

# Návrh a výroba vícenásobného přípravku pro upínání na CNC vertikálním centru

Bc. Zdeněk Janáč

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Zdeněk Janáč</b>
Osobní číslo:	<b>T18338</b>
Studijní program:	<b>N3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Výrobní inženýrství</b>
Forma studia:	<b>Kombinovaná</b>
Téma práce:	<b>Návrh a výroba vícenásobného přípravku pro upínání na CNC vertikálním centru</b>

### Zásady pro vypracování

1. vypracování teoretické studie na dané téma
2. návrh násobného upínacího přípravku pro univerzální upínání obrobků
3. výroba a provozní zkoušky upínacího přípravku
4. diskuze a zhodnocení efektivity obrábění s využitím daného upínacího přípravku.

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- NEE, John G., et al. *Fundamentals of tool design*. Society of Manufacturing Engineers, 2010.
- SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008, XX, 540 s. ISBN 978-0-8311-3347-4. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip084/2007045901.html>
- VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, 109 s. ISBN 978-80-7414-499-8.
- OBERG, Erik, et al. *Machinery's Handbook Guide*. Industrial Press, Incorporated, 2016.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne: 7.4.2020

Jméno a příjmení studenta: Zdeněk Janáč

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zaměřuje na postupný vývoj vícenásobného upínacího přípravku na konkrétní díl. Teoretická část se zabývá způsoby dělení kovových materiálů, obráběním kovů, číslíkově řízeným obráběním, nástroji pro obrábění kovů a upínám obrobků na strojích.

Praktická část se zabývá konkrétním výrobkem, popisuje funkci výrobku, materiál výrobku a požadavky na jeho zhotovení. Následuje technická příprava technologie výroby, na kterou navazují varianty, jakým způsobem lze obrobek upnout. Je zvoleno konkrétní řešení a přiblížena výroba vícenásobného upínacího přípravku.

Finální část práce se zaměřuje na testování vyrobeného přípravku a hodnocení celkového přínosu pro sériovou výrobu.

Klíčová slova: obrábění, upínání, vícenásobný upínací přípravek

## **ABSTRACT**

Thesis concerns about progressive development of multiple clamping fixture for a specific part. Metal cutting, machining, CNC machining, cutting tools and parts fixture systems in the machines are covered in the first theoretical part of this thesis.

The practical section is covering a specific workpiece and describes the workpiece functionality, material, and requirements needed for production. The second section of this part includes technical preparation of production technology, with multiple solutions of workpiece fixture. A specific solution is selected and described in detail.

Outcome from testing, evaluation of preferred solution and its benefits are summarized in the last part of this thesis.

Keywords: Machining, clamping, multiple clamping fixture

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, velmi ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování mé práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 DĚLENÍ MATERIÁLŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 DĚLENÍ MATERIÁLU ŘEZÁNÍM .....	12
1.2 DĚLENÍ MATERIÁLU ROZBRUŠOVÁNÍM .....	14
1.3 DĚLENÍ MATERIÁLŮ STŘÍHÁNÍM .....	14
1.4 DĚLENÍ MATERIÁLU TEPELNÝMI METODAMI .....	15
1.5 DALŠÍ ZPŮSOBY DĚLENÍ MATERIÁLU .....	16
<b>2 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1 ZÁKLADNÍ TEORIE OBRÁBĚNÍ .....	17
2.2 SOUSTRUŽENÍ.....	20
2.2.1 Soustružení vnějších ploch.....	20
2.2.2 Soustružení vnitřních ploch.....	21
2.2.3 Řezné podmínky při soustružení .....	21
2.2.4 Soustružnické stroje .....	22
2.3 FRÉZOVÁNÍ .....	25
2.3.1 Válcové frézování .....	26
2.3.2 Čelní frézování .....	27
2.3.3 Řezné podmínky při frézování .....	28
2.3.4 Frézovací stroje .....	28
2.4 VRTÁNÍ .....	30
2.4.1 Metody vrtání .....	30
2.4.2 Řezné podmínky při vrtání.....	30
2.4.3 Vrtačky a vyvrtávačky .....	31
2.5 BROUŠENÍ .....	32
2.5.1 Brusky .....	33
2.5.2 Metody broušení.....	34
2.5.3 Odvod tepla při broušení .....	35
2.6 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ .....	35
2.6.1 Elektrojiskrové obrábění .....	37
2.6.2 Elektrokotaktní obrábění .....	38
2.6.3 Anodomechanické obrábění.....	39
<b>3 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚNÍ (CNC)</b> .....	<b>41</b>
3.1 METODY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ.....	41
3.1.1 Dílenské programování na stroji .....	41
3.1.2 CAM programování .....	42
3.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ NÁSTROJŮ A OBROBKŮ POMOCÍ SOND .....	43
3.2.1 Nástrojové sondy.....	44
3.2.2 Obrobkové sondy .....	45
<b>4 NÁSTROJE PRO TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>48</b>

4.1	TYPY NÁSTROJŮ PRO OBRÁBĚNÍ .....	50
4.1.1	Nástrojové materiály .....	50
4.1.2	Nástroje pro soustružení.....	53
4.1.3	Nástroje pro frézování.....	54
4.1.4	Nástroje pro vrtání.....	55
4.1.5	Nástroje pro broušení .....	58
<b>5</b>	<b>ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ OBROBKŮ.....</b>	<b>60</b>
5.1	VÝPOČET UPÍNACÍ SÍLY .....	60
5.2	UPÍNÁNÍ NA SOUSTRUHU .....	64
5.3	UPÍNÁNÍ NA FRÉZCE .....	66
5.4	UPÍNÁNÍ NA BRUSCE.....	71
<b>6</b>	<b>SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>73</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>POPIS A FUNKCE VÝROBKU .....</b>	<b>76</b>
8.1	POŽADAVKY NA VÝROBEK .....	76
8.2	VOLBA POLOTOVARU VÝROBKU.....	77
8.3	OBRÁBĚNÍ DÍLU.....	80
8.3.1	Výrobní stroj .....	80
8.3.2	Stanovení obráběcích operací .....	82
8.3.3	Plán výroby .....	82
<b>9</b>	<b>TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY .....</b>	<b>84</b>
9.1	OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE.....	84
9.2	VÝDEJNÍ SYSTÉM NÁSTROJŮ.....	86
9.3	UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ .....	87
9.4	OBRÁBĚCÍ PROGRAM.....	89
9.4.1	Možnosti vytvoření programu.....	90
9.4.2	Vytvoření programu v CAD/CAM .....	91
9.5	VÝROBA POČÁTEČNÍ SÉRIE.....	94
9.6	VYHODNOCENÍ POČÁTEČNÍ SÉRIE.....	95
<b>10</b>	<b>NÁVRHY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ .....</b>	<b>98</b>
10.1	NÁSOBNÝ SVĚRÁK S MECHANICKÝM UPNUTÍM .....	98
10.2	NÁSOBNÝ MECHANICKÝ PŘÍPRAVEK .....	100
10.3	HYDRAULICKÝ UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK .....	101
10.4	PNEUMATICKÝ UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK .....	102
10.5	ZHODNOCENÍ UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ .....	105
<b>11</b>	<b>VÝROBA PNEUMATICKÉHO PŘÍPRAVKU .....</b>	<b>106</b>



11.1	STANOVENÍ VÝROBNÍHO POSTUPU.....	107
11.2	DĚLENÍ MATERIÁLU .....	108
11.3	OBRÁBĚNÍ .....	109
11.3.1	Příprava a simulace v CAM softwaru .....	109
11.3.2	Vygenerování a korekce programu .....	111
11.3.3	Spuštění programu na stroji .....	116
11.3.4	Průběh obrábění dílů .....	118
11.3.5	Broušení .....	119
11.3.6	Souhrn vyrobených dílů .....	120
11.4	MONTÁŽ.....	122
11.4.1	Montáž rozvodné části .....	123
11.4.2	Montáž upínací části .....	125
<b>12</b>	<b>TESTOVÁNÍ VYROBENÉHO PŘÍPRAVKU.....</b>	<b>128</b>
12.1	PŘÍPRAVA OBRÁBĚCÍHO PROGRAMU.....	128
12.2	SPUŠTĚNÍ PROGRAMU .....	130
12.3	HODNOCENÍ EFEKTIVITY PŘÍPRAVKU .....	131
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>134</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>135</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>137</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>139</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>142</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>143</b>

## ÚVOD

Výrobu strojních dílů si osvojilo mnoho výrobních firem napříč strojírenským oborem. Technologie prochází neskutečně rychle vývojem a nové technologie společně s číslicovým řízením stále zdokonalují řešení, jakým způsobem lze daný díl vyrobit. Snaha o čím dál pokročilejší automatizaci výroby způsobuje uživatelům čím dál větší možnosti jak zdokonalit svou výrobu. Ve stejném tempu se zdokonaluje svět nástrojových materiálů, upínacích prvků, technologických a konstrukčních softwarů či samotných výrobních strojů. Inovovat své návrhy se snaží konstruktéři i technologové na celém světě a doufají, že právě jejich návrh bude ten, který změní zaseté koleje určitých segmentů strojírenské výroby a vybočí správným směrem k vyššímu principu celého výrobního procesu.

Každý polotovar projde v počátku postupně různými fázemi výroby, než z něj vznikne konečný výrobek. Ve všech případech průchodu výroby je potřebné pevně a bezpečně uchopit výrobek a zajistit dokonalý výrobní proces. I způsoby upnutí polotvarů jsou stále zdokonalovány a souvisí s automatizací výroby. Mnohokrát je požadavkem zproduktivnit upínání natolik, aby nepřevyšovalo produktivní výrobní cykly stroje. To je vždy závislé na konkrétním obrobku. Co je ale vždy společné, je zajistit bezpečnost výrobního procesu. Stále platí jednotná soustava stroj-nástroj-obrobek, která souvisí s výrobou většiny strojních dílů.

Mnoho firem vlastní know-how, které je vykoupeno cenou zkušeností technologů výroby, kteří se danou problematikou výroby zabývají. Denně se setkávají s úkoly, při kterých rozhodují nejen o daném výrobním postupu, ale v konečném důsledku o ekonomice výroby.

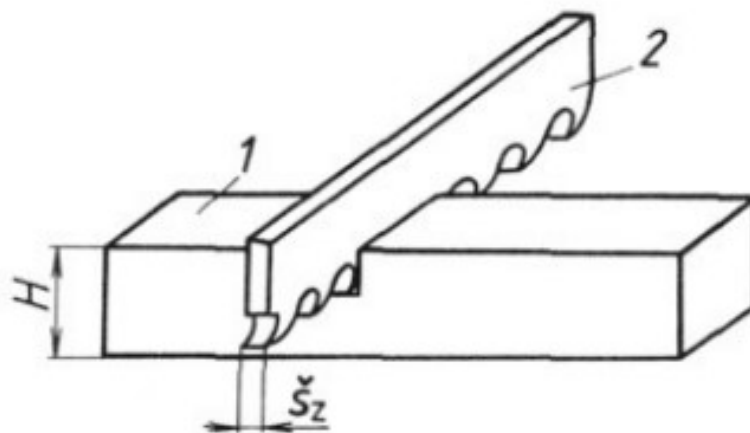
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 DĚLENÍ MATERIÁLŮ

Jedná se o operaci, při které se materiál dělí na požadované délky, což lze provádět různými technologiemi. Dělit lze tyčový materiál, plechy nebo desky. Mezi nejběžnější způsoby dělení patří řezání různými druhy pil, dále pak rozbrušování, sekání, upichování na soustruhu či frézování kotoučovou frézou. Plechy a desky lze vyřezávat na délkové rozměry i na požadovaný tvar kyslíko-acetylonovým plamenem, elektroerozivním řezáním, plazmovým řezáním, laserem či vysoce energetickým kapalinovým paprskem.

### 1.1 Dělení materiálu řezáním

Nejužívanější způsob dělení tyčového materiálu. Pily lze využít rámové, kotoučové a pásové. Při řezání pilou se úběr materiálu děje břitým nástrojem. Odebraný materiál odchází ve formě třísek. Princip spočívá ve vnikání břitů nástroje, což je pila, která koná přímočarý vrátný, plynulý přímočarý nebo otáčivý pohyb. Obrobek koná posuvný pohyb neboli přísuv. Typické pro řezání je, že maximální hloubka řezu je podstatně větší než šířka řezu. [2]



Obr. 1 Řezání pilou [2]

1 – obrobek, 2 – pilový list,  $H$  – max. hloubka řezu,

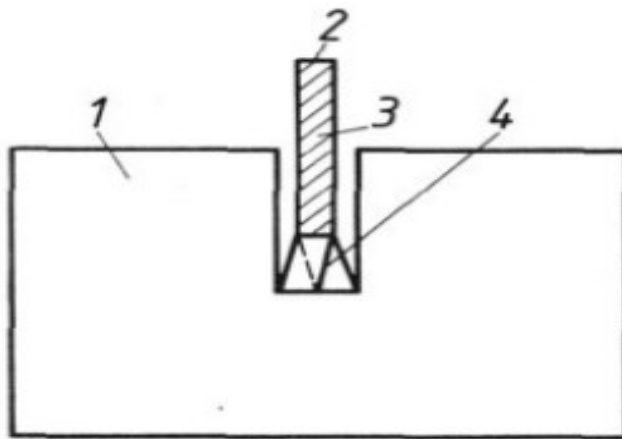
$š_z$  – šířka řezu

Nástroje pro dělení materiálu řezáním jsou pilové listy, pilové kotouče a pilové pásy.

- Pilové listy – jsou ocelové pásy opatřené na jedné straně zubovým profilem. Jsou vyrobeny z rychlořezné oceli v délkách 300 až 700 mm, šířce 25 až 50 mm a tloušťce

0,9 až 2,5 mm. Zuby jsou střídavě vyhnuty do stran, aby nedocházelo k tření o stěny pilového pásu během procesu řezání.

- Pilové kotouče – jsou ocelové kotouče se zuby na obvodu. Můžou být vyrobeny jako celistvé, segmentové nebo můžou mít napájeny destičky ze slinutého karbidu.
- Pilové pásy – jsou dlouhé ocelové pásy opatřené zubovým profilem na jedné straně. Od výrobců jsou dodány jako svařené nebo jako nekonečný pás. Většina pásů je dodána v provedení bimetal, tzn. tělo je vyrobeno z oceli konstrukční a zuby z oceli nástrojové. Části jsou pak k sobě svařeny pomocí laseru.

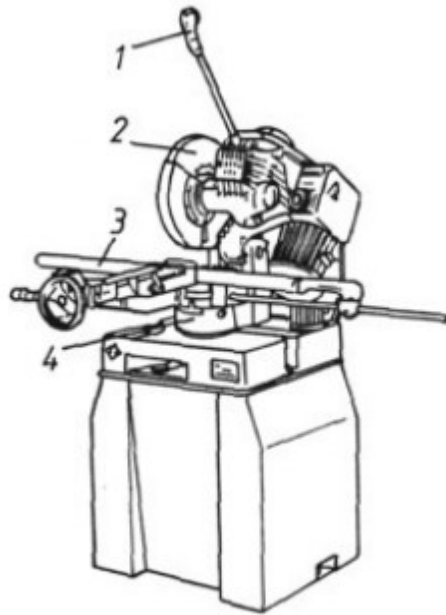


Obr. 2 Pilový list v řezu [2]

1 – obrobek, 2 – pilový list, 3 – tělo pilového listu,

4 – zuby pilového listu

Dalším způsobem dělení kotoučem je frikčními pilovými kotouči. Používá se pro válcované a tažené profily menšího průřezu a profily tenkostěnné z plechu. Nástrojem je v tomto případě frikční pilový kotouč s nízkými zuby. Ty se vyrábějí v průměrech 400 až 900 mm a tloušťkách 3 až 8 mm. Jsou schopny pracovat při řezných rychlostech až  $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a zaručují velmi vysoký výkon dělení. Zároveň je dělený povrch velmi jakostní.



Obr. 3 Frikční pila [2]

1-páka pro pohyb kotouče do řezu,

2-frikční pilový kotouč, 3-obrobek,

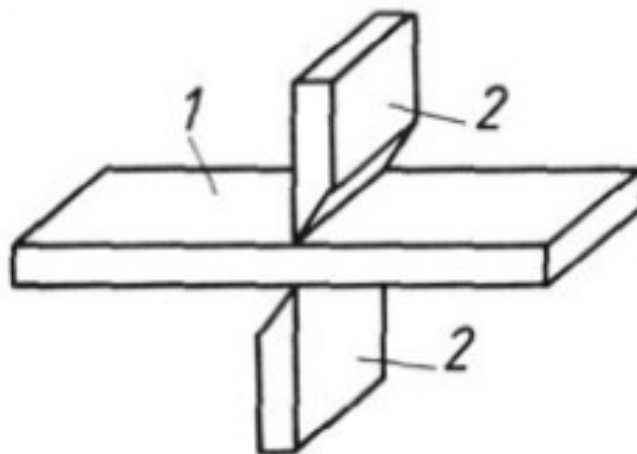
4-pracovní stůl

## 1.2 Dělení materiálu rozbrušováním

Pro dělení materiálu rozbrušováním se jako nástroje používají tenké řezací kotouče nevyztužené, nebo vyztužené sklotextilem. Brousící materiál jsou zrna karbidu křemíku ( $\text{SiC}$ ), syntetického korundu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Řezná rychlost se pohybuje v rozmezí 40 až 80  $\text{m.s.}^{-1}$ . Technologie je vhodná pro dělení materiálů vyšší tvrdosti, vhodná je též pro dělení tenkostěnných profilů. Pro řezání velmi tvrdých materiálu lze využít kotouče diamantové.

## 1.3 Dělení materiálů stříháním

Stříhání je technologie dělení materiálu, kdy za působení dvou břitů dochází k vyvolání smykových napětí větších, než je pevnost ve smyku stříhaného materiálu. Vzhledem ke stavu napjatosti a k mechanismu stříhání dochází k oddělování materiálu dříve, než se dotknou stříhací nože. Stříhaná plocha není po stříhu dokonalá, v první části je materiál napěchován a za ní následuje střížná plocha. Plocha řezu je méně kvalitní. Jedná se o beztrískové dělení. Nástrojem jsou 2 nože, vyrobeny z nástrojové nebo rychlořezné oceli, zakalené na tvrdost na 52 až 60 HRC. Stříhat lze i tvary za pomoci tvarových nožů a střížných desek.



Obr. 4 Princip stříhání noži [2]

1 – obrobek, 2 – břity nástroje

Využívá se např. k dělení tabulí plechu na pásy, dělení svitků na pásy, dělení profilovaných polotovarů, stříhání tvarů, prostřihování materiálů. Ve strojírenské výrobě jedna z nejrozšířenějších operací.

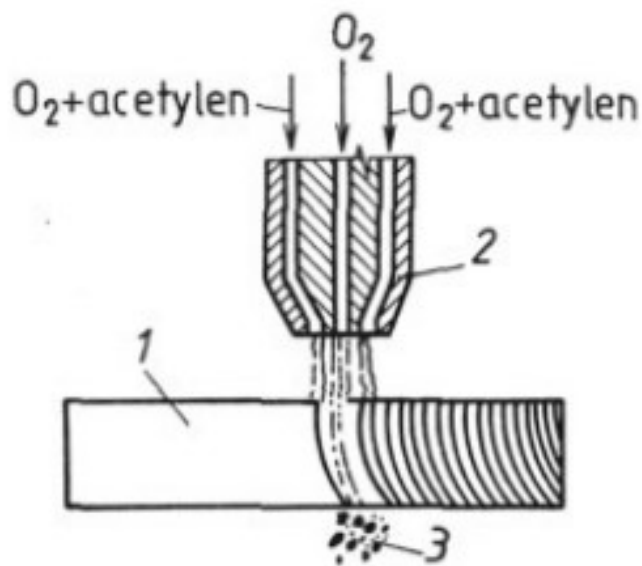
Dělení se provádí na různých strojích podle toho, jaká je výkonná část nástroje, což představuje stříhací nůž. Dělí se na stříhání:

- s rovnoběžnými noži
- se skloněnými noži
- s tvarovými noži
- s rotačními noži

Tvarové stříhání se provádí na stříhadlech. Stříhadla mohou být jednoduchá, postupová nebo kombinovaná např. s ohybem nebo tažením, tzv. sdružená. [3]

#### 1.4 Dělení materiálu tepelnými metodami

Dělení je založeno na ohřevu materiálu v místě řezu na zápalnou teplotu a postupném spalování a tavení za pomoci kyslíku. Plamen ohřívá materiál na cca 900 °C, proud kyslíku vytváří úzký pruh, který odtavuje a spaluje materiál v místě řezu. Struska pak vytéká z řezané drážky působením přetlaku kyslíku ve spodní části řezu.



Obr. 5 Řezání kyslíko-acetylenovým plamenem [2]

1 – obrobek, 2 – hořák, 3 – struska

## 1.5 Další způsoby dělení materiálu

Některé materiály nelze dělit uvedenými způsoby dělení efektivně nebo vůbec. Existuje další řada vhodných způsobů dělení, které lze uplatnit pro daný druh materiálu. Mezi další často využívané technologie patří:

- Elektroerozivní řezání
- Plazmové řezání
- Řezání laserem
- Řezání kapalinovým paprskem
- Řezání vysoce energetickým paprskem

O způsobu dělení polotovaru nebo surového materiálu by měl vhodným způsobem rozhodnout technolog výroby. Ovlivňuje tím konečnou cenu výrobku již v počáteční fázi. [2]

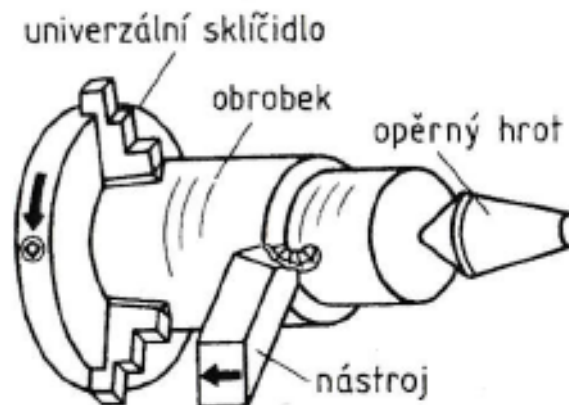


## 2 OBRÁBĚNÍ

Obrábění kovů má při výrobě strojírenských dílů významné místo. Umožňuje pomocí technologických procesů vytvářet z polotovarů hotový výrobek požadovaných tvarů, požadovaných rozměrových přesností a jakostí obrobených ploch. Volba řezných podmínek při obrábění byla v minulosti částečně zanechávána na obsluze stroje, tato volba dnes přechází na technology výroby, kteří jsou v největší možné míře schopni ovlivnit celý proces. Jsou tím kladeny nároky na jejich zodpovědnost, protože ve značné míře ovlivňují ekonomické aspekty a konečnou cenu výrobku. Čím modernější a výkonnější stroj tím stoupá i ekonomická náročnost obrábění.

### 2.1 Základní teorie obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku ve formě třísky pomocí břitu řezného nástroje. Tento proces se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek. Typické pro teorii obrábění je, že většina poznatků je získávána na základě experimentů a statistiky. Proměnlivost řezných podmínek je velmi velká, a každá zákonitost je platná pouze pro určitou vymezenou oblast použití.



Obr. 6 Soustava stroj-nástroj-obrobek [1]

Obrobek je označován obráběný, nebo částečně obrobený předmět. Polotovarem je nazýván předmět, u kterého teprve dojde k obrábění. Předmět již zcela obrobený se nazývá výrobek. Ta část povrchu, z níž je odebírán materiál se označuje jako obráběná plocha, část vzniklá obráběním se nazývá obrobená plocha. Plocha vznikající těsně za břitem je plocha řezná.



Obr. 7 Rozdělení ploch při obrábění [1]

Řezný nástroj je aktivní prvek při obrábění. Řezná část nástroje se označuje jako břit, který má tvar klínu. Zpravidla má řezná část hlavní a vedlejší ostří. Ta část, za níž je nástroj upnut se nazývá stopka nástroje. Ta může mít tvar čtvercového nebo obdélníkového průřezu (nejčastěji soustružnické nože) u některých osových nástrojů má stopka podobu válcovou nebo kuželovou. [1]

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Fyzikálně-mechanický proces oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako řezání. Řezný proces lze se v závislosti na oddělování materiálu dělit na:

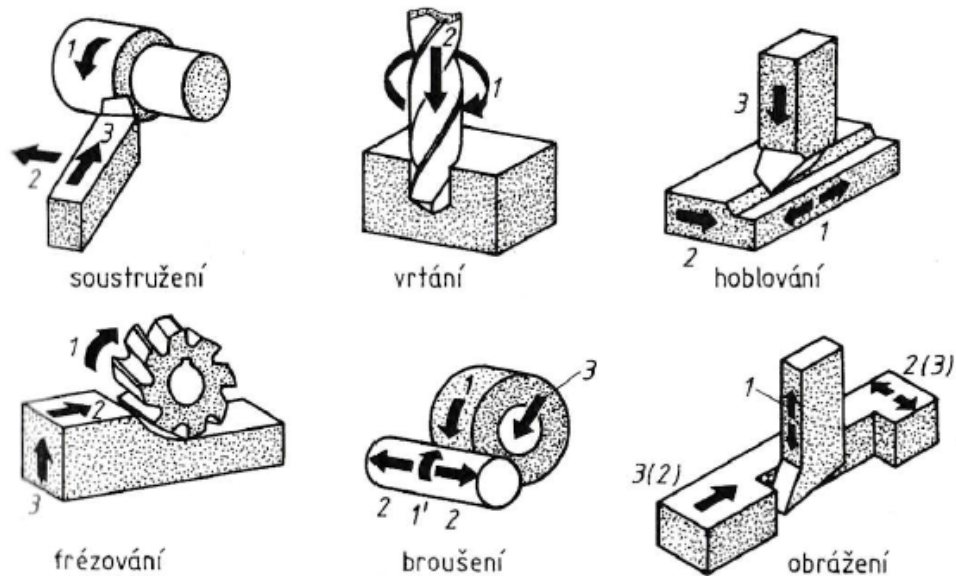
- Kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání)
- Diskontinuální (hoblování, obrážení)
- Cyklický (frézování, broušení)

Reálný řezný proces probíhá za daných řezných podmínek, které jsou součástí obráběcích podmínek.[4]

Z hlediska kinematiky obrábění rozlišujeme vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Uskutečňuje se určitou relativní rychlostí na určité dráze. Ve většině případů je složen ze dvou složek pohybu:

- Hlavní řezný pohyb – se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. U soustruhů, frézek nebo vrtaček se jedná o pohyb vřetene. Může se jednat i o přímočarý vratný pohyb, což je případ obrážeček a hoblovek

- Vedlejší řezný pohyb – je zpravidla kolmý na hlavní řezný pohyb. Ten se nazývá posuv. Dle způsobu obrábění lze rozdělit na podélný, příčný, kruhový, plynulý a přerušovaný



Obr. 8 Řezné pohyby při obrábění [1]

1 – hlavní řezný pohyb, 2 – vedlejší řezný pohyb (posuv), 3 – přísuv

Velikost posuvu je vyjádřena:

- Délkou dráhy  $f(s)$  v mm na jednu otáčku pracovního vřetena
- Délkou dráhy  $f_z(s_z)$  v mm na jeden zub vícebřitého nástroje
- Rychlostí posuvu  $V_f$  v  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$  je-li posuv nezávislý na hlavním pohybu

Přísuv je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Zpravidla je kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu  $h$ .

## 2.2 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů. Ve většině případů se používají jednobřité nástroje různého provedení. Patří mezi nejstarší obráběcí operace společně s vrtáním. Více než třetina strojírenských operací se provádí na soustruzích. Obrábět lze válcové, kuželové, kulové i obecné rotační plochy, rovinné plochy i závity. Kromě těchto lze provádět i další osové operace jako je vrtání, vystružování, řezání závitů závitníky nebo závitovými čelistmi. Pomocí dalších přídavných zařízení lze na soustruzích i brousit, frézovat nebo obrážet. [4]

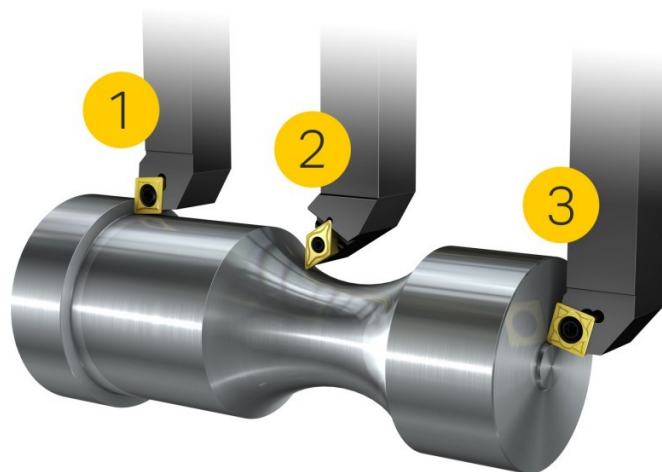
Hlavní pohyb při soustružení vykonává rotující obrobek. Vedlejší pohyby vykonává nástroj, což představuje soustružnický nůž. Z hlediska polohy obrobku a nástroje a konstrukce rozdělujeme nože na tangenciální, radiální a kotoučové. Z hlediska konstrukce nože dělíme na celistvé a s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Soustružení obecných ploch soustružnickými noži lze rozdělit na soustružení vnější a vnitřní.

### 2.2.1 Soustružení vnějších ploch

Operace soustružení vnějších ploch slouží především pro obrábění vnějších průměrů a tvarů obráběné součásti. Základní operace vnějšího soustružení jsou zobrazeny na Obr. 8.

- Podélné soustružení (1)
- Tvarové soustružení (2)
- Čelní soustružení (3)



Obr. 9 Soustružení vnějších ploch [8]

Při podélném soustružení probíhá posuvný pohyb podél hlavní osy obráběné součásti. Jedná se o nejčastější soustružnickou operaci.

Tvarové soustružení má během operace proměnlivou dráhu, může se měnit jak hloubka řezu, tak i směr soustružení. Tvar nástroje během tvarového soustružení nesmí kolidovat s požadovanou konturou tvaru, kterou by měla dráha nože dosáhnout.

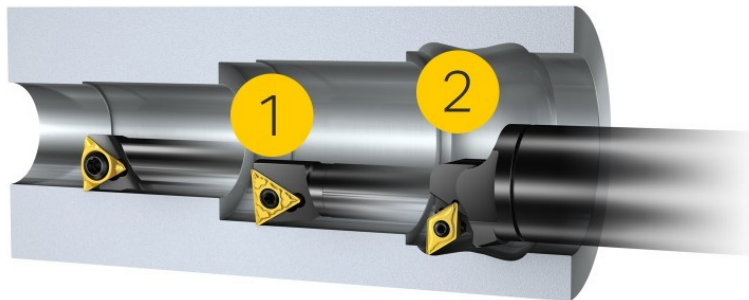
Čelní soustružení je ve většině případů prvotní operací. Vznikají během něj vysoké radiální řezné síly. [8]

### 2.2.2 Soustružení vnitřních ploch

Operace vnitřního soustružení slouží k obrábění vnitřních průměrů strojních součástí. Všeobecně s vnitřním soustružením souvisí problémy s odvodem třísek z místa řezu a vznikem vibrací při větším vyložení nástrojů. Tyto problémy mohou způsobovat poškozování nástroje během obrábění, což vede k destrukci nástroje nebo zničení obrobku.

Základní operace vnitřního soustružení jsou zobrazeny na Obr. 9:

- Podélné vnitřní soustružení (1)
- Tvarové vnitřní soustružení (2)



Obr. 10 Soustružení vnitřních ploch [9]

### 2.2.3 Řezné podmínky při soustružení

Pro stanovení řezných podmínek při soustružení se stanovují tyto parametry.:

Řezná rychlost -  $V_c$  – je rychlost hlavního řezného pohybu, definována jako obvodová rychlost na obráběné ploše.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1)$$

$D$  – průměr obráběné plochy [mm]

$n$  – počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]

Rychlost posuvu -  $V_f$  - je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při soustružení se nástroj posouvá o hodnotu posuvu, posuvová rychlost se stanovuje v závislosti na otáčkách vřetene.

$$V_f = f \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

$f$  – posuv na otáčku [mm]

$n$  - počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]

Tloušťka obráběné vrstvy -  $a_p$  – se pohybuje v rozmezí desetin mm až několika milimetrů. Na její velikost má vliv mnoho faktorů, především je to hloubka řezu, úhel nastavení a tvar řezné hrany.

Její rozměr lze vypočítat pro podélné soustružení:

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \text{ [mm]} \quad (3)$$

$D$  – průměr obráběné plochy [mm]

$d$  – průměr obrobku [mm]

Pro čelní soustružení:

$$a_p = L - l \text{ [mm]} \quad (4)$$

$L$  – délka obráběné plochy [mm]

$l$  – délka obrobku [mm]

#### 2.2.4 Soustružnické stroje

K technologiím soustružení patří výrobní stroje – soustruhy. Tyto stroje jsou odstupňovány dle řady velikostí. Základní koncepce umožňuje tyto stroje rozdělovat na:

- hrotové
- lícní (čelní)
- svislé (karuselové)
- speciální

Stupeň mechanizace a automatizace soustruhy rozděluje na:

- obyčejné
- revolverové
- poloautomatické
- automatické

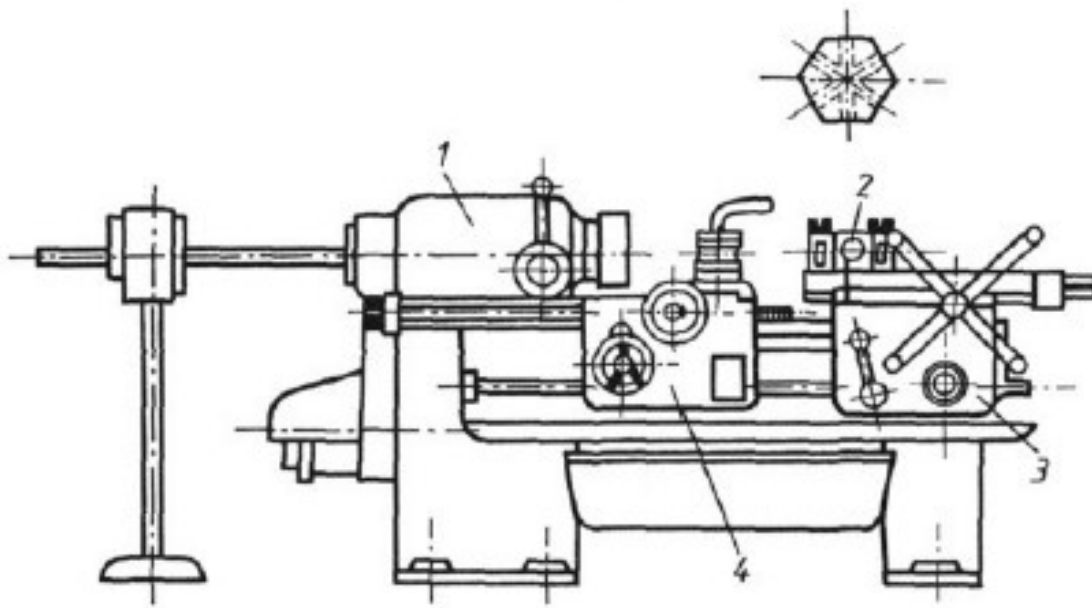
Nejvíce využívanými stroji jsou univerzální hrotové soustruhy. Součásti se upínají mezi hroty. Tyto stroje jsou schopny obrábět hřídele, osy, čepy a díky své univerzálnosti i další typy strojních součástí.

Univerzální soustruh tak umožňuje soustružit plochy rotační, válcové, kuželové i tvarové, jak vnější, tak i vnitřní. Zároveň je možné materiál dělit, což znamená upichovat za pomoci upichovacího nože.

