR s označením ECA-B-3 05-14W06-57 IC08. (viz Obrázek 25)



Obrázek 19: Hrubovací fréza [23]

DC [mm]	DCONMS [mm]	APMX [mm]	OAL [mm]	NOF [-]	FHA [°]	RE [mm]	Karbid
5	6	14	57	3	45	0,2	IC08

Tabulka 2: Rozměry hrubovací frézy [23]

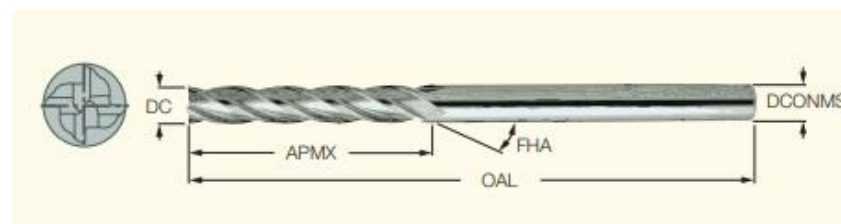
v_c [m/min]	s_z [mm]	n [ot/min]	s_{min} [mm/min]
750-850	0.02-0.06	50 929,58	6 111,48

Tabulka 3: Řezné podmínky hrubovací frézy [23]

- Pro výpočet otáček a minutového posuvu byli využity vzorce z teoretické části.

3.3.2 Dokončování

Pro dokončení byla opět zvolena monolitní karbidová fréza od firmy ISCAR, tentokrát s menším průměrem vzhledem k rádiusům v kapsách u střenky s čepy a nulovým RE, aby bylo dosaženo pravoúhlého rohu na dně kapsy. Označení EC-A4 03-12C03E38 IC08.



Obrázek 20: Dokončovací fréza [23]

DC [mm]	DCONMS [mm]	APMX [mm]	OAL [mm]	NOF [-]	FHA [°]	RE [mm]	Karbid
3	3	12	38	4	30	0	IC08

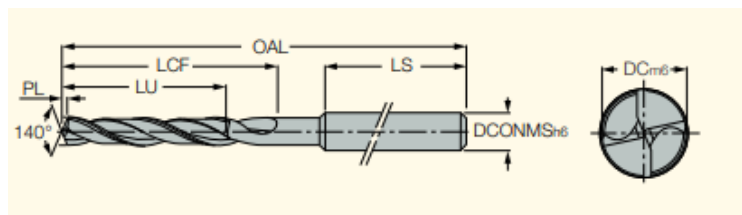
Tabulka 4: Rozměry dokončovací frézky [23]

v_c [m/min]	s_z [mm]	n [ot/min]	S_{min} [mm/min]
750-850	0.01-0.04	84 882,63	6 790,61

Tabulka 5: Řezné podmínky dokončovací frézy [25]

3.3.3 Vrtání

Pro předvrtání díry pro závitník M2,5 byl z tabulek zvolen vrták s průměrem 2 mm od firmy ISCAR. Jedná se o karbidový monolitní vrták s označením SCD 020-012-030 AP6 IC908.



Obrázek 21: Vrták SCD 020-012-030 [24]

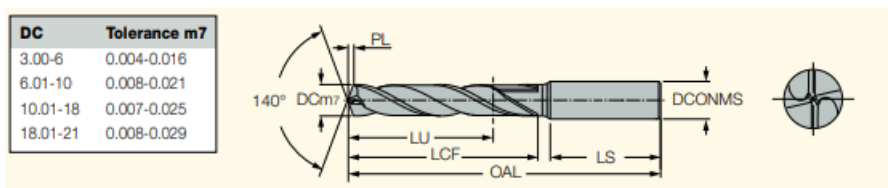
DC [mm]	DCONMS [mm]	LU [mm]	LCF [mm]	LS [mm]	OAL [mm]	PL [mm]	Materiál
2	3	12	16	40,3	60	0,36	IC908

Tabulka 6: Rozměry vrtáku SCD 020 [24]

v_c [m/min]	f [mm/ot]	n [ot/min]	v_f [mm/min]
80-150	0,07-0,17	15 915,5	1 591,55

Tabulka 7: Řezné podmínky vrtáku SCD 020 [24]

Pro vrtání děr v desce s platformou byl zvolen monolitní karbidový vrták také od firmy ISCAR s průměrem 4,9 mm. Označení vrtáku je SCD 049-035-060 AP5N IC908.



Obrázek 22: SCD 049-035-060 [24]

DC [mm]	DCONMS [mm]	LU [mm]	LCF [mm]	LS [mm]	OAL [mm]	PL [mm]	Materiál
4,9	6	35	44	36	82	0,8	IC908

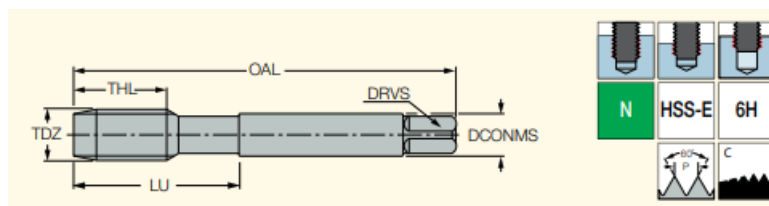
Tabulka 8: Rozměry vrtáku SCD 049 [24]

v_c [m/min]	f [mm/ot]	n [ot/min]	v_f [mm/min]
70-300	0,07-0,18	15 915,5	1 591,55

Tabulka 9: Řezné podmínky vrtáku SCD 049 [24]

3.3.4 Řezání závitu

Pro vytvoření závitu použijeme sadu dvou závitníků od firmy ISCAR. Jedná se o závitníky určené pro obrábění hliníku, takže se perfektně hodí pro náš účel. Označení závitníků je TPS M-2.5X0.45-N HEST.



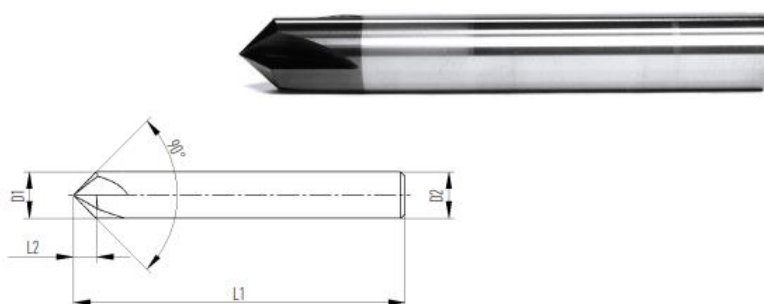
Obrázek 23: Závitník s kótami rozměrů [25]

TDZ	OAL [mm]	THL [mm]	LU [mm]	DCONMS [mm]	NOF
M 2,5	50	9	16	2,8	3

Tabulka 10: Rozměry závitníku [25]

3.3.5 Zkosení hran

Zkosení bude provedeno monolitní, čtyřbřitou frézou na srážení hran od firmy TGS s označením F5090.6.V6.57.3.Z4.



Obrázek 24: Fréza na srážení hran [26]

D1 [mm]	D2 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	Z
6	6	57	3	4

Tabulka 11: Rozměry frézky pro srážení hran [26]

Ap [mm]	Ae [mm]	vc [m/min]	fz [mm/zub]
0,2x45°		180	0,075

Tabulka 12: Řezné podmínky při srážení hran [26]

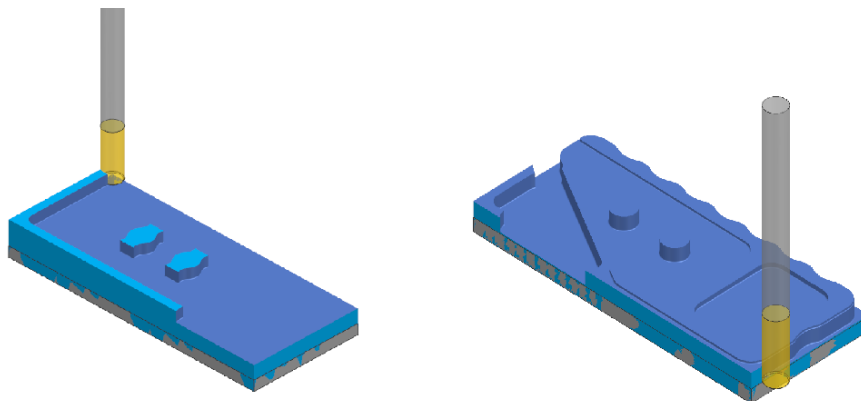
3.4 Technologie frézování součástí dílce

Technologičnost součásti a stroje máme popsány, můžeme tedy přistoupit k návrhu technologie nejprve bez automatizace založení výrobku a různých možností upnutí. Samotný proces výroby tvaru dílce bude systematicky stejný, budou se pouze měnit details, tak aby technologický postup byl proveditelný s daným upnutím. Při důkladném prostudování tvarů střepek v předchozích podkapitolách je zřejmé, že technologický postup bude složen z dvou hlavních operací frézování (hrubování, dokončování, řezání závitu, sražení hran) a vrtání. V této kapitole rozepíšeme jednotlivé operace.

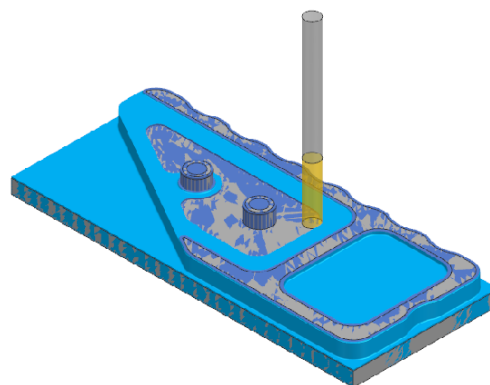
3.4.1 Technologie výroby s manuálním upnutím polotovaru

- **Střenka s čepy**

Polotovar se upne do svěráku, nebo upínacího přípravku za technologický přídavek s dostatečným odsazením, aby se dal obrobit celý obvod součásti, a zajistí se jeho rovinnost vůči pracovnímu stolu frézky. Poté se spustí obráběcí program, ve kterém se téměř obrobí celkový tvar součásti, tak aby zbyl pouze technologický přídavek na upnutí. Celý program se v podstatě skládá z pěti následujících operací: hrubování vnějšího tvaru, dokončení vnějšího tvaru, sražení hran, předvrtání děr pro závitník a zahloubení děr. Prvně tedy hrubovací frézou odebereme největší množství materiálu a z obrobku nám vznikne destička s dvěma vyčnívajícími čepy, a následně též nástrojem obrobíme i obvod dílce s přídávkem pro dokončovací operaci. Po hrubování následuje dokončovací frézou proces frézování na čisto (dokončování) s takovými řeznými podmínkami, abychom dosáhli uspokojivé drsnosti povrchu



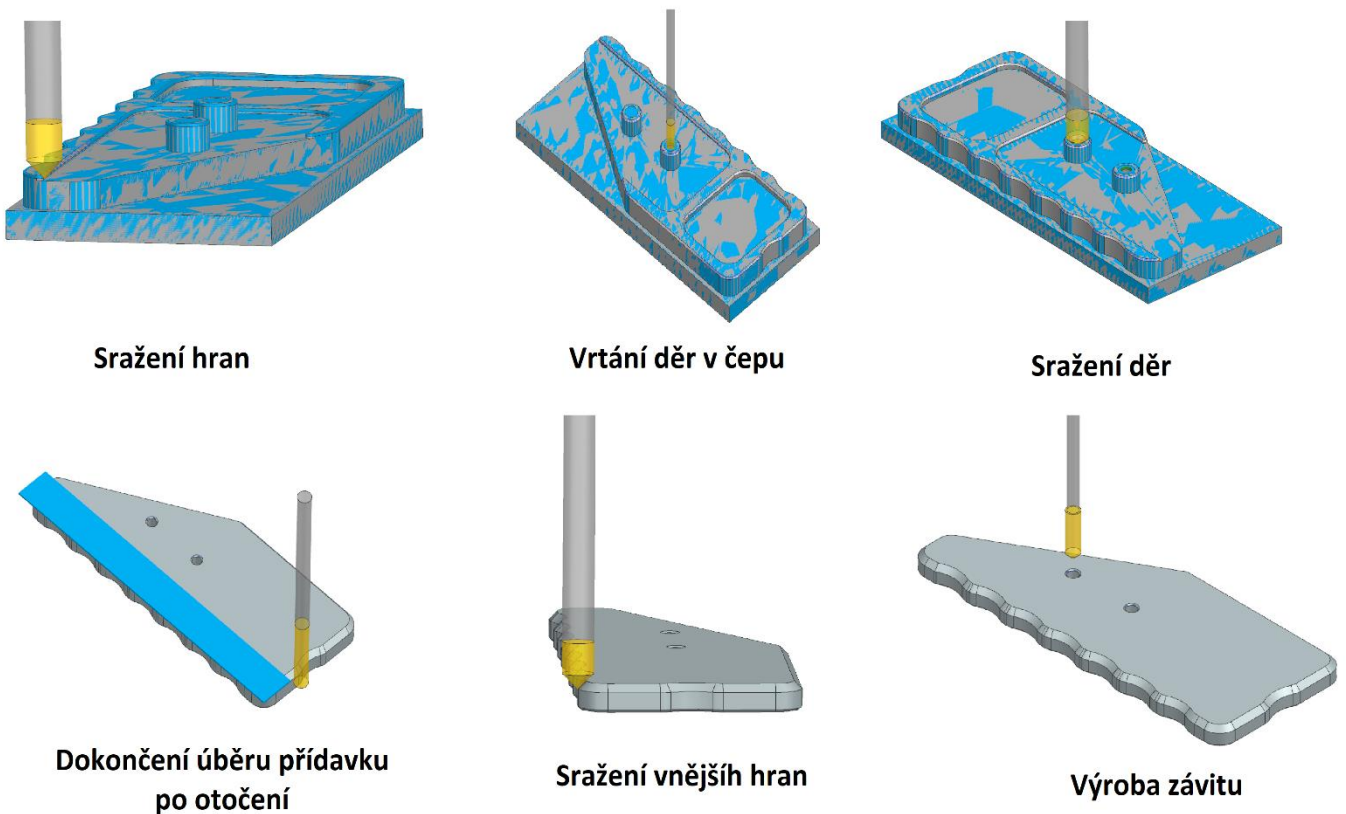
Hrubování základního tvaru



Dokončení základního tvaru

Obrázek 25: Postup frézování první poloviny střenky s čepy

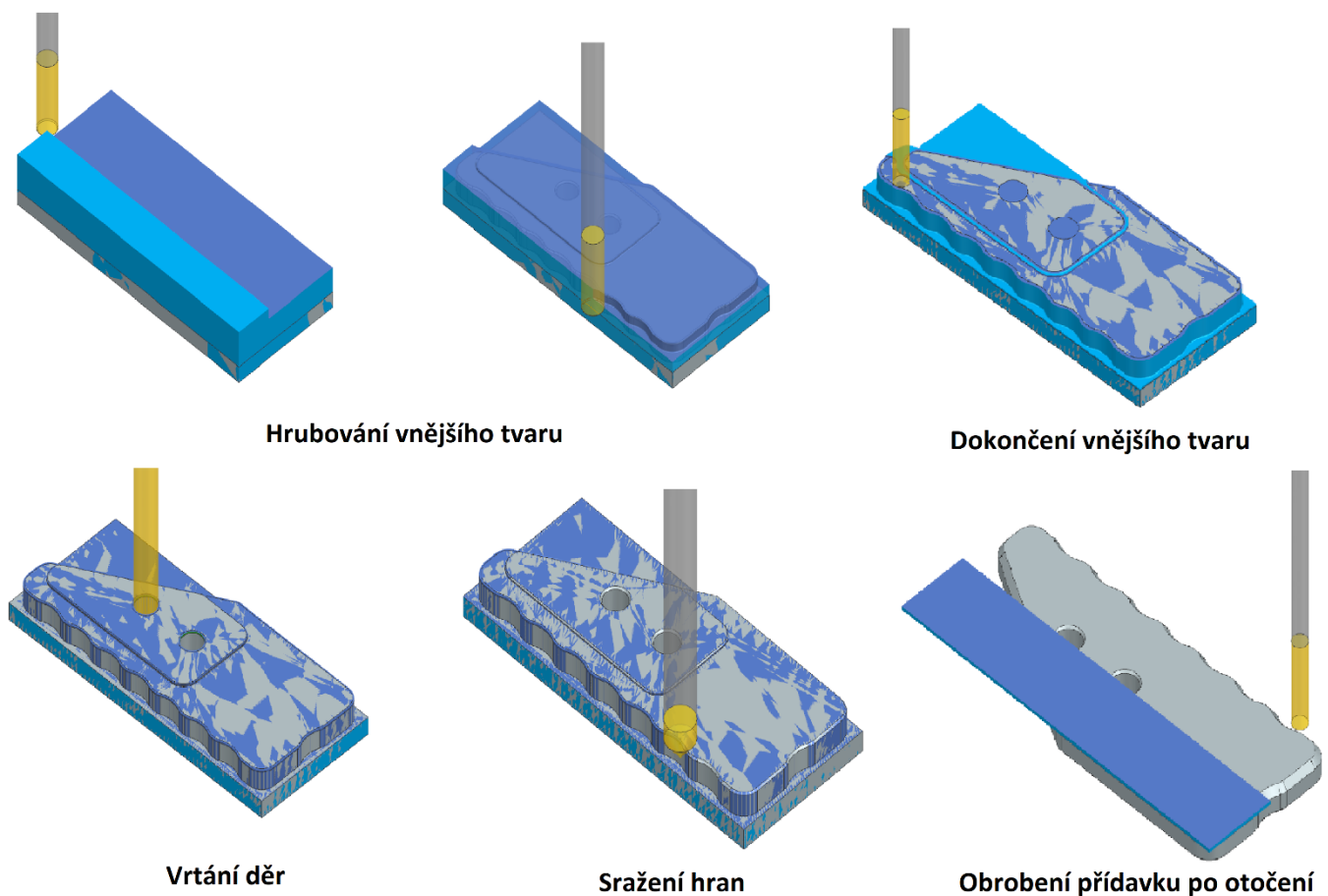
vyhovující výkresové dokumentaci. Po vyfrézování celkového obrysu součásti přichází na řadu sražení všech hran stopkovou, monolitní frézou proto uzpůsobenou. Nejprve se objede sražení po obvodu a drážky kolem čepů, pak na obdélníkové drážce, a nakonec vnější sražení čepů. Hlavně u sražení po obvodu součásti a drážky kolem čepů, se musí dbát na to, aby špička nezasahovala do už hotového povrchu, nebo nezajela do čelistí svěráku. Následně vrtákem vyvrtáme neprůchozí díry pro závity v čepech a frézou pro sražení hran vytvoříme zahloubení děr. Hloubka děr končí v technologickém přídávku a po otočení součásti a obrobení přídávku vznikne díra dle výkresu, toto řešení volím z důvodu odstranění starosti o zanechání dostatečného prostoru pod svěrákem při upnutí. Před otočením obrobku se digitálním posuvným měřítkem zkontroluje, zda průměr čepů odpovídá předepsané mezní úchylce, pokud by tomu tak nebylo musel by se program upravit, tak aby při novém polotovaru rozměry vyhovovali. Mohla by to způsobovat špatná korekce nástroje, nepřesné upnutí polotovaru, či chyba při zadávání přídávků do programu. Na závěr se tedy obrobek otočí a obrobí celý přídavek pro upnutí. Když už je celý přídavek hrubovací a dokončovací frézou obroben, srazí se hrany po obvodu, na vzniklých dírách a závitníkem vyrobí požadovaný závit.



Obrázek 26: Finální postup výroby střenky s čepy

- **Střenka s platformou**

Postup je téměř identický jako u předchozí střenky, avšak při hrubování se odebere větší množství materiálu a dráhy nástroje nebudou tak složité, jelikož zmizela složitost ve formě čepů a drážek. Po dokončovacím frézování, které dá obrobku podobu odpovídající rozměrům na výkrese s dostatečnou drsností povrchu, se však na rozdíl od předchozí střenky vyvrtají díry v platformě s požadovanou přesností a srazí se všechny hrany dle dokumentace. Při sražení musíme i zde dbát na polohu špičky frézy, nesmí zasahovat do již hotového povrchu ani do čelistí svěráku. Po otočení obrobku a dodržení potřebných okolností při upínání do upínacího přípravku, se odstraní technologický přídavek pro upnutí a provede se finální operace sražení hran. Na konec se vhodným měřidlem zkontrolují požadované rozměry platformy a děr pro čepy. Díry musí splňovat předepsané mezní úchytky a platforma musí odpovídat rozměrům na výkrese, aby se při montáži nevyskytly žádné komplikace.