Karusel je druh svislého soustruhu. Má upínací stůl otáčející se kolem svislé (vertikální) osy. Tyto stroje jsou první volbou pro soustružení těžkých strojních součástí. Jsou určeny k těžkému soustružení. Posuv vykonává suport s nožem, který se posunuje po výškově stavitelném příčnicku. Přísuv svisle vykonává nůž.

Čelní soustruhy slouží k obrábění obrobků velkého průměru, ale zároveň malé výšky. Součásti se upínají na lícni desku s nastavitelnými čelistmi. K bezpečnému upínání obrobků je potřebná znalost a zkušenost obsluhy stroje, protože je velmi náročné vyvážení obrobku. Z tohoto důvodu jsou často nahrazovány tyto stroje karusely.

Revolverové soustruhy jsou určeny k obrábění středně velkých sérií rotačních dílů. Ty jsou vyráběny na jedno upnutí, více nástroji upnutých v revolverové hlavě. V revolverové hlavě mohou být upnuty jak soustružnické nože, tak i osově nástroje jako jsou vrtáky, závitníky, výstružníky aj. Celou součást lze obrobít na jedno upnutí. Stroje nemusí být vybaveny pouze jedním revolverem, může jít i o stroje, které využívají dvou i více revolverů, nebo kombinace revolveru s jiným typem upínání. Pokročilejší stroje mají ještě k dispozici protivřeteno, což umožňuje díl obrobít i z druhé strany a dosáhnout tak výsledného výrobku bez přepínání na druhou stranu. Obvyklé je na takových strojích i využívání poháněných nástrojů, což umožňuje plynulé nebo indexované frézování a využití upínacího sklíčidla jako samostatné osy.



Obr. 11 Revolverový soustruh [2]

1 - vřeteník, 2 - revolverová hlava, 3 - suport revolverové hlavy, 4 – suport

Pro hromadnou až velkosériovou výrobu se využívá soustružnických poloautomatů a automatů. Tyto stroje jsou ve většině případů nástrojově vybaveny pro výrobu daného typu výrobku, kde lze měnit např. pouze délkové rozměry výrobku, ne však jeho průměry a jiné technologické vlastnosti. Cílem je plnit ekonomické hledisko obrábění vzhledem k velkému objemu výrobků. Typický u takových strojů je zásobník tyčí, plně automatický cyklus a minimalizace seřizovacích časů. U poloautomatických strojů dochází k zastavení stroje po skončení cyklu, k zopakování výroby součásti je potřebné zapnout cyklus znovu. Automatické stroje pracují kontinuálně až do poškození nástroje, pravidelnou obměnu nástrojů nebo vyprázdnění zásobníku materiálu. [3]

#### Řezné podmínky při soustružení

Vhodná volba řezných podmínek závisí především na vstupních parametrech, jako je druh obráběného materiálu, materiálu břítu řezného nástroje, druhu chlazení a na požadovaných vlastnostech obrobku, což představuje jakost povrchu, rozměry a tvar. Výrobci nástrojů u nich uvádějí doporučené řezné podmínky pro daný nástroj při použití na daný materiál za předem definovaných podmínek obrábění. Ty jsou pouze doporučující, upravit je do konečné podoby je na obsluze a technologovi výroby.

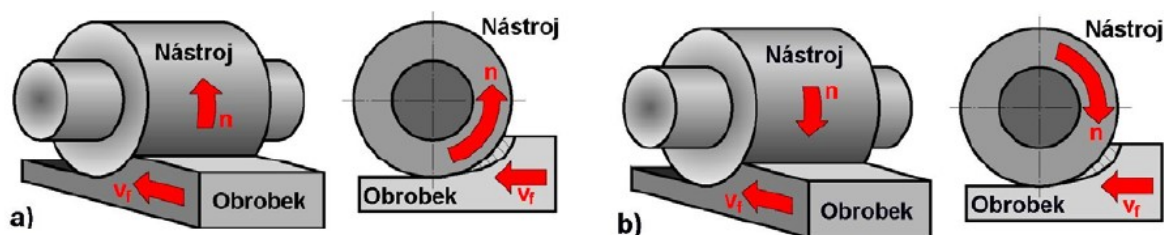


## 2.3 Frézování

Další nejrozšířenější technologií ve strojírenské výrobě je frézování. Soustavu stroj-nástroj obrobek v tomto případě představuje stroj – frézka a nástroj – fréza. Nástroj je obvykle vícebřitý. Během frézování koná hlavní řezný pohyb nástroj a obrobek koná pohyb posuvný, což může být pohyb posuvný, otáčivý nebo obecný po prostorové křivce. Proces řezání je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje zabírají postupně do materiálu a zabírají třísku s proměnlivými parametry. Základními dvěma způsoby je frézování čelem čelní frézy a frézování obvodem válcové frézy.[2]

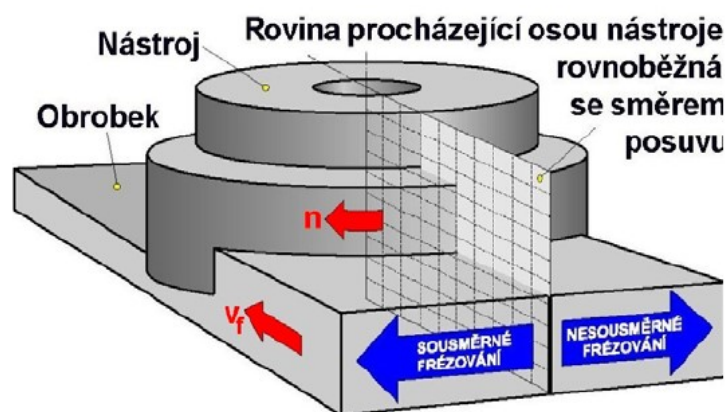
Při frézování je odebrána tříška břity rotujícího nástroje, který představuje fréza. Hlavním pohybem je pohyb rotační, který vykonává nástroj. Z technologického hlediska se dle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišuje frézování:

- Válcové – obvodem nástroje, osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou
- Čelní – čelem nástroje – osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu



Obr. 12 Válcové frézování a) sousledné b) nesousledné [20]

Nástroj při frézování válcovou frézou zabírá materiál zuby na obvodě. Při čelním frézování je materiál odebrán obvodem i čelem frézy.



Obr. 13 Čelní frézování [20]

### 2.3.1 Válcové frézování

Dle smyslu otáčení v závislosti na směru posuvu se frézování dělí na nesousledné a sousledné.

Během sousledného frézování působí vodorovná složka síly ve směru posuvu a svislá složka přitlačuje obrobek ke stolu frézky. Zuby frézy zabírají maximální tloušťku třísky na začátku řezu a ke konci řezu se zmenšuje na nulu. Směr posuvu obrobku je identický se směrem otáčení frézy v místě řezu.

Výhody sousledného frézování:

- Vyšší trvanlivost nástrojů
- Použití vyšších rezných rychlostí a posuvů
- Potřebný nižší rezný výkon
- Jednodušší upínání
- Menší sklon k vibracím
- Vyšší jakost obrobené plochy

Nevýhody sousledného frézování:

- Silová zátěž na každý zub při záběru
- Nevhodné pro obrábění ploch s tvrdým a znečištěným povrchem

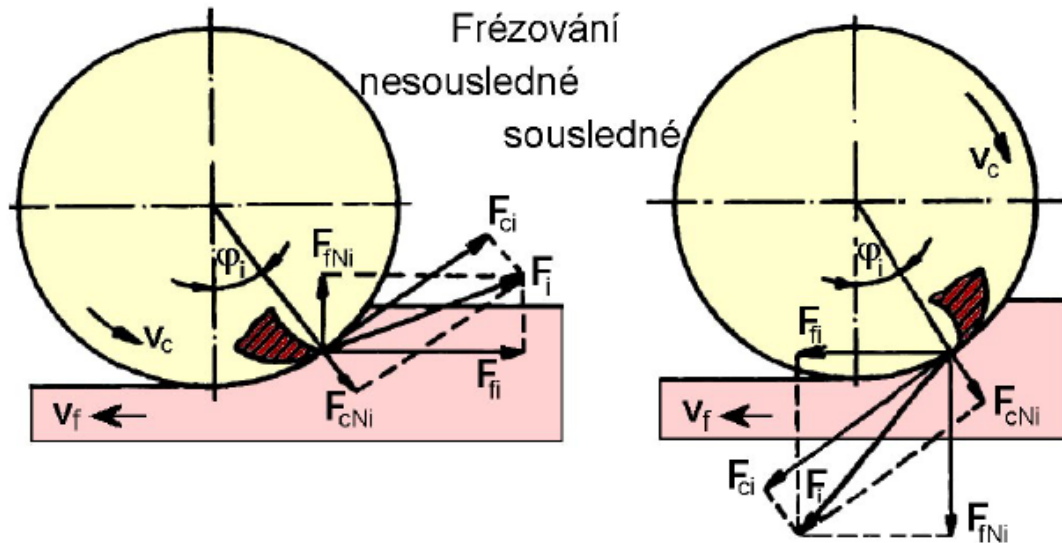
Při frézování nesousledném je vodorovná složka síly proti směru posuvu a svislá složka obrobek zvedá. Zuby frézy zabírají z nulové tloušťky třísky do maximální na konci řezu. Směr posuvu obrobku je opačný proti směru otáčení frézy.

Výhody nesousledného frézování:

- Menší opotřebení stroje
- Počáteční záběr zubů není závislý na hloubce řezu
- Na trvanlivost nástroje nemá vliv povrch obrobku

Nevýhody nesousledného frézování:

- Horší jakost obrobené plochy
- Směr síly frézování s ohledem na upnutí



Obr. 14 Složky sil při frézování sousledném a nesousledném [20]

$F_i$  – celková síla řezání,  $F_{ci}$  – řezná složka,  $F_{cNi}$  – kolmá složka síly řezání,

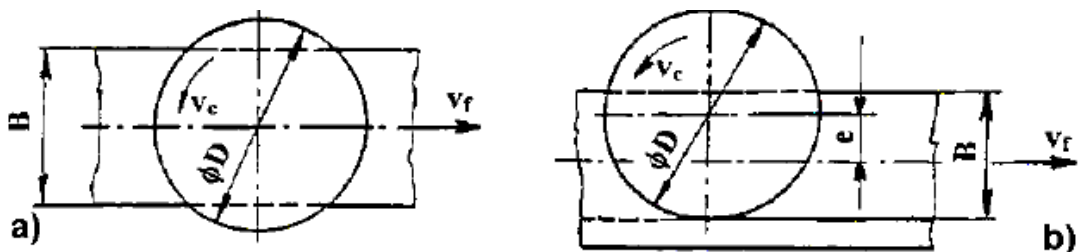
$F_{fi}$  – posuvová složka síly řezání,  $F_{fNi}$  – kolmá posuvová složka řezání

Na obr. 13 je znázorněn rozdíl při rozložení sil během sousledného a nesousledného frézování. Při určení složek sil se vychází ze silových poměrů na jednom břitu nástroje. Celková síla řezání  $F_i$ , působící na břit, se rozkládá na složky  $F_{ci}$  a  $F_{cNi}$ , respektive na složky  $F_{fi}$  a  $F_{fNi}$ . [20]

### 2.3.2 Čelní frézování

Nástroje pro čelní frézování mají břity nejen na obvodu frézy, ale i na čele. Dle polohy osy otáčení frézy, vzhledem k obráběné ploše, se rozlišují dvě základní metody:

- Symetrické frézování – osa nástroje prochází středem obráběné plochy
- Nesymetrické frézování – osa nástroje prochází mimo střed plochy



Obr. 15 Čelní frézování a) symetrické b) nesymetrické [20]

### 2.3.3 Řezné podmínky při frézování

Řezná rychlost –  $V_c$  – je obvodová rychlost nástroje:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (5)$$

$D$  – průměr nástroje [mm]

$n$  – otáčky nástroje [ $min^{-1}$ ]

Posuv -  $f$  - posuv na otáčku je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje

$$f = f_z \cdot z \quad [mm] \quad (6)$$

$z$  – počet zubů nástroje

$f_z$  - posuv na zub nástroje je základní jednotka posuvového pohybu. Definována je jako délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje, dělená počtem zubů nástroje.

Posuvová rychlost -  $V_f$

$$V_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [mm \cdot min^{-1}] \quad (7)$$

### 2.3.4 Frézovací stroje

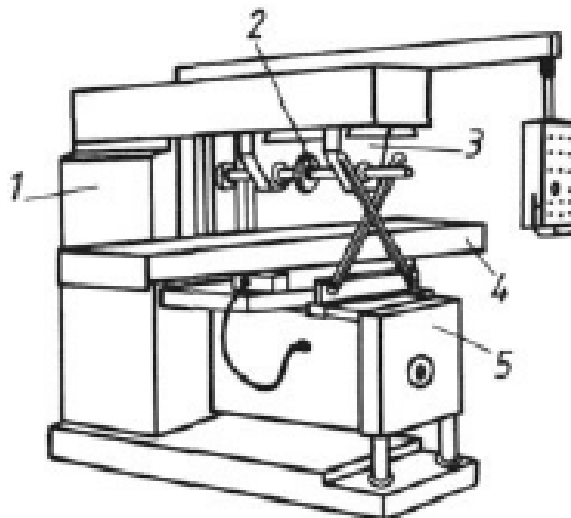
Frézovací stroje se nazývají frézky a jsou ve velkém počtu různých modifikací. Obvykle se rozdělují na konzolové, rovinné a speciální.

Konzolové frézky jsou těmi nejpoužívanějšími. Jejich konzola je posuvná po stojanu stroje, na něm je i pracovní stůl pro upínání obrobků. Konzola umožňuje svislý pohyb stolu, stůl má příčný a podélný posuv. Pohyby jsou vykonávány pomocí posuvových šroubů a matic umožňující posuv ve třech osách. Pohyb je zajišťován motorem s převodovkou nezávisle na otáčkách vřetene. Konzolové frézky mohou být svislé, vodorovné nebo univerzální.

Svislé konzolové frézky mají vřeteno uloženo vertikálně s osou kolmou na plochu pracovního stolu. Vřeteno lze otáčet kolem vodorovné osy, obvykle o  $45^\circ$ . Nástrojářská frézka je typem konzolové frézky. Umožňuje vyrábět složitější obrobky. Stůl lze taktéž natáčet kolem vodorovné i svislé osy. Pracovní hlava frézky lze taktéž natáčet kolem vodorovné osy. Tyto

přednosti činí z nástrojařské frézky velmi univerzální a žádaný stroj. Často je k těmto frézám dostupné další příslušenství k upínání nástrojů a přípravky pro upínání a indexování obrobků.

Dalším z typů konzolových frézek jsou frézky kopírovací, které obrábí složité prostorové tvary dle připravených modelů. Pohyb je ovládán kopírovacím zařízením, které tvar kontur přenáší na obrobek. Dnes již jsou nahrazovány frézky s CNC řízením.



Obr. 16 Vodorovná konzolová frézka [2]

1 - stojan s vřeteníkem, 2 – nástrčná fréza,

3 – opěrné ložisko, 4 – pracovní stůl, 5 - konzola

Rovinné frézky jsou stroje, které se liší od konzolových tím, že pracovní stůl frézky se pohybuje pouze v podélném směru. Svislým směrem se pomocí šroubu pohybuje pouze vřeteník. Obvykle jsou vyráběny s jedním vřeteníkem. Jedním z typů rovinných frézek jsou i frézky portálové. Slouží především pro obrábění velkých těžkých dílů. Portálové frézky mají svislý a podélný příčník, který se pohybuje nad stolem. Jedná se jedny z nejvýkonnějších frézek.

Mezi speciální frézky patří několik typů specializovaných strojů, typizovaných na určitý druh strojních součástí. Mezi ně patří frézky na ozubení, frézky na závity, na drážky, na vačky pantografické frézky aj. [2]

## 2.4 Vrtání

Základní technologická metoda pro výrobu otvorů kruhového tvaru. Nástrojem je vrták, dvoubřitý nástroj s předem definovanou geometrií. Hlavní pohyb rotační vykonává nástroj, vedlejší přímočarý pohyb taktěž. Vrtání normální je vrtání děr v poměru 1xD až 15xD, pak rozeznáváme vrtání hlubokých děr a odvrtávání mezikružů. [1]

### 2.4.1 Metody vrtání

Jednotlivé metody vrtání lze rozdělit do těchto podskupin:

- vrtání do plného materiálu
- vyvrtávání
- řezání závitů
- zahlubování
- vystružování

Pro vrtání má rozhodující vliv typ vznikajících třísek a jejich transport z otvoru. Vznikající tvar třísek závisí na druhu obráběného materiálu. Při vrtání litiny vznikají třísky šroubové nebo spirálové lámavé, u oceli mohou vznikat dlouhé šroubové nebo páskové třísky. Důležitým parametrem je hloubka vrtání. Pro vrtání otvorů o délkách 20xD až 30xD se používají spirálové vrtáky, opatřeny spirálovými drážkami se 4 vodícími fazetkami a středovými chladičími kanálky. V těchto případech je důležité použití pilotního vrtáku o délce 1-1,5xD. [6]

### 2.4.2 Řezné podmínky při vrtání

Charakteristické pro vrtání je, že se řezná rychlost nástroje zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje, což znamená že v ose má nulovou hodnotu. Řeznou rychlostí je považována obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje, podobně jako je tomu při soustružení.

Řezná rychlost -  $V_c$

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (8)$$

$D$  – průměr nástroje [mm]

$n$  – otáčky nástroje [ $\min^{-1}$ ]

Posuvová rychlost -  $V_f$

$$V_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (9)$$

$f$  – posuv nástroje na otáčku [mm]

$n$  – počet otáček vrtáku (případně i obrobku) [ $\text{min}^{-1}$ ]

Rychlost výsledného řezného pohybu -  $V_e$

$$V_e = \sqrt{V_c^2 + V_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (10)$$

### 2.4.3 Vrtačky a vyvrtávačky

Pro operace obrábění otvorů se nejčastěji používají stroje nazývané jako vrtačky. Díry lze ale rovněž vyrábět na soustruzích, vodorovných vyvrtáčkách a CNC obráběcích centrech. Velikost strojů je rozdělena na základě velikosti maximálního průměru otvoru, který lze na stroji vyrobit.

Podle konstrukce se vrtačky dělí na:

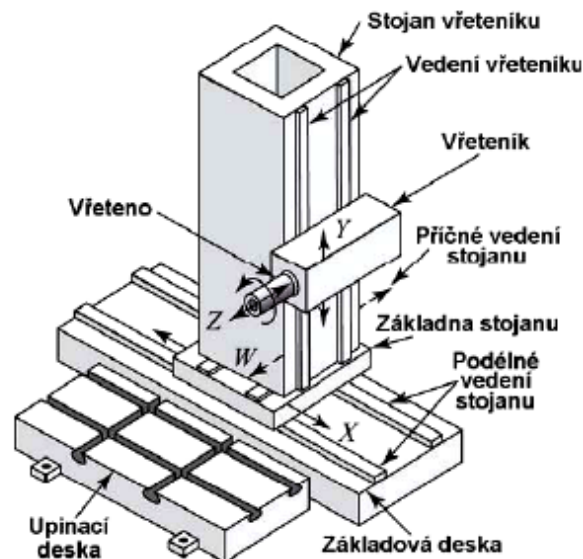
- ruční
- stolní
- sloupové, stojanové
- vodorovné
- speciální



Obr. 17 Stolní vrtačka [20]

Jiným typem strojů jsou vyvrtávačky. Ty jsou konstruovány jako horizontální nebo vertikální. Vyvrtávačky se podobně jako vrtačky dělí na:

- stolové vyvrtávačky – pracovní stůl s možností rotace 360°
- deskové vyvrtávačky – obrobek je upnut na pracovní desku
- jemné vyvrtávačky – s jedním nebo více vřeteníky
- souřadnicové vyvrtávačky – vrtání přesných děr a roztečí

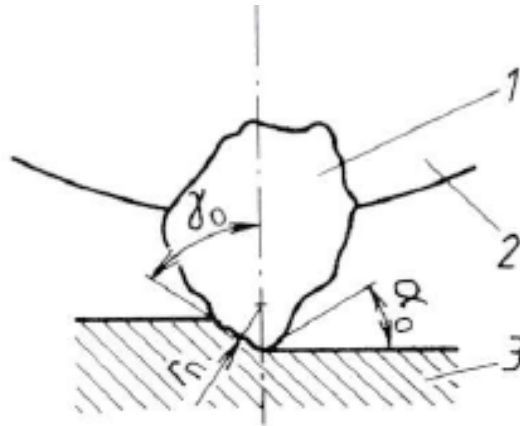


Obr. 18 Vodorovná desková vyvrtávačka [3]

## 2.5 Broušení

Jedná se o jemné dokončovací obrábění nástrojem s nedefinovanou geometrií. Nástrojem je brusný kotouč, který odebrá třísku pomocí brousícího zrna. Kotouč koná rotační pohyb, což je pohyb hlavní. Vedlejší pohyb koná nástroj nebo obrobek. Tříška je odebrána brousícími zrny a dosahuje hodnot jen tisícin  $\text{mm}^2$ , střední tloušťka třísky je jen několik  $\mu\text{m}$ . Uspořádání jednotlivých zrn v kotouči je zcela nahodilé, což znamená, že břity nemají jednotnou geometrii v porovnání například s frézami, kde je geometrie nástroje definována. Rozdílovým faktorem proti frézování je i značně vyšší řezná rychlost, která běžně dosahuje hodnot od  $25 \text{ m.s}^{-1}$  až  $180 \text{ m.s}^{-1}$ . Typické pro tuto technologii je i značně vysoká teplota během obrábění. Do obrobku je předáno až 80% tepla během procesu z celkového množství. Důsledkem malého průřezu třísky je rychlý ohřev a její tavení a vypařování.





Obr. 19 Geometrie brousícího zrna [2]

1 – zrno, 2 – brousící kotouč, 3 – obrobek

Geometrie nástroje má tři hlavní nástrojové úhly. Ortogonální úhel hřbetu  $\alpha_0$ , ortogonální úhel čela  $\gamma_0$  a poloměr ostří  $r_n$ .

### 2.5.1 Brusky

Broušením lze v podstatě obrábět plochy všech tvarů. Stroje se nazývají brusky. Dle konstrukce a účelu jsou rozděleny na:

- Hrotové brusky
- Bezhroté brusky
- Brusky na otvory
- Rovinné brusky
- Brusky speciální

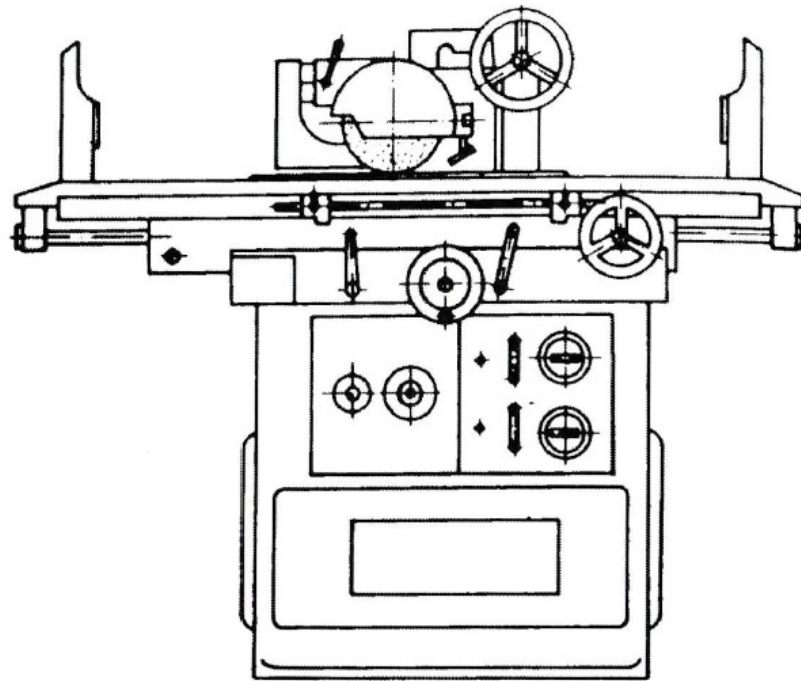
Mezi nejčastěji používané typy brusek patří univerzální hrotové brusky. Používají se na výrobu válcových a kuželových součástí, které jsou upnuty mezi hroty. Můžou být dovybaveny ještě elektrovřetenem umožňujícím broušení otvorů. Vyrábí se v provedení s posuvným stolem nebo s posuvným vřeteníkem.

Brusky bezhroté jsou určeny k broušení dílů neproměnného průřezu, broušení probíhá bez upnutí součástí. Obrobek se vloží mezi 2 kotouče na vodorovnou lištu umístěnou 5 až 30 mm nad středy kotoučů. Jeden z kotoučů je podávací, druhý brousící. Podávací kotouč tlačí obrobek na brousící kotouč ve směru jeho osy po podávací liště.

Brusky na díry jsou konstruovány dvěma způsoby. Menší díly, které jsou upínány do sklíčidel, konají vedlejší rotační pohyb. Hlavní pohyb koná brousící kotouč a zároveň ještě koná

přísuv do obrobku. U větších dílů je obrobek pevně upnut a kotouč vykoná všechny pohyby. Pohyb hlavní, což je řezný pohyb rotační pomocí vřetene, a pohyb vedlejší planetovým uložením vřetene.

Brusky rovinné, nazývány též zkratkou BPH, se dělí dle polohy brousícího kotouče na vodorovné a svislé. Dále pak podle způsobu práce kotouče na brusky pracující čelem nebo obvodem brousícího kotouče.



Obr. 20 Vodorovná rovinná bruska (BPH) [3]

Existuje další řada brusek, zkonstruovaných pro speciální účel. Jsou to především brusky na ozubení, na broušení závitů, ložiska klikové hřídele nebo brusky nástrojové. [3]

### 2.5.2 Metody broušení

Z hlediska tvaru broušených ploch a způsobu práce na bruskách lze broušení dělit na:

a) Broušení do kulata:

Vnější:

- Axiální
- Axiální hloubkové
- Zápichové
- Bezhroté

Vnitřní:

- Axiální
- Zápichové
- Planetové
- Bezhroté
- b) Broušení rovinné
  - Obvodem kotouče
  - Čelem kotouče
- c) Broušení tvarové
  - Tvarovými kotouči
  - Kopírovacím způsobem
  - Na NC a CNC strojích

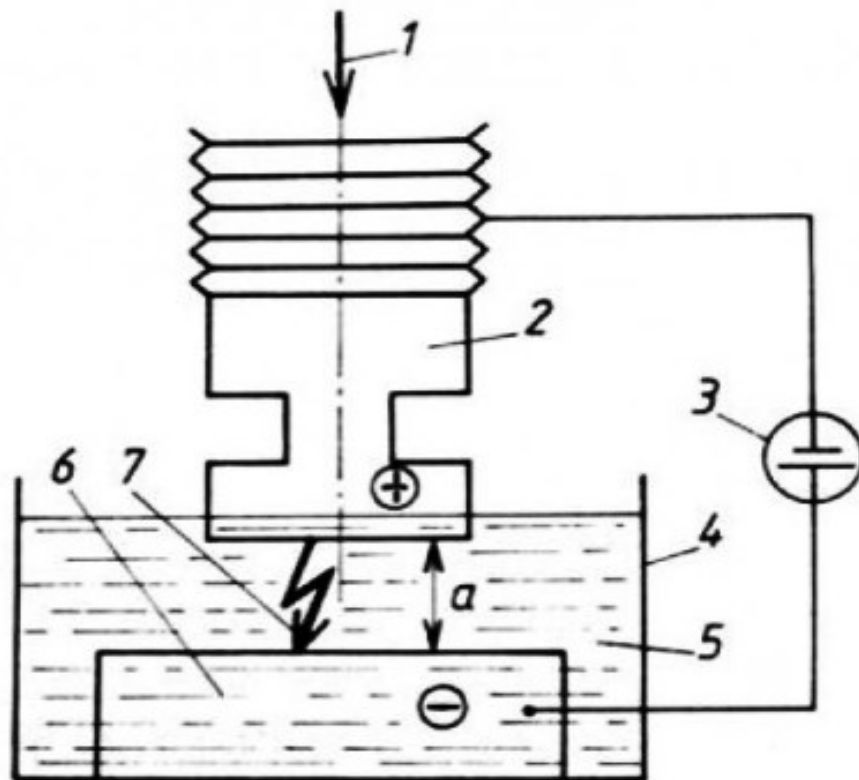
Mezi novější metody dále patří ultrazvukové broušení, oscilační broušení, hloubkové broušení a broušení na jedno upnutí obrobku. [3]

### 2.5.3 Odvod tepla při broušení

Značně vysoká řezná rychlost způsobuje rychlé zahřívání obrobku. Proto vzniká značné množství tepla. Ve většině případů je při broušení součástí vhodné použití chladicí kapaliny. Ta má za úkol odvádět teplo vznikající při obrábění, snižovat tření v místě řezu a odplavovat vzniklé třísky společně s úlomky zrn z kotouče. Kapalina by měla být přivedena v dostatečném množství. Pro běžné broušení je využíváno emulzí a elektrolytů, pro broušení náročnější pak speciálních chladících kapalin a řezných olejů. [2]

## 2.6 Elektroerozivní obrábění

Elektrická eroze je fyzikální jev, který je založen na odebrání částic povrchové vrstvy materiálu za působení tepelného účinku a tlakového působení elektrických výbojů. Odplavení částic z místa řezu se děje prouděním elektrolytu přes obrobek. Elektroerozivní obrábění je nekonvenční metoda a byla vyvinuta především za účelem obrábění těžko obrobitelných materiálů s vysokou pevností, houževnatostí, tvrdostí a odolností proti opotřebení. Takové materiály nelze konvenčními metodami obrábění hospodárně obrobřit. [3]



Obr. 21 Princip elektroerozivního obrábění [4]

1 – generátor, 2 – obrobek, 3 – pracovní vana, 4 – pracovní kapalina,  
5 – pracovní mezera, 6 – nástrojová elektroda, 7 – posuv nástrojové elektrody

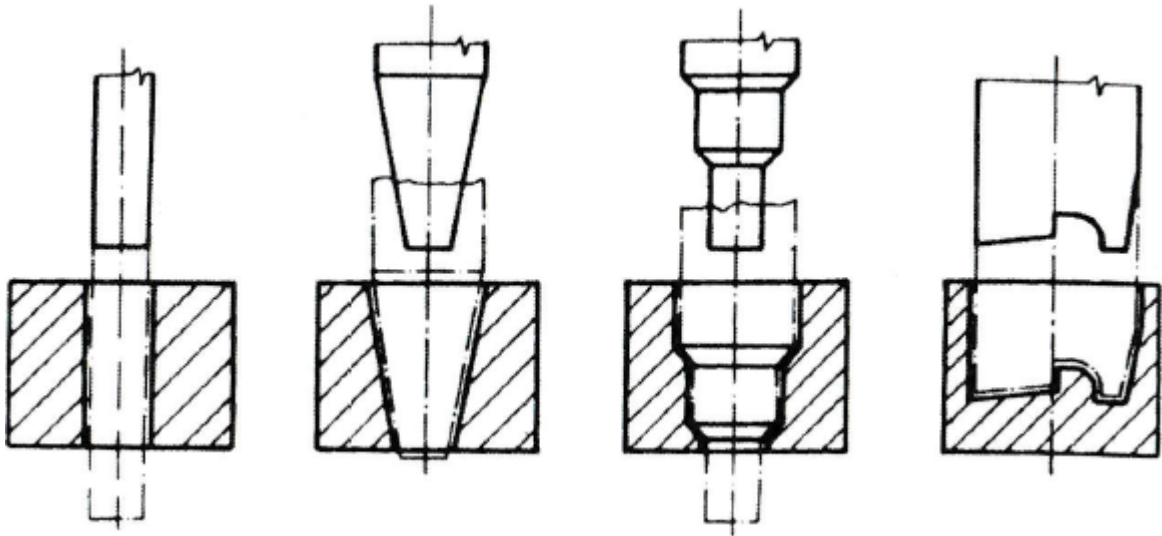
Elektroerozivní obrábění probíhá na dvou elektrodách oddělených pracovní mezerou o velikosti 0,01 až 0,5 mm. Celá soustava je uložena v pracovní vaně a ponořena do elektrolytu. Výboj vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole, kde vzniká vodivý (ionizovaný) kanál, který umožňuje přechod jiskry mezi nástrojem a obrobkem. Proces odebrání materiálu probíhá za pomoci impulzních výbojů rozložených po ploše obrobku. Každý pulz vytvoří jiskru a dochází k narušení materiálu mezi obrobkem a elektrodou.[4]

Podle druhu elektrické eroze se elektroerozivní obrábění dělí na:

- a) Elektrojiskrové
- b) Elektrokontaktní
- c) Anodomechanické

### 2.6.1 Elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění využívá erozivních účinků elektrické jiskry v dielektriku bez dotyku elektrod. Miniaturní třísky jsou oddělovány v důsledku vzniku elektrické jiskry, která natavuje (případně vypařuje) třísku, která je dále odplavována dielektrikem. Odebírání třísek probíhá pomalým přímočarým posuvem nástroje do obráběné plochy. Lze tímto způsobem vyrábět průchozí i tvarové otvory, tvarové dutiny, případně vyřezávat tvary.

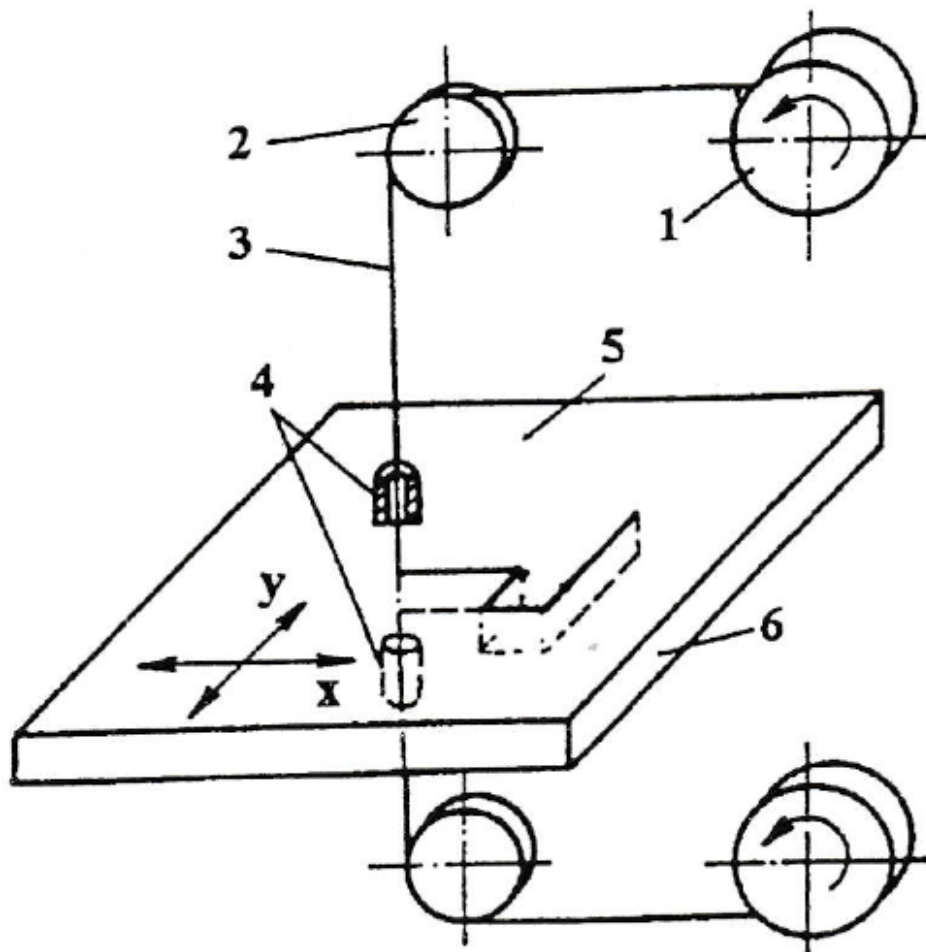


Obr. 22 Příklady prvků vyrobených pomocí elektrojiskrové metody [3]

Materiál elektrod musí být navržen s ohledem na opotřebování během daného procesu. Elektroda musí mít především vysokou elektrickou vodivost, dobrou obrobiteľnosť, vysokou pevnost a vysoký bod tavení. Opotřebení vzniká především vlivem teploty tavení materiálu, ze kterého je vyrobena. Mezi nejvyžívanější materiály pro výrobu elektrod patří grafit. Splňuje všechny předpoklady pro použití, je dobře obrobiteľný a vykazuje velmi dobré charakteristiky opotřebení. Jeho velkou nevýhodou je však znečišťování stroje. Dalšími materiály elektrod jsou měď, měď-wolfram, stříbro-wolfram, měď-grafit, mosaz a wolfram. Elektrody jsou nejčastěji vyráběny obráběním, dále je lze i lisovat, možné je i využití práškové metalurgie nebo stříkání a galvanoplastiku. [4]

Dalším z možností využití této technologie je elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou. To nachází velké uplatnění především při výrobě střížných a lisovacích nástrojů. Dále se touto metodou dělí ultratvrdé materiály. Elektrodou je v tomto případě tenký drát, který se po opotřebení odvíjí pomocí speciálního zařízení a prochází místem řezu. Prostor kolem obrobku je opět ponořen do dielektrika, v tomto případě deionizované vody. Drát je vyroben z mosazi

nebo mědi, pro velmi tenký řez pak může být vyroben i z molybdenového drátu o průměru 0,03 až 0,07 mm. [4]



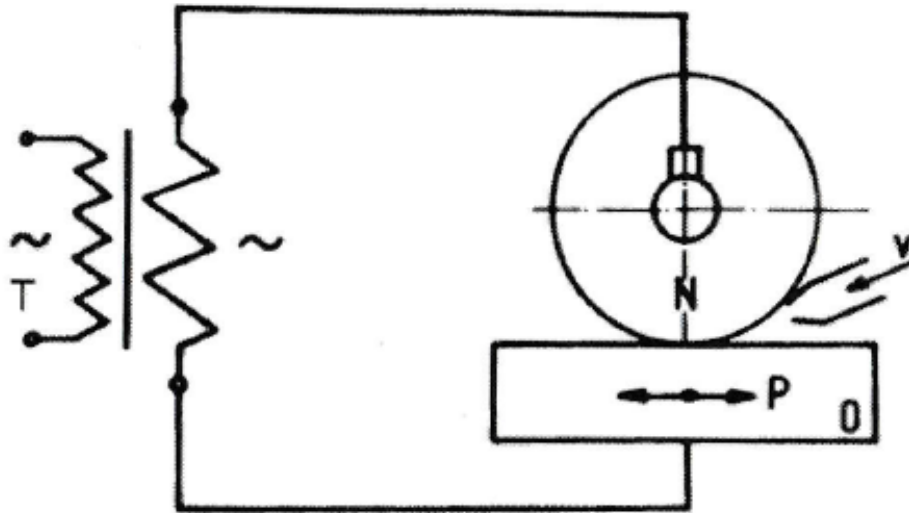
Obr. 23 Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou [3]

1 – cívka, 2 – napínací kladka, 3 – drát, 4 – vedení, 5 – obrobek, 6 -řízení pohybu

### 2.6.2 Elektrokotaktní obrábění

Elektrokotaktní obrábění využívá tepelné účinky elektrických oblouků a mechanické účinky tření. Při obrábění dochází ke kontaktu mezi elektrodou a obrobkem. Kontakt může být nepřetržitý nebo intervalový. Pokud nedojde k dotyku elektrody a obrobku, proces obrábění neprobíhá. Při tomto způsobu obrábění se používá střídavého proudu. Když se přiblíží elektroda k obrobku, nastane krátkodobý oblouk, na jiném místě dojde ke kontaktu a materiál se začne natavovat. Zvyšuje se odpor a začne se uvolňovat velké množství tepla. Elektroda při tom koná rotační pohyb. Vzájemným pohybem ploch elektrod vznikne přerušování

kontaktu a vznikají elektrické oblouky. Z těch pak vznikají malé tlakové vlny, které nestačují k odvádění taveného materiálu. Proto je dodatečně nutné zajistit odvádění vodou nebo vzduchem v místě styku.



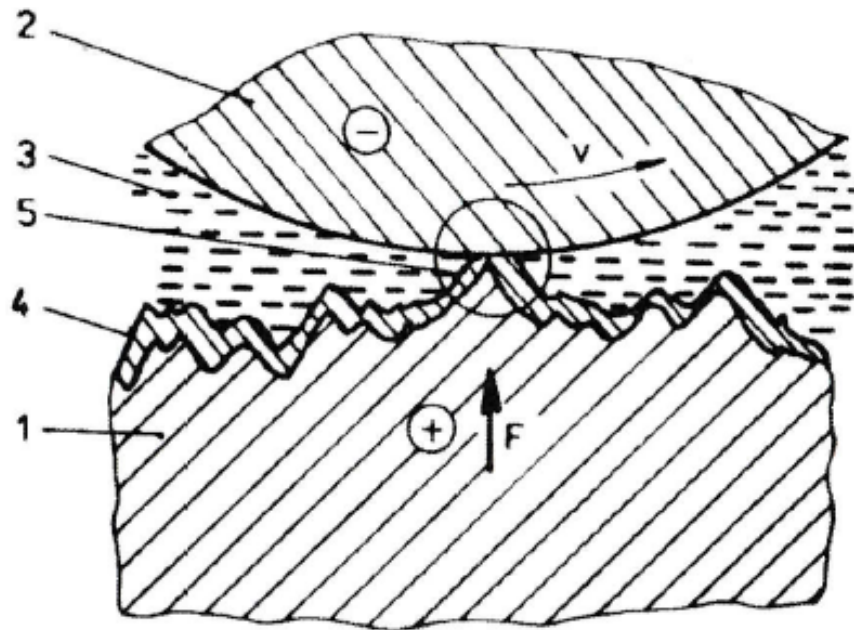
Obr. 24 Elektrokontaktní obrábění [3]

Během procesu obrábění převládají mechanicko-frikční účinky. Běžná odchylka při tomto druhu obrábění je  $\pm 2$  mm, u dokončovacích operacích  $\pm 1$  mm. Nepříznivá vlastnost je, že během procesu vznikají na obrobku návary. Lze je omezit usměrněním proudu vzduchu nebo vody. Nejvíce je tato metoda využívána pro hrubování a řezání těžko obrobitelných materiálů. Výkon je poměrně vysoký a to  $30 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  za použití vzduchu a  $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  při použití vody jako média pro vyplachování. Vzhledem k tepelným vlivům při obrábění a možným deformacím, je tato metoda vhodnější pro obrobky větších rozměrů. [3]

### 2.6.3 Anodomechanické obrábění

Principem je zapojení obrobku jako kladného pólu stejnosměrného proudu, ten je malou silou tlačěn k hladkému povrchu rotujícího kotouče, který tvoří elektrodu zápornou. Pasivační vrstvu tvoří elektrolyt a brání přímému styku obrobku a nástroje. Kotouč rotuje a stírá anodový film vytvořený v místě obrábění. Dochází k jiskrovým výbojům na mikro vyvýšeníích na obrobku. Materiál se začíná rozrušovat vlivem tepelného a tlakového účinku. Rozrušený materiál je odváděn z místa obrábění povrchem kotouče. Do okruhu se stále přivádí kapalina a anodový film se stále obnovuje a výboje opakují.

Hlavní využití této metoda nachází většinou jako způsob dělení materiálu, a to především houževnatějších ocelí, ocelí cementovaných a kalených. Dále je možné obrábět nerezovou ocel, magnetické slitiny nebo ocelolitinu. Vhodná je tato metoda i pro dělení tenkostěnných profilů, u kterých dochází během jiného způsobu dělení k deformacím tvaru. [3]



Obr. 25 Princip anodomechanického obrábění [3]

1 – obrobek, 2 – nástroj, 3 – elektrolyt,

4 – pasivační vrstva  $\text{SiO}_2$ , 5 – místo elektrického výboje



### 3 ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÉ OBRÁBĚNÍ (CNC)

CNC neboli číslicově řízené obráběcí stroje představují jednu z nejdůležitějších součástí strojírenské výroby. Podílí se na významné části operací v každodenní výrobě. Zasahují do všech segmentů strojírenské výroby a jejich vývoj se stále zdokonaluje. CNC stroje dokáží při správném užívání zkrátit výrobní čas dílů, dříve vyráběných na konvenčních strojích, z hodin na minuty. V mnoha firmách napříč spektrem jsou dnes standardem a velmi vysoká poptávka zasahuje výrobce z celého světa.

CNC stroje jsou nosným prvkem automatizace výroby u velkosériových, malosériových i kusových výrob. Největší výhodou těchto strojů oproti konvenčním je opakovatelnost výroby. Ať už se jedná jen o jeden kus vyrobený na zakázku nebo velkosériovou výrobu stále se opakující, jejich společným jmenovatelem je aplikace řídicího programu. Ten zajišťuje návaznost soustavy stroj-nástroj-obrobek, kterou lze opakovaně uvést do provozu za stejných vstupních podmínek, jako jsou nástroje na obrábění, rozměry polotovaru a poloha nulového bodu obrobku. Číslicové řízení stroje je zajišťováno řídicím systémem navázaným na soustavu celého stroje. Ať už se jedná o elektrickou soustavu, soustavu pohybu os či vnějšího okruhu stroje a periférií, vše je podřízeno řídicímu systému. Ten udává informace o směru, dráze a smyslu pohybu pracovních úkonů, dále pak podmínkách pro nástroje a dalších přídatných funkcích nezbytných k procesu výroby.

#### 3.1 Metody programování CNC strojů

##### 3.1.1 Dílenské programování na stroji

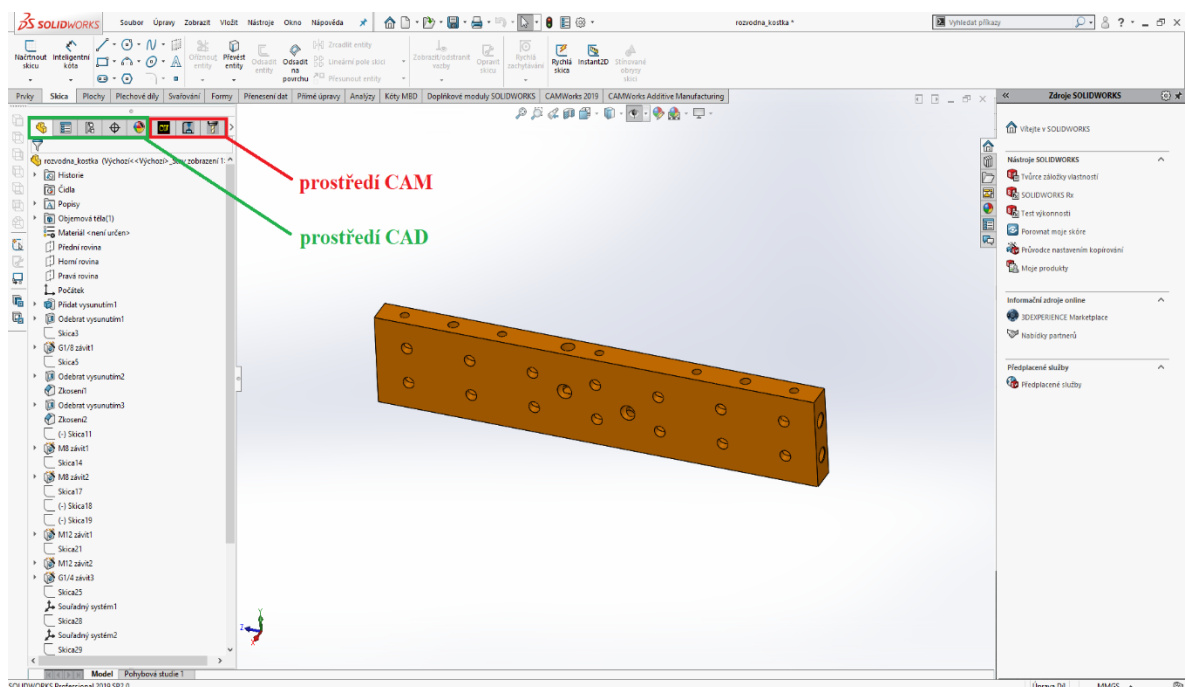
Jedná se o programování přímo na stroji, na kterém bude daný díl vyráběn. Jedná se především o aplikace v kusových a malosériových výrobcích. V zásadě jej lze rozdělit na programování pomocí programovacího jazyka stroje (např. ISO kódu), programování parametrické (za použití podmínek a parametrů) a programování dialogové.

Dialogové programování je velmi rozšířenou metodou pro svou uživatelskou jednoduchost. Stále více výrobců se snaží zdokonalovat a podporovat tento typ programování. Obsluha stroje je na stroji schopna vytvořit program na daný výrobek a v simulaci zjistit pohyby nástroje a úbytek materiálu při obrábění. Systém sám navádí uživatele za pomoci grafických ukázek a tabulových vzorů a nabízí různé možnosti zpracování daných operací. Operátor po dokončení programování automaticky vygeneruje NC program do stroje a je schopen ho

editovat. Toto programování je možno provést i za běhu stroje v tzv. backgroundu, kdy na hlavní obrazovce probíhá program jiného dílu a v pozadí se připravuje program nový. Nevýhodou je omezená možnost úprav konkrétních drah a nájezdů pro svou výpočetní náročnost. Stejně tak optimalizace drah specializovaným softwarem není možná, výrobci strojů mají již optimální výpočetní metody předdefinovány a ve většině případů do nich nelze zasahovat.

### 3.1.2 CAM programování

Programování off-line je možné za pomoci speciálního softwaru určeného pro daný typ obrábění. Na začátku programování vychází programátor ze vstupního modelu, který může mít 2D formát pro operace 2D a 2,5D obrábění s definovanou hloubkou řezu nebo 3D model pro všechny potřebné informace na obrábění daného dílu. Model je otevřen v prostředí CAD softwaru, který slouží pro tvorbu designu a úpravy modelu. Může mít různý formát podporovaný daným typem softwaru. Pro tvorbu programu je potřebný software, ve kterém je prostředí velmi podobné tomu CAD. Tímto typem softwaru je CAM neboli Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba.



Obr. 26 Prostředí CAD/CAM

K dispozici jsou nabízeny dvě varianty. První je samostatný CAM software, nabízen mnoha dodavateli. Druhou, pro uživatele přívětivější variantou, je integrace softwaru do prostředí

CAD. Tím vznikne plnohodnotná soustava, ve které dokáže uživatel přepínat mezi jednotlivými prostředními za pomoci záložek a při jakékoliv úpravě modelu dojde k přepočítání programových cyklů a drah. Tento způsob programování je velmi využíván především ve velkých a středních strojírenských firmách, pro které je konstrukční i technologické oddělení stejně tak důležité jako výrobní a dokáže rychle reagovat na náhlé změny v konstrukci výrobku a tím i následné výrobě.

Programování v CAM softwaru má, stejně jako obrábění, svoji posloupnost procesu. V počáteční fázi je nutno určit o jaký typ stroje se jedná, počet jeho os, pozice os a omezení týkající se otáček a posuvu. Následně je definován surový materiál obrobku včetně přídavků, což s velkou výhodou lze využít při verifikaci simulace. Definování nulového bodu obrobku je dalším krokem, jeho umístění má své zákonitosti. Vztahuje se k výkresové dokumentaci, druhu polotovaru a možnostem zaměření obrobku. Pokud jsou definovány tyto základní prvky, přechází se k samotnému programování cyklů.

Pokud je vše správně definováno, na základě druhu obrábění se přechází k programování drah a obráběcích cyklů pro daný výrobek. Programátor má za úkol během vytváření programu pracovat s modelem a vytvářet správnou technologii pro daný výrobek. Aby se předcházelo kolizím je k dispozici verifikace, díky které lze simulovat proces obrábění a predikuje případné kolize způsobené nevhodným výběrem cyklu. Velmi detailně lze vytvářet jednotlivé dráhy, nájezdy a odjezdy k výrobku, cykly pro osové operace, jako je vrtání nebo závitování, to vše software umožňuje. U každého z cyklů jsou následně definovány řezné podmínky pro danou operaci.

### **3.2 Způsoby měření nástrojů a obrobků pomocí sond**

Sondy jsou důležitou součástí procesu přípravy výroby před zahájením obrábění. Díky nim jsou výrazně zkráceny přípravné časy a prostoje, což je z ekonomického hlediska velmi podstatné. Každý přípravný čas na obráběcí stroji by měl být co nejkratší, což by za použití ručního doměřování obrobku číselníkovými úchylkoměry nebylo zaručeno. Lze jimi ve velmi krátkém čase ustavit polohu nulového bodu obrobku. Stejně tak lze i následně zaměřit délku a poloměr nástrojů potřebných ke spuštění obrábění daného programu.

Sondy lze z hlediska účelu použití dělit na sondy nástrojové a sondy obrobkové.

### 3.2.1 Nástrojové sondy

Slouží k určení délky a průměru nástroje upnutého do nástrojového upínače. V případě použití osových nástrojů se jedná o zjištění jejich délky. Ta je potřebná k odečtení délkové korekce nástroje od čela vřetene stroje. Nástrojové sondy jsou k dispozici jako dotekové nebo bezdotykové (lasery).

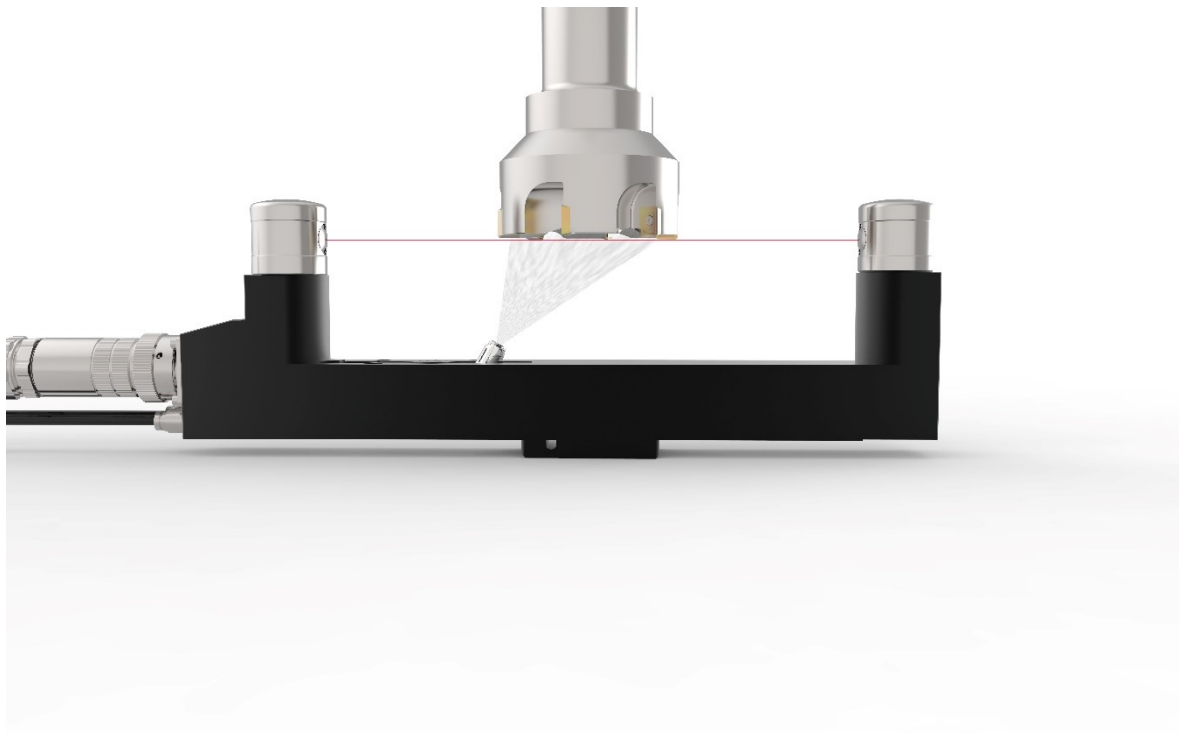


Obr. 27 Dotyková sonda OTS od Renishaw [10]

Jedná se o velmi kompaktní zařízení, které je umístěno mimo stroj. Díky konstrukci je možné odnímat opakovaně ze stroje a používat jen při měření. Před zahájením měření se do stroje zapíše přibližná hodnota nástroje včetně upínače. Do tabulky nástrojů se uvede konkrétní pozice nástroje dle programu a spustí se makro program pro měření délky (osové nástroje) či délky a poloměru nástroje (frézy). Sonda je bezdrátová a přenos signálu optický. Při kontaktu nástroje s dotykem dojde k přerušení signálu a sonda odešle informaci do stroje. Stroj následně po opakovaném měření na menší posuv provede zapsání hodnoty délky do tabulky nástrojů. Pokud se jedná o frézu, měření ještě pokračuje a sonda začne rotovat opačnými otáčkami tak, aby se mohla z boční strany dotknout dotyku a opět přerušit signál a vyslat impuls do stroje. To provede na dvou bočních místech dotyku v závislosti na uloženém umístění sondy během kalibrace na stroji. Po dokončení měření se uloží i hodnota poloměru do tabulky nástrojů a nástroj je připraven k použití pro proces obrábění.

Bezkontaktní měření laserem probíhá stejným způsobem. Laserová závora je umístěna na stroji a nástroj je pomocí programu odeslán do míst kde je laserový paprsek. Při jeho přerušení dochází k zapsání hodnot do tabulek nástrojů stejně jako v případě dotykové sondy. Tento způsob měření je výhodné využít pro kontrolu životnosti nástroje. Pokud by došlo ke

zlomení, poškození nebo jiné destrukci nástroje, snímač ve velmi krátkém čase chybu zjistí a je schopen ze zásobníku nástrojů tento nahradit předem definovanou pozicí v zásobníku nástrojů stejným druhem nástroje. Pro sériovou výrobu, kde může být životnost nástrojů v řádu minut, je tato možnost velmi ceněná, protože zaručuje kontinuálnost provozu a zabraňuje prostojům a ekonomickým ztrátám způsobeným výměnou nástrojů.



*Obr. 28 Bezkontaktní měření laserem NC4 od Renishaw [11]*

### 3.2.2 Obrobkové sondy

Slouží ke zjištění polohy obrobku ve funkční části obráběcího stroje. Cílem sondy je zaměření přesné polohy potřebných os tak, aby mohlo proběhnout obrábění dílu. K tomuto účelu se nejčastěji používají dotykové obrobkové sondy. Měření sondou probíhá tak, že do vřetene stroje se upne obrobková sonda uložená v nástrojovém upínači. Ta je přesně zkalibrována a pro uložení interních parametrů ve stroji má v zásobníku nástrojů svou pevně danou pozici, do níž se jiné nástroje neukládají. Pro přesné měření je potřeba obrobkovou sondu zkalibrovat a pevně určit vazbu mezi ní a sondou nástrojovou. Tak je zaručena maximální možná přesnost celého měřicího systému stroje. Po vložení sondy do vřetene se za pomoci ručního režimu přiblíží sonda k polotovaru obráběné součásti v dané ose. Lze měřit pouze jednu osu, případně, pokud jde o čep nebo díru, lze ukládat zároveň osy dvě. Po najetí na pozici měření se spustí makro program pro měření a při dotyku s povrchem polotovaru vyšle sonda signál

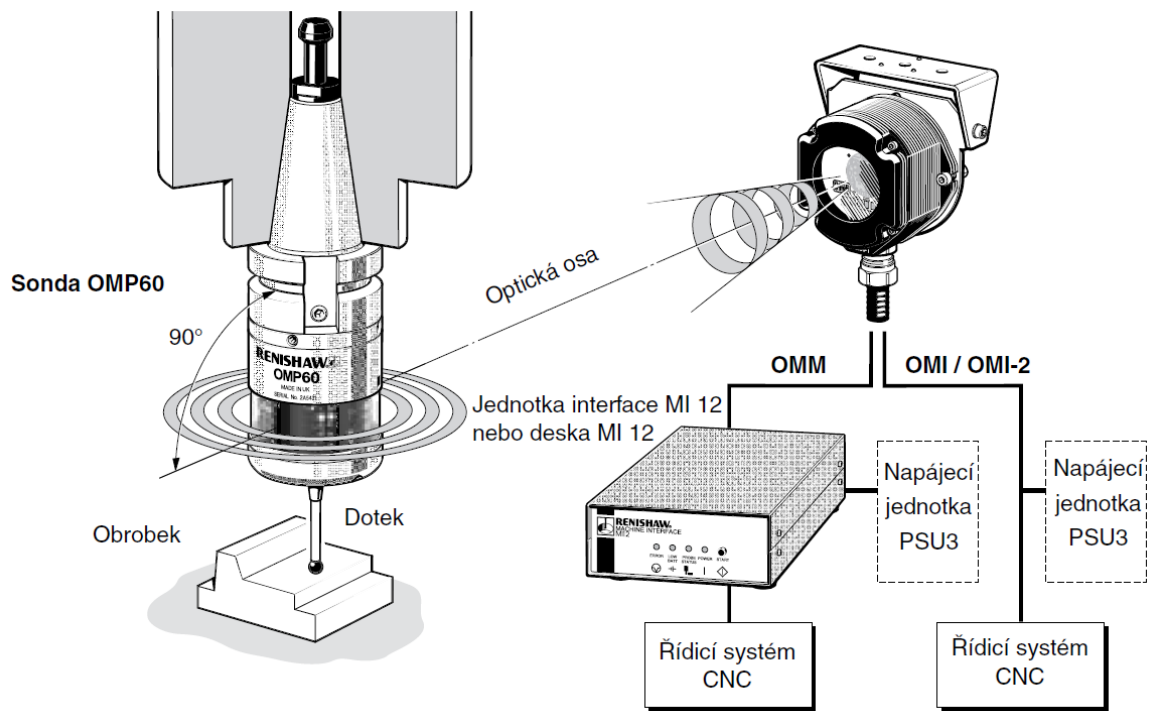
do stroje a v něm se uloží aktuální pozice polotvaru ve stroji. Stejným způsobem se po přejetí na další pozice změří další potřebné osy. Tyto parametry se pak ukládají do tabulky registru nulových bodů, ze kterých následně vychází program. Přenos do stroje je bezdrátový a může probíhat optickým nebo radiovým signálem do stejného přijímače, do kterého vysílá i sonda obrobková.



*Obr. 29 Obrobková sonda OMP60 od Renishaw [12]*

Obrobkové sondy neslouží pouze pro zjištění polohy před začátkem obrábění, lze s nimi i snímat obrobený díl po konci obrábění a s vhodným softwarem lze vytvořit měřicí protokol daného dílu. Takové měření může být výhodné především při výrobě složitých 3D tvarů, kdy je potřebné daný obrobek porovnat s modelem, protože odepnutí obrobku a opětovné upnutí do stroji již nikdy nebude mít stejné parametry polohy ploch.

Zároveň může být sonda využívána jako mezioperační měření při vkládání polotovarů s nestejnými rozměry. Pokud by mohlo dojít ke kolizi s nástroji sonda programovým cyklem zjistí skutečný rozměr, který může být na daném polotovaru odlišný a upraví tak polohu nulového bodu. Detekují se tím nepřesnosti a dochází k bezpečnému najetí obráběcího nástroje. Z hlediska konstrukce se jedná o velmi jemnou a přesnou mechaniku v kombinaci s elektronickými prvky, což vyžaduje zvýšenou opatrnost. Musí se brát v úvahu, že se jedná o specializované, často velmi drahé měřidlo. Částečně proti zničení celého zařízení lze použít keramický dotyk, který se při větším zatížení zlomí a nepoškodí důležité součásti v sondě. Dotyk lze po zničení jednoduše vyměnit, sonda se znovu zkalibruje a pokračuje se v měření. Jakýkoliv zásah do vnitřní konstrukce by měl být proveden pouze specializovaným servisem, který zajišťuje dodavatel tohoto velmi přesného měřicího zařízení.



Obr. 30 Proces měření obrobkovou sondou [13]

## 4 NÁSTROJE PRO TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ

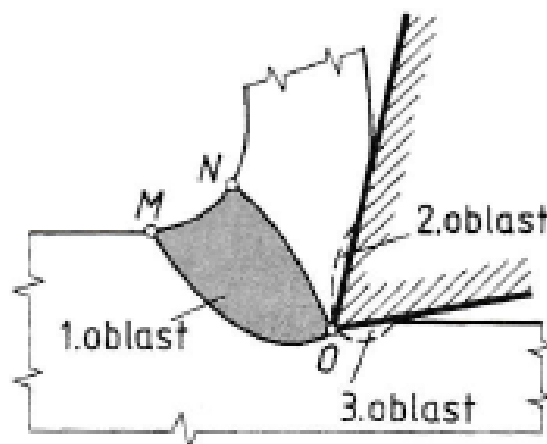
Na obráběcí nástroje jsou kladeny velmi vysoké požadavky. Moderní obráběcí nástroj musí mít vysokou řezivost, velký výkon během obráběcího procesu, což souvisí s velkým objemem odebraného materiálu, a vysokou odolnost proti mechanickým a tepelným vlivům. Zároveň by neměl nadměrně podléhat opotřebení, a to vše za minimální vstupní náklady.

Výrobci nástrojů nabízí mnoho řešení na konkrétní materiálové skupiny či přímo daný typ materiálu. Správná volba nástroje je mnohdy otázkou nejen studie daného problému, ale i znalostmi rozsahu řezných podmínek, ve kterých ho lze použít. Zkušenosti technologů výroby při testování nástroje na daném materiálu mnohdy nemusí odpovídat tomu, co předepisují výrobci nástrojů. Proto je velmi důležité získávání znalostí a analyzování problému během procesu obrábění.

Nástroj během obrábění působí jako řezný klín. Jeho úkolem je utvářet třísku. Jedná se o proces plastické deformace, během které dochází k oddělování materiálu ve tvaru třísky. Ta může být utvářena jako tříska drobivá, lámavá nebo plynulá. Proces utváření třísky je proces postupného stlačování, deformování a postupného oddělování částic obráběného materiálu.

Oblast plastických deformací je rozdělena do 3 oblastí:

- 1. oblast je oblastí primárních plastických deformací
- 2. oblast je oblastí sekundárních plastických deformací
- 3. oblast je oblastí plastických deformací obrobené plochy



Obr. 31 Oblasti plastických deformací [4]

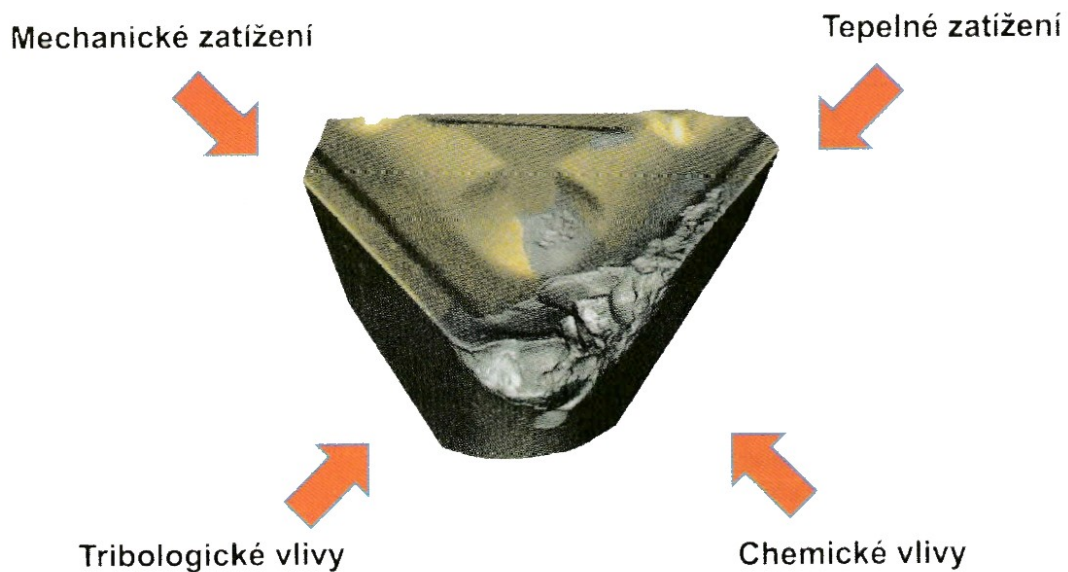
Mezi nástrojem a obrobkem vzniká během obrábění velké množství tepla. Velký vliv na celkovou tvorbu třísky má řezné prostředí. To ovlivňuje především přívod řezné kapaliny do



místa řezu. Přívod a typ kapaliny ovlivňuje plastickou deformaci během procesu řezání a upravuje průběh obrábění. Řezná kapalina výrazně ovlivňuje tvorbu nárůstku na břitu nástroje a to tím, že ovlivňuje teplotu řezání. Změnou teploty v místě řezu se ovlivní i velikost plastické deformace a velikost tření, celkově lze zlepšit i jakost obrobené plochy.

Cílem nástroje během procesu obrábění je tedy co nejkvalitnější utváření třísky a její odvod z místa řezu, čemuž může přispět intenzivní přívod chladícího média. Přívod může být proveden tryskami instalovanými v obráběcím stroji, ale ideálně kapalinou přiváděnou přes tělo nástroje chladícími kanálky v nástroji, a to za působení vysokého tlaku.

Řezné nástroje pracují ve velmi náročných podmínkách. Působí na ně hned několik vlivů, ovlivňujících jejich životnost. Doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadovanou funkci, je označována jako trvanlivost nástroje. Je určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a koncem provozuschopnosti nástroje vlivem jeho opotřebení a znehodnocení. [4]



Obr. 32 Vlivy působící na břit nástroje během obrábění [7]

Cílem při volbě nástroje z technologického hlediska je pracovat s nástrojem vysoce produktivním s minimálními náklady, a to zejména na automatizovaných číslicově řízených strojích. S tím přímo souvisí požadavek na vysokou řezivost nástroje, což znamená i velký výkon řezání kvantifikovaný velkým úběrem materiálu v krátkém čase.