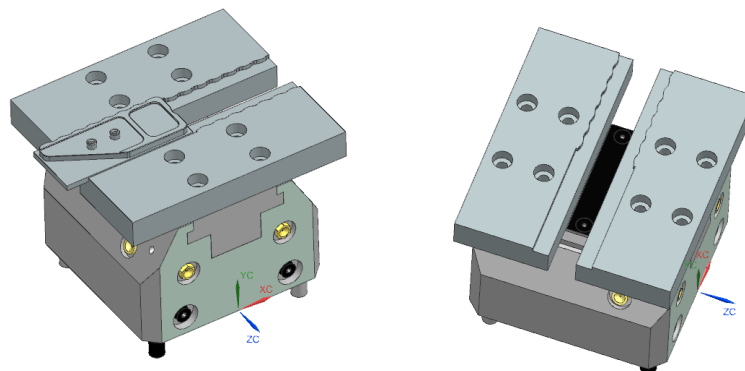
Obrázek 27: Výrobní postup střenky s platformou

3.5 Technologie s automatizovaným zakládáním pomocí ROBOTA

Pro založení polotovaru a otočení obrobku se využije robotické ruky, technologie frézování bude probíhat, dle předchozí podkapitoly. Pro použití robota uzpůsobíme různé varianty upnutí obrobku ve stroji a případně navrhne různé pomocné přípravky.

3.5.1 Varianta výroby při automatizovaném upnutí každé střenky zvlášť

Polotovar bude připraven na vyznačeném místě, které je zaneseno do programu robota a robot tím pádem ví, kde přesně se obrobek nachází. Z tohoto místa robot obrobek uchopí a založí do svěráku připevněnému ke stolu CNC frézky. Polotovar upne za technologický přídavek pro upnutí do svěráku s pneumaticky řízenými čelistmi, které jsou speciálně upraveny pro nejlepší upnutí. Pokud pod polotovarem nebude dostatečný prostor pro čelisti gripperu, tak bude muset být polotovar upnut s výčnělkem do dveří stroje, případně uchopen gripperem za kratší strany polotovaru. Operace sevření svěráku a program robota musí být synchronní. Jelikož po najetí robota do bodu, kdy bude polotovar připraven pro upnutí mezi čelisti svěráku, musí stroj sepnout čelisti k sobě, po té robotu vyšle signál, že může polotovar pustit a odjet do polohy mimo pracovní prostor stroje, v této poloze, pak robot vyšle signál stroji, že může zavřít ochranné dveře a spustit program pro frézování. Po dokončení jedné strany součásti, robot uchopí součást, otočí ji a najede zpět mezi čelisti svěráku s vybráním pro vlnitou hranu součásti, tak aby mohl svěrák součást uchopit a nechal dostatečný prostor mezi zbylým obráběným materiálem (technologickým přídávkem) a čelistmi svěráku. Po té robot odjede mimo pracovní prostor stroje a obrobí se druhá strana součásti. Poslední úkon robota, bude odebrání součásti a položení na vyznačené místo na stole, tentokrát však robot bude muset součást uchopit za menší strany součásti mezi čelistmi.

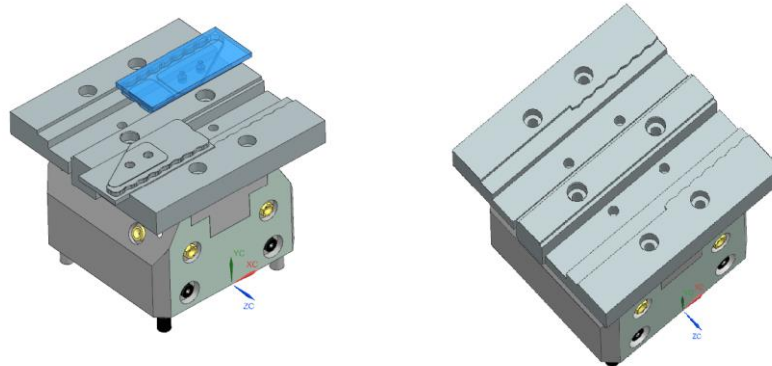


Obrázek 28: Příklad upnutí při jednotlivém zakládání

3.5.2 Varianta s automatizovaným zakládáním a upínáním obou střeňek zároveň

Použil by se svěrák se dvěma pohyblivými čelistmi a jednou čelistí pevně upevněnou mezi nimi. Čelisti mají polovinu rovnou a polovinu upravenou pro vlnitou hranu součásti pro lepší upnutí. Obě střeňky by se upínaly sevřením pohyblivou čelistí z jedné strany střeňky k čelisti pevné. Robot by tak založil postupně obě střeňky do svěráku, úchopem za kratší strany polotovaru z vrchu součásti. Pro prvotní obránění z polotovaru na hotový obvod součásti do části čelistí s rovnými plochami. Poté by robot odjel z pracovního prostoru frézky a vykonaly by se potřebné operace pro obrobení součásti do potřebného tvaru. Následoval by obrát obou obrobků a upnutí za část čelistí s modifikovaným tvarem pro lepší upnutí obrobku. Jakmile by robot odjel do bezpečného prostoru CNC frézka by dokončila součást odebráním

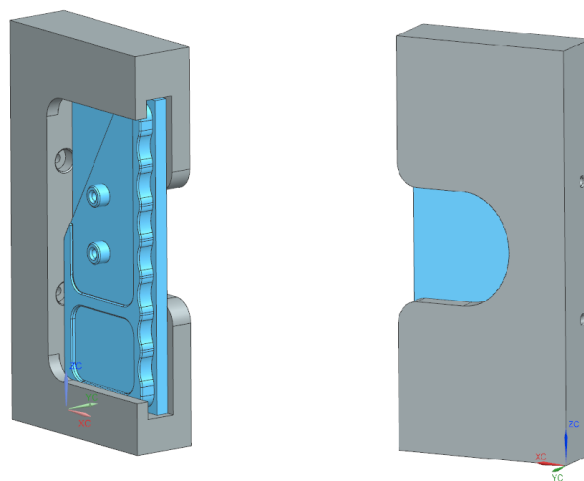
technologického přídatku a robot by následně obě hotové součásti odebral a umístil na stůl vedle stroje. Tento proces by mohl probíhat stále dokola a měl by tak využít při sériové výrobě typově stejného výrobku.



Obrázek 29: Příklad upnutí obou střeňek zároveň

3.5.3 Varianta zakládání pomocí vakuového gripperu

Tato varianta bude pouze teoretickou, jelikož pro její realizaci nejsou na univerzitě potřebné výrobní prostředky. Budeme tedy předpokládat, že bychom použili vhodný gripper dostupný na trhu, například od firmy RobotiQ. Nevýhodou tohoto gripperu je, že součást uchytí za poměrně velkou část plochy, která byla obráběna a následně se za stejnou plochu musí obrobek upnout, aby mohl být dokončen, což je bez pomocného přípravku neproveditelné. Pro otočení součásti by se tedy vytvořil pomocný přípravek, který by gripperu umožnil do přípravku najet s přichycenou jednou stranou, přípravek by součást podržel ve vertikální pozici, a gripper by mohl součást uchopit z druhé strany. Celý proces by tedy probíhal následovně. Robot by uchopil polotovár a založil ho do svěráku na pracovní stůl CNC frézky. Proběhl by první obráběcí cyklus, pak by robot uchopil přísavkou desku buď za menší kapsu, nebo za plochu na technologickém přídatku (záleželo by na rozměrech přísavky) a najel by se součástí do přípravku pro otočení. Po uchopení součásti ze strany technologického přídatku by znovu založil součást do svěráku a mohla by se dokončit i druhá strana součásti. Následovalo by už jen vyjmutí a položení na stůl vedle stroje.



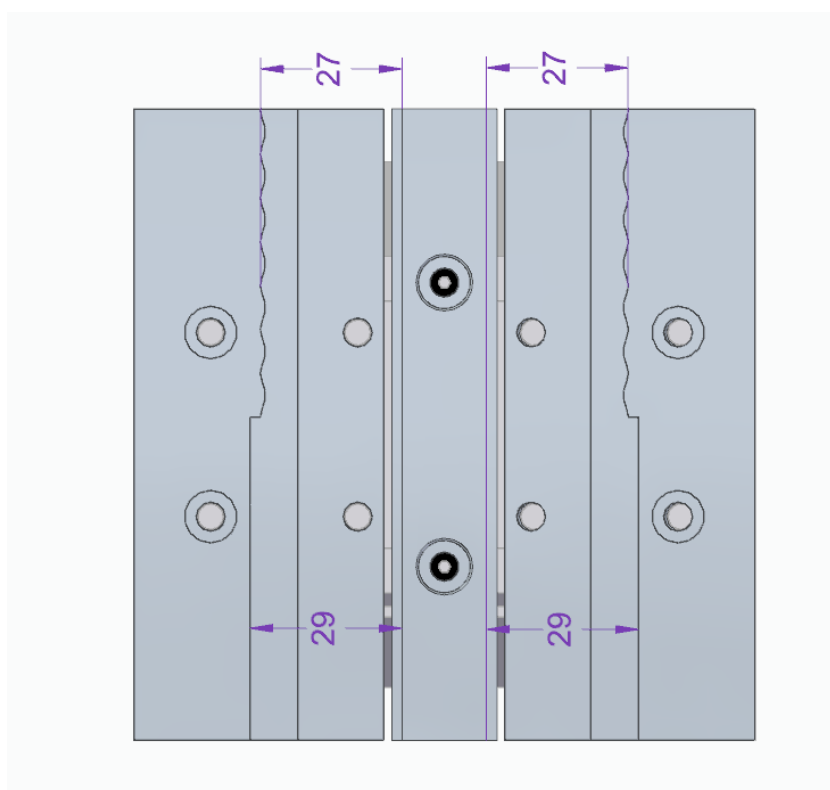
Obrázek 30: Přípravek pro otočení pomocí vakuového gripperu

4 Praktická ověření navržené technologie

Tato kapitola bude sloužit hlavně pro vyzkoušení jedné z technologických variant v praxi na výše popsaném výrobním pracovišti. Po konzultaci s vedoucím práce byla vybrána jednoduchá varianta s postupným zakládáním jednoho polotovaru, jeho obrobením a následnou manipulací s obrobkem při otočení a odebrání ze stroje. Tato varianta byla vybrána hlavně z technických možností na univerzitě, časové tísně a technickým problémům, které nám nedovolily vyřešit problematiku složitější varianty.