## 4.1 Typy nástrojů pro obrábění

Nástroje pro třískové obrábění se volí v souvislosti k danému typu technologie výroby, výrobní operaci a typu stroje. Daný typ metody obrábění určuje, zda bude použit nástroj s definovanou geometrií či nikoliv. Nástroj s definovanou geometrií má jednoznačně určenou rovinu čela, hřbetu a základovou rovinu, tzn. že je definován těmito rovinami. Mezi elementární metody obrábění s nástroji s definovanou geometrií patří soustružení, frézování a vrtání. [3]

Volba materiálu nástroje se provádí dle několika zásadních faktorů. Mezi ně patří daná operace obrábění, velikost objemu výroby, použitý stroj, ale i vlastnosti obráběného materiálu. Volbu nástroje může ovlivnit i daný typ řezné kapaliny. Ty mají dva zásadní účinky v řezném prostředí. Chladicí účinek snižuje teplotu a tím i snižuje opotřebení nástroje. Mazací účinek snižuje tření na činných plochách nástrojů a tím usnadňuje plastickou deformaci třísky, čímž se zlepšuje i jakost obrobené plochy. [1]

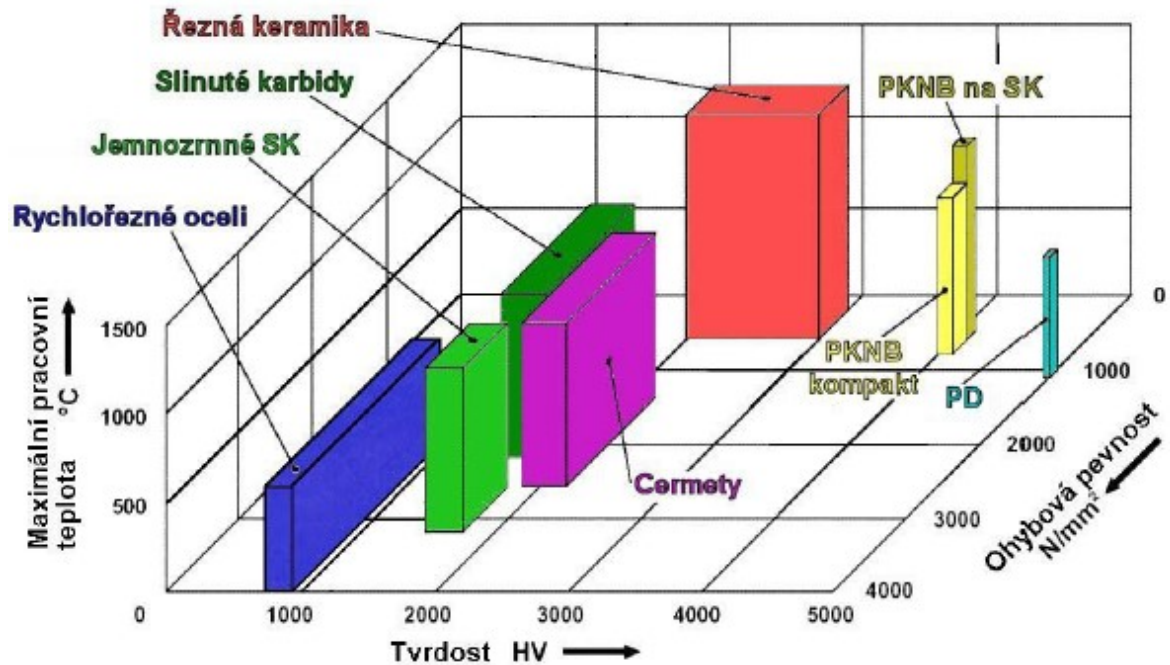
### 4.1.1 Nástrojové materiály

Pro výrobu nástrojů se užívá těchto nástrojových materiálů:

- Nástrojové oceli uhlíkové
- Nástrojové oceli slitinové
- Rychlořezné oceli (HSS)
- Slinuté karbidy
- Stellity
- Cermety
- Keramické nástrojové materiály
- Polykrystalický kubický nitrid bóru (CBN)
- Polykrystalický diamant (PKD)
- Přírodní diamant

Vysoce legované nástrojové oceli jsou legovány wolframem, molybdenem, vanadem, chromem a kobaltem. Z tohoto materiálu se vyrábí vrtáky, frézy, výstružníky, soustružnické a hoblovací nože. Nástroje vyrobené z rychlořezné oceli jsou stále nenahraditelné pro svou

vysokou houževnatost a zpracovatelnost běžnými dostupnými technologiemi. Lze je vyrábět odléváním, válcováním, kováním či obráběním. Jejich nevýhodou je však menší tvrdost a odolnost proti opotřebení, která při vyšších teplotách klesá.



Obr. 33 Vybrané vlastnosti řezných materiálů [6]

Nejčastěji užívaným nástrojovým materiálem je v současné době slinutý karbid. Nástroje ze slinutých karbidů jsou vyráběny jako monolitní nebo jako destičky do nástrojových těles, do kterých se tyto destičky upínají. Většina nástrojů a destiček ze slinutých karbidů je ještě opatřena povlakem, což výrazně zlepšuje vlastnosti nástroje či břitové destičky. Výrazně předchází nástroje z rychlořezné oceli svou otěruvzdorností, jsou však křehké a mají sklon k vydrolování břitů. Ideální vlastnosti slinutého karbidu vystihují destičky, které mají velmi tvrdý, otěruvzdorný povrch a houževnaté jádro. Tvrdý a otěruvzdorný povrch je dosažen povlakováním karbidu titanu TiC, nitridu titanu TiN nebo oxidu hlinitého Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Povlaky mohou být jednovrstvé, vícevrstvé nebo s více složkami najednou. [14]

Základní složkou běžných karbidů je WC neboli Karbid wolframu. Ten zajišťuje pevnost břítu a odolnost proti abrasivnímu opotřebení. Dalším typem je TiC – karbid titanu, který zlepšuje odolnost proti vymílání na čele. Karbid tantalu (Ta (Nb)C) ve spojení s WC má zvýšenou odolnost proti opotřebení při vyšších teplotách a výhodou je i odolnost proti tepelným šokům. Funkci pojiva zastává kobalt, zároveň s růstem jeho obsahu zvyšuje pevnost v ohybu a houževnatost, což má za následek i jeden nepříznivý vliv, a to je klesající tvrdost.

Slinuté karbidy jsou dle ISO rozděleny do 3 základních skupin:

- P – obrábění materiálů s dlouhou třískou, např. ocel, ocelolitina, nerezová ocel, temperovaná litina
- M – třída materiálů tvořící dlouhé i krátké třísky, např. austenitická nerezová ocel, žáruvzdorné materiály, manganové oceli
- K – pro obrábění materiálů tvořící krátké třísky, např. šedá litina, kalená ocel a neželezné materiály jako je hliník nebo bronz

Cermety jsou nástrojové materiály vzniklé jako slitina keramických částic v kovovém pojivu. Mají výborné vlastnosti při vyšších řezných rychlostech a nižších posuvech a rovnoměrných hloubkách řezu. Dosahují velmi dobré životnosti břitu, ta je však zajištěna pouze v případech stabilního řezného prostředí. Tvrdost povrchu lze stejně jako u slinutých karbidů zvýšit povlakováním metodou PVD.

PKB neboli CBN je kubický nitrid boru. Používá se jako řezný materiál ve třech různých provedeních. Lze jej použít jako masivní břitovou destičku, povlak nanesen na tvrdokovu nebo řezné těleso letované na tvrdokovové tělo. Mezi klíčové vlastnosti patří extrémní tvrdost a vysoká odolnost proti brusnému opotřebení. Je relativně křehký, avšak zároveň houževnatý a tvrdý, vlastnostmi podobný řezné keramice. CBN materiál je doporučen pro obrábění tvrdých materiálů s tvrdostí nad 45 HRC.

Polykrystalický diamant (PKD) je nejtvrďší řezný materiál. Jeho mimořádně vysoká tvrdost odolává vysokému brusnému otěru. Životnost PKD nástroje může být až 100x vyšší než u slinutých karbidů. I takto jedinečný nástrojový materiál má své omezení. Lze s ním obrábět v zónách maximálně 600 °C. Kvůli afinitě nelze využít pro obrábění železných materiálů. Je nevhodný i pro použití na houževnaté a vysoce pevné materiály. Oblastí, ve které tento materiál vyniká je obrábění neželezných kovů s požadavkem na vysokou přesnost obrobenej plochy a jakost povrchu. Důležité jsou velmi stabilní podmínky během celého procesu, především v oblasti upnutí nástroje a tuhosti stroje. Jedná se o první volbu řezného materiálu pro obrábění grafitu. [6]

#### 4.1.2 Nástroje pro soustružení

Nejužívanějším nástrojem pro soustružení je soustružnický nůž. Nože mají definovaný geometrický tvar ostří a ve většině případů jsou jednobřité. Lze je členit dle několika hledisek.

- Materiálu břítu: břit může být vyroben z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, polykrystalického diamantu nebo kubického nitridu boru.
- Konstrukce: nože celistvé, nože s pájenou břitovou destičkou a s vyměnitelnou břitovou destičkou
- Směru posuvu: pravé nebo levé
- Způsobu obrábění: ubírací, zapichovací a upichovací, závitové, kopírovací a tvarové
- Druhu obráběcího stroje: soustružnické, revolverové a automatové



Obr. 34 Konstrukce nožů [17]

Největší podíl zastává u soustružení nožový držák s vyměnitelnými břitovými destičkami. Destičky jsou mechanicky upnuty k držáku. Výrobci se snaží nožové držáky vylepšovat svou vlastní konstrukcí, proto umísťují do těles vrtané kanály pro přívod chladicí kapaliny přímo do místa řezu. Rovněž existuje několik způsobů pro upínání břitových destiček, to má vždy zajistit pevné a bezpečné upnutí. Obsluha stroje po opotřebení jen otočí břit, nebo pokud je destička již opotřebovaná na všech břitech ,vymění celou destičku. Nástrojový držák je stále upnut v držáku nástrojů stroje, což výrazně zkracuje přípravné časy. V případě CNC strojů odpadá i nutnost opakovaného zaměřování nulového bodu nástroje.

Nože se upínají na strojích do nožových hlav a revolverových hlav. Upínání do nožových hlav dovoluje upnutí 4 nástrojů a nejběžnější je u konvenčních strojů. CNC soustruhy mají k dispozici nástrojový revolver. Ten je otočný a lze v něm upínat několik nástrojů v závislosti na velikosti a konstrukci stroje. Není nijak neobvyklé, že větší stroje mají i více než jeden revolver. Lze do něj upnout i speciální poháněné nástrojové držáky, které umožňují přenos otáček přes převod v závislosti na převodovém poměru držáku. Tyto speciální držáky

v závislosti na konstrukci lze dělit na radiální, axiální a úhlové. Upínají se do nich jak osové nástroje, tak i frézy. Pokud stroj disponuje vhodnou pracovní osou, lze upínat nástroje i mimo osu obrobku.

#### 4.1.3 Nástroje pro frézování

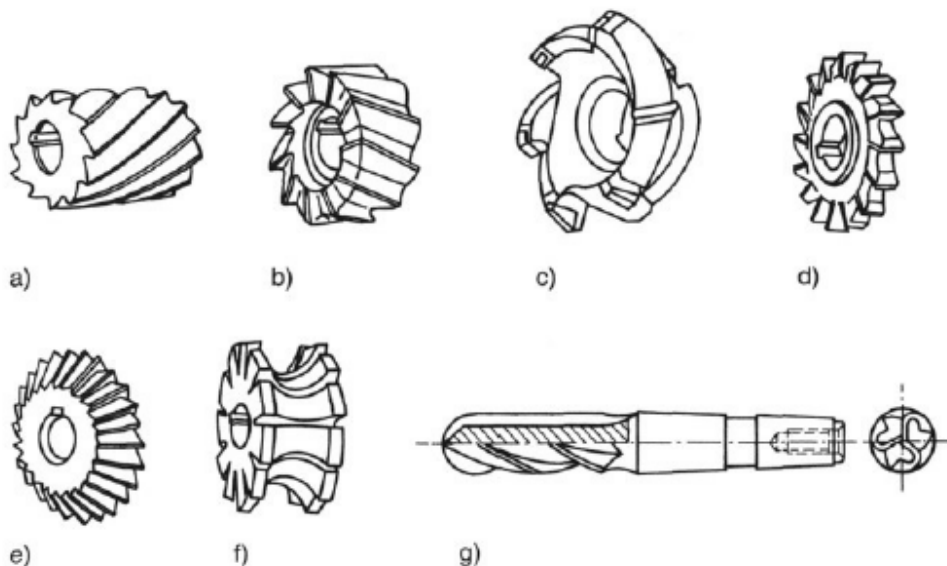
Frézy lze dělit z několika hledisek. Liší se především umístěním břitů, tvarem zubů, konstrukcí a způsobem upínání.

Dle umístění zubů lze frézy dělit na:

- Válcové
- Čelní
- Kotoučové
- Kuželové
- Tvarové

Dle konstrukce na:

- Monolitní
- S vyměnitelnými břitovými destičkami
- Skládané



Obr. 35 Vybrané druhy fréz [2]

a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová,  
f) tvarová, g) stopková kulová

Monolitní frézy jsou vyráběny z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů a posledním trendem mezi nástrojovými materiály je výroba monolitních fréz z keramiky. Ty jsou využívány především pro letecký průmysl na frézování superslitin na bázi niklu a frézování titanu. Jsou schopny snášet vysoké teploty při obrábění a vysokou řeznou rychlost.

Frézy s vyměnitelnými plátky mají těleso frézy vyrobeno z rychlořezné oceli. Pokročilejším materiálem je antikorozi ocel Idun. Jedná se o speciální ocel na výrobu plátkových fréz. Dodává se již v kaleném stavu a je odolná proti korozi. Tělesa těchto fréz jsou nejčastěji vyráběna obráběním, případně kombinací přesného lití a obrábění. Po samotné výrobě následuje ještě povlakování tělesa. Povlak těleso chrání před opotřebením a zabraňuje natavování třísek na povrch tělesa. Důležitou částí těles jsou vrtané kanálky pro přívod chladicí kapaliny přímo do místa řezu. Fréza je následně osazena plátky ze slinutých karbidů, keramickými plátky nebo plátky z polykrystalického kubického nitridu bóru. Destičky ze slinutých karbidů vznikají slinováním karbidu wolframu (WC) a kobaltu (Co), mohou však obsahovat i kubické karbidy tantalů, titanu a niobu. Karbid wolframu je hlavní komponent, který určuje tvrdost materiálu. Kobalt je pojivem, který dodá houževnatost. Kubické karbidy jsou přidávány za účelem změn vlastností řezného materiálu, zvýšením tvrdosti při vyšších teplotách, odolnosti proti deformaci a opotřebením. Plátky se mohou lišit tvarem, materiálem, ze kterého jsou vyrobeny, způsobem povlakování, utvářečem třísek a způsobem upínání do tělesa frézy. Břitové destičky jsou značeny dle normy ISO 1832-1991.

Monolitní frézy i břitové destičky mohou být povlakovány technologií PVD nebo CVD. Povlakováním se zvýší odolnost proti opotřebením.

Povlakování CVD je vhodné z důvodu odolnosti proti opotřebením pro náročné aplikace při vysokém posuvu za střední až vysoké řezné rychlosti.

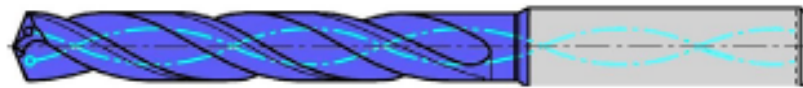
Povlakování PVD je doporučeno pro aplikace při nízkých posuvech, kde je požadována vyšší houževnatost břitů. Používá se především pro nízkou a střední řeznou rychlost.

#### 4.1.4 Nástroje pro vrtání

Šroubovitý vrták je nejčastějším nástrojem k vrtání krátkých děr. Na svém válcovém těle má vyrobeny dvě protilehlé spirály, které slouží k odvodu třísek z místa řezu, ale i k přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Úhel stoupání spirály se může lišit podle druhu obráběného materiálu. Jeho hlavní ostří je spojeno s ostřím příčným. Příčné ostří nepříznivě ovlivňuje proces vrtání, proto bývá upravováno podbroušením. Jádro šroubovitého vrtáku zajišťuje

pevnost v krutu a ve vzpěru. Aby bylo minimalizováno tření vrtáku v otvoru, jsou vedlejší břity odlehčeny na menší průměr a tělo se směrem ke stopce mírně zužuje. Rovněž se upravuje vrcholový úhel vrtáků podle druhu obráběného materiálu. Pro běžné nelegované oceli je úhel špičky  $118^\circ$ , u těžkoobrobitelných materiálů  $140^\circ$  a pro vrtání plastů a pryží  $90^\circ$ .

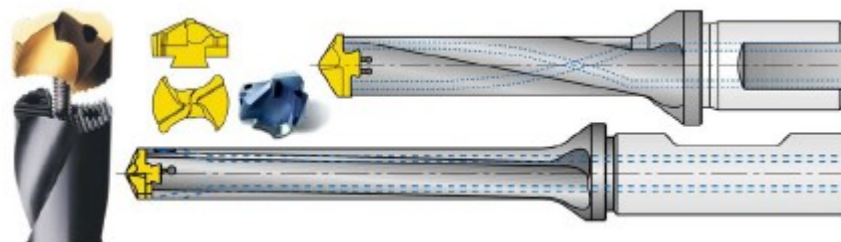
Materiál šroubových vrtáků je obvykle rychlořezná ocel (HSS), pro větší řezné rychlosti se používají vrtáky ze slinutých karbidů s povlaky. Šroubovitě vrtáky mohou mít vedeny v těle chladicí kanály, zajišťující přímý přívod procesní kapaliny do vrtaného otvoru. Hlavní výhodou vrtáků ze slinutých karbidů je možnost přímého vrtání do plného materiálu bez použití středícího vrtáku. [20]



Obr. 36 Monolitní vrták s chladicími kanály [20]

Kopinaté vrtáky jsou rovněž jako šroubovitě vrtáky dvoubřité nástroje s příčným ostrím. Mají velkou tuhost tělesa a rovněž umožňují vrtání do plného materiálu bez předvrtání. Tělesa těchto vrtáků jsou vyrobena z rozdílného houževnatějšího materiálu než korunka vrtáku, která bývá obvykle vyrobena ze slinutých karbidů a povlakována.

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou jsou podobným typem vrtáků jako kopinaté. Mají podobnou konstrukci. Liší se ve způsobu upínání vrtací korunky do tělesa vrtáku. Vrtací korunky jsou vyrobeny ze slinutých karbidů a povlakovány, vyrábějí se různé typy geometrií. Ta se volí na základě druhu obráběného materiálu a technologických požadavků.



Obr. 37 Vrták s vyměnitelnou špičkou [20]

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami mají destičky vyrobeny ze slinutých karbidů. K tělesu vrtáku jsou upnuty pomocí šroubů, nebo u vrtáků větších průměrů pomocí kazet. Těleso bývá osazeno obvodovou a středovou destičkou. Obvyklé je, že obvodová destička je vyrobena z jiného materiálu, povlakována jiným povlakem a má rozdílnou geometrii než



destička středová. Stejná je pouze přibližná trvanlivost obou břitů. V případě větších průměrů bývá ještě před geometrií destiček osazen do středu pilotní vrták. Destičky ze slinutých karbidů mají na svém těle utvařeče třísek. Ty umožňují plynulé dělení třísky, čímž se usnadňuje dělení třísek ve vrtaném otvoru. Na správné tvorbě třísky se však podílí celá řada faktorů, především zvolené správné rezné podmínky. Téměř všechny vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami mají centrální přívod procesní kapaliny vedené tělem vrtáků pomocí kanálků. Tento nástroj lze použít při soustružení pro svou vysokou tuhost při správném nastavení polohy břitu i jako určitý typ soustružnického nože. Z tohoto hlediska se jedná o velice univerzální nástroj.



*Obr. 38 Vrtáky řady Perfomax od SECO TOOLS [21]*

Dělové vrtáky jsou vhodné pro obrábění děr menších hloubek. Nástroj se po vyvrtání určité hloubky z otvoru vytáhne, aby došlo k odstranění třísek.

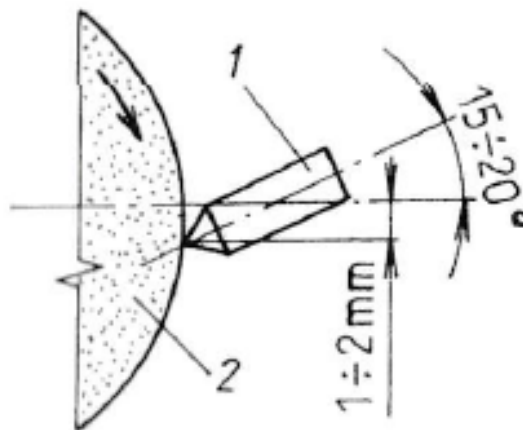
Hlavnové vrtáky umožňují výrobu přesnějších otvorů. Na trubku nebo tyč dané délky je připájena rezná část z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Tělesem vrtáku je přiváděna procesní kapalina a je zajištěn i odvod třísek z vrtané díry. Těmito vrtáky lze na speciálních strojích obrábět otvory dlouhé i několik metrů.

Technologie vrtání je poměrně méně produktivní metoda s relativně malou přesností, díry se proto dokončují vyhrubováním a následně vystružováním. [20]

#### 4.1.5 Nástroje pro broušení

Brousící nástroj je tvořen zrny nejčastěji ze syntetického korundu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) nebo karbidu křemíku (karborundum), dalšími užívanými materiály jsou kubický nitrid bóru, karbid bóru a diamant. Zrna jsou prostorově rozložena v kotouči a spojena pojivovými můstky, mezi kterými jsou póry. Nejčastějšími druhy pojiv jsou pojiva keramická, dále jsou to pojiva pryžová, pryžová s textilní výztuží, umělá pryskyřice, umělá pryskyřice s textilní výztuží, šelaková a magnezitová. Pro kotouče z kubického nitridu bóru a diamantu pojiva kovová, galvanická kovová a umělá pryskyřice.

Zrna jsou dále dělena dle velikosti na zrna hrubá, střední, jemná a velmi jemná. Velikost je udávána jako přibližný rozměr zrna v  $\mu\text{m}$  násoben deseti. Při procesu obrábění se jednotlivá zrna postupně oddělují od kotouče vlivem opotřebení. Aby byl kotouč znovu schopen obrábět, provede se orovnění diamantovými orovnávači, které mohou mít různou konstrukci. [3]



Obr. 39 Princip orovnění kotouče [2]

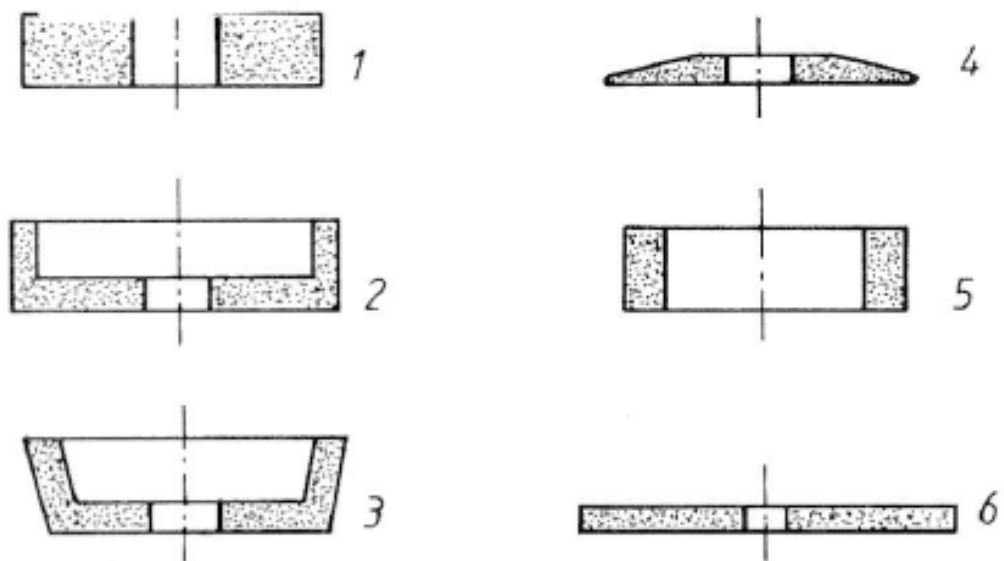
1 – orovnávač, 2 – brousící kotouč

Definován je u kotoučů i stupeň tvrdosti, který je určen druhem a obsahem pojiva. Definován je jako odpor, které zrno klade proti vylomení z brousícího kotouče. Značeno je písmeny A až Z, kde A je nejměkčí a Z nejtvrdší. Stupně jsou rozděleny do tří skupin na měkké, střední a tvrdé.

To, jaký kotouč zvolit, z větší části závisí na tvaru plochy broušené součásti. Na základě broušeného materiálu a mechanických vlastností se volí typ brusiva a tvrdost daného kotouče. Brousící kotouč má vyjímečnou vlastnost, je samoostřící. Aby byla tato unikátní vlastnost využita, volí se na daný materiál nástroj pro broušení tvrdších materiálů měkký a naopak.

Hrubší zrnitosti kotouče pak umožňují vyšší výkon broušení, ale zhoršuje se zároveň jakost povrchu.

Kotouče se upínají do stroje za středový otvor přes upínací přírubby. Je velmi křehký, z toho důvodu se musí mezi přírubby vložit ještě podložka z papíru. Poklepáním na kotouč lze na základě sluchu zjistit, zda není poškozený. Neporušený by měl vydávat jasný čistý tón.



Obr. 40 Tvary brousících kotoučů [2]

1 – plochý, 2 – hrncový, 3 – miskový, 4 – kuželový, 5 – prstencový, 6 – řezací

## 5 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ OBROBKŮ

Před začátkem obrábění se musí obrobek nejprve ustavit na obráběcím stroji nebo upínacím zařízení do požadované polohy vůči poloze nástrojů. K tomuto účelu slouží ustavovací a opěrné plochy. Poloha těchto ploch závisí na tvaru a rozměrech obrobku a na druhu obrábění. Aby bylo dostatečně zabráněno změně polohy obrobku působením sil na něj během obrábění, musí se obrobek pevně a bezpečně upnout. Směr, velikost i působíště upínací síly jsou dány řeznými silami.

Řezné síly se během obrábění mění od nulové po maximální hodnoty, mění své působíště i směr. Zvláštním případem je obrábění přerušovaným řezem. Řezné síly v tomto případě mají charakter rázových sil.

Kromě řezné síly ovlivňují upínací sílu ještě tyto hlavní faktory:

- Hmotnost součásti
- Odstředivé síly
- Setrvačné síly

Hlavní roli v bezpečnosti celého procesu tedy hraje upínací síla. [1]

### 5.1 Výpočet upínací síly

Velikost, směr, smysl a působíště řezných sil jsou faktory, které ovlivňují výpočet upínací síly. Velikost upínací síly je jedna ze složek, která při překročení vede k nežádoucí deformaci obrobku. Tyto výpočty jsou řešeny zpravidla staticky jako rovnováha vnějších sil působících na obrobek. Přesnějšího výsledku by bylo možné dosáhnout zajištěním tuhosti soustavy obrobku a upínacího zařízení. Výpočet lze řešit následujícími způsoby:

1. Jedna ze složek ovlivňující upínací sílu je řezná síla  $F_z$ . Ta se snaží posunout obrobkem. Výpočet síly v ose  $Z$  má podobu:

$$F_z < \sum F_T \quad (11)$$

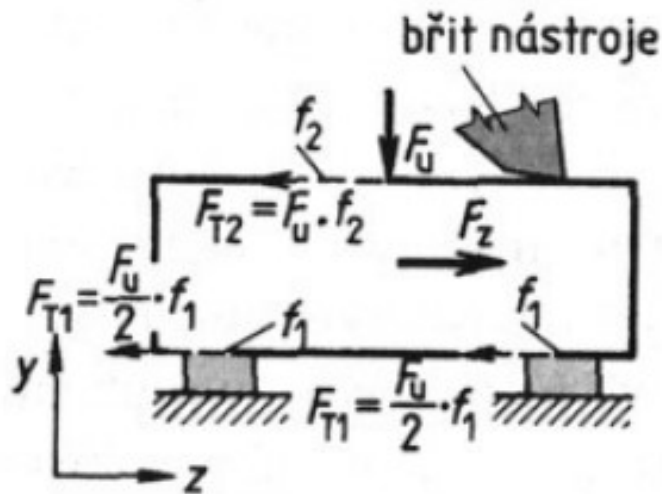
$$F_z < F_u f_1 + F_u f_2$$

$F_u$  – upínací síla

$f_1, f_2$  – součinitele tření mezi obrobkem a ustavujícími a upínacími prvky

K výpočtu je ještě zaveden součinitel bezpečnosti upnutí  $k > 1$ , po úpravě je pro upínací sílu vztah:

$$F_u = \frac{kF_z}{f_1 + f_2} \quad (12)$$



Obr. 41 Řezné a upínací síly 1. případ [1]

$y, z$  – souřadnicové osy,  $F_u$  – upínací síla,

$F_z$  – řezná síla,  $F_{T1}$ ,  $F_{T2}$  – třecí síly,

$f_1, f_2$  – součinitele tření

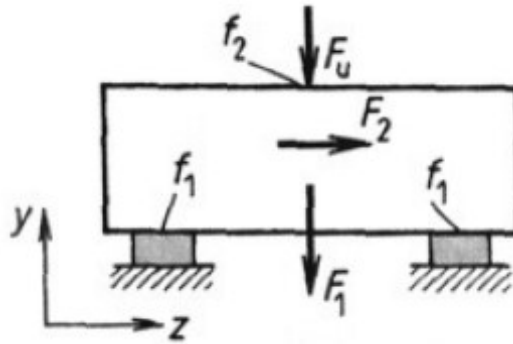
2. Složka řezné síly  $F_1$  působí proti opěrám a složka  $F_2$  se snaží posunout obráběný díl. Stejně jako v předchozím případě platí pro osu Z:

$$F_2 < \sum F_T \quad (13)$$

$$F_2 < (F_u + F_1)f_1 + F_u f_2$$

Zavedením součinitele bezpečnosti upnutí  $k > 1$ , po úpravě je pro upínací sílu vztah:

$$F_u = \frac{kF_2 - F_1 f_1}{f_1 + f_2} \quad (14)$$



Obr. 42 Řezné a upínací síly 2.případ [1]

3. Složka řezné síly  $F_1$  působí proti upínací síle a složka  $F_2$  má snahu obrobkem posunout.

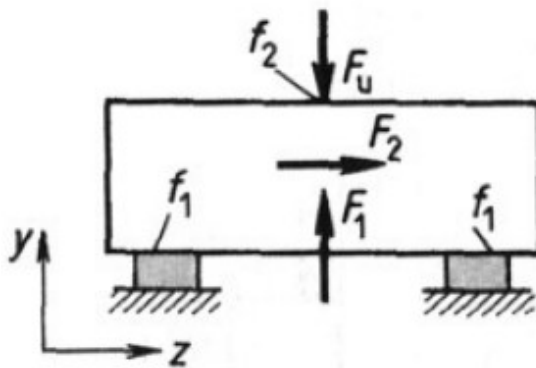
I v tomto případě platí pro osu Z:

$$F_2 < \sum F_T \quad (15)$$

$$F_z < (F_u - F_1)f_1 + F_u f_2$$

Opětovným zavedením součinitele bezpečnosti upnutí  $k > 1$ , po úpravě je pro upínací sílu vztah:

$$F_u = \frac{kF_2 + F_1 f_1}{f_1 + f_2} \quad (16)$$



Obr. 43 Řezné a upínací síly 3.případ [1]

Složka řezné síly zde působí proti síle upínací, v ose y musí být splněna podmínka:

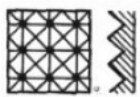

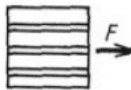
$$F_u > F_1 \tag{17}$$

Vztah má podobu po zavedení součinitele bezpečnosti upnutí  $k > 1$ :

$$F_u = kF_1 \tag{18}$$

Velikost součinitele tření závisí na plochách upínacího zařízení a na stavu ploch obrobku. Stavem je myšleno konkrétně tvar, drsnost, čistota kontaktních ploch a druhu upínaného materiálu. Hodnoty pro různé případy jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Součinitele tření při upínání [1]

Dotykové plochy		Součinitel tření obrobku		
upínací čelisti		obrobku	ocelového	litinového
s ostrým hrotem		neobrobené	0,80 i více	—
hladké rýhované		hrubě obrobené	0,20 až 0,24	0,18 až 0,22
hladké rýhované		hrubě obrobené	0,18 až 0,24	0,16 až 0,21
hladké	suché	obrobené	0,18 až 0,20	0,16 až 0,18
hladké	mazané	obrobené	0,16 až 0,20	0,14 až 0,16

Součinitel bezpečnosti je dán jako součin:

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 \tag{19}$$

$k_0$  – pro všechny případy upnutí stejný,  $k_0 = 1,5$

$k_1$  – součinitel, zahrnující nerovnosti obráběné plochy, má vliv na zvětšení řezných sil, pro neobrobenou plochu  $k_1 = 1,2$ , pro obrobenou  $k_1 = 1$

$k_2$  – součinitel zahrnující otupení nástrojů, rozmezí  $k_2 = 1$  až  $1,6$

$k_3$  – součinitel rovnoměrnosti řezu, pro řez přerušovaný  $k_3 = 1,2$

$k_4$  – součinitel charakterizující stálost upínací síly, při ručním upínání je nutné počítat se zmenšením upínací síly vlivem otlacení upínané plochy  $k_4 = 1,3$  pro pneumatické a hydraulické upínání  $k_1 = 1,2$

Síla, kterou je nutno vyvinout k dosažení upínací síly  $F_u$ , je dána převody upínacích prvků, kterými jsou dle způsobu upínání např. vačka, šroub nebo výstředník apod. [1]

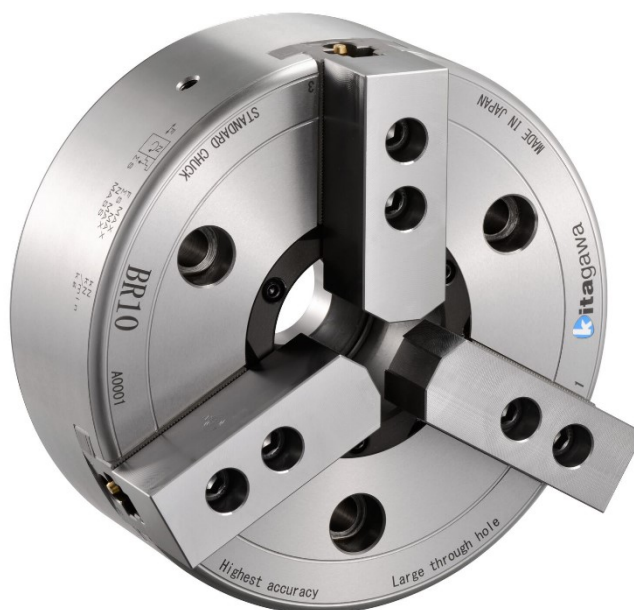
## 5.2 Upínání na soustruhu

Upnutí obrobku na soustruhu má zajistit jednoznačně co nejspolehlivější a nejbezpečnější proces. Cílem je zachovat nejmenší potřebné vyložení rotujícího obrobku vzhledem k funkčním částem stroje. Způsob upnutí se volí na základě velikosti, tvaru, hmotnosti, požadované přesnosti a druhu soustruhu. Obrobky s větším poměrem délky než průměru (2-3xD) se upínají mezi hroty, zasahující do středících důlků navrtaných na čele obrobku.

Univerzální tříčelistové sklíčidlo se užívá k upínání válcových a šestihranných obrobků. U konvenčních soustruhů je sklíčidlo mechanické. Upínací pohyb vzniká otáčením pastorku pomocí sklíčidlového klíče. Pohyb může vznikat jak směrem z vnější strany dovnitř, což je případ upínání plného tělesa, tak směrem ven, kdy se tak upínají dutá tělesa. U automatických soustruhů lze sklíčidlo uzavírat i pneumaticky, elektricky nebo hydraulicky. Ve výjimečných případech nemusí být sklíčidlo osazeno třemi čelistmi, ale i dvěma, čtyřmi či šesti. Vždy záleží na tvaru upínaného obrobku.