4.1 Problematika varianty s upnutím dvou obrobků

Odzkoušení této složitější, ale zajímavější varianty by vyžadovalo určitou úpravu a přípravu čelistí, jelikož pneumatický svěrák umožňuje malý horizontální zdvih čelistí a navržené varianty by se tak museli odladit, aby byli použitelné v praxi. U varianty s obrobením dvou střenek zároveň s použitím střední čelisti na svěráku, by to vyžadovalo výrobu střední čelisti a úpravu stávajících čelistí, tak aby rozteč mezi nimi byla použitelná pro upnutí. V praxi to znamená, že jedna polovina čelisti musí být vybavena specifickým zvlněním pro lepší upnutí obrobku, které kopíruje tvar vybraní na střenkách z jedné strany a rozteč mezi střední čelistí a takto zvlněnou polovinou vnější čelisti musí být užší než u poloviny rovné, jelikož polotovar je širší o přídávky na obrábění. Pro lepší vizualizaci byl vytvořen obrázek níže. Po rozevření svěráku by se tak dle specifikace výrobce měli čelisti rozevřít na 31 a 29 mm, což by umožnilo vložit polotovar o šířce 30 mm do rovné poloviny čelistí, a obrobek po otočení s šířkou 28 mm do druhé zvlněné poloviny. Přípravu však provázeli technické problémy na stroji a též kvůli časové tísně nebyla nakonec tato varianta vybrána.

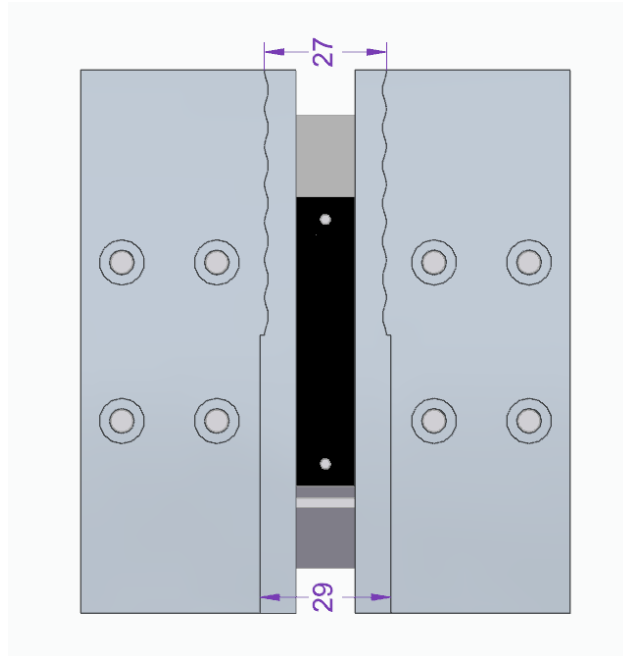


Obrázek 31: Horní pohled na upravené čelisti

4.2 Problematika a průběh ověřované varianty

Jak už bylo řečeno v úvodu kapitoly pro praktické ověření byla vybrána varianta se založením a obrobením jedné střenky. Cílem je ověřit, zda navržená varianta technologie je proveditelná a odladitelná v praxi.

Prvním krokem byla příprava stroje a čelistí svěráku. Ze stroje se odmontoval stávající svěrák a na pracovní stůl se připevnil námi používaný pneumatický. Svěrák se připojil ke vzduchovému systému stroje, též se připojily spojovací kabely pro senzory a operační systém stroje, jednoduše aby stroj poznal, zdali je svěrák sevřený či otevřený. Dalším krokem je příprava čelistí svěráku. K tomu se využili stávající čelisti z předchozích prací na stroji, které se museli ale upravit do požadovaného tvaru, aby odpovídali požadavkům technologie. Bylo za potřebí udělat téměř stejné úpravy jako jsou popsány výše u problematiky složitější varianty s vynecháním střední čelisti (jde hlavně o specifické zvlnění). Výsledná sestava upnutí by měla vypadat jako na následujícím obrázku níže (Obrázek 32). Avšak kvůli časovému presu byli nakonec použity čelisti s rovnými upínacími plochami a obrobena pouze jedna část střenky s čepy.



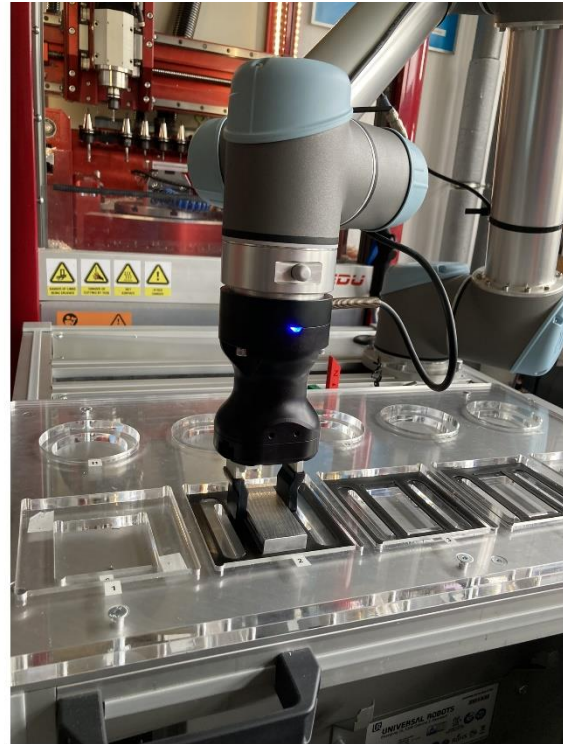
Obrázek 32: Sestava upnutí ověřované varianty

Po přípravě čelistí bylo zapotřebí vytvořit program pro robotickou ruku pro zakládání polotovaru. K tomu bylo využito online programování (přímo u stroje) za pomoci připojeného teach-pendantu (dotykového tabletu) s programovacím rozhraním robota. Program se skládal z naprogramované domovské pozice (obrázek níže), kontroly činnosti a otevření gripperu (gripper check), následně se obecným pohybem (move J) rameno navedlo na pozici nad polotovarem umístěným v mřížce na stole u robota. Jednotlivé poziční body byly naprogramovány metodou play-back (ručním navedením robota) a uloženy do stromu programu pod příslušný pohyb. Následovalo lineárním pohybem (move L) najetí k polotovaru v mřížce a uchopení polotovaru (gripper close). Dalším krokem je najetí obecným pohybem před dveře stroje a robot musí vyčkat na signál od stroje, že dveře jsou otevřeny. Po té robot najede nad svěrák a úkonem, který je složen téměř ze stejných pohybů jako při uchopení polotovaru, založí polotovar do čelistí svěráku s konečným příkazem gripperu k uvolnění polotovaru (gripper open). Robot podá informaci stroji, že polotovar je na místě a stroj sevrě

čelisti svěráku a uchopí polotovaru. Robot se pak sadou naprogramovaných pohybů přesune zpět do domovské pozice. Stroj pak zavře dveře a může začít obrábět součást. Po obrobení by pak následovalo vyjmutí a otočení obrobku. Celý postup můžete vidět níže (Obrázek 33).



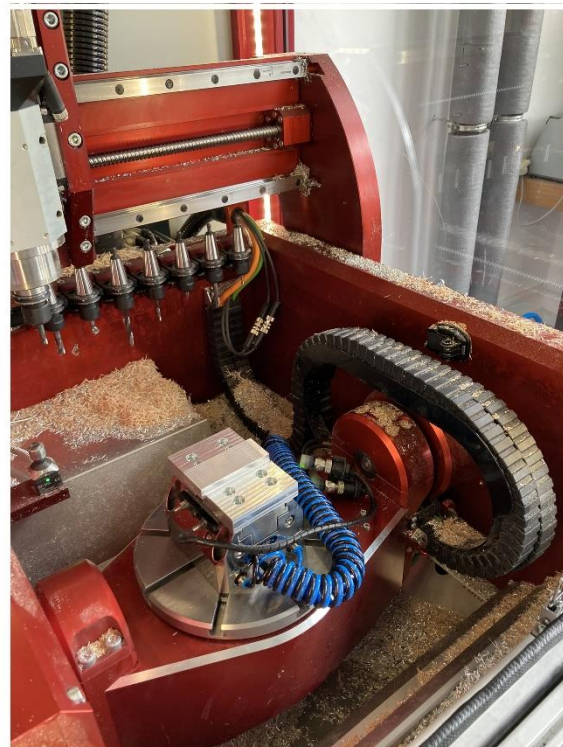
Domovská pozice robota



Uchopení polotovaru v mřížce



Založení polotovaru do stroje

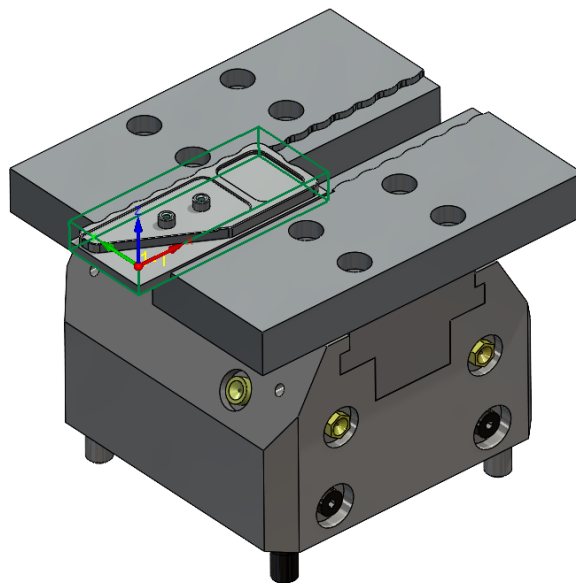


Upnutý polotovar po odjetí robota

Obrázek 33: Postup automatizace robotem

Po založení polotovaru robotem bylo nutno připravit program pro samotné frézování střenky. Pro získání ilustračních materiálů ve zmíněné kapitole jsem dílce programoval v programu NX CAM, nicméně z důvodu, že jsem použil pouze akademickou verzi bez potřebných licencí, nebylo možné vygenerovat G kód. Na univerzitě se však pro programování použité frézky používá software SolidCAM, tudíž se technologie musela připravit v daném softwaru. Na rozdíl od mnou navrhované technologie se použili nástroje připravené v automatickém podavači na stroji a polotovarem byla hliníková krychle dostupná na univerzitě o podobných rozměrech, jak bylo navrženo. Po odladění programu, tak aby byl použitelný na stroji, sladění listu nástrojů a korekcí byla obrobena půlka střenky s čepy.

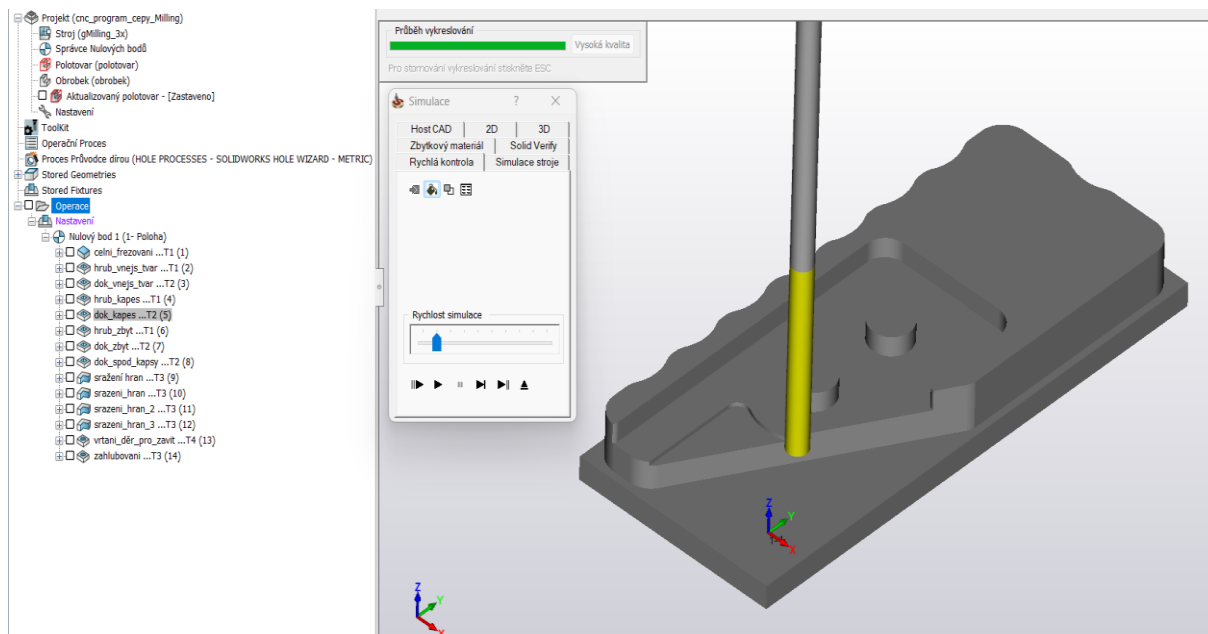
Pro lepší představu tvorby programu, mohu popsat mnou naprogramovanou technologii frézování dané poloviny střenky v programu SolidCAM s navrženými nástroji z kapitoly výše. Jak je z názvu programu poznat jedná se o CAM program, který využívá 3D modelů vytvořených v programech CAD (např. SolidWorks, SolidEdge, NX) a na základě jejich geometrie vytváří dle zvolených operací dráhy nástrojů pro CNC stroj. Nejprve tedy byl vytvořen model upnutí ve formátu .stp, který se použil pro základ CAM modulu. Následně se zvolí stroj, na kterém se technologie bude provádět, vyberou se prvky (plochy) ze sestavy, které slouží jako obrobek a dle toho si je program schopen dopočítat obrysový kvádr, který slouží jako polotovar. Přídavky obrysového kváдру byli upraveny, aby odpovídali navržené technologii. Následně byl zvolen nulový bod na horním rohu polotovaru. Musí se zvolit takový bod, který jsme schopni najet na stroji. Model upnutí s polotovarem a nulovým bodem můžete vidět na obrázku níže (Obrázek 34).



Obrázek 34: model upnutí se zvoleným polotovarem pro SolidCAM

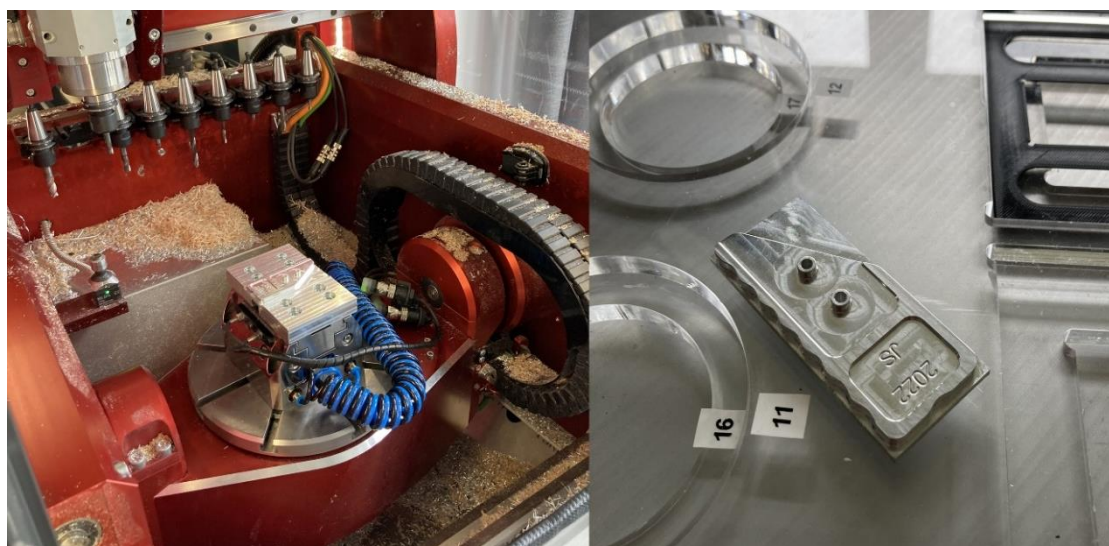
Po nastavení základních parametrů byla vyplněna tabulka nástrojů dle zvolených v kapitole výše, v praxi by byli v tabulce popsány nástroje v automatickém držáku stroje. Dále se postupně naprogramovali operace popsané v kapitole věnované technologii frézování. K tomu se využily funkce v programu jako čelní frézování, kontura, kapsa, vrtání. Jednotlivé dráhy operací se malino lišily. Například oproti předchozí popsané technologii mi program čelním frézováním odebral pouze část materiálu po vršek čepů a další hrubovací a dokončovací operace vnějšího tvaru a kapes jsem musel rozložit do více funkcí. V programu NX CAM toto šlo naprogramovat jednodušeji za pomoci dvou funkcí, program byl schopen lépe mapovat geometrii modelu a

dopočítávat dráhy nástroje. Též byla komplikace s programováním sražení hran, kde mi SolidCAM nechtěl dopočítat dráhy pomocí přímo určené funkce na sražení, musel jsem tak použít funkci kontury, kde je v dialogovém okně pro nastavení technologie možno vybrat obrobení zbytkového materiálu/sražení. Po vytvoření všech operací nutné pro obrobení dané poloviny střenky, vznikne přehledný strom programu (pokud si jednotlivé funkce správně pojmenujeme dle daných operací) a můžeme tedy program od simulovat a vygenerovat G-kód pro stroj.



Obrázek 35: Příklad simulace v programu SolidCAM

Po nahrání programu do stroje se polotovaz založený robotem obrobil a následovala by kontrola správnosti rozměrů a obrobení dalších částí dílce to se však kvůli technickým problémům na stroji a časové náročnosti seřízení bohužel nestihlo.



Obrázek 36: Výsledná obrobená polovina střenky

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout automatizovanou technologii frézování zadaného dílce (malý nůž) s využitím robotického ramene pro zakládání polotovaru a manipulaci s obrobkem. K dosažení tohoto cíle mi byl poskytnut 3D model zadaného dílce společně s výrobními prostředky v univerzitní laboratoři, které byli též stěžejní pro zadaní a zvolené cíle.

V úvodní rešeršní části byli získány a popsány informace spojené s automatizací a robotizací výroby. Tato část mi poskytla základy o konstrukci, funkci a programování průmyslových robotů, které byli následně využity při samotném návrhu technologie. Seznámení s průmyslovými roboty mi také doplnilo potřebné nenabitě znalosti a zkušenosti z dosavadní výuky.

V samotném koncepčním návrhu technologie jsem se zaměřil na popis a technologickou náročnost daného dílce společně s vytvořením dodatečných modelů, rozstřelů celé sestavy a výkresové dokumentace v systému SolidEdge. Popsal jsem použité stroje k následnému praktickému ověření, navrhl polotovar v závislosti na technických možnostech strojů a možné nástroje při zavádění úplně nové technologie bez dostupných výrobních nástrojů v laboratoři. Následovala tvorba samotné technologie frézování dílce, složená z jednotlivých po sobě jdoucích technologických operací a vytvoření programu pro CNC frézku v softwarovém modulu NX CAM. Další částí tvorby technologie bylo vyřešení problému upnutí obrobku vhodného k použití robotu. K tomuto účelu byli vytvořeny tři varianty upnutí. Dvě s využitím pneumatického svěráku, který lze ovládat přímo CNC strojem a jedna čistě teoretická, kde by se museli případně dokoupit potřebné doplňky pro robota v podobě vakuového gripperu.