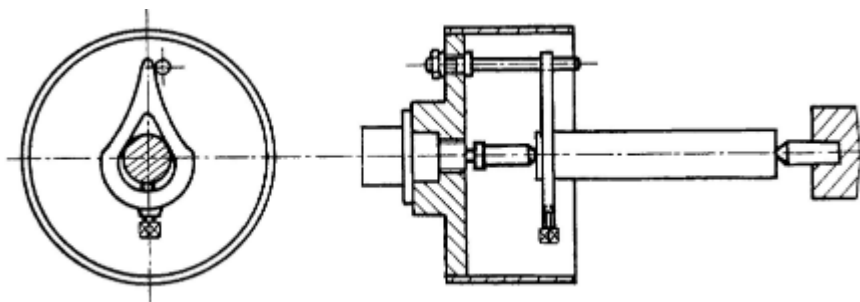
Sklíčidla mohou být průchozí, což znamená, že velikost dutiny ve sklíčidle navazuje na velikost dutiny ve stroji a umožňuje tak průchod tyče daného průměru. Pro automatizaci výroby je průchod nezbytný, protože přímo navazuje na automatický podavač tyčí. Neprůchozí sklíčidlo je využíváno především na soustružení přírub a speciálních tvarů. Upínací čelisti mohou být vyrobeny z kalené oceli, duralu nebo konstrukční oceli, tento druh čelistí se nazývá měkké čelisti. Výhodou čelistí z konstrukční oceli je, že je lze přizpůsobit upínanému průměru tím, že se vyrobí na požadovaný průměr. Obepínají pak obrobek největší možnou plochou a na obrobku nevznikají otlaky a nežádoucí deformace, které mohou při nevhodně zvoleném tlaku upínání vytvářet kalené čelisti.





Obr. 44 Vysoce přesné tříčelistové sklíčidlo KITAGAWA 10“ [15]

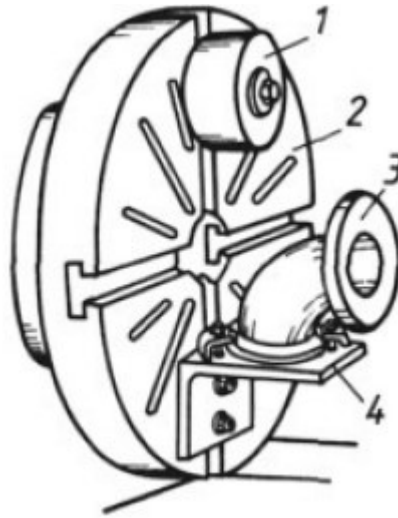
Při soustružení dlouhých hřídelí s požadavkem na vyšší přesnost se obrobek upíná mezi hroty. V hlavním vřetenu stroje se používá pevný hrot, v soustružnickém koníku pak hrot otočný. Kroutící moment vřetene je přenášen za pomoci srdce a unášecí desky, které jsou umístěny na začátku obrobku. U soustružnických poloautomatů a automatů se užívá hrotů odpružených, ty zjednodušují upínání obrobků. Lze kombinovat i upnutí univerzálního sklíčidla a hrotu umístěném v koníku.



Obr. 45 upínání mezi hroty [17]

Těžší obrobky nepravidelných rozměrů se upínají na lícní desky. Jedná se o univerzální upínací zařízení, kdy je nutné tvar upnout pomocí upínek přes drážky na desce. Lze tímto způsobem upínat i díly jako jsou odlitky, výkovky nebo svařence. Tento způsob upínání se užívá u větších strojů. Upínání tohoto způsobu by měl provádět jen velmi zkušený pracovník, který zná zákonitosti a problematiku tohoto druhu upnutí. Musí nejen pevně a bezpečně díl ustavit,

ale zároveň vytvořit protizávaží obrobku tak, aby nedocházelo k nežádoucím jevům během obrábění nebo k uvolnění obrobku během rotace.



*Obr. 46 Univerzální upínací deska [17]*

*1 – protizávaží, 2 – licní deska,*

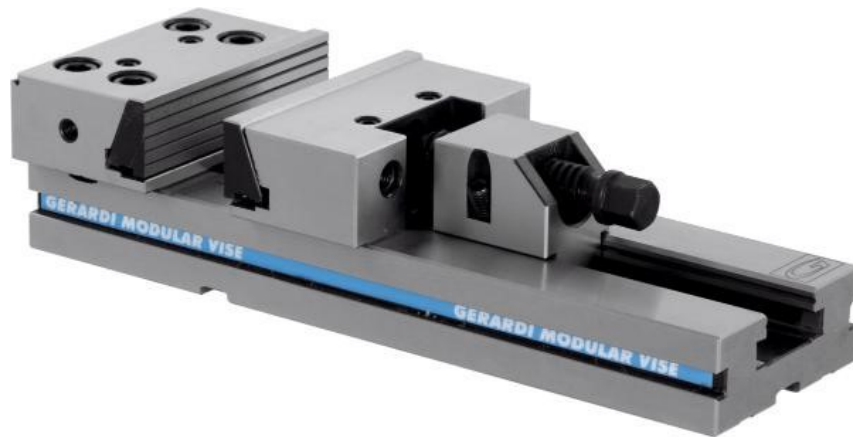
*3 – obrobek, 4 – upínací přípravek*

V automatizované výrobě se tyčový materiál menších a středních průměrů upíná do přesných upínacích pouzder. Kleština je rozříznuta několika podélnými drážkami a vtahována do kuželové dutiny, čímž dochází k upnutí tyče. Jejich velikost je odstupňována po 0,5 mm u menších průměrů a po 1 mm u průměrů větších. Tento způsob upínání je typický pro dlouhotočné automaty.

Dlouhé štíhlé obrobky můžou být podepřeny lunetami připevněnými k suportu nebo loži stroje.

### 5.3 Upínání na frézce

Frézováním vznikají velké řezné síly, proto musí být obrobek pevně upnut. Zároveň nesmí být upnut velkou silou, aby nedocházelo k deformaci obrobku. Na tuto skutečnost je nutno myslet jak před obráběním, tak po něm, protože po odebrání velkého množství materiálu může docházet k uvolňování obrobku vlivem jeho menšího objemu. Menší díly se upínají nejčastěji do strojních svěráků, otočných sklopných svěráků, samostředících svěráků a svěráků speciálních. Uvedené svěráky můžou být ovládány ručně, pneumaticky nebo hydraulicky.

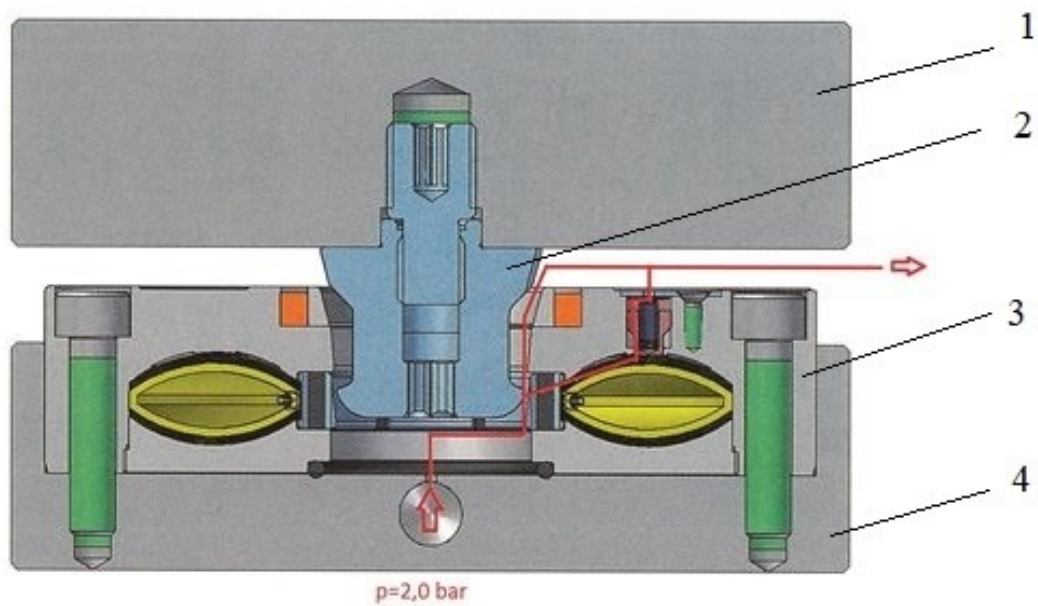


Obr. 47 Strojní modulární svěrák [16]

Z pohledu univerzálnosti upnutí se zdá strojní svěrák jako nejvhodnější volba pro upínání. Podobně jako u soustružnických sklíčidel je lze osazovat měkkými čelistmi. Do těch se vyfrézuje nepravidelný tvar obrobku a tím se zajistí potřebný tvar pro upínání. Pro upínání válcových obrobků může být ještě doplněn o prizmatické čelisti. Ke stolu stroje jsou upnuty pomocí upínek. Zajištění potřebné hloubky obrábění je dosaženo pomocí párových podložek. Nedojde tak k zasouvání obrobku do svěráku. Upínání je možné provádět i bez podložek na osazené čelisti. Jedná se o úpravu původních čelistí, na kterých je odebrán materiál s předem definovanou hloubkou a šířkou záběru na každé ze dvou čelistí. Tato úprava se provádí v případech velkosériové výroby, kdy se opakovaně upínají stále stejné díly a mohlo během obrábění docházet k posunutí párových podložek.

Svěráky se vyrábí v různých modifikacích, šířkách, tvarech a hloubkách upínacích ploch. Musí vždy splnit svůj základní účel, kterým je pevné sevření obrobku během procesu obrábění.

Svěrák může být po celou dobu obrábění upnut ve stroji a vyměňovány jsou obráběné díly, nebo novějším trendem v oblasti automatizace je výměna upínacích jednotek automatizovaným systémem. Ten může představovat manipulátory robotického typu nebo automatizovaný paletizační systém. K účelům zakládání do stejné polohy se užívá nulových upínacích bodů. Je to speciální případ upínání, kdy je upínač vyjmut ze stroje a opakovaně vsazen na stejné místo s garantovanou opakovanou přesností. Obliba v těchto upínacích stoupá zejména z toho důvodu, že upnutí polotovarů probíhá mimo stroj, který zatím obrábí již upnuté díly na dalším upínači. Dochází tak k eliminaci nežádoucích prostojů a vzniká vyšší podíl strojního času, což výrazně zvýší ekonomické hledisko procesu. Tohoto upínacího systému lze využít i u samotných obrobků větších rozměrů.



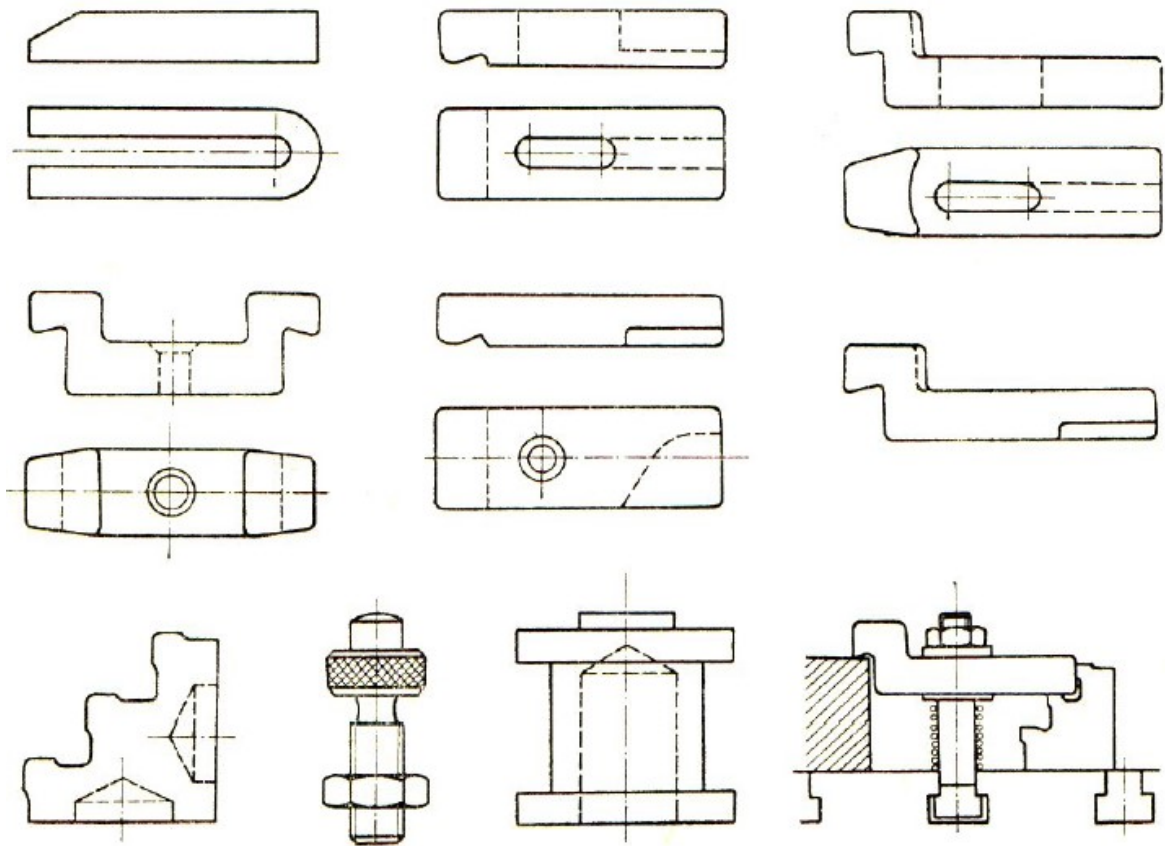
Obr. 48 Upínací systém Zero-point [19]

1 – obrobek, 2 – středící čep,

3 – upínací element, 4 – upínací deska

Mezi hlavní výhody patří vysoká přesnost opakovaného upnutí, jednoduchá montáž a vysoká spolehlivost celého systému. Zároveň je tento způsob velmi efektivní, protože při montáži na svěráky je výměna takového systému otázkou jen několika málo vteřin. [19]

K upínání obrobků větších rozměrů se používá různých druhů upínacích pomůcek, kterými jsou upínky, podpěry, šrouby aj. Ty jsou upevňovány do T-drážek stolu stroje pomocí šroubů a speciálních matic, které mají rozměr T-drážky ve stole.



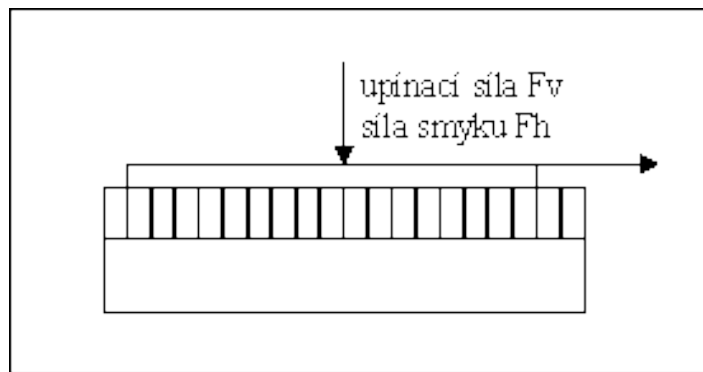
Obr. 49 Upínky [20]

Upnutí pomocí upínek probíhá stavebnicovým způsobem, kdy se jednotlivé komponenty skládají, až na upínaném obrobku vznikne celý upínací systém. Ten má opět jako u jiných druhů upínání zajistit tuhé a pevné upnutí. Z hlediska přípravy obráběcího procesu je nutné počítat s překážkami v podobě upínek, které mohou být umístěny v různých částech obrobku. Z tohoto důvodu nemusí dojít k obrobení dílu na jedno upnutí, ale místa, kde jsou upínky se vynechají. Obrobek se po dokončení prvního procesu znovu upne a přebytečný materiál, který byl původně pod upínkami se obrobí. Při navrhování upnutí je nezbytné uvažovat o předpokládaném směru působení řezné síly, její velikosti a možné proměnlivosti. [2]

Jednoúčelové upínací přípravky jsou další možností, jak upínat díly nestandardních rozměrů a tvarů. Jedná se o různé druhy výkovek, odlitek a svařovaných sestav. Vyrobit a navrhnout jednoúčelový upínací přípravek je ekonomicky i technicky náročný proces. Jeho návratnost je často vztahována k objemu výroby, na kterou je určen. Tyto přípravky jsou ve většině případů ovládány pneumaticky, elektricky nebo hydraulicky, výjimečně pak mechanicky. Účelem je v co nejkratším čase upnutí složitěho tvaru s maximální opakovatelnou přesností. Konstrukcí těchto přípravků se zabývají firmy, jejichž zvyklostí je dodání technologie na klíč, což znamená dodat kompletní upínání na konkrétní obrobek. Často se jedná o jedinou

možnost, jak daný výrobek složitějšího tvaru upnout na obráběcím stroji. Při konstrukci takového přípravku lze celý návrh zjednodušit použitím normalizovaných dílů, čímž se zlepšší i ekonomická stránka. Jedná se o podložky, šrouby, upínky, pneumatické a hydraulické jednotky. Prodejem těchto normalizovaných dílů se zabývají specializované firmy a konstruktér je schopen je zakomponovat do budoucí podoby přípravku. Své využití nachází především v hromadné a velkosériové výrobě. [17]

Magnetické upínání obrobků nachází rovněž své místo ve strojírenské výrobě. Magnetický systém produkuje velké množství siločar. Ty tvoří magnetické pole. Protékají mezi póly a obrobek jako součást magnetického okruhu přemostňuje vzdálenost mezi nimi. Zákonitostí je čím větší je počet siločarv obrobku, tím větší je upínací síla. Ty putují od severního k jižnímu pólu a snadněji přes feromagnetické materiály. Tyto siločáry se nikdy nekříží, každá siločára utvoří uzavřenou smyčku, což znamená, že nemá ani začátek ani konec.



Obr. 50 Síly při magnetickém upínání [18]

Na účinnost magnetického upínání má vliv několik faktorů. Mezi ty hlavní patří:

- Druh upínaného materiálu
- Tloušťka materiálu
- Vzduchová mezera
- Kontaktní plocha
- Teplota

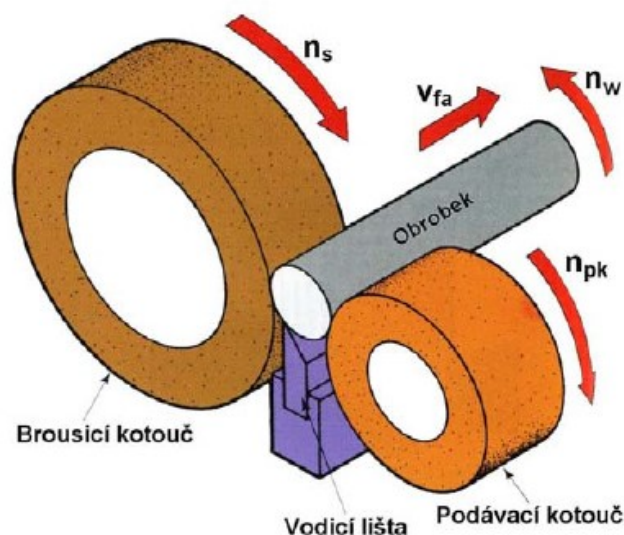
Hlavní uplatnění nachází magnetické upínání v oblasti abrazivních metod obrábění. [18]

## 5.4 Upínání na brusce

Obrobky při broušení se upínají vzhledem k dané operaci a typu brusky. Při broušení vnějších rotačních ploch se obrobek upíná mezi hroty s unášecím srdcem, podobně jako u soustružení. Nejčastěji se tímto způsobem upíná na bruskách na kulato. Brousit lze plochy válcové, ale je zde možnost i broušení ploch kuželových, záleží na konstrukci stroje.

Při vnitřním broušení se díly upínají převážně do sklíčidel. Další možností je upínání na univerzální desku pracovního vřeteníku pomocí upínek. Upínání do sklíčidel.

Bezhraté broušení umožňuje brousit obrobky bez upnutí. Tento způsob je vhodný pro přesné dokončování vnějších a vnitřních válcových tvarů stejného průměru. Obrobek je vložen mezi dva kotouče. Podávací kotouč zabezpečuje otáčení součásti, podpěrné pravítko určuje polohu součásti a brousící součást obrábí.



Obr. 51 Bezhraté broušení [20]

$n_s$  – otáčky hlavního kotouče,  $n_w$  – otáčky obrobku,

$n_{pk}$  – otáčky podávacího kotouče,  $v_{fa}$  – posuv obrobku

K upínání se používají i různé typy pomocných přípravků, které umožňují opakovaně brousit plochy na požadované tvary v dané rovině přípravku.

Nejrozšířenějším typem upínání při rovinném broušení je magnetické upínání. Na magnetickou desku lze upínat magneticky vodivé materiály přímo na desku. Další možností je upnutí svěráku na magnetickou desku pomocí magnetu a obrobku do svěráku. Magnetické upínače lze při broušení použít ve třech variantách.

Permanentní magnetické upínače se používají pro zajištění upínací síly permanentními magnety. Upnutí tímto způsobem není závislé na vnějším zdroji energie. Součástí zařízení je mechanická jednotka, která zajišťuje zapnutí nebo vypnutí magnetické síly. Rozměr permanentního magnetu je omezen na plochu 600 mm x 300 mm z důvodu obtížného ovládní mechanické jednotky. Větší obrobky se upínají na elektricky ovládané upínače.

Elektromagnetické upínače jsou závislé na vnějším zdroji energie k vyvození magnetické síly. Bez elektrického proudu magnetické pole zeslabuje a postupně dochází k rozpadu magnetického pole a tím zániku magnetické síly. Výhodou je, že elektromagnetický upínač je touto vlastností považován za naprosto bezpečný. Nevýhodou je teplo vytvořené cívkou, které způsobí nárůst teploty upínače, což může mít vliv na přesnost výrobku.

Elektropermanentní magnetické upínače jsou ve srovnání s upínači elektromagnetickými permanentními upínači. Magnetická síla není závislá na vnějším zdroji energie. V okamžiku, kdy dojde ke zmagnetizování upínače, zdroj elektrické energie lze odpojit a nedochází ke ztrátě upínací síly. Hlavní výhody těchto systémů jsou velmi vysoká přesnost, protože zde nedochází k nárůstu teploty jako u elektromagnetického upínače, a bezpečnost během procesu, protože se jedná o permanentní upínací systém. [18]

Obrobky po upínání pomocí magnetických sil je po dokončení obrábění nutné demagnetizovat a odstranit tím zbytek magnetismu z obrobku. Tyto demagnetizéry se vyrábí jako ruční, stolní a tunelové.



## 6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byly popsány základní principy obrábění kovových materiálů. V první části se jednalo o metody dělení materiálů, jednotlivé principy a možnosti v oblasti dělení. Další důležitou kapitolou je obrábění, a to především základní teorie obrábění, následují jednotlivé druhy obrábění a to především:

- Soustružení
- Frézování
- Vrtání
- Broušení
- Elektroerozivní obrábění

Jedná se o nejužívanější metody strojírenské výroby. Součástí každé této metody je i dělení strojních zařízení. Následující kapitola se pak zaměřila na využití těchto technologií na číselnicově řízených strojích, s čímž přímo souvisí způsob jejich programování. Nedílnou součástí je využití měřících zařízení u těchto strojů.

Samostatnou a velmi podstatnou kapitolou je nástrojové vybavení obráběcích strojů. Zde jsou představeny nástrojové materiály a jednotlivé typy nástrojů využívané v běžné praxi.

Poslední kapitola je věnována upínání obrobků na obráběcích strojích. Upínání je nedílnou součástí obráběcího procesu, jsou zde popsány jednotlivé postupy upínání pro dané metody obrábění, především pro upínání na soustruhu, frézce a brusce. Nezbytný je i výpočet upínací síly.

Cílem teoretické části bylo přiblížit danou problematiku strojírenské výroby a získání znalostí pro rozvíjení postupu výroby strojních součástí pomocí třískového obrábění.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

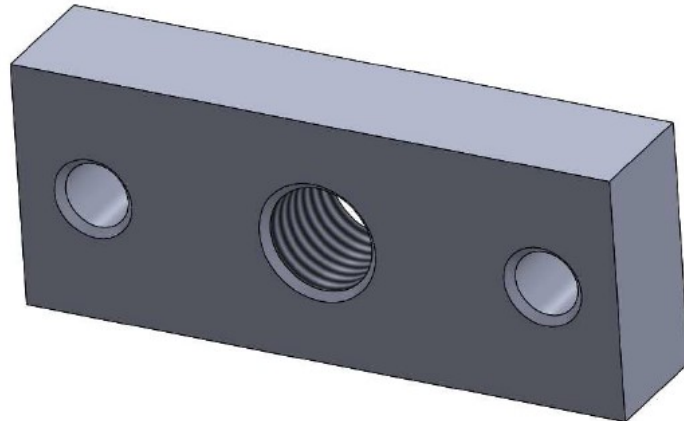
## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Následující část diplomové práce bude pojednávat o způsobu řešení upínání konkrétního výrobku. Budou uvedeny jeho základní vlastnosti, sériovost a oblast použití. Popsán bude způsob výroby tohoto dílu, stroj, na kterém je vyráběn a současný způsob upnutí ve stroji.

V jednotlivých kapitolách se zaměřím na návrh upínání na stroji a možnosti jiného typu upnutí. Součástí diplomové práce bude výrobní cyklus daného upínacího přípravku, jeho provozní zkouška a zavedení v sériové výrobě. Finální fází je zhodnocení celého projektu.

- Cílem diplomové práce je navrhnout nový vícenásobný způsob upínání a tím nahradit současný způsob upínání
- Navrhnout takový přípravek, aby bylo možné zkrátit seřizovací časy
- Vytvořit modely daného přípravku a připravit na výrobní cyklus
- Ověřit funkčnost přípravku, zajistit jeho zavedení do sériové výroby a zhodnotit změnu seřizovacích časů

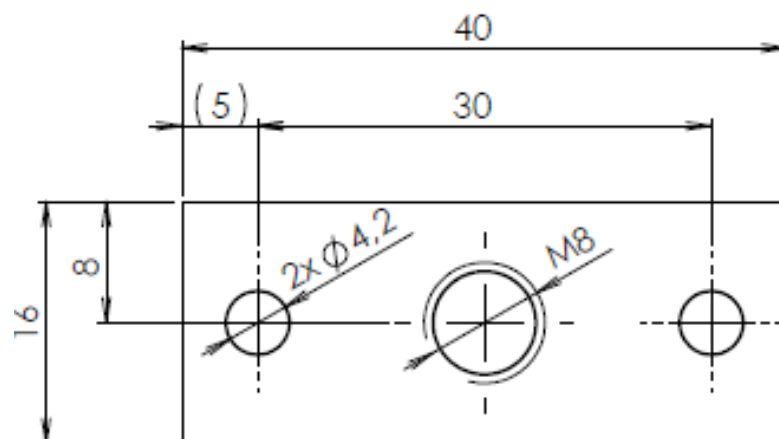
## 8 POPIS A FUNKCE VÝROBKU



Obr. 52 Model obráběného dílu

Vše začíná poptávkou od zákazníka na výrobu dílů z nerezové oceli. Jedná se o zákazníka se stálým odběrem plechových a lisovaných dílů. Zákazník má zájem rozšířit své portfolio i na další díly s dlouhodobějším projektováním, za což lze vděčit především spolehlivosti současné výroby a včasným dodávkám do zákaznickova výrobního závodu. Celkový roční poptávaný odběr činí 210 000 kusů. Poptávána je kompletní výroba daného dílu včetně materiálu. Díl má být vyroben z nerezového materiálu dle DIN 1.4301 (AISI 304). Délka projektu je plánována na 5 let. Od zákazníka je známo, že díl má sloužit jako spojovací součást na krytování strojů pro strojírenský průmysl.

### 8.1 Požadavky na výrobek



Obr. 53 Základní rozměry dílu

Na obr. 53 jsou zobrazeny základní rozměry dílu. Tloušťka dílu je 6 mm. Otvory o průměru 4,2 mm budou sloužit ke spojení dílů krytování pomocí nýtů a závit M8 slouží jako zajištění pomocí šroubu. Z hlediska přesnosti je požadavek na rozměry nepředepsaných mezních úchylek v toleranci dle normy ČSN ISO 2768 mK. Tolerance závitu M8 je v toleranci 6H. Zároveň vzniká i požadavek na odstranění otřepů po dělení materiálu což bude zajištěno omíláním.

## 8.2 Volba polotovaru výrobku

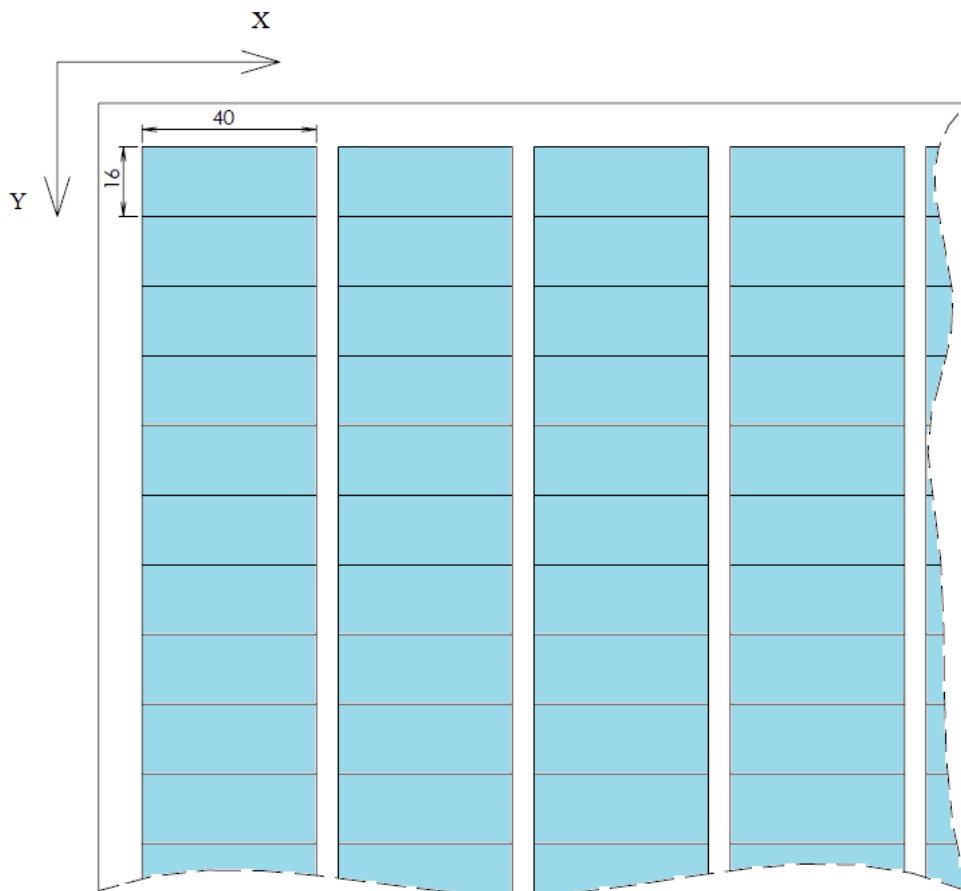
V počátku před vytvořením cenové nabídky je nutné zvolit vhodnou výrobní metodu a stanovit co nejpřesnější technologický postup. Výrobní možnosti podniku nabízí několik řešení.

V první fázi je nezbytné zvolit vhodný polotovar výrobku. Vše začíná oslovením dodavatele nerezového materiálu. Poptávaný polotovar je tyč nerezová plochá, která se nabízí ve třech variantách a to stříhaná, válcovaná a tažená za studena. Jako nejvhodnější varianta vzhledem k počtu dílů je varianta tažené tyče za studena, která se vyrábí v toleranci vnějších rozměrů h11. Největší výhodou tedy je, že vnější rozměr není nutné obrábět a tyč se dodává s ostrými hranami, což se však nepříznivě odráží v ceně. Průřez tyče je poptáván ve dvou rozměrech, a to 16x6 mm nebo 40x6 mm. Poptávaná délka tyčí je 6000 mm, odbyt musí být zajištěn v pravidelných měsíčních dodávkách. K dispozici je k dělení materiálu automatická pásová pila s automatickým podavačem.



Obr. 54 Nabídka ploché nerezové oceli [22]

Druhou variantou, jak vyrobit polotovary, je využití laserového řezání, kterým firma disponuje. Polotovarem by byl nerezový plech ve formátu 3000 mm x 1500 mm x 6 mm. První variantou by bylo nařezání tabule na pásy o rozměru 3000 mm x 40 mm x 6 mm. Bylo by však nutné zařadit ještě jednu operaci, a to rovnání vyřezaných polotovarů. Docházelo by k výraznému prohnutí polotovaru vlivem tepelného ovlivnění hran materiálu. Jinou vhodnější variantou je vyřezávání polotovaru o rozměru 40 mm x 16 mm z tabule o tloušťce 6 mm. To lze provést na tzv. společný řez, při kterém se minimalizuje odpad na tabuli. Zároveň lze tímto způsobem dosáhnout kvalitního polotovaru v požadované toleranci.



Obr. 55 Nástřihový plán laseru – společný řez

Tyto varianty byly porovnány z několika zásadních hledisek. Tím prvním byla ekonomická stránka. Porovnávána byla výtěžnost z tabule plechu, čas pálení, výtěžnost z ploché oceli a čas dělení materiálu. Dělení automatickou pásovou pilou umožňuje dělení několika pásů na sobě, což jednoznačně vyznělo ve prospěch této technologie. Ta rozhodovala o konečné ceně výrobku a v tomto případě se jako nejvhodnější volba nabízela tyč plochá stříhaná. Ta se však vyrábí ustřížením z plechu nebo pásu a polotovar vykazuje deformaci na okrajích.

Tab. 2 Cenová kalkulace polotovaru

Varianta polotovaru	Cena dělení / kus	Cena materiálu / kus	Celková cena / kus
16x6 – L=40 tyč plochá stříhaná	3,20 Kč	2,4 Kč	5,60 Kč
16x6 – L=40 tyč plochá válcovaná	X	X	Není nabídnuta v daném rozměru
16x6 – L=40 tyč plochá tažená	3,20 Kč	3,60 Kč	6,80 Kč
40x16x6 – pálený laserem	6 Kč	2,40 Kč	8,40 Kč

Mohlo by se zdát, že cena při výrobě většího množství je hlavní kritérium a z ekonomického hlediska pro firmu je to nejdůležitější. Musí se však brát v úvahu, že cena vždy nerozhoduje. Po poradě nákupního a technického oddělení převažoval vzhledem k předchozím zkušenostem jednohlasný názor. Levný vstupní polotovar už v několika případech dokázal zkomplikovat výrobu. Jednalo se především o toleranci rozměrů, v jakých se stříhané tyče vyrábí a deformace, které při výrobě těchto tyčí vznikají. Čím přesnější vstupní polotovar, tím efektivnější a produktivnější výroba, to byla hlavní úvaha, se kterou se do projektu vstupovalo. Po předchozích zkušenostech s jinými podobnými zakázkami, jsme byli o této skutečnosti přesvědčeni. Konečnou volbou tedy byla plochá tyč tažená, která je vyráběna v toleranci h1 l a splňuje hlavně kvalitativní požadavky na vhodný vstupní polotovar.

Dalším z důležitých faktorů bylo kapacitní vytížení jednotlivých strojních zařízení. Bohužel jako klíčová se projevila nedostatečná kapacita laserového stroje pro potřeby výroby polotovaru. Proto se jako nejvhodnější metoda ukázalo dělení pomocí automatické pásové pily. Znovu tedy jednoznačně jako vstupní polotovar vyšla plochá tyč.

O polotovaru bylo tedy rozhodnuto a výroba polotovaru byla zkalkulována. Volba padla na rozměr 16 mm x 6 mm, který bude dělen na automatické pásové pile. Tyče budou děleny ve svazku pěti kusů a délka tyčí bude 6000 mm. Z jednoho svazku bude možné nadělit 695 kusů

polotovaru. Po nadělení bude následovat ještě omílání, které odstraní otřepy vzniklé řezáním. Tím bude polotovár připraven k další operaci, což bude obrábění.

### 8.3 Obrábění dílu

Po přípravě polotovaru a omílání se díly předají na další operaci, kterou je obrábění. I zde je nutné před zahájením výroby stanovit několik parametrů, které rovněž ovlivňují konečnou cenu výrobku. Mezi ně patří:

- Volba vhodného stroje
- Volba vhodného upínání
- Volba vhodných obráběcích nástrojů
- Řezné podmínky při obrábění
- Stanovení životnosti nástrojů
- Plán výroby nezbytný k plnění termínů dodávek
- Stanovení počtu potřebných strojů a směn

Všechny tyto faktory určí konečnou cenu výrobku. Konečná cena je stanovena na základě provedení simulace výroby. Ta se využívá při dlouhodobějších projektech, u kterých je důležité co nejpřesněji stanovit průběh zakázky firmou a zjištění kapacitních možností dané výroby.