V praktické části bylo za cíl ověřit jednu z navržených variant v praxi v univerzitní laboratoři. To obnášelo realizaci úprav čelistí použitého pneumatického svěráku, která nakonec důsledkem technických problémů na stroji a časovému presu nebyla provedena. Také se musel přeprogramovat a odladit mnou navržený program, jelikož byl použit nekompatibilní akademický software se strojem. V konečném důsledku jsme, ale po přípravě jednoduchého programu pro robota a odladění frézovacího programu pro jednu polovinu střenky s čepy byli schopni, tuto polovinu vyrobit.

Závěrem je tedy, že do budoucna by se na této práci dalo stavět a jednu z navržených variant technologie, která pracuje s dostupnými prostředky na univerzitě, by mělo být možno odladit do finální automatizované podoby.

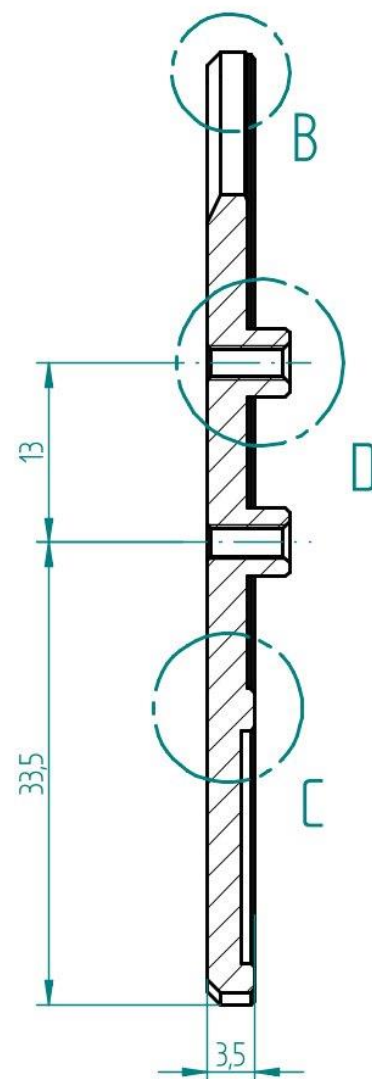
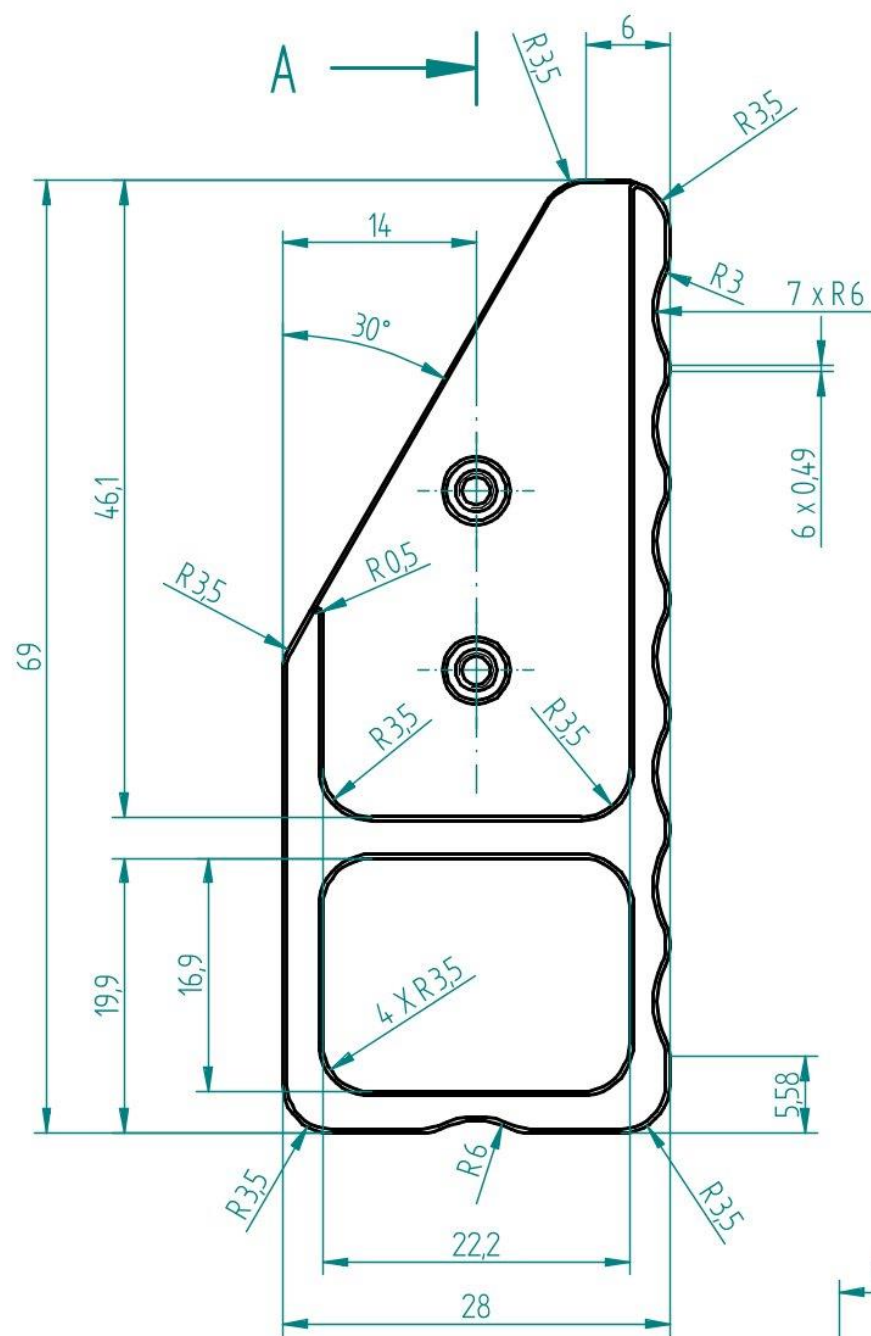
Seznam použitých zdrojů

- [1] FRANCÍREK, František. Bakalářská práce: co, jak a proč připravit, zpracovat, napsat a zhodnotit (obhájit). Praha: Ingenio et Arti, 2012. ISBN 978-80-905287-1-0.
- [2] ŠTULPA, Miloslav. Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání: pro praxi. První vydání. Praha: Grada publishing, 2022. 158 stran. ISBN 978-80-271-2883-9
- [3] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [4] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3. 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 1. vyd. Praha: Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [5] Maximální flexibilita a efektivnost u silových svěráků. Infocube [online]. Brno, 2019 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://infocube.cz/cs/maximalni-flexibilita-a-efektivnost-u-silovych-sveraku/>
- [6] Vakuová upínací deska 300x400mm. KOVONÁSTROJE [online]. Zlín [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/vakuova-upinaci-deska-300x400mm/>
- [7] KRÁL, Ján. Technologické a informačné činitele obrábania. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, Centrum informatiky, 2009. ISBN 978-80-553-0381-9.
- [8] Upínání obrobků. In: ELUC [online]. Olomouc: Ing. Pavel Trojan [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1211>
- [9] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. 2. vyd. Praha: SNTL, 1991.
- [10] SOVA, František. Automatizace výrobních procesů I. Plzeň: VŠSE, 1986.
- [11] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. Průmyslové roboty a manipulátory. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00361-X.
- [12] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [13] BELJANIN, Peter Nikolajevič. Promyšlenyje roboty. 1. izd. Moskva: Mašinostrojenije, 1976, 397 s
- [14] Malý zvedací robot-BORUNTE [online]. In: . [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <http://cz.borunte.net/industrial-robot/6-axis-robot/small-pick-up-robot.html>
- [15] PISKAČ, Luděk. Průmyslové roboty. 2., přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-278-0.
- [16] Programování robotů v rekordní době pomocí KUKA.AppTech. KUKA AG [online]. Německo: KUKA [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/aplika%C4%8Dn%C3%AD-software/kuka-apptech>
- [17] HELLEBRAND, Petr. Řízení robotů [online]. Praha [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: http://skola.hellebrand.cz/text1415/rt/RT-4-10-03_Robotika-3-Rizeni.pdf Výukový text. Střední průmyslová škola na Proseku.
- [18] Značení neželezných kovů. Feron [online]. Česká Republika, 2023 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-nezelezných-kovu/?typ=2>
- [19] Slitina EN AW-6063 (AlMg0.7Si). Hliníkové profily PROAL [online]. Česká Republika [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-6063/>
- [20] VOLTNER, Marek. Uživatelsky-navod-SLV-EDU [online]. Brno, 2018 [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.cncstroj.cz/wp-content/uploads/2022/12/Uzivatelsky-navod-SLV-EDU.pdf>
- [21] SLV EDU 5axis Siemens 5osá frézka. CNCSTROJ [online]. Brno: SolidVision [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.cncstroj.cz/stroje/slv-edu-5axis-siemens/>

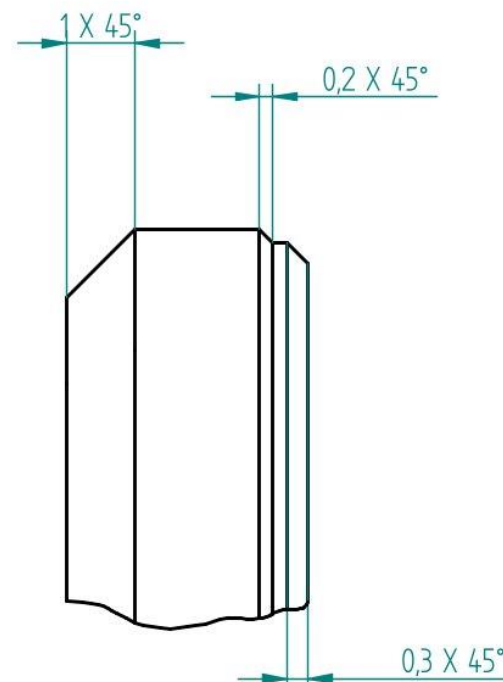
- [22] EN AW-6063 | Data Sheet. ALUMERO [online]. Austria, 2020 [cit. 2023-03-06].
Dostupné z: https://www.alumerogroup.eu/fileadmin/user_upload/downloads/folder/technologien/ALUMERO_Legierungen_EN-AW-6063_EN.pdf
- [23] MILLING-CATALOG-2021-p93–184-CZ. ISCAR [online]. [cit. 2023-03-08].
Dostupné z: <https://www.iscar.cz/Catalogs/publication-2023/Czech-6/MILLING-CATALOG-2021-p93–184-CZ/MILLING-CATALOG-2021-p93–184-CZ.pdf>
- [24] HOLE-MAKING-CATALOG_65_2022. ISCAR [online]. 2022 [cit. 2023-03-09].
Dostupné z: https://www.iscar.cz/Catalogs/publication-2022/english-1/HOLE-MAKING-CATALOG_65_2022-p149-184.pdf
- [25] HOLE-MAKING-CATALOG_65_2022. ISCAR [online]. 2022 [cit. 2023-03-09].
Dostupné z: https://www.iscar.cz/Catalogs/publication-2022/english-1/HOLE-MAKING-CATALOG_65_2022-p311-382.pdf
- [26] Brozura-monolity-F5090. TGS [online]. 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://tgs.cz/getFile/id:463329/brozura-monolity-F5090.pdf>

PŘÍLOHA č. 1

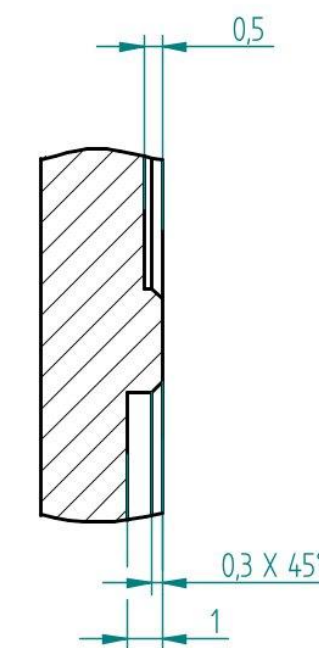
Výkresová dokumentace střenek sestavy dílce



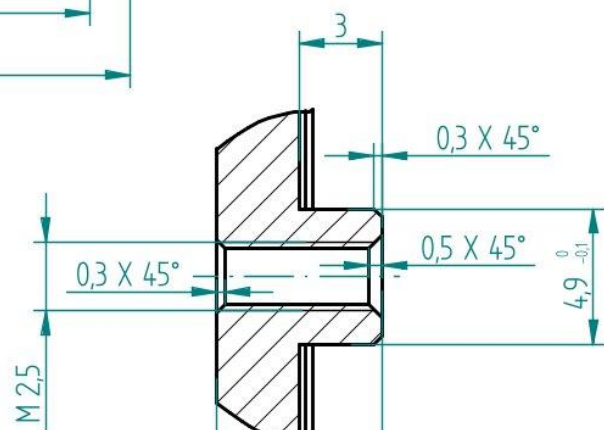
ŘEZ A-A



DETAIL B
10:1



DETAIL C
5:1



DETAIL D
4:1

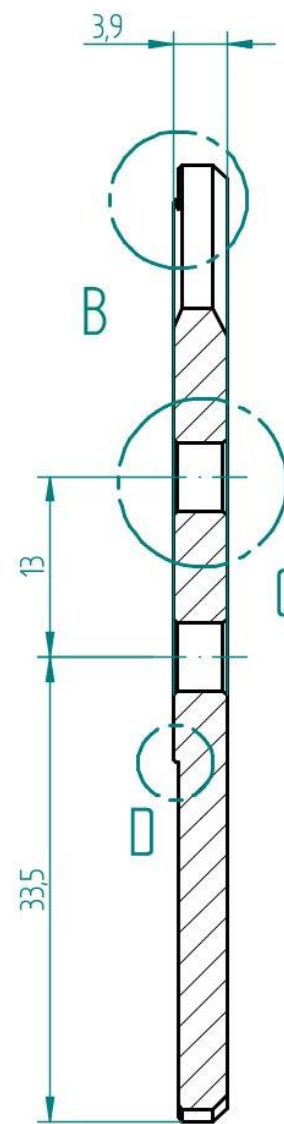
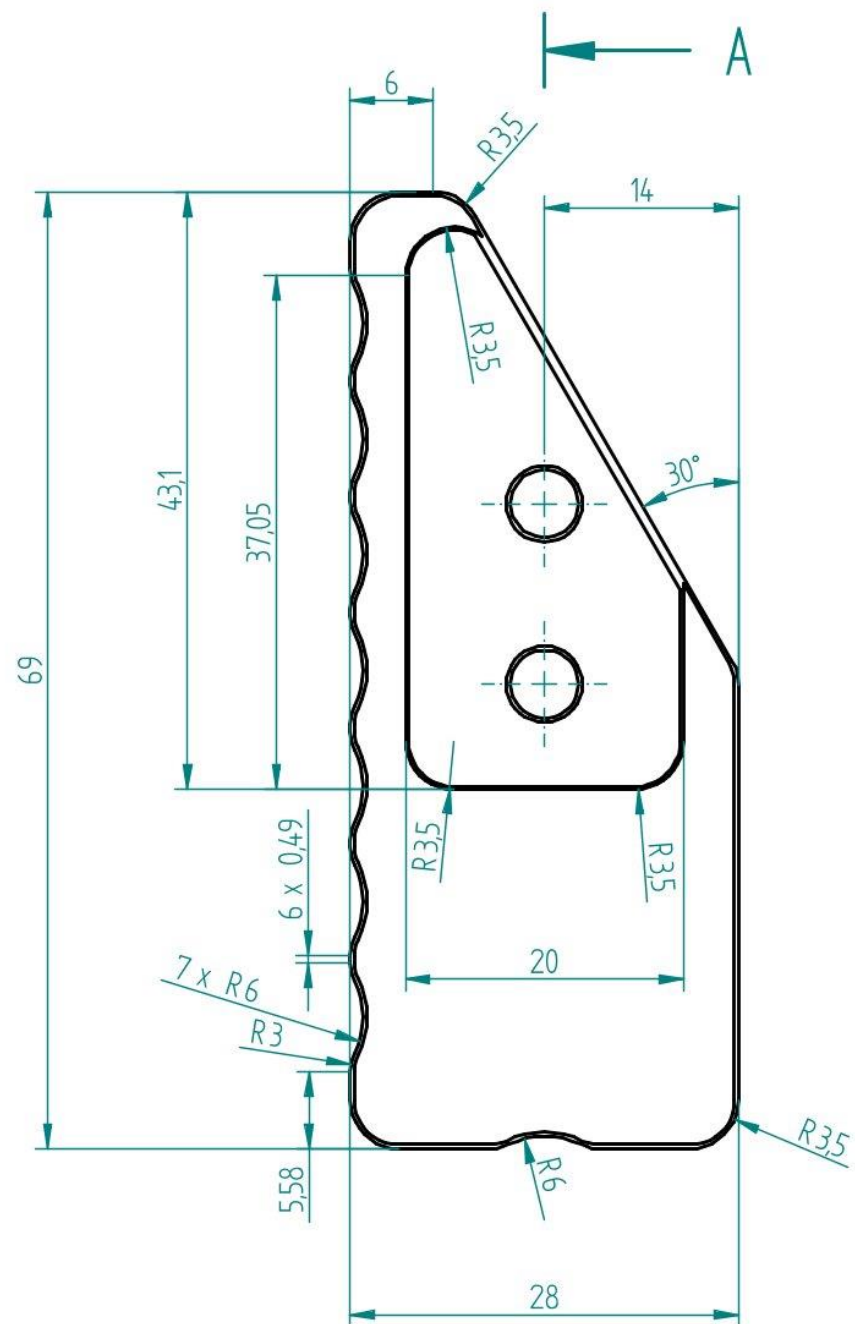
NEZAKÓTOVANÉ RÁSIUSY R3

Textura povrchu $\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)	Hrany ISO 13715 -0.4 +0.4	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,036	Tolerování ISO 8015
			Promítání

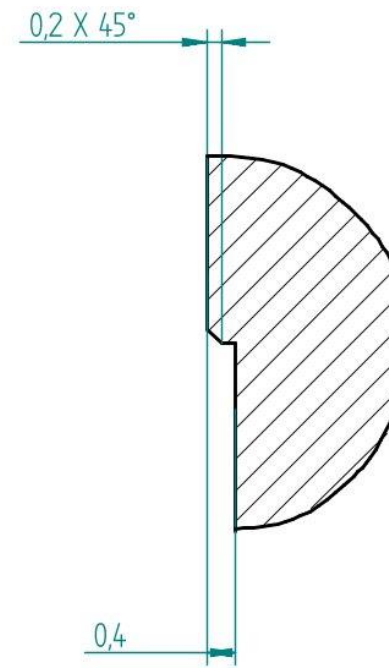
Materiál - Polotovár
PLO 30x10 - EN 573-3 AW 6063 T66 ČSN EN 755-5

Formát
A3

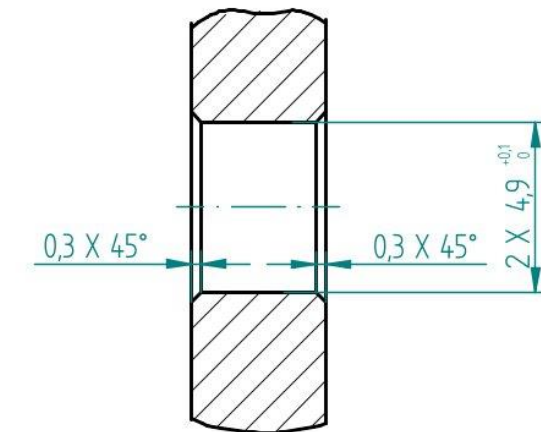
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil T. Ivanič	Název Střenka s čepy
	Datum 06.02.2023	
KTO KATEDRA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	Schválil	Číslo dokumentu 1-ZS-PBP
	Datum	
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	



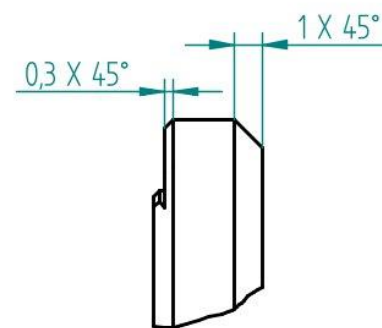
ŘEZ A-A



DETAIL D
10:1



DETAIL C
5:1



DETAIL B
4:1

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,042	Tolerování ISO 8015
			Promítání
Materiál - Polotovár PLO 30x10 - EN 573-3 AW 6063 T66 ČSN EN 755-5			Formát A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil T. Ivanič	Název Střenka s platformou	
	Datum 06.02.2023		
 KATEDRA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	Schválil	Číslo dokumentu 2-ZS-PBP	
	Datum		
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		