#### 8.3.1 Výrobní stroj

K dispozici jsou tři výrobní stroje, které lze využít k obrábění dílu. Ty se liší velikostí plochy, která je určena k obrábění. Jedná se o vertikální obráběcí centra s automatickou výměnou nástrojů. Stroje disponují automatickou výměnou nástrojů, což usnadňuje posloupnost operací a dostatečný počet lůžek v zásobníku zajišťuje možnost uložení všech potřebných nástrojů. Vzhledem k tomu, že se jedná o díl z nerezové oceli o malých rozměrech, je cílem vyrobit co nejvíce dílů na jedno upnutí. Z tohoto důvodu byl zvolen stroj s nejkratšími přejezdovými drahami a nejrychlejšími maximálními posuvy s dostatečným výkonem. Rozhodující je i rozměr stolu. Ten bude osazen v první fázi čtyřmi modulárními svěráky. Do každého svěráku budou upnuty 2 kusy polotovaru. Stroje jsou původem z Tchaj-wanu a jejich základní parametry jsou uvedeny v tabulce 3.



Tab. 3 Obráběcí stroje

Parametry	Akira-Seiki SV1350	Akira-Seiki SV1050	Akira-Seiki SV760
Rozjezdy X/Y/Z (mm):	1350 x 640 x 660	1050 x 540 x 560	762 x 435 x 520
Rozměr stolu (mm):	1500 x 600	1200 x 480	762 x 435
Max. zátěž stolu (kg)	2300	1300	1000
Max. otáčky vřetene (ot./min)	12 000	12 000	10 000
Výkon motoru (kW) :	32	32	22,5
Rychloposuv X/Y/Z (m/min):	36 / 36 / 30	48 / 48 / 36	48 / 48 / 36
Výměník nástrojů:	36 nástrojů	36 nástrojů	28 nástrojů

Zvolený stroj je Akira-Seiki SV1050. Stroj SV760 nebyl vhodný z důvodu menšího výkonu na vřetení. Stroj SV1350 nebyl zvolen z důvodu delších přejezdových vzdáleností a pomalejších rychloposuvů.



Obr. 56 Vertikální obráběcí centrum Akira-Seiki SV1050

Je tedy zvolen stroj a systém upínání pro zahájení výroby. Následuje volba vhodných nástrojů a režných podmínek. K produktivnímu obrábění nerezových ocelí jsou nejvhodnější volbou nástroje ze slinutých karbidů.

### 8.3.2 Stanovení obráběcích operací

Aby bylo možné zvolit vhodné obráběcí nástroje, technolog určí výrobní postup. Ten se skládá z vrtání, závitování a srážení hran. Zvolený technologický postup má tuto podobu:

- 1) Vrtání otvorů průměru 4,2 mm
- 2) Vrtání otvoru průměr 6,8 mm
- 3) Sražení hran otvorů
- 4) Otočení dílu o 180° obsluhou stroje
- 5) Sražení hran otvorů
- 6) Vyřezání závitu M8

K postupu je nezbytné zvolit vhodné nástroje. Jako dodavatel nástrojů je zvolen dlouhodobý partner v oblasti obrábění, švédská společnost SECO TOOLS. Ta disponuje širokým sortimentem v oblasti obrábění, nabízí nástroje pro vrtání, závitování, frézování i soustružení. Určuje i nejnovější trendy v oblasti obrábění a včasné pravidelné dodávky, následující den od objednání, značí jednoznačně stabilního partnera.

Vzhledem ke zvolenému technologickému postupu bude nutné stanovit pravidelné dodávky nástrojů. Vytipované nástroje pro vrtání jsou všechny z důvodu vysoké produktivity po doporučení odborníků vyrobeny ze slinutých karbidů. Byly doporučeny nástroje pro vrtání nerezové oceli, na kterou dodavatel vyrábí speciální řadu nástrojů s označením materiálové skupiny M. Pro srážení hran bude k dispozici monolitní srážecí hran o průměru 12 mm. K závitování bylo odborníky doporučeno využití řezacích závitníků, vyrobených z rychlořezné oceli s povlakem TiN. Životnost těchto nástrojů bude ověřena při započítání sériové výroby, pokud dojde k úspěšnému získání projektu.

### 8.3.3 Plán výroby

Vzhledem k roční sérii 210 000 kusů ročně je nutné stanovit minimální počet strojů a směn, který bude potřebný ke splnění termínů výroby. Měsíční dávka ve výši 17 500 kusů při jedné směně o délce 8 hodin a průměrném počtu 20 pracovních dní činí potřebu 875 kusů denně. Aby bylo možné spočítat potřebnou kapacitu, jsou na základě vybraných nástrojů stanoveny

doporučené řezné podmínky. Z těch lze následně stanovit cyklový čas potřebný k výrobě součásti. Zároveň se stanoví čas potřebný k seřízení stroje a čas výměny polotovaru. Ze všech těchto parametrů je možné stanovit čas potřebný k výrobě.

Firma má široké portfolio výrobků a tímto projektem navýší významně sortiment obráběných dílů o další druh výrobků. K dispozici jsou ještě 2 stroje, které jsou využívány na další výrobní zakázky. Zároveň je v zájmu firmy vytěžování vybraného stroje i dalšími zakázkami, proto se klade důraz na maximální efektivitu výroby a zkracování seřizovacích a nevýrobních časů.

Aby bylo možné dosáhnout maximální efektivitu výroby, je snahou technologů společně se seřizovači strojů zkracování času upínání polotovarů. Jejich společná snaha o maximální vyplnění pracovního prostoru stroje se odvíjí od zvoleného typu upínání, který je k dispozici. Na trhu je mnoho dodavatelů upínacích systému pro obrábění. Kalkulace kapacit vycházela z upnutí osmi kusů polotovaru, což by se zdálo vzhledem k rozměrům dílu a rozměru pracovního prostoru málo efektivní. Proto se nabízí celá řada možností, jak díly do obráběcího stroje pevně a bezpečně upnout. Obráběcí proces zahrnuje především osově operace jako je vrtání, závitování a srážení hran. Z tohoto důvodu se nabízí hned několik vhodných variant, které budou důkladně zhodnoceny v následující kapitole.

## 9 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Po úspěšném zařazení poptávky a odeslání zákazníkovi přišla zpět kladná odezva. Zákazník byl spokojen s cenovou nabídkou a následovala první rámcová smlouva na odběr dílů. To umožnilo předat tuto informaci oddělení technické přípravy výroby. To má za úkol připravit společně s technologií výroby přesný technologický postup výroby. Úkolem obchodního oddělení je připravit rámcovou smlouvu na odběr požadovaného množství materiálu a zafixovat cenu na roční odběr potřebného množství. Tato skutečnost pomůže zajistit stabilitu výroby během prvního roku výroby. Každý následující rok se bude tato situace opakovat. Dodavatel materiálu však dovoluje rezervovat ceny materiálu pouze na dobu jednoho roku, a to z důvodu pohybu cen jednotlivých prvků na trhu, což má za následek různé cenové hladiny nerezové oceli na trhu. V krajním případě by bylo řešením nákup celého ročního množství, což se jeví jako ideální varianta vzhledem k objemu. Bude tím zajištěn trvalý přísun materiálu do výrobního procesu.

Již během přípravy cenové nabídky byl stanoven předběžný technologický postup. Technolog výroby má k těmto datům přístup a pomohl stanovit tento výrobní postup. Při kalkulaci bylo stanoveno, kolik kusů je nutné vyrobit, aby byla výroba považována za rentabilní. Je nezbytné se těmito skutečnostmi řídit, jinak by docházelo ke ztrátám způsobeným nevhodnou technologií.

Se zvoleným technologickým postupem souvisí výběr vhodných obráběcích nástrojů, které zajistí stabilní proces. Z hlediska dodržení výrobních časů je nezbytné oslovit odborníky z řad dodavatelů obráběcích nástrojů. Dlouhodobá spolupráce se společností SECO a jejich kvalitní spolupráce na jiných projektech rozhodla o kontaktu s technickým poradcem. Díky aktivnímu přístupu ze strany dodavatele obráběcích nástrojů byly doporučeny konkrétní obráběcí nástroje. Jejich přehled je uveden v následující tabulce tab.4.

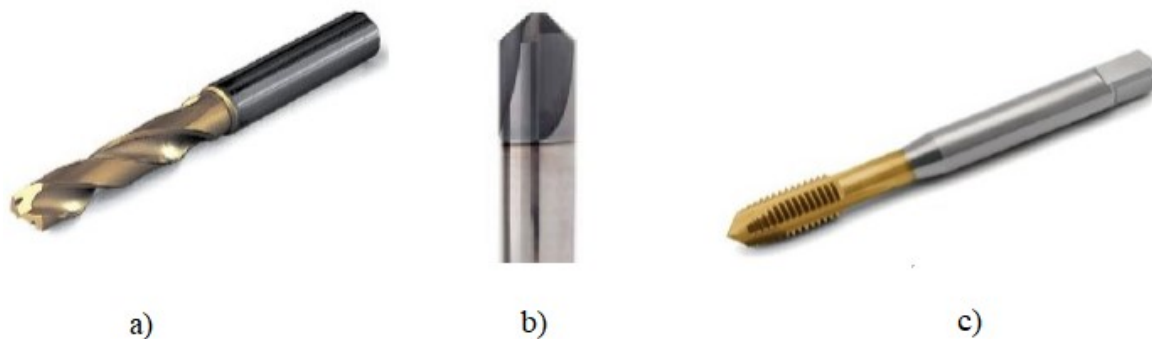
### 9.1 Obráběcí nástroje

Tyto nástroje byly doporučeny vzhledem k obráběnému materiálu. Stejně jako v poptávce se jedná o austenitickou nízkolegovanou korozivzdornou ocel, konkrétně jakost 1.4301 (AISI 304). Dodavatel má zařazen materiál v materiálové skupině „M2“ a vzhledem k tomu byly doporučeny i obráběcí nástroje. Životnost nástrojů se plně projeví při výrobním procesu. Ta přímo souvisí se zvolenými řeznými podmínkami, které jsou rovněž doporučeny

dodavatelem nástrojů. Úkolem technologa bude přizpůsobit řezné podmínky během výroby na základě hodnocení opotřebení nástrojů.

Tab. 4 Zvolené nástroje

Operace	Typ nástroje	Označení nástroje dodavatele	Materiál řezného prvku
Vrtání otvoru $\varnothing$ 4,2 mm	Vrták $\varnothing$ 4,2 mm - 3xD	SD203A-4.2-17-6R1-M	Slinutý karbid s povlakem PVD
Vrtání otvoru $\varnothing$ 6,8 mm	Vrták $\varnothing$ 6,8 mm - 3xD	SD203A-6.8-25-8R1-M	Slinutý karbid s povlakem PVD
Sražení hran otvorů	Srážeč hran $\varnothing$ 12 mm	JS509120N2CZ4.0-SIRA	Slinutý karbid s povlakem PVD
Řezání závitu M8	Závitník M8 6H	MTP-M8X1.25ISO6H-TB-V007	HSS-PM



Obr. 57 Zvolené nástroje

a) vrtáky SD203A, b) Srážeč hran, c) Závitník MTP

Po zvolení vhodných nástrojů je dalším krokem příprava nástrojových držáků a upnutí nástrojů do těchto držáků. Dodavatel nástrojů nabízí několik standartních řešení upínání nástrojů, které jsou k dispozici skladem. Běžnou praxí u špičkových dodavatelů nástrojů je jejich schopnost doručit nástroj či upínač v co nejkratší době od objednání. Běžné je dodání do druhého dne, což usnadňuje držení skladových zásob nástrojů.

## 9.2 Výdejní systém nástrojů

K udržení kontinuálního výrobního procesu nabízí dodavatelé nástrojů možnost využití Toolboxu. Jedná se o výhodný skladový systém, který je firmami napříč spektrem využíván jako jedna z možností, jak doplňovat pravidelně nástroje a nedržet velké množství nástrojů ve svých výdejních. Toolbox je skříň s automatickým výdejním systémem řízeným pomocí počítače a konfigurovaným na automatické objednávání odebraných nástrojů. Může mít předem definovanou velikost a počet úložných prostor pro nástroje či břitové destičky. Tato možnost výdejního systému se odráží příznivě na ekonomice firmy. Další výhodou je automatický systém doobjednávání odebraných nástrojů. Celý systém Toolboxu je řízen počítačem a funguje jako on-line prostředí, které odesílá požadavek po odebrání potřebného nástroje dodavateli jako novou objednávku. Pověřený pracovník výrobního podniku vlastní Toolbox nebo pověřený pracovník dodavatele doplňuje doobjednané chybějící nástroje zpět do zařízení a skladová zásoba se neustále obnovuje.

Firma disponuje Toolboxem a proto budou zavedeny do systému tyto 4 nové nástroje, aby nedocházelo k výpadkům z důvodu nedostatečného množství nástrojů. Počáteční kapacita je nastavena na 20 kusů nástrojů od každého druhu, podstav je nastaven pod 4 kusy nástroje. Jakmile systém nahlásí systém podstav, on-line aplikace automaticky doobjedná nástroje a pověřený pracovník dodavatele nástrojů doplní zboží do skladového systému.



Obr. 58 Toolbox od společnosti SECO

### 9.3 Upínání nástrojů

Nedílnou součástí při přípravě obrábění je volba vhodných upínačů pro dané nástroje. Upínač musí splňovat požadavky na maximální přesnost kuželu, do kterého je ve stroji upínán, a minimální osovou házivost. Ta je z hlediska opotřebení nástrojů velmi důležitým parametrem, protože dokáže ovlivňovat životnost břitů nástroje. Čím přesnější a kvalitnější upínač je použit, tím lepší je následný přenos na nástroj. Proto jsou i upínače konzultovány s odborníky společnosti SECO. Nástroje se volí na konkrétní typ vřetene stroje, především kužele uvnitř vřetene. Stroj disponuje vřetenem s kuželem označení DIN40 dle DIN 69871. Upínače se volí i vzhledem k otáčkám stroje. Tento údaj je důležitý pro volbu vyvážení upínačů. Standardní upínače do 10 000 ot./min, kterými disponuje i stroj, na kterém se bude obrábět, mají vyvážení G6,3, což znamená, že jsou vyváženy až do 20 000 ot./min. Všechny zvolené upínače budou mít tedy vyvážení G6,3. Na zvolené nástroje byly zvoleny upínače viz.tab. 5.

Tab. 5 Zvolené upínače

Typ nástroje	Název upínače	Označení upínače	Házení [ $\mu\text{m}$ ]
Vrták $\varnothing$ 4,2 mm - 3xD	Vysoce přesné kleštinové sklíčidlo	ERHP 5672 DIN40AD – HP 32	3 $\mu\text{m}$ na 3xD
Vrták $\varnothing$ 6,8 mm – 3xD	Vysoce přesné kleštinové sklíčidlo	ERHP 5672 DIN40AD – HP 32	3 $\mu\text{m}$ na 3xD
Srážec hran $\varnothing$ 12 mm	Vysoce přesné kleštinové sklíčidlo	ERHP 5672 DIN40AD – HP 32	3 $\mu\text{m}$ na 3xD
Závitník M8 6H	Sklíčidlo na závitníky pro synchronizované závitování	TCER 5867 DIN40 – ER25	Vnitřní axiální mikropohyb $\pm$ 0,5 mm

Jak lze vidět z tab. 5, byly zvoleny přesné upínače s minimální házivostí, které lze využít univerzálně. Kleštinové upínače HP32 umožňují po výměně kleštiny upínání nástroje od 2 do 20 mm. Kleština ER25, která byla zvolena pro upnutí závitníku, umožňuje upnutí stopky závitníku od 6 do 16 mm. Na závitníku je na konci válcové části ještě čtyřhran, který eliminuje protočení závitníku v upínací kleštině. Rozměry čtyřhranu a stopky u daného typu ve-

likosti závitníku jsou dány normou. Zvolený kleštinový upínač se od vysoce přesných kleštinových upínačů liší rozdílem v házivosti. Tento upínač je speciálně určen pro upínání závitníky a disponuje axiálním mikropohybem v rozmezí  $\pm 0,5$  mm. Tímto upínací systém eliminuje namáhání a porušení závitníku.



*Obr. 59 Upínače nástrojů*

*TCER 5867 (vlevo), ERHP 5672 (vpravo)*

Do upínače nástrojů ke straně k obrobku je ještě nutné zvolit potřebné příslušenství k upínání nástroje. Upínače ERHP 5672 pro upínání vrtáků budou osazeny kleštinami s označením HP32, které budou celé utěsněné. Tlak kapaliny bude veden přes těleso vrtáku přímo k břitům, a proto bude zamezeno procesní kapalině obtékání přes matici kleštiny. Pro upnutí vrtáku o průměru 4,2 mm bude použita kleština HP32 o vnitřním průměru 6 mm a pro vrták o průměru 6,8 mm bude použita kleština HP32 o vnitřním průměru 8 mm. Rozměry stopek vrtáků jsou udány normou a jsou uvedeny v označení nástroje v tabulce č.4.

Pro upnutí srážeče hran bude použita přesná kleština HP32 o vnitřním upínacím průměru 12 mm bez utěsnění kleštiny. Chladicí kapalina v tomto případě bude chladit nástroj pomocí trysky u vřetene vnějším chlazením.

Upnutí závitníku pro upínač s mikrokompenzací bude do kleštiny ER25 o vnitřním průměru 8 mm a rozměrem čtyřhranu 6,3 mm x 6,3 mm.





Obr. 60 kleštiny

a) Utěsněná – HP32, b) neutěsněná HP32, c) s vnitřním čtyřhranem – ER25

Posledním prvkem potřebným k upnutí je tažný čep do vřetene stroje. Ten bude pro všechny upínače stejný a je určen typem vřetene ve stroji. Za tento čep kleština uvnitř vřetene vtahuje kužel upínače do kužele vřetene a zajišťuje bezpečnou polohu upínače ve vřeteni. Vyrábí se ve dvou provedeních, s průchozím a neprůchozím otvorem vedeným přes tělo čepu. V tomto případě je požadováno využít středového chlazení pro vedení chladicí kapaliny přímo na břity vrtáku, proto jsou zvoleny čepy průchozí.



Obr. 61 Tažný čep DIN 40

Nástroje jsou kompletně sestaveny, lze tedy vytvořit obráběcí program. Jediná neznámá hodnota je, kolik kusů bude upnuto ve stroji. Momentálně jsou ve stroji připraveny 4 modulární svěráky s čelistmi o šířce 150 mm. Již v kalkulaci bylo stanoveno předběžně, že v každém svěráku budou upnuty 2 kusy. V počátku výroby bude první série obrobena tímto způsobem a program bude připraven na 8 kusů v jednom obráběcím cyklu.

#### 9.4 Obráběcí program

Tvorba programu je jedním z hlavních úkolů technologa obráběcích strojů. Musí dokonale znát všechny vstupy zahrnuté při přípravě výroby a vytvořit co nejdokonalější výstup, který

představuje finální výrobek. Jeho rozhodnutí výrazně ovlivňuje konečnou cenu výrobku a ekonomiku celého procesu. Z toho důvodu by měl mít i konkrétní znalosti a přehled o obráběcích technologiích ve firmě, ve které pracuje.

K dispozici na tento výrobek je stroj Akira-Seiki SV1050, podstatnou informací pro tvorbu je řídicí systém stroje. Důležitý je z hlediska komunikace mezi strojem a vytvořeným programem. Stroj je konfigurován systémem Mitsubishi M700. Tento systém lze programovat minimálně čtyřmi způsoby.

#### 9.4.1 Možnosti vytvoření programu

První možnost je využití programování přímo v editoru na stroji a zadávání ISO kódu. Seznam příkazů dostupných pro ISO programování, především M kódů a G kódů, je uveden v manuálu stroje. Programování může probíhat v tzv. background módu, což znamená, že programování probíhá v pozadí plochy ovládacího prostředí. Tento způsob není vhodný z hlediska blokování stroje pro obsluhu.

Další možností je využití parametrického programování, které by však probíhalo stejným způsobem jako ISO programování. Není vhodné i z toho důvodu, že vyžaduje velmi dobré znalosti technologa na konkrétní systém, v tomto případě Mitsubishi. Vyžadována je i znalost PLC, a to z důvodu možnosti využití vhodných volných pozic pro ukládání vlastních parametrů.

Systém Mitsubishi disponuje i vlastním dialogovým prostředím pod názvem „NAVI MILL“. Programování tímto způsobem je velmi intuitivní a navádí uživatele prostřednictvím komunikace na jednotlivé kroky. Výhodou tohoto způsobu je, že výrobce do stroje ukládá předgenerované cykly pro výrobu. Tyto cykly mohou obsahovat cykly pro vrtání, závitování nebo hrubovací a dokončovací frézování. Výsledkem je vygenerovaný program rovněž ve formátu ISO.

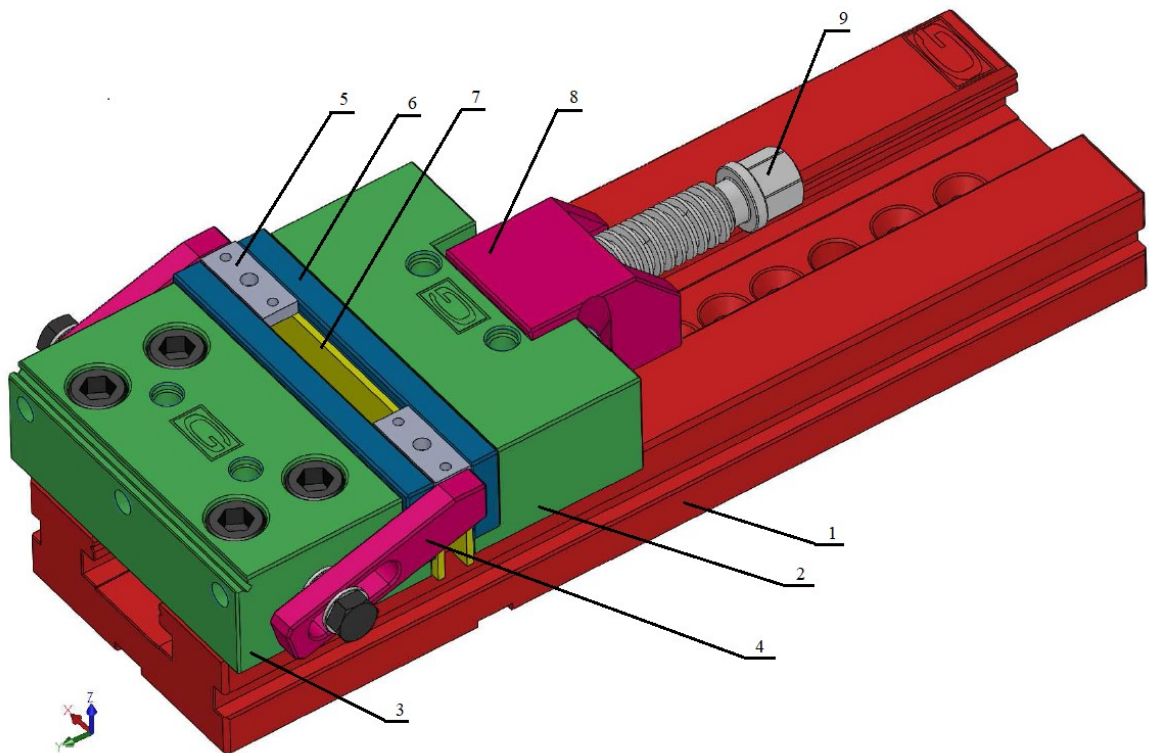
Využití CAM systému k programování součástí se jeví jako nejvhodnější. Celá problematika se řeší mimo daný stroj, nevyužívá hardware ani software instalovaný ve stroji, finální program je vytvořen na nezávislém prostředí CAD/CAM na vlastním počítačovém zařízení. Spojení do stroje je využito pouze k přenosu vygenerovaného programu. Velkou výhodou takového softwaru je možnost konfigurace všech prvků v rámci modelů, jejich definice jako obrobek, nástroj a upínka, určení polohy nulového bodu obrobku, případně násobení nulových bodů obrobku. To vše probíhá v prostředí CAD softwaru, v němž je integrován CAM

system. Výhody těchto CAD/CAM systémů a možnost, že jsou k dispozici budou využity při přípravě programu pro tento díl.

#### 9.4.2 Vytvoření programu v CAD/CAM

K vytvoření programu je k dispozici CAD systém Solidworks od společnosti Dassault Systèmes. Jedná se o jeden z nejprodávanějších systémů na světě napříč celým strojírenským průmyslem. Je kompletně lokalizovaný do českého jazyka a je uživatelsky velmi přívětivý. Nabízí vynikající objemové i plošné modelování. Do tohoto CAD systému je integrován CAM systém HSMWORKS společnosti Autodesk, která stejně jako Dassault Systèmes je jedním z lídrů na trhu se softwarem pro průmyslové využití.

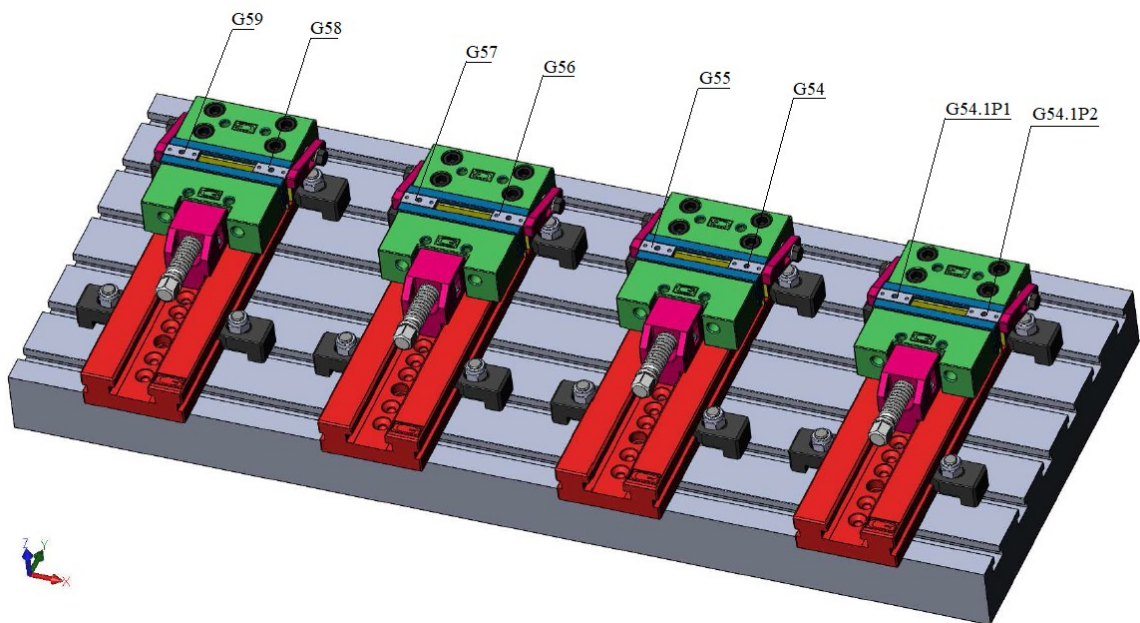
Stejně jako programování v ISO kódu má i to v CAD/CAM prostředí svou posloupnost. Prvním krokem bude sestavit model výrobku do sestavy s upínačem, který představuje svěrák.



Obr. 62 Sestava svěráku s díly

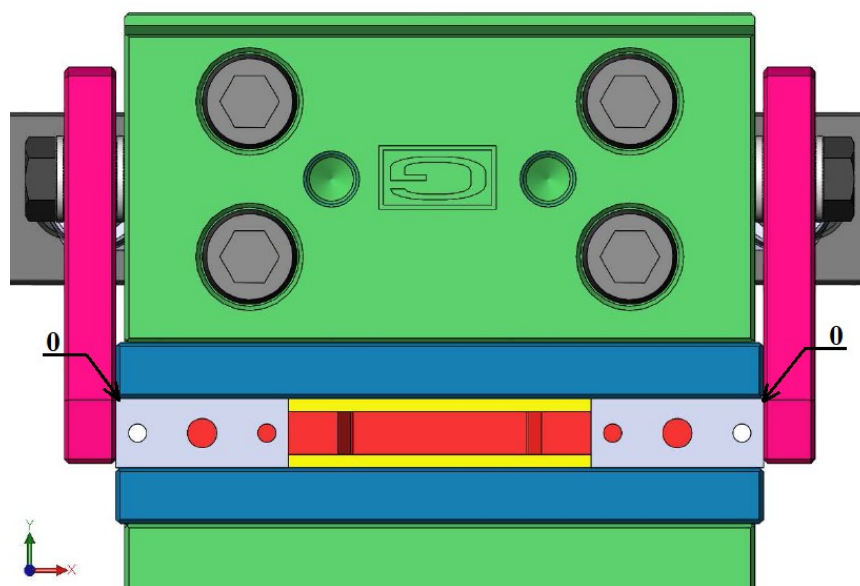
1 – Těleso svěráku, 2 – Pohyblivá čelist, 3 – Pevná čelist, 4 – Doraz, 5 – Díl, 6 – Čelist svěráku, 7 – Podložka, 8 – Posuvová matice, 9 – Posuvový šroub

Na obr. 62 je sestava svěráku společně se dvěma díly. Tato sestava bude na stole obráběcího stroje 4x. Ke stolu stroje bude upnuta pomocí šroubů a upínek do T-drážky stolu stroje.



Obr. 63 Sestava svěráků

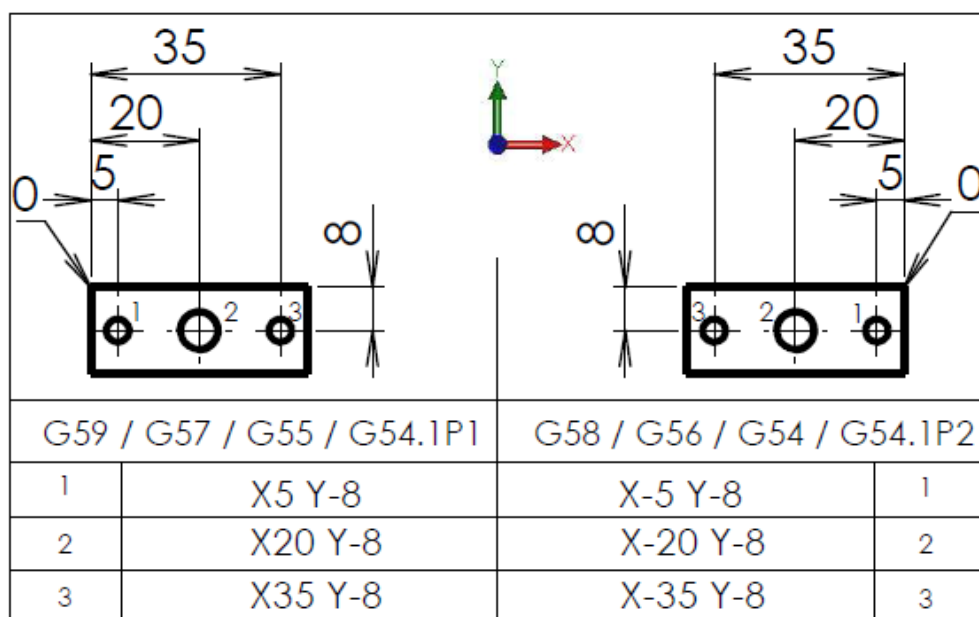
Po rozestavení svěráků na pracovní plochu stolu následuje určení nulových bodů obrobků, které je nutné stanovit k vytvoření programu. Čísla nulových bodů a jejich rozmístění určuje technolog či programátor. V systému Mitsubishi jsou k dispozici nulové body obrobku na pozicích G54-G59, které jsou stanoveny jako základní. Ty se dají v případě nedostatečného počtu rozšířit o navazující nulové body v rozmezí G54.1P1 – G54.1P48. Programátor má tedy možnost využít až 54 nulových bodů, což znamená 54 obrobků s vlastním nulovým bodem.



Obr. 64 Pozice nulových bodů obrobků

Na Obr. 64 je zobrazena pozice jednotlivých nulových bodů obrobků ve svěráku. Ty jsou důležité z hlediska programování dílů. Vztahují k dorazu, na který je díl polohován a pevné čelisti svěráku, která zůstává po dobu obrábění neměnná. Jedná se tedy o pevné body, u kterých se předpokládá, že se během obrábění nebudou nikam posunovat ani měnit. Rozdíl nastane pouze při programování, kdy bude mít osa Y stejný parametr polohy otvorů na obou pozicích a bude se měnit hodnota v ose X na kladné nebo záporné znaménko. Tímto způsobem se rozliší přesná poloha obrobku ve svěráku. Pokud dojde ke správné definici nulových bodů obrobků, postprocessor vygeneruje souřadnice otvorů správně.

Příprava programu probíhá výběrem vhodných cyklů z předvolené nabídky systému CAM. Zde se určí, o jakou operaci se jedná. Po výběru operace se z knihovny nástrojů definuje vhodný nástroj a určí řezné podmínky konkrétního nástroje. Posloupnost programování operací se rovná posloupnosti obrábění na stroji. Pokud se jedná o situaci násobného obrábění jako v tomto případě, nejvhodnější je uvažovat obrobení všech součástí jedním nástrojem, než proběhne jeho výměna za jiný nástroj.



Obr. 65 Rozdíly souřadnic otvorů

Z hlediska produktivity je příprava programu založena na třech základních cyklech. Program se tedy bude skládat z pevného cyklu vrtání, srážení otvorů a závitování. Každý bude mít definované parametry pozice otvoru, výšku bezpečnostních přejezdů nad obrobky a hloubku obrábění jednotlivými nástroji, což představuje hodnota osy Z.

## 9.5 Výroba počáteční série

Technologem připravený program zbývá otestovat v simulaci, kde se projeví případné nedostatky. Ta má za úkol odhalit případné kolize nástroje s obrobkem, ale i další nepříznivé vlivy jako je podřezání obrobku, což lze zjistit pomocí analýzy porovnání obrobku s polotovarem. Pokud je vše v pořádku, dochází zpravidla k vygenerování programu pomocí postprocesoru. Ten se vztahuje vždy ke konkrétnímu stroji a konkrétnímu systému řízení. Aby postprocesor fungoval a nedocházelo ke kolizím, bývá v počátku odladěn dodavatelem CAM systémů společně s techniky dodavatele obráběcích strojů. Tím se zajistí správný výstup z postprocesoru, který představuje obráběcí program.

Ten je pak odeslán po firemní síti přímo do vzdáleného adresáře na stroji, kde už má obsluha možnost program načíst z databáze. Hned na začátku programu je informativní hlavička sloužící obsluze stroje, zde je uvedeno, jakým způsobem mají být díly zaměřeny obrobkovou sondou, jaké nástroje budou použity k obrábění, čísla pozic nástrojů a způsob upínání. Všechny tyto informace jsou obsaženy v kulatých závorkách, což zajišťuje, že systém tyto hodnoty přeskakuje a nečte, slouží pouze jako informace pro obsluhu stroje.

```
(PART NAME=1601377)
(ROZMER POLOTOVARU 40X16X6)
(MATERIAL 1.4301)
(X=40)
(Y=16)
(Z=6)
(-----)
(UPINANI OBROBKU - 4x SVERAK)
(NUL. BODY X - DORAZY SVERAKU)
(NUL. BODY Y - PEVNA CELIST SVERAKU)
(NUL. BODY Z - HORNI PLOCHA OBROBKU)
(-----)
(NASTROJE)
(T01-vrtak D4,2 SD203A 3xD)
(T03-vrtak D6,8 SD203A 3xD)
(T17-srazec hran D12 JS509)
(T08-zavitnik M8 6H MTP-V007)
(-----)
N10 M01
*OBRABECI PROGRAM*
*
*
*
```

Obr. 66 Hlavička programu



Zbytek informací, které nejsou obsluze jednoznačně jasné z hlavičky programu předá technolog. Jeho úkolem je i dohled nad první sérií výroby. Z hlediska ekonomiky musí odsouhlasit i správný postup upínání a výměny dílů. Nezbytná je i kontrola správnosti programu při skutečném obrábění. Dlouhodobějším cílem je sledování životnosti obráběcích nástrojů, případně úprava řezných podmínek během obrábění. Po obrobení první série a odsouhlasení postupu se přechází na sériovou výrobu. Je tak ověřena správnost zvoleného postupu a efektivita daného procesu. Vstupní kontrola potvrdí správnost vyrobených dílů kontrolním protokolem a lze zahájit sériovou výrobu.

## 9.6 Vyhodnocení počáteční série

Po týdnu bylo nutné zhodnotit, jestli je navržená kapacita stroje dostačující. Roční produkce byla stanovena zákazníkem na 210 000 kusů. Týdenní produkce by pak měla být minimálně 4038 kusů. Během roku nelze však předpokládat s nepřetržitou produkcí na jednu směnu. Další vlivy ovlivňující kapacitu, jako jsou další výrobní zakázky, nutné servisní odstávky stroje, dovolená pracovníků obsluhy, výpadky způsobené vnějšími vlivy, to vše ohrožuje plnění výrobních termínů.

Tab. 6 Teoretický čas výroby dílu

Výrobní operace	Typ nástroje	Řezná rychlost (m/min)	Posuv na otáčku (mm/min)	Výrobní čas operace 1 ks (h:m:s)
Upnutí dílu (1x)	X	X	X	00:00:10
Vrtání otvoru $\varnothing$ 4.2 (2x)	Vrták $\varnothing$ 4,2 mm - 3xD	85	0,1	00:00:18
Vrtání otvoru $\varnothing$ 6.8 (1x)	Vrták $\varnothing$ 6,8 mm - 3xD	85	0,15	00:00:16
Sražení hran otvorů- 1. strana (3x)	Srážeč hran $\varnothing$ 12 mm	140	0,1	00:00:21
Otočení dílů obsluhou stroje + upnutí (1x)	X	X	X	00:00:22
Sražení hran otvorů- 2. strana (3x)	Srážeč hran $\varnothing$ 12 mm	140	0,12	00:00:21
Řezání závitu M8 (1x)	Závitník M8 6H	8	*1.25	00:00:18
<b>Celkový čas výroby (1 ks):</b>				<b>00:02:06</b>

\*U závitníku je posuv automaticky přepočítán strojem z otáček závitníku a stoupání závitu. Celkový teoretický čas na výrobu jednoho dílu je tedy 2 minuty a 6 vteřin. Skutečný výrobní cyklus je ale ve skutečnosti kratší, protože nedochází k opakovaným výměnám nástrojů, ale nástroj při výrobě přejíždí v programované přejezdové výšce mezi díly a svěráky, čímž se čas výroby výrazně zkracuje. Zároveň jsou kusy upínány po dvou. Do teoretického času jsou započteny i výměny nástroje a příjezdy do referenční polohy osy Z, nutné k výměně nástroje.

Tab. 7 Porovnání skutečného a teoretického času výroby

Výrobní operace	Výrobní čas operace 1 ks (h:m:s) <i>TEORETICKÝ</i>	Výrobní čas operace 1 ks (h:m:s) <i>SKUTEČNÝ</i>
Upnutí dílu	00:00:10	00:00:16
Vrtání otvorů ø 4.2	00:00:18	00:00:11
Vrtání otvoru ø 6.8	00:00:16	00:00:06
Sražení hran otvorů- 1. strana	00:00:21	00:00:06
Otočení dílů obsluhou stroje + upnutí	00:00:22	00:00:19
Sražení hran otvorů- 2. strana	00:00:21	00:00:06
Řezání závitu M8	00:00:18	00:00:10
<b>Celkový čas výroby</b>	<b>00:02:06</b>	<b>00:01:14</b>

Vzhledem k těmto skutečnostem byl zjištěn skutečný výrobní čas na 8 kusů, který je 9 minut a 52 vteřin i s výměnou dílů za polotovary. Proto je tak kladen důraz na upnutí co největšího počtu kusů. Čas výměny nástroje, příjezdu ke svěráku a opětovné výměny na každý díl by byl velmi neproduktivní. Teoretický čas výroby byl stanoven na základě řezných podmínek použitých nástrojů a výpočtů CAM systému pro výměny a přejezdy nástrojů do referenčních pozic stroje. Ty se definují v nastavení šablony stroje v CAM systému.

Skutečná denní produkce je ještě ovlivněna několika faktory, protože docházelo k výměně a kontrole nástrojů v pravidelných cyklech, kontrole dílů během obrábění a každodenním úklidu stroje na konci směny.



Tab. 8 Týdenní produkce – upínání ve svěrácích

Den v týdnu	Výrobní čas (h:m)	Počet vyrobených kusů
Pondělí	07:45	376 ks
Úterý	07:35	368 ks
Středa	07:35	368 ks
Čtvrtek	07:45	376 ks
Pátek	07:45	376 ks
Celková týdenní produkce:		<b>1864 ks</b>

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{n} = \frac{376 + 368 + 368 + 376 + 376}{5} = 372,8 \text{ ks} \quad (20)$$

Bylo zjištěno, že kapacita při použití mechanických svěráků byla nedostatečná. Jednalo se o mnoho upínacích cyklů ze strany obsluhy, které ovlivňovaly výrobní čas. Vyhodnocením počtu vyrobených kusů bylo zjištěno, že týdenní produkce činí pouze 1864 kusů při plném využití směny, která činila 8 hodin. Ztráta by se tak každý měsíc navyšovala a nebylo by možné plnit termíny výroby ani ekonomickou stránku zakázky.

Návrh se tedy vrací zpět technologovi, který musí vyhodnotit efektivitu procesu a zvolit vhodnější řešení dané situace. Přínos podniku tkví ve schopnosti řešit problematiku daného problému, který je mnohdy velmi specifický. V tomto případě se nabízelo využít plochy stolu obráběcího stroje. Počáteční úvaha byla dostat na stůl co nejvíce obrobků, bezpečně je obrobit a co nejrychleji vyměnit. Čím více se zkrátí neproduktivní cykly stroje, tedy cykly, kdy probíhá výměna hotových dílů za polotovary, tím bude celý proces produktivnější. Cílem je tedy zvýšit strojní čas a zkrátit čas seřizovací.

Jako technolog výroby navrhuji varianty na zlepšení situace, ta se tedy vztahuje k počtu upnutých dílů na obráběcí ploše stolu. Společně s konstrukčním oddělením budou navrženy varianty řešení, z nichž se stanoví jako vhodná ta, kterou lze realizovat v relativně krátkém čase.

## 10 NÁVRHY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ

Návrhy na zpracování upínacích přípravků se musí řídit několika základními parametry. Tím důležitým pro firmu je ekonomická stránka věci a případná návratnost investice. Druhou je dostupnost standardizovaných upínacích systémů, dostupných na trhu. Existují firmy, zabývající se problematikou upínání obrobků na stroji. Ty mají své vlastní řešení a nabízí ho zákazníkům napříč průmyslem. Z těch nejvýznamnějších jistě stojí za zmínku společnosti jako jsou SCHUNK, SMW-Autoblok, LANG či BISON a mnoho dalších. Systémy těchto společností jsou velmi pokročilé a dají se přizpůsobit, po konzultaci s odborníky těchto společností, vlastním požadavkům. Všechny takové požadavky jsou však vyváženy konečnou cenou. Proto se jako ideální varianta nabízí výroba vlastního přípravku na míru. Bohaté zkušenosti s konstrukcí upínacích přípravků pro svařování, lisovacích přípravků a ohýbacích nástrojů pro ohraňovací lisy mi dovolilo uvažovat nad výrobou vlastního.

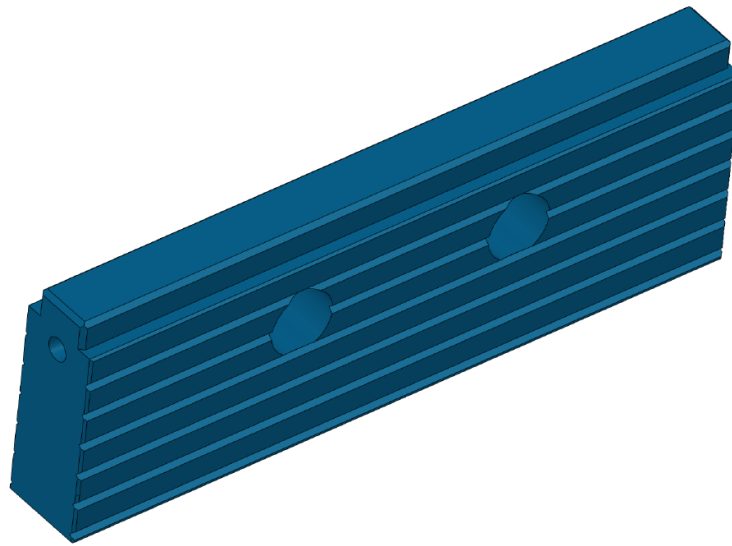
Prvním krokem bylo nutné zvolit, jaký systém bude nejvhodnější z hlediska typu upínací jednotky. Nabízely se tyto základní varianty:

- 1) Násobný svěrák s mechanickým upnutím
- 2) Násobný mechanický přípravek
- 3) Hydraulický upínací přípravek
- 4) Pneumatický upínací přípravek

Cílem bylo znásobit počet dílů na stole. Současný stav byl 8 dílů, cíl byl stanoven na upnutí minimálně pětinasobného počtu.

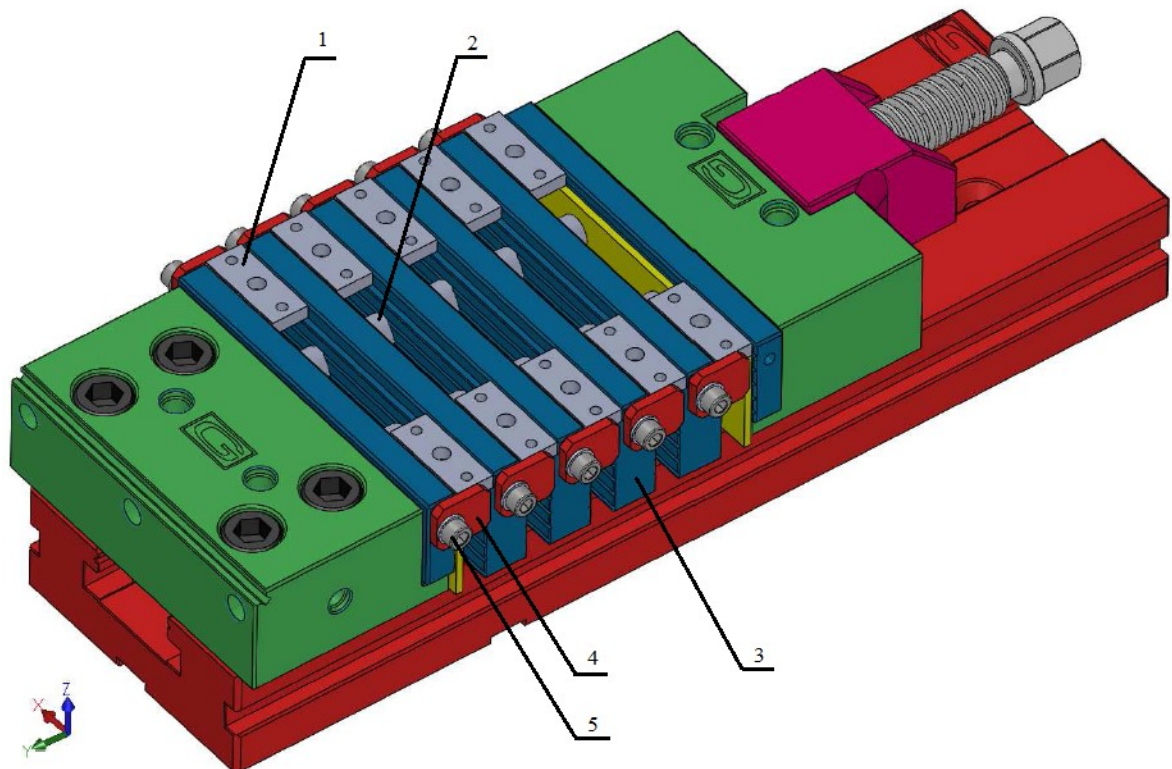
### 10.1 Násobný svěrák s mechanickým upnutím

Jedna z možností, jak znásobit počet dílů, bylo navýšit současný stav úpravou svěráku. Bylo by možným řešením rozšířit současný stav upínání o další čelisti. Upínání by opět probíhalo mechanicky. Počet svěráků na upínacím stole by zůstal ve stejném počtu. Aby byl splněn cíl, znamenalo by to do jednoho svěráku dostat minimálně 10 dílů. To by bylo možné s pomocí mezičelistí, které by museli vymezovat jednotlivé obráběcí sekce. S tím by přímo souvisela i změna dorazu na svěráku. Návrh tedy padl na výrobu dvojité čelisti, ve které by byly připraveny otvory pro vodící tyče, na kterých by se čelist pohybovala. Bylo by tím zamezeno pohybu mimo upínací oblast svěráku a docházelo by pouze k rozevírání pohybem vodící čelisti. Z boční strany by byl závit M6 na připevnění dorazu pomocí šroubu.



Obr. 67 Dvojitá čelist

Jako materiál čelisti byla navržena nástrojová ocel dle DIN 1.2379. Výroba by probíhala dělením surového materiálu z desky pásovou pilou a kompletním obrobením na frézovacím centru s přídatkem na broušení. Pak by následovalo tepelné zpracování (kalení) na 60 HRC +/- 1. Finální operací by bylo broušení, a to především upínacích ploch.



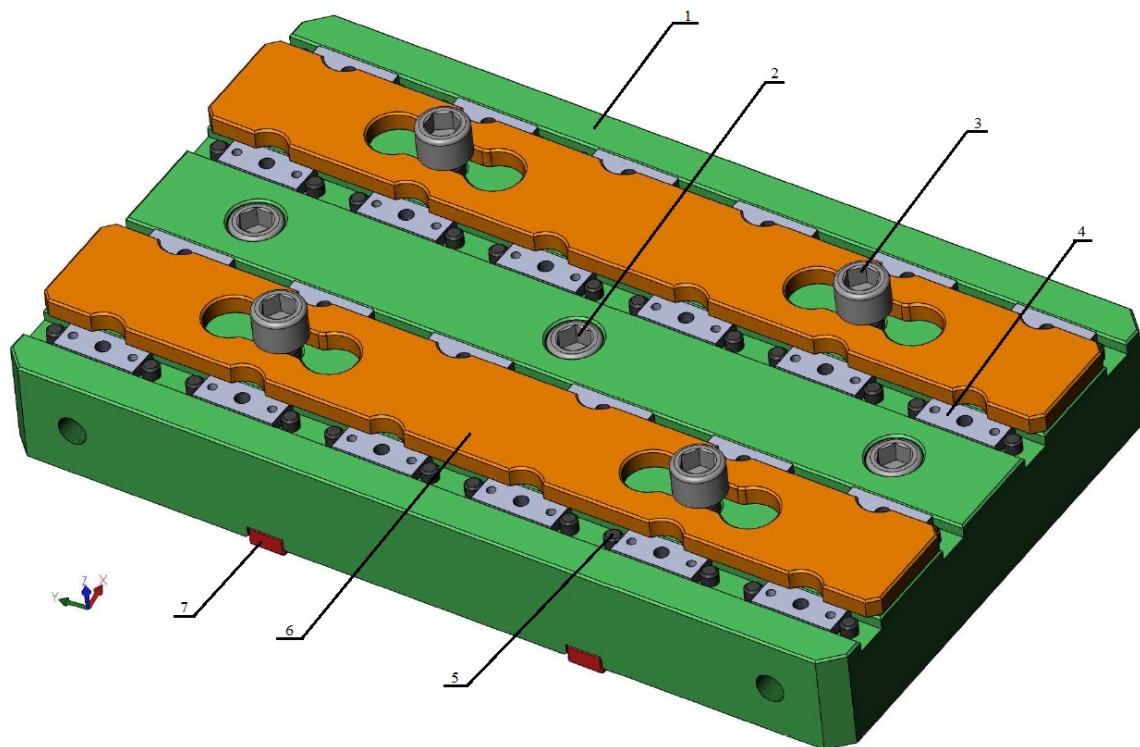
Obr. 68 Úprava svěráku na násobný

1 – díl, 2 – vodící tyč, 3 – dvojitá čelist, 4 – doraz, 5 – šroub M6x16 s podložkou

Změna tohoto typu by nebyla ekonomicky ani výrobně náročná. Byla to jedna z variant, jak rychle nahradit stávající stav. Nicméně pořád se jednalo o mechanické upínání, z větší části závislé na výkonu obsluhy. Z tohoto pohledu byl tento návrh nevhodný. Zároveň by v případě změny rozměru polotovaru v ose Y narůstala chyba obrábění, která by způsobovala nežádoucí posun děr v závislosti na rozměru polotovaru.

## 10.2 Násobný mechanický přípravek

Další úvaha byla směřována na násobný mechanický přípravek. Ten by měl zajistit upnutí více dílů tak jako svěrák a měl by být mnohem kompaktnějších rozměrů. Z hlediska výroby by se jednalo o kompletní nové těleso a bylo by možné konfigurovat jeho rozměry tzv. na míru. Rovněž by bylo možné zvýšit kapacitu výroby i za cenu delšího seřizovacího času. Cíl byl opět stejný, navrhnout přípravek na minimální počet 40 kusů a zvýšit obráběcí čas stroje. Nebezpečím by bylo, pokud by opět seřizovací čas převýšil obráběcí.



Obr. 69 Násobný mechanický přípravek

1 – základna, 2 – upínací šroub M16x70, 3 – upínací šroub M16x40, 4 – obrobek,

5 – dorazový kolík, 6 – upínací lišta, 7 – naváděcí kostka stolu

Navržena byla základna, do které budou vyfrézovány drážky. K orientaci dílu v drážkách slouží dorazové kolíky, nalisované do základny. Díly jsou vkládány do přípravku do 4 řad

po 6 dílech. Vnější rozměry základny jsou 420 mm x 250 mm x 50 mm, což znamená, že na stůl stroje by bylo možné osadit minimálně 3 takové sestavy. Po 24 kusech by bylo tedy obráběno 72 kusů obrobků. Přípravek je upnut ke stolu pomocí sedmi šroubů M16x70, které jsou přitaženy přes T-matice do drážek stolu. Správnou polohu základny na stole zajišťují naváděcí kostky pod přípravkem, které jsou rovněž zasazeny do drážek stolu. Díly samotné jsou upnuty za pomoci upínací lišty, která je dvěma šrouby M16x40 přitažena k základně. Aby bylo možné lištu v krátkém čase demontovat, je vyrobena drážka umožňující snadné sejmutí lišty z přípravku pro opakované upínání. Stačí povolit šrouby a lištu posunout na kteroukoliv stranu v ose X. Zároveň v ní je provedeno odlehčení pro výrobu závitu, aby měl sražec hran prostor pro sražení hrany před závitem. Pod uloženými díly je deska vrtaná tak, aby mohly osové nástroje projít přes obráběný díl do otvorů v základně. Na stranách přípravku jsou ještě 4 závity M16, do kterých lze namontovat manipulační oka pro snadné přemístění na stůl.

Je nezbytné zhodnotit i přínos tohoto řešení. Celkový počet dílů na jeden obráběcí cyklus se zvýší až na 72 kusů, což je splněno. Nicméně pořád se jedná o mechanické upínání. Tato varianta se zatím zdá jako nejvhodnější pro danou situaci. Základová deska by byla vyrobena z běžné konstrukční oceli, upínací lišta z oceli nástrojové a následně tepelně zpracovaná kalením na požadovanou tvrdost. Zvýšené nároky by byly především na polotvar obrobku. Ten by nesměl přesahovat rozměry dané prostorem mezi kolíky nebo drážkou v základně. Dělení materiálu lze ovlivnit při vstupu materiálu, ten je ale vyroben v určité toleranci a pokud by přesahoval rozměr drážky v přípravku, nebylo by možné ho použít.

### 10.3 Hydraulický upínací přípravek

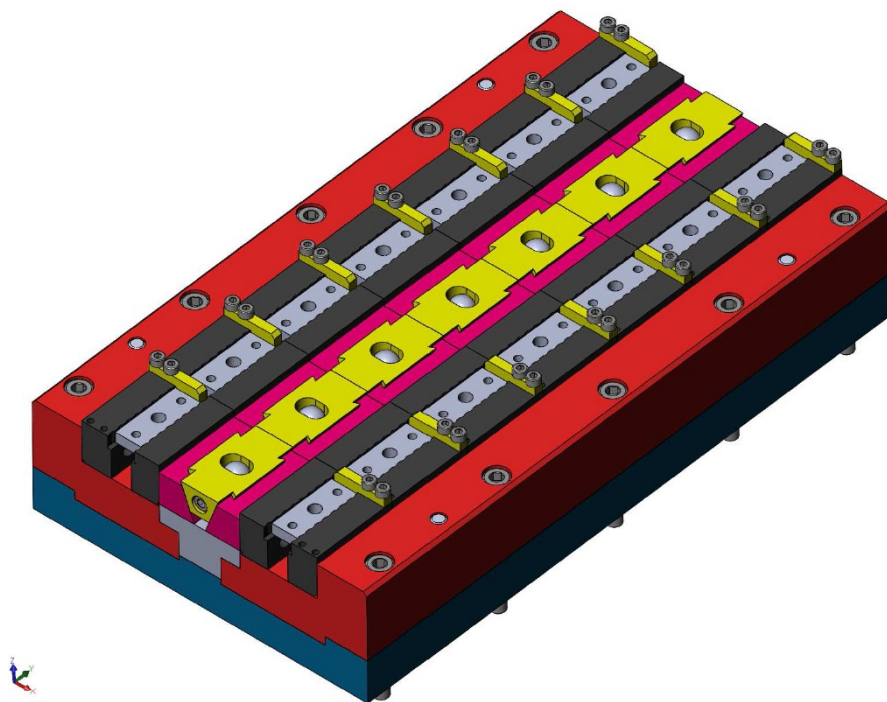
Využití hydrauliky při upínání byla taktéž jedna z dostupných variant. Nejevila se však jako nejvhodnější. Hydraulický obvod má kromě řady výhod i své nevýhody. Navíc by musel být dovybaven stroj o hydraulický okruh. Byl osloven dodavatel hydraulických dílů a po schůzce s experty a konzultaci bylo toto řešení zavrženo. Značná cena na dovybavení stroje, náročnost údržby okruhu a konstrukce přípravku byly bohužel překážky, které zabránily rozvíjet tuto myšlenku dále.

## 10.4 Pneumatický upínací přípravek

Mnohem dostupnější, než rozvod hydraulický je rozvod pneumatický. Ten je od začátku instalace stroje zapojen. Využívá se pro vzduchovou pistoli na čištění prostoru stroje, automatickou výměnu nástroje a chlazení nástrojů vně a uvnitř vřetene. Celý okruh je zapojen a drobnou úpravou by mohl být stlačený vzduch využit i jako budoucí médium pro upínání obrobků. Z těchto důvodů se úvaha zaměřila na návrh pneumatického přípravku.

Prvním krokem bylo kontaktovat odborníky, kteří se zabývají prodejem komponentů na rozvod stlačeného vzduchu. Rozhodl jsem se kontaktovat společnost SMC, která má zastoupení i v České republice a setkal se s odborníky tohoto oboru. Zhodnoceny byly klady a zápory a stanovena předběžná informativní cena za komponenty potřebné k rozvodu vzduchu. Instruoval jsem rozměry a omezení, které vyplývají z dané problematiky. Po prvním kontaktu jsem měl představu a domluvil si další schůzku s tím, že jsem vytypoval konkrétní komponenty společně se zástupcem firmy SMC.

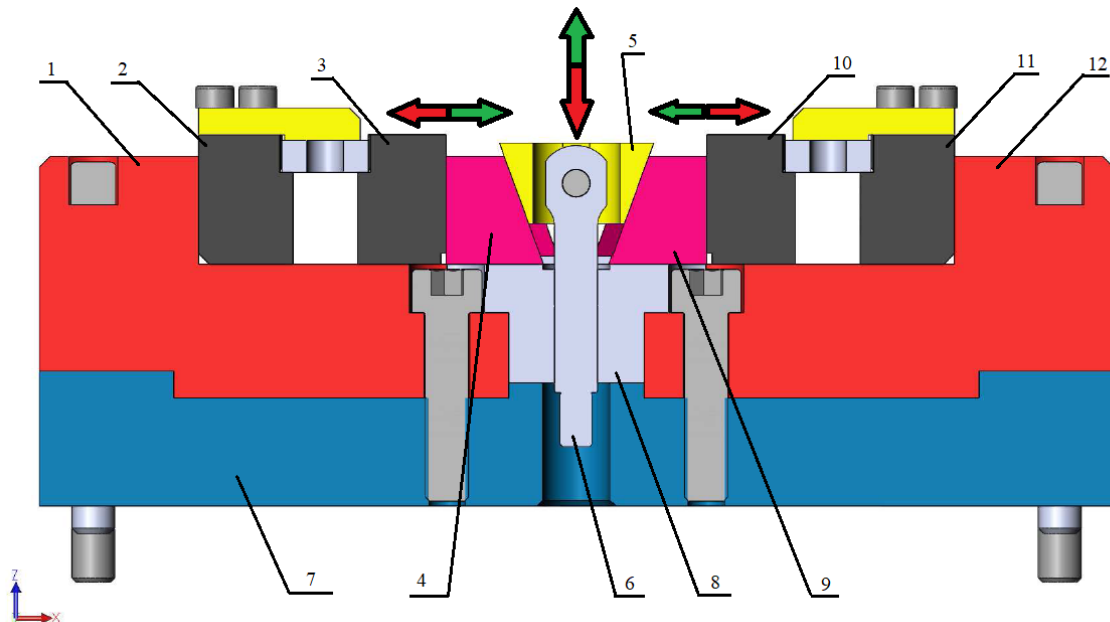
Nastala předběžná fáze návrhu přípravku. V CAD softwaru po zkušenosti z předchozích návrhů byly jasně vytyčeny cíle a rozměry, ve kterých se lze pohybovat při návrhu. Společně s konstrukčním oddělením byla navržena podoba sestavy, která v sobě kombinuje vlastnosti menší verze svěraku a násobné upínky.



Obr. 70 Část 1. – upínací



Tento návrh byl rozdělen do dvou základních fází. První byla část upínací. Zde bylo rozvržen počet dílů a dimenzovány rozměry v závislosti na rozměrech obráběných dílů. Tato část byla kompletně navržena konstrukčním oddělením společně se mnou jakožto technologem výroby. Základní princip vycházel z klínového mechanismu.



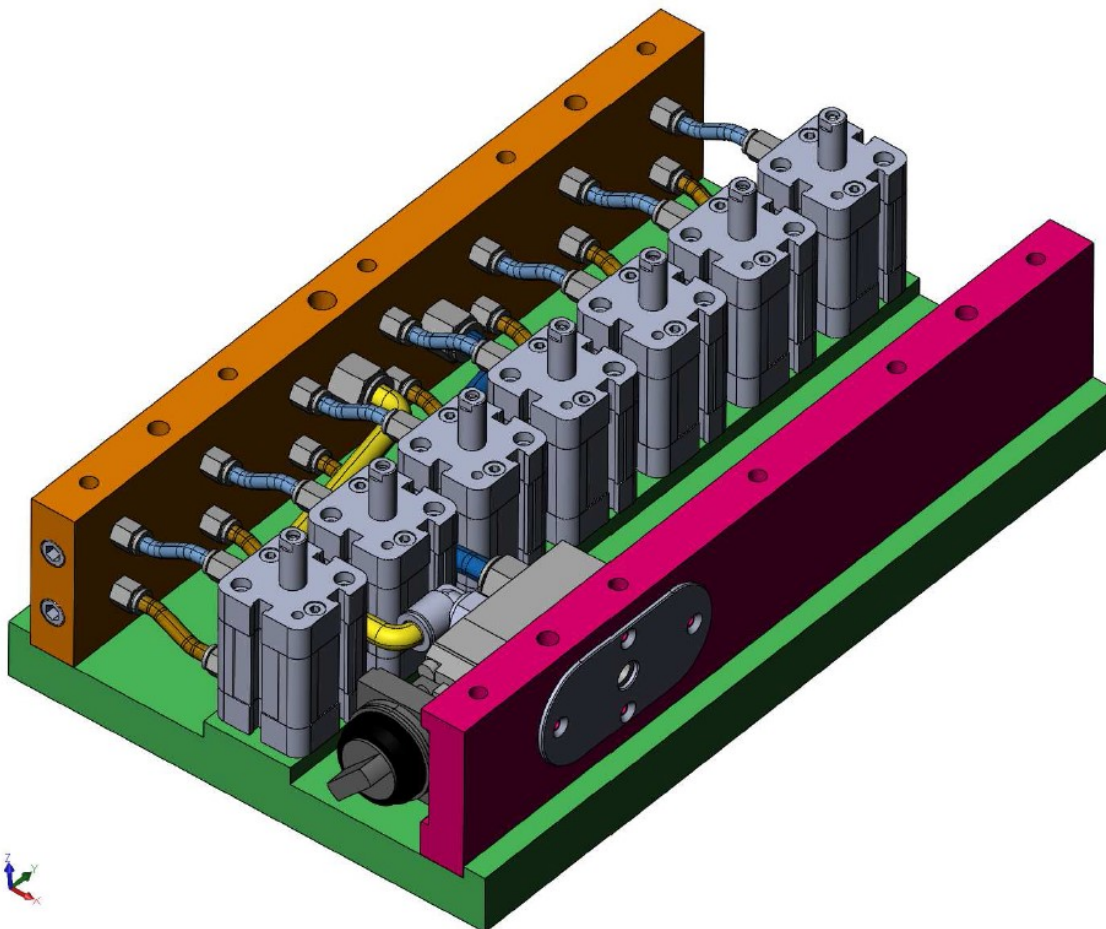
Obr. 71 Mechanismus upínací části

1 – levá upínací část, 2 – pevná čelist levá, 3 – pohyblivá čelist levá, 4 – pohybový klín levý, 5 – středový klín, 6 – tažný čep, 7 – základová deska, 8 – středový segment, 9 – pohybový klín pravý, 10 – pohyblivá čelist pravá, 11 – pevná čelist pravá, 12 – pravá upínací část

Na obr. 71 je zobrazen klínový mechanismus a jeho princip. Tažný čep pohybem směrem Z rozpíná čelisti pomocí středového klínu, ten rozpíná čelist posuvem pohybových klínů. K pohybovým klínům je dvěma šrouby připevněna čelist. Při rozepnutí čelistí dochází k upínání dílů. Při opačném pohybu do směru Z+ je naopak čelist otevřena na obou stranách a může tak dojít k vyjmutí dílů.

Návrh druhé části sestavy probíhal za účasti odborníka ze společnosti SMC. Byly navrženy pneumatické prvky, které uvedly upínací část k její funkčnosti. Společně s konstrukcí tak byla navržena podoba rozvodného systému. Cílem této pneumatické části bylo vytvořit pohyb tažného čepu ve směru osy Z, zapojit a rozvést pneumatický rozvod, zabezpečit těsnost spojů a připojit pneumatické válce do sestavy. Potřebný rozměr rozepnutí a sepnutí čelistí se odvíjel od rozměru upínaného dílu. K tomu se vztahovaly rozměry upínacích čelistí a výška zdvihu pneumatického válce, mezi nimiž byla vazba. Jako dostatečná byla stanovena výška

zdvihu válce v rozmezí 20 mm. Připojení na válec je možné přes závit M6, který bude vyroben na tažném čepu. Vodící čep je veden v kalibrickém otvoru středového segmentu tak, aby nedocházelo k vychýlení směru.



Obr. 72 Část 2. – rozvodná

Návrh se po konzultaci a návrhu konstrukce stával realizovatelným a z pohledu výroby byly všechny díly navrženy tak aby byly kompatibilní s pneumatickými prvky. Rozvod vzduchu na stroji byl připraven a úvaha směřovala z původně mechanických přípravků na kombinaci mechanického s pneumatickými prvky. Byla stanovena předběžná cena a zhodnoceny klady a zápory. Mezi hlavní výhody jednoznačně vynívala jednoduchost, jakou jsou díly upnuty. Tentokrát nebylo nutné k upnutí dílů použít páku nebo klíč, ale přepínací dvupolohový ventil, který přepínal přívod nebo odvod tlaku plynu do přípravku. Tímto jednoduchým přepnutím by se ovládalo všech 14 stanic na přípravku, což by znamenalo 14 dílů na jedno upnutí. Vnější rozměry přípravku umožňují umístit na stůl zvoleného stroje 3 tyto sestavy, což znamená 42 kusů ve stroji na jeden obráběcí cyklus.



## 10.5 Zhodnocení upínacích přípravků

Na začátku výroby se uvažovalo o stávajícím druhu upínání, které se projevilo po týdnu užívání z kapacitních důvodů jako nedostatečné. Nebylo možné rozšířit směnu ani nijak upravit podmínky a zvýšit tím kapacitu výroby. Denní výkon byl jednoznačně ovlivněn výkonem pracovníka i při stanovení minimálního denního počtu kusů. Byla provedena analýza a vypracovány nové návrhy. Jako nejvhodnější návrh jsem zvolil kombinaci mechanického a pneumatického přípravku z několika hlavních důvodů:

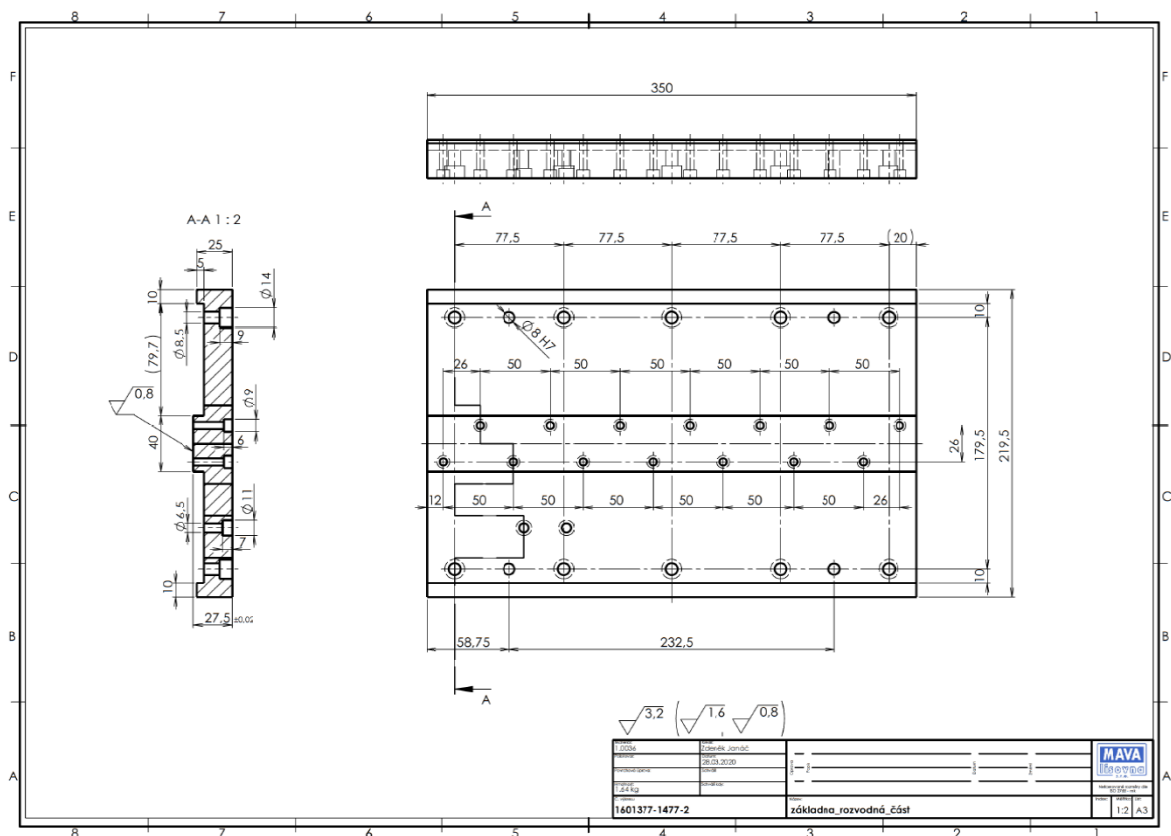
- Rychlost upnutí dílů
- Vyrobitelná koncepce
- Univerzálnost v závislosti na rozměrech čelistí
- Ekonomická návratnost
- Budoucí možnost na zavedení automatizace
- Normalizované a kompaktní pneumatické prvky

Kompletní návrh byl předložen vedení a po krátké konzultaci odsouhlasen k výrobě. Převzal jsem kompletní 3D data od konstrukčního oddělení a začal pracovat na rozvržení výrobního plánu. Podílel jsem se na návrhu a vedl jednání s dodavatelem pneumatických prvků. Mým hlavním úkolem je celý přípravek vyrobit, kompletně připravit výrobní technologie, připravit programy pro obrábění, zajistit obrobení součástí, montáž a konečná praktická zkouška na stroji. Celý výrobní cyklus je považován za dokončený ve chvíli, až je přípravek zaveden do každodenní sériové výroby.