PŘÍLOHA č. 2

Příklad CNC G-kódu z praktické části

Datum:	Strany:	Jméno souboru:
09.05.2023 19:52:47	10	C:\...\cnc_program_cep Milling\cnc_program_cep Milling.NC

```

§
O1000 (CNC_PROGRAM CEPY MILLING)
N100 (COMPENSATION-WEAR)
N102 (REV-0.70)
N104 (MAY- 9-2023-7:52:31PM)

N106 (TOOL 1 - DIA 5.)
N108 (TOOL 2 - DIA 3.)
N110 (TOOL 3 - DIA 6.)
N112 (TOOL 4 - DIA 2.)

N1 G90 G17 G40 G80 G00
N114 M06 T1 ()
N116 (celni-frezovani)
N118 G00 G54 G90 X-6. Y69.9986 S3500 M03
N120 G43 H1 Z129.
N122 S3500
N124 Z34.
N126 Z12.
N128 G01 Z9. F300.
N130 X33. F1000.
N132 X32.9998 Y66.5442 F2000.
N134 X-2.9998 F1000.
N136 X-2.9997 Y63.0898 F2000.
N138 X32.9997 F1000.
N140 X32.9995 Y59.6354 F2000.
N142 X-2.9995 F1000.
N144 Y56.181 F2000.
N146 X32.9994 F1000.
N148 X32.9992 Y52.7265 F2000.
N150 X-2.9992 F1000.
N152 X-2.9991 Y49.2721 F2000.
N154 X32.9991 F1000.
N156 X32.9989 Y45.8177 F2000.
N158 X-2.9989 F1000.
N160 Y42.3633 F2000.
N162 X32.9988 F1000.
N164 X32.9986 Y38.9088 F2000.
N166 X-2.9986 F1000.
N168 X-2.9985 Y35.4544 F2000.
N170 X32.9985 F1000.
N172 X32.9983 Y32. F2000.
N174 X-2.9983 F1000.
N176 Y28.5456 F2000.
N178 X32.9982 F1000.
N180 Y25.0912 F2000.
N182 X-2.9981 F1000.
N184 X-2.9979 Y21.6367 F2000.
N186 X32.9979 F1000.
N188 X32.9978 Y18.1823 F2000.
N190 X-2.9978 F1000.
N192 X-2.9976 Y14.7279 F2000.
N194 X32.9976 F1000.
N196 Y11.2735 F2000.
N198 X-2.9975 F1000.
N200 X-2.9973 Y7.819 F2000.
N202 X32.9973 F1000.
N204 X32.9972 Y4.3646 F2000.
N206 X-2.9972 F1000.
N208 X-2.997 Y0.9102 F2000.
N210 X32.997 F1000.
N212 G00 Z34.
N214 (hrub-vnejs-tvar)
N216 S3500
N218 X32.85 Y0.6704
N220 Z34.
N222 Z11.
N224 G01 Z6.5 F300.
N226 X32.5 F1000.
N228 X30.733 Y-2.3901
N230 G00 Z34.
N232 X32.85 Y7.6704
N234 Z11.
N236 G01 Z6.5 F300.
N238 X32.5 F1000.
N240 X26.6281 Y-2.5
N242 G00 Z34.
N244 X32.85 Y14.6704
N246 Z11.
N248 G01 Z6.5 F300.
N250 X32.5 F1000.

N252 X22.5866 Y-2.5
N254 G00 Z34.
N256 X32.85 Y21.6704
N258 Z11.
N260 G01 Z6.5 F300.
N262 X32.5 F1000.
N264 X18.6895 Y-2.25
N266 G02 X18.5416 Y-2.5 I-11.6913 J6.75
N268 G00 Z34.
N270 X32.85 Y28.6704
N272 Z11.
N274 G01 Z6.5 F300.
N276 X32.5 F1000.
N278 X15.6584 Y-0.5
N280 G02 X14.1396 Y-2.5 I-8.6603 J5.
N282 G00 Z34.
N284 X11.6401 Y-2.85
N286 Z11.
N288 G01 Z6.5 F300.
N290 Y-0.05 F1000.
N292 G02 X6.9982 Y-2. I-4.6419 J4.55
N294 G01 X4.5
N296 G02 X-2. Y4.5 I0. J6.5
N298 G01 Y6.577
N300 G02 X-1.4 Y9.1923 I6. J0.
N302 G03 X-1.4 Y11.8077 I-2.7 J1.3077
N304 G02 X-2. Y14.423 I5.4 J2.6153
N306 G01 Y14.9103
N308 G02 X-1.4 Y17.5257 I6. J0.
N310 G03 X-1.4 Y20.141 I-2.7 J1.3077
N312 G02 X-2. Y22.7563 I5.4 J2.6153
N314 G01 Y23.2437
N316 G02 X-1.4 Y25.859 I6. J0.
N318 G03 X-1.4 Y28.4743 I-2.7 J1.3077
N320 G02 X-2. Y31.0897 I5.4 J2.6153
N322 G01 Y31.577
N324 G02 X-1.4 Y34.1923 I6. J0.
N326 G03 X-1.4 Y36.8077 I-2.7 J1.3077
N328 G02 X-2. Y39.423 I5.4 J2.6153
N330 G01 Y39.9103
N332 G02 X-1.4 Y42.5257 I6. J0.
N334 G03 X-1.4 Y45.141 I-2.7 J1.3077
N336 G02 X-2. Y47.7563 I5.4 J2.6153
N338 G01 Y48.2437
N340 G02 X-1.4 Y50.859 I6. J0.
N342 G03 X-1.4 Y53.4743 I-2.7 J1.3077
N344 G02 X-2. Y56.0897 I5.4 J2.6153
N346 G01 Y56.577
N348 G02 X-1.4 Y59.1923 I6. J0.
N350 G03 X-1.4 Y61.8077 I-2.7 J1.3077
N352 G02 X-2. Y64.423 I5.4 J2.6153
N354 G01 Y66.5
N356 G02 X4.5 Y73. I6.5 J0.
N358 G01 X11.077
N360 G02 X13.6923 Y72.4 I0. J-6.
N362 G03 X16.3077 Y72.4 I1.3077 J2.7
N364 G02 X18.923 Y73. I2.6153 J-5.4
N366 G01 X25.5
N368 G02 X32. Y66.5 I0. J-6.5
N370 G01 Y36.
N372 G02 X31.9474 Y35.4409 I-3. J0.
N374 X31.1905 Y33.4023 I-6.3861 J1.2114
N376 G01 X12.6274 Y1.25
N378 G02 X11.6401 Y-0.05 I-5.6292 J3.25
N380 G00 Z34.
N382 X32.85 Y0.6704
N384 Z8.5
N386 G01 Z4. F300.
N388 X32.5 F1000.
N390 X30.733 Y-2.3901
N392 G00 Z34.
N394 X32.85 Y7.6704
N396 Z11.
N398 G01 Z4. F300.
N400 X32.5 F1000.
N402 X26.6281 Y-2.5
N404 G00 Z34.
N406 X32.85 Y14.6704
N408 Z11.
N410 G01 Z4. F300.
N412 X32.5 F1000.
N414 X22.5866 Y-2.5
N416 G00 Z34.

```

N3114 G01 X29.4068 Y28.5128
N3116 G00 Z34.
N3118 (srazeni-hran-2)
N3120 S3500
N3122 X8.75 Y23.5
N3124 Z34.
N3126 Z11.
N3128 G01 Z8.5 F300.
N3130 Y19.9 F800.
N3132 G03 X12.35 Y23.5 I0. J3.6
N3134 G02 X12.35 Y23.5 I2.65 J0.
N3136 G03 X8.75 Y27.1 I-3.6 J0.
N3138 G01 Y23.5
N3140 G00 Z34.
N3142 Y36.5
N3144 Z11.
N3146 G01 Z8.5 F300.
N3148 Y32.9 F800.
N3150 G03 X12.35 Y36.5 I0. J3.6
N3152 G02 X12.35 Y36.5 I2.65 J0.
N3154 G03 X8.75 Y40.1 I-3.6 J0.
N3156 G01 Y36.5
N3158 G00 Z34.
N3160 (srazeni-hran-3)
N3162 S3500
N3164 X5.9 Y53.6
N3166 Z34.
N3168 Z11.
N3170 G01 Z6. F300.
N3172 Y51.8 F800.
N3174 G02 X4.1 Y53.6 I0. J1.8
N3176 G01 Y63.5
N3178 G02 X7.4 Y66.8 I3.3 J0.
N3180 G01 X22.6
N3182 G02 X25.9 Y63.5 I0. J-3.3
N3184 G01 Y53.6
N3186 G02 X22.6 Y50.3 I-3.3 J0.
N3188 G01 X7.4
N3190 G02 X4.1 Y53.6 I0. J3.3
N3192 X7.7 Y57.2 I3.6 J0.
N3194 G01 Y53.6
N3196 G00 Z34.
N3198 M05
N3200 M01

N8 G90 G17 G40 G80 G00
N3202 M06 T4 ()
N3204 (vrtani-dir-pro-zavit)
N3206 G00 G54 G90 X15. Y23.5 S3500 M03
N3208 G43 H4 Z129.
N3210 S3500
N3212 Z34.
N3214 G98 G83 X15. Y23.5 Z0. R11. Q0. F300.
N3216 Y36.5
N3218 G80
N3220 M05
N3222 M01

N9 G90 G17 G40 G80 G00
N3224 M06 T3 ()
N3226 (zahlubovani)
N3228 G00 G54 G90 X15. Y23.5 S3500 M03
N3230 G43 H3 Z129.
N3232 S3500
N3234 Z34.
N3236 G98 G81 X15. Y23.5 Z7.7 R11. F300.
N3238 Y36.5
N3240 G80
N3242 M05
N3244 G00 G28 G91 Z0
N3246 G00 G28 G91 X-15.0 Y0.
N3248 G90
N3250 M06 T1
N3252 M30
§