## 11 VÝROBA PNEUMATICKÉHO PŘÍPRAVKU

Upínací i rozvodná část přípravku je konstruována tak, aby byly vyrobitelné na strojích, které firma vlastní. Kooperace výroby by byla možná, ale pokud lze konstrukci ovlivnit tak, že lze vše vyrobit přímo v podniku, ovlivňuje se tím ekonomická stránka výroby, a stejně tak i termín výroby. Před započítím výroby je nezbytné, stejně jako tomu bylo u výrobku, stanovit technologický postup výroby součástí.


Počáteční fáze výroby začíná na pracovišti technické přípravy výroby. Pracovník přebírá od konstruktéra výkresy dílů a na druhou stranu výkresu doplní technologický postup výroby. Tímto postupem se pak řídí výroba, především vedoucí výroby dohlíží na dodržování technologického postupu a přemístění dílů z jednotlivých pracovišť na další.



Obr. 73 Strana 1 - Výrobní výkres základny rozvodné části

Po přečtení výkresu se přípravař výroby obrací na technologa s dotazem na doporučení správného technologického postupu. Přípravař pak rozhoduje o umístění na konkrétní pracoviště ve firmě, případně o kooperacích. Výkres společně s technologickým postupem na

druhé straně výkresu předává vedoucímu výroby, který zajistí počátek výroby na 1. pracovišti dle technologickém postupu.

 <b>TECHNOLOGICKÝ POSTUP</b>		Číslo objednávky : 1420	Počet kusů objednaných: 1			
		Číslo výkresu : 1601377-1477-2	Počet kusů vyrobených :			
		Název dílu : základna_rozvodná_část	Datum zadání do výroby : 27.1.2020			
		Materiál/jakost : 1.0036 - tl. 30 mm	Termín dodání : 28.2.2020			
Vpracoval: Michal Rus Dne: 27.1.2020		Rozměr : 350 x 219,5 x 27,5 (mm)	Skutečný termín dodání :			
Číslo operace :	Pracoviště :	Popis operace	Počet kusů	Vyrobil:	Kontroloval :	Poznámka :
1	Dělna - pásová pila	Řeže s přídávkem na rozměr 352 x 222				ojehlí, dodá na Obráběcí centrum
2	Obráběcí centrum	Kompletně obrobí - 1.upnutí				
3	Obráběcí centrum	Kompletně obrobí - 2.upnutí				ojehlí, dodá na Nástrojárnu
4	Nástrojárna	Brousí rozměr 27,5 (+/- 0,02)				dodá na montáž
5	Montáž	Montuje do sestavy přípravku				č.v. 1601377-1477-1
6						
7						
8						
9						
10						

*Obr. 74 Strana 2 – Technologický postup výroby*

Na každém pracovišti probíhá kontrola, kterou provádí kontrolor výroby. Díl vyroben v nesouladu s výkresem je vyřazen, je zahájeno řízení o neshodném výrobku, které vede manažer kvality a vyrábí se znovu. Tím je zajištěna kvalita výroby a eliminace neshodných dílů při výrobě.

### 11.1 Stanovení výrobního postupu

Na počátku výrobního postupu se stanoví sled výrobních operací. Technologické postupy, vydané spolu s výkresy, se v první fázi předávají na dělnu materiálu, kde obsluha dělny ze skladu odebírá a zpracovává materiál jakosti dle předpisu na výkresech. Správnost ověřuje pomocí skladových karet, které vydává příjem skladu materiálu. Pracovník dělny po nadělení materiálu polotovaru ojehlí a předává na další výrobní operaci, kterou je obrábění.

Tento vstup mají všechny obráběcí operace stejné. Pracují s polotovarem, získaným dělením materiálu, s přídávkem na obrábění. Zde se už díly třídí na jednotlivé obráběcí stanoviště dle specifikovaných strojů výrobním postupem. Pokud se jedná o díl z konstrukční oceli, v případě navrženého přípravku nepostupuje žádné tepelné zpracování, pokud se jedná o díl z oceli nástrojové, ten putuje na tepelné zpracování, které se provádí v kooperaci.

Po obrábění na obráběcích centrech, případně po tepelném zpracování, se provádí dokončovací operace, kterou je broušení, leštění, dokončování ploch nebo rovnání. Všechny tyto operace jsou nezbytné k dokončení výrobní fáze tak, aby byly finální díly připraveny k montáži.

Montáž probíhá za dozoru technologa a konstruktéra, u těch se celý nápad zrodil a znají funkčnost a princip přípravku, proto jsou nápomocni montáži. U externích dodavatelů je objednan kooperanty všechny spojovací materiál potřebný ke smontování dílů. Zároveň na montáž byly objednány všechny pneumatické prvky od společnosti SMC a po proškolení lze provést montáž svévolně bez asistence technika pneumatických prvků.

Smontováním částečně bude končit výrobní fáze, nicméně dokud nebude přípravek plně funkční, nelze předpokládat, že nebudou probíhat výrobní úpravy či seřízení. Poté tedy nastává zkušební provoz na stroji s polotovary obráběných dílů, pro které je celý přípravek vyráběn.

## 11.2 Dělení materiálu

Před předáním podkladů technické přípravě výroby je stanoveno konstrukcí, které díly jsou vyrobeny z konstrukční oceli a které z nástrojové. Z nástrojové oceli jsou vyrobeny ty díly, které přichází do kontaktu s obrobkem, což jsou upínací čelisti, nebo ty díly, které jsou nějakým způsobem namáhány či dochází k opakovanému tření funkčních ploch. Jako konstrukční ocel byla zvolena dle DIN ocel 1.0036, jedná se o jednu z nejpoužívanějších jakostí pro běžné strojní díly. Tato ocel je běžně držena skladem, v případě nedostatku je standardně uložena na skladech dodavatele materiálu, jedná se o dostupný materiál.

Díly z nástrojové oceli jsou vyrobeny z jakosti dle DIN 1.2379. Jedná se o prokalitelnou ocel s výbornými vlastnostmi, hlavní předností je vynikající odolnost proti opotřebení.

K dělení materiálu je k dispozici automatická pásová pila na kov s podavačem materiálu. Tato pila nabízí automatický režim pro řezání z tyčí, nebo poloautomatický režim pro nařezání konkrétního rozměru. Obsluha reguluje rychlost posuvu ramene pily a volí druh pilového pásu podle materiálu, který bude dělit. Po nadělení posledního rozměru napíše do technologického postupu skutečný naměřený rozměr, který byl nařezán z důvodu provedení korekcí na dalším stanovišti. Proběhne výstupní kontrola rozměrů a jakosti naděleného materiálu a ten může putovat na obráběcí operace.

## 11.3 Obrábění

Materiál je postupně navážen k jednotlivým obráběcím strojům a probíhá příprava technologie na obrábění dílů. Díky sdílení dat s konstrukčním oddělením mám k dispozici všechny modely, které jsou potřebné k využití programování v CAM softwaru. V zásadě lze přípravu rozdělit do tří základních fází:

- 1) Příprava a simulace v CAM softwaru
- 2) Vygenerování a korekce programu
- 3) Spuštění programu na stroji

Každá fáze z uvedených je každodenní prací technologů obráběcích strojů, protože zodpovídají za správnost své technologie. Obsluha stroje může ovlivnit případné poškození nástrojů nebo obrobku jen v částečné míře, z větší části musí spoléhat na zkušenosti technologa.

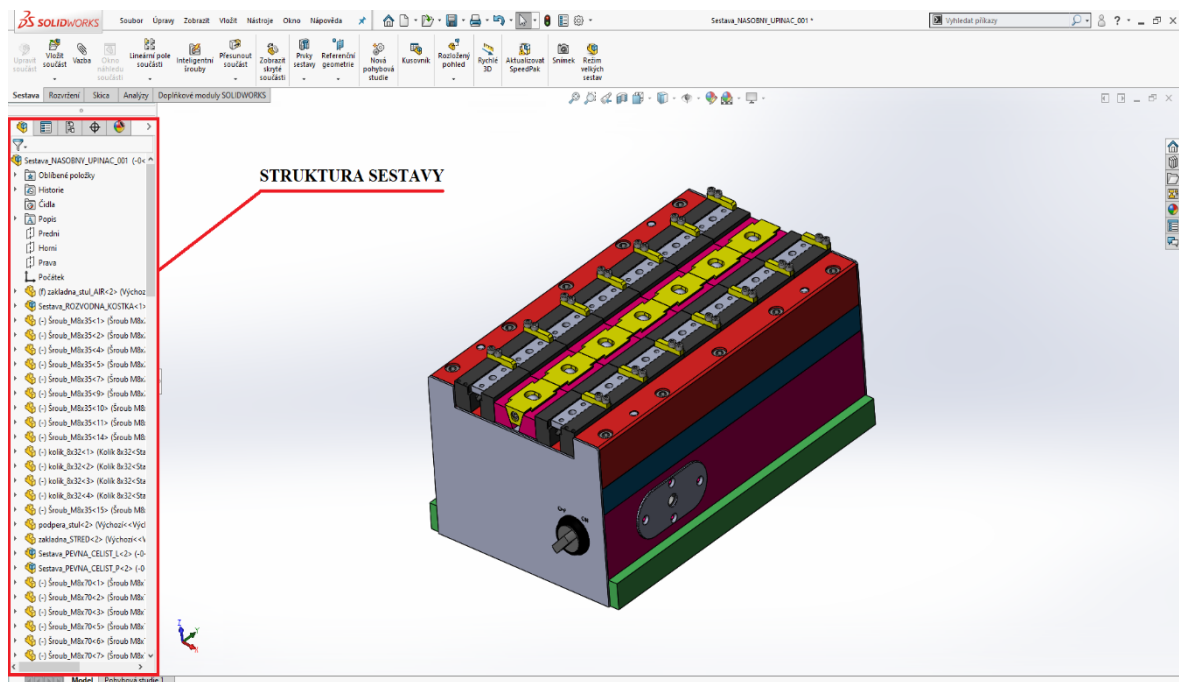
### 11.3.1 Příprava a simulace v CAM softwaru

Softwarové vybavení dostupné k programování součástí je na velmi dobré úrovni. Pravidelná investice do aktualizace softwaru nabízí nejnovější výrobní cykly, které vývojáři vydávají. To vše udržuje konkurenceschopnost firmy na trhu, a vedení společnosti si uvědomuje, jak důležitou roli hraje právě kvalita použitého softwaru. Vývoj jen za posledních 5 let prošel neskutečnou proměnou, kdy jsem měl za tuto dobu možnost porovnat hrubovací cykly na mnoha vyrobených dílech. Rozdíl ve výrobních časech teď a před pěti lety, kdy byl software poprvé zaveden, jsou skutečně obrovské. Proto považuji vývojáře společnosti Autodesk za velmi inovativní. Mám možnost porovnat jednotlivé softwary na mnoha konferencích, kterých se během roku zúčastňuji, stejně tak jako na domácích i zahraničních veletrzích.

Příprava technologie, stejně jako v případě přípravy technologie pro výrobu dílu v předchozích kapitolách, bude probíhat v CAM softwaru HSMWORKS, který je implementován v CAD softwaru Solidworks, momentálně oba softwary aktualizovány ve verzi 2020.

Z databáze, vedené na podnikovém serveru, jsou k dispozici zaměstnancům technologie a konstrukce data, která společně ukládají. Struktura je rozdělena na část výrobních zakázek, zde se nachází díl, na který je upínací přípravek vyráběn a část interních zakázek, kde se nachází zmíněný pneumatický přípravek. Rozdělení struktury je důležité z hlediska evidence zakázek v podniku a rozpadu struktury na jednotlivá oddělení, které dál s daty pracují.

Otevřením modelu sestavy se zobrazí celková struktura ve stromu sestavy.



Obr. 75 Struktura sestavy

Dlouhodobější spoluprací s konstrukcí jsou data připravena tak, aby bylo možné dále zpracovat při přípravě technologie. Výhodou použití stejného softwaru v celém podniku je především možnost vepsání různých poznámek, které nejsou obsaženy ve výkresech. Lze zde vkládat např. poznámky o historii modelování či případných dopadech během změnového řízení a důvody těchto změn.

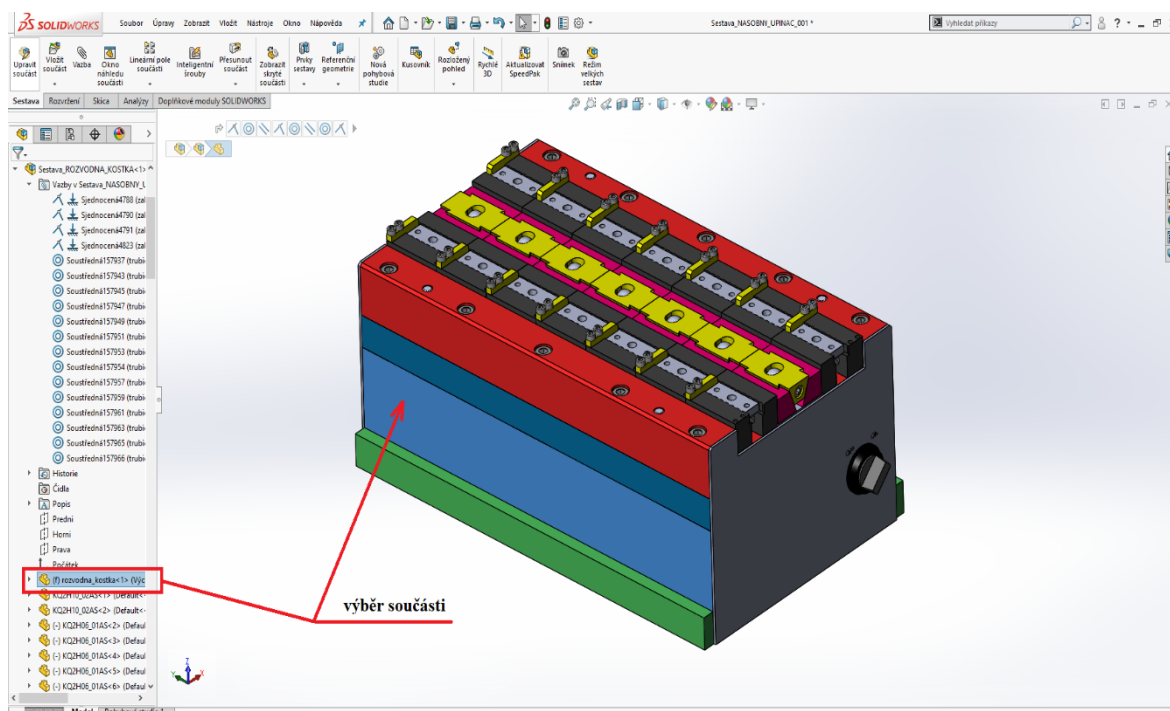
Databáze ve složce pneumatického přípravku obsahuje model sestavy, modely podsestav, jednotlivých dílů a kompletní výkresovou dokumentaci. To jsou všechna data potřebná k vytvoření technologie pro obrábění.

Z interního systému řízení výroby je vyfiltrováno, které díly postupují na pracoviště obrábění. Z nich je pak vytvořen seznam dílů a začíná probíhat jejich postupné zpracování. Materiál se během této přípravy nadále postupně dělí a v systému lze zaznamenat, který je již připraven k obrábění. Tento impuls rozhodne, na kterém díle se začne pracovat tak, aby bylo možné ihned navázat na obrábění a nevznikal prostoj ve výrobě.

Ve struktuře sestavy je označen díl, na kterém se začne připravovat technologie výroby. Ten je pomocí příkazu otevřen a následně se přepne do samostatného prostředí pro práci na konkrétním díle. Díl je vymodelován konstruktérem a není nutné na něm provádět po schválení

konstrukční změny, proto se stačí jednoduchým přepnutím záložky na stejném prostředí dostat do nabídky CAM softwaru.

U každého dílu před začátkem programování musí být stanoveno, na kolik upnutí bude obroben. Jelikož jsou díly připraveny jako polotovary z desek, neprochází žádným dalším hrubováním před obráběním na obráběcích centrech. Tato skutečnost je brána v úvahu při programování a případné úhlování polotovaru zahrnuto do výrobních cyklů.



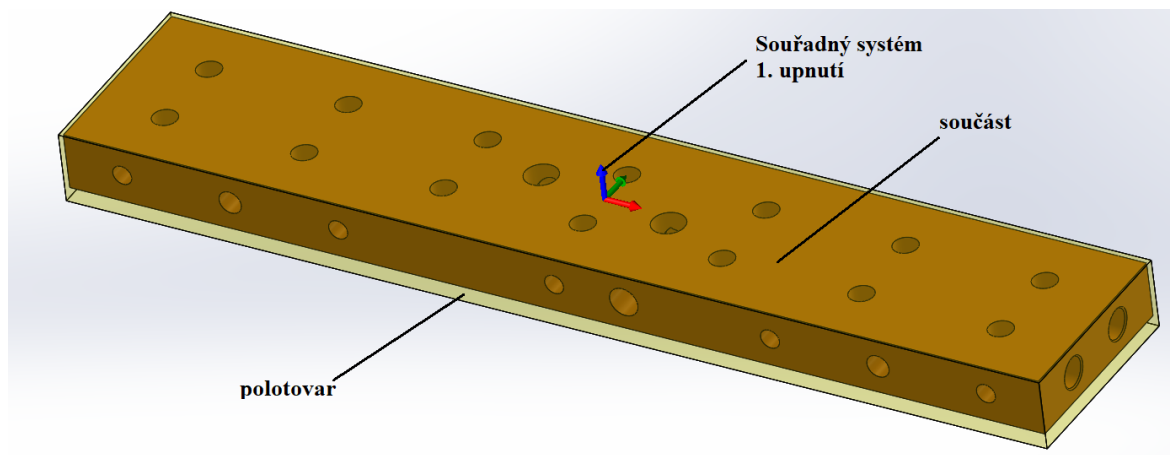
Obr. 76 Výběr součásti ze sestavy

Jako první díl, na který je připraven materiál, je rozvodná deska pro vedení stlačeného vzduchu. S tímto modelem začne příprava technologie.

### 11.3.2 Vygenerování a korekce programu

Model je kompletní, všechny plochy definovány správně a nevykazuje ani chyby neuzavřených kontur během modelování. Je tedy použitelný k přípravě technologie. Jako technolog musím v prvním kroku rozhodnout o počtu upnutí potřebných ke kompletnímu obrobení dílu. Od toho se odvíjel i návrh polotovaru. Rozměry tohoto konkrétního dílu po obrobení jsou 350 mm x 67,5 mm x 20 mm. Na obrábění byl stanoven přírůstek, aby bylo možné provést zároveň co nejpřesnější úhlování rozměru. Vstupní polotovar má tedy rozměr 352 mm x 70 mm x 25 mm.

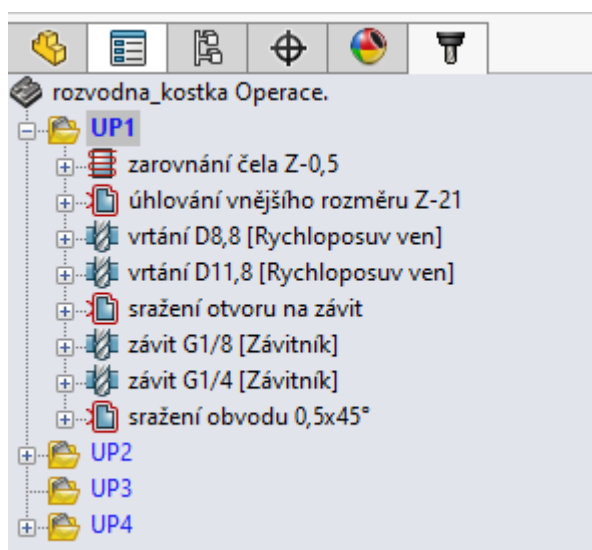
Na obr. 77 je porovnání připraveného polotovaru a obráběného dílu. To je první věc, kterou jako technolog definuji před začátkem přípravy technologie. Přípravář výroby mě kontaktoval při přípravě technologického postupu, aby byl předem definován vhodný polotovar.



Obr. 77 Příprava technologie – 1. upnutí

Následuje návrh umístění souřadného systému k danému upnutí součásti. Souřadný systém musí být definován v závislosti na výrobním výkrese, kde jsou definovány všechny funkční rozměry nezbytné k bezchybnému fungování sestavy.

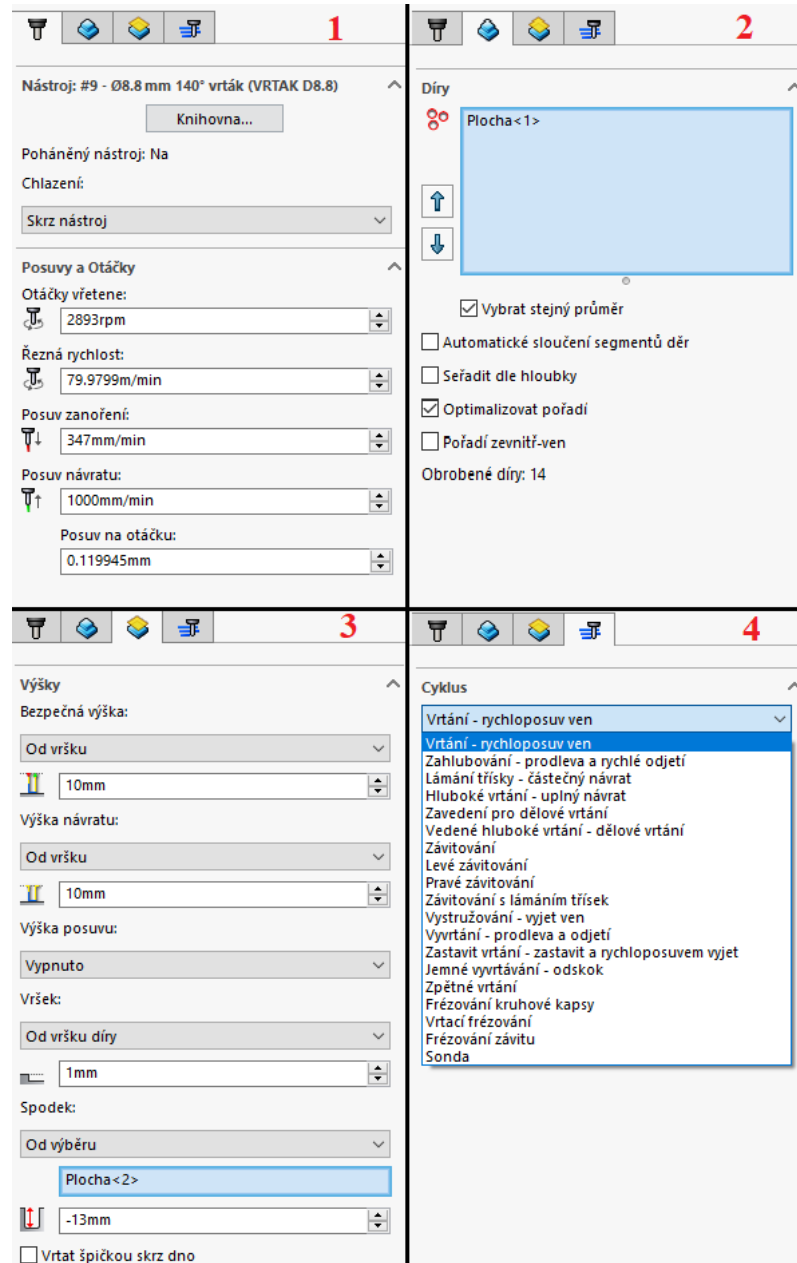
Po definování těchto nezbytných parametrů se přechází k přípravě technologie. Každý CAM software má rozdělené technologie do základních podskupin. Ty jsou zpravidla rozděleny na cykly pro osové operace (vrtání, závitování, vystružování..), 2,5-osé obrábění, 3-osé obrábění a 5-ti osé obrábění. 5-ti osé obrábění má ještě k dispozici cykly pro indexované nebo souvislé obrábění, což závisí na typu stroje.



Obr. 78 Příprava cyklů – 1.upnutí



Připravená technologie musí mít zákonitě stejnou posloupnost, jakou bude mít na stroji při obrábění. Operace nelze libovolně přeskakovat, aby nedocházelo ke kolizím nástroje s obrobkem.



Obr. 79 Konfigurace cyklu vrtání

Na obr.79 je zobrazen stav po otevření nabídky úpravy cyklu. Konfigurace cyklu je rozdělena do čtyř záložek. V první části je zobrazen vybraný nástroj a definice řezných podmínek. Ty se stanovují na základě rozmezí, které udává dodavatel nástrojů. Volba řezných podmínek vždy závisí na technologovi, pokud nejsou konkrétní hodnoty zvoleny na základě zkušeností z předchozího obrábění, případně jasném doporučení dodavatele nástrojů. To se však

u většiny případů nestává, protože dodavatel nástrojů by tím přebíral zodpovědnost za stanovené rezné podmínky, jakožto i za případnou způsobenou škodu na nástrojích.

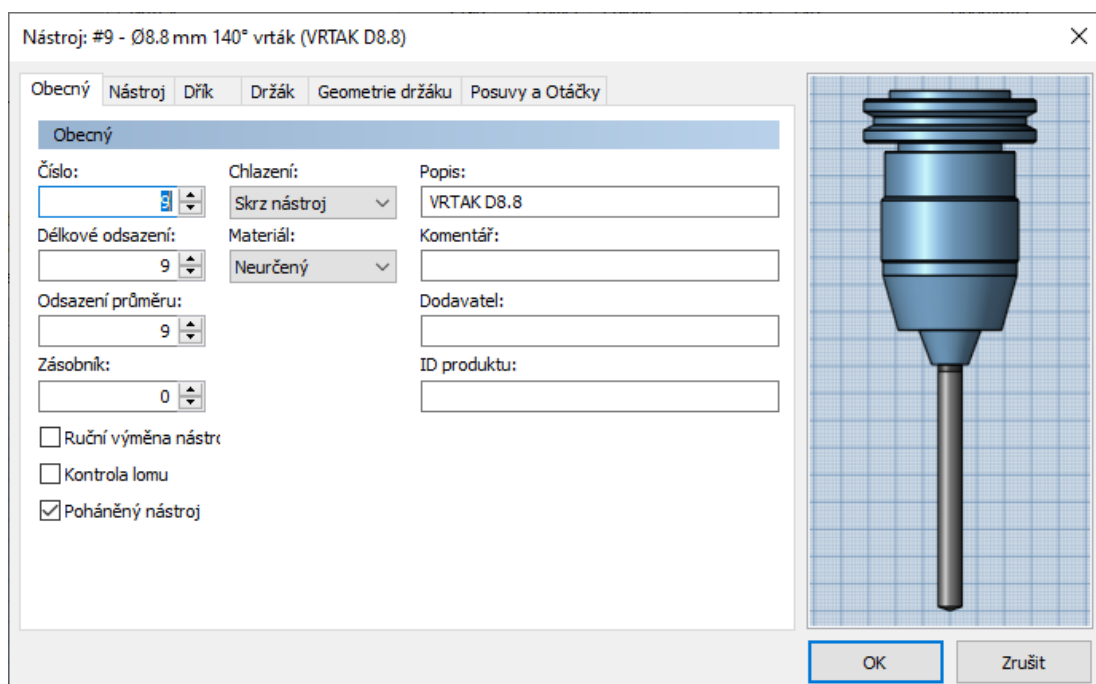
V části druhé se definují plochy na modelu, které jsou vybrány k obrábění. Výběr lze znásobit, pokud se jedná o geometricky stejné tvary.

Třetí část je určena pro programování výšek v ose Z, ta se rovněž definuje na modelu výběrem ploch. Zde jsou důležité hodnoty hloubky obrábění, bezpečnostní výšky nad polotovarrem, přejezdové výšky a referenční výšky nástroje.

Čtvrtá část slouží k výběru cyklů, které jsou použity k obrábění. Jak lze vidět, rozsah je velmi široký. U frézování je tato část nahrazena, nabídka nenabízí výběr cyklů, ale možnosti definice nájezdů a odjezdů frézovacích nástrojů.

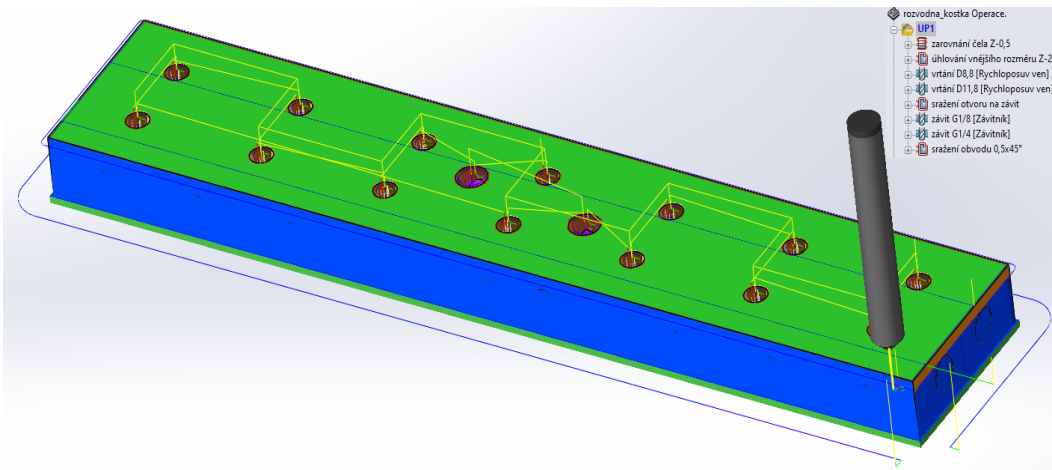
Tento CAM software je velice pokročilý a programování v něm velmi intuitivní, proto oceňuji přehlednost jednotlivých záložek a nápovědu, která uživatele vede postupnými kroky až k dokončení programu.

Za zmínku určitě stojí konfigurace knihovny nástrojů. Z té lze opakovaně používat nástroje, které jsou reálně k dispozici. Definuje se název a označení nástroje, jeho konkrétní geometrie, geometrie držáku nástroje a lze předdefinovat i rezné podmínky na konkrétní materiál. Všechna tato data, uložená v knihovně nástrojů, zjednodušují a urychlují programování. K výpočtu teoretického času a predikci kolizí jsou nezbytné pro simulaci obrábění.



Obr. 80 Konfigurace knihovny nástrojů

Ověření správnosti technologie proběhne spuštěním simulace. Při podřezání polotovaru je zvýrazněno, která oblast je podřezána. Rovněž lze vidět všechny dráhy nástrojů, přejezdy a případné kolize. Simulace pomáhá technologovi předcházet kolizím, což je velká výhoda CAM systémů. Jakákoliv změna technologie je okamžitě aktualizována a při přepočítání drah nástrojů se mění i výsledek simulace.



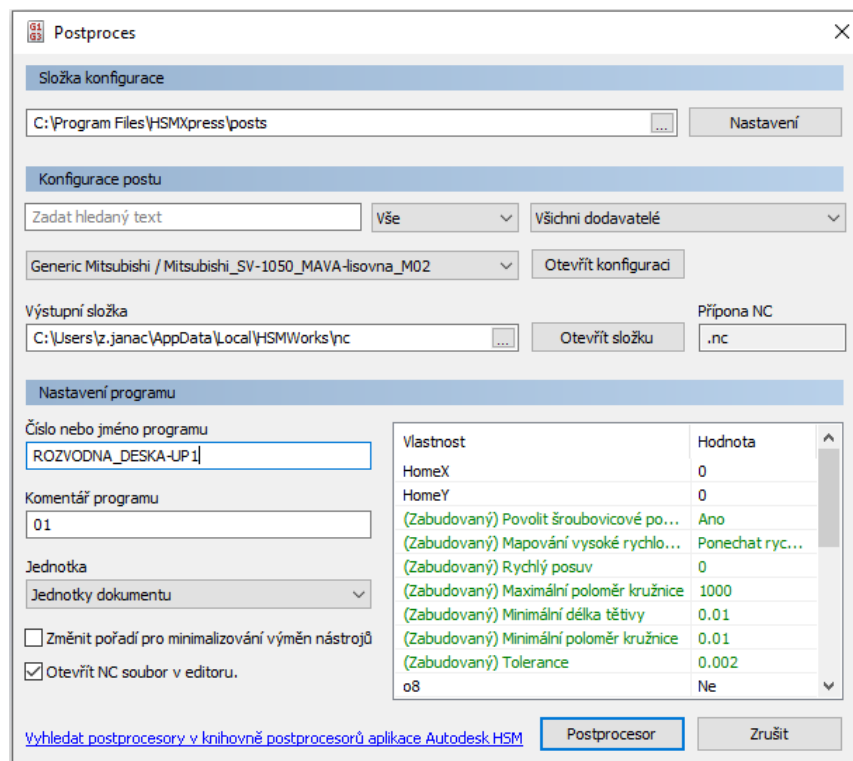
Obr. 81 Simulace – 1.upnutí

Stejným způsobem jsou vytvořeny zbývající upnutí, které je nutné připravit ke kompletnímu obrobení dílu.

Jsou tedy připraveny 4 upnutí na výrobu tohoto dílu. Každé upnutí je rozděleno do samostatné složky. Tím, jak postupuje simulace obrábění, je vždy na konci simulace uložen nový polotovar, který je připraven pro použití na programování dalšího upnutí. Tím se pracuje vždy s aktuálním polotovarem a předchází se prázdným drahám, které by generoval automatický cyklus při zpracování.

Konečná fáze přípravy je vygenerování programu. K tomu slouží postprocesor na konkrétní stroj. V něm jsou uloženy informace, jakým způsobem má vygenerovat připravené technologické cykly do ISO kódu. Na každé upnutí bude vygenerován samostatný program, stejně jako při přípravě technologie v CAM systému. Výstup probíhá ve formátu, který je předdefinován systémem stroje. Systém Mitsubishi, na kterém bude díl obráběn, pracuje s programy ve formátu .NC, což bude konečná přípona názvu programu. Název bude obsahovat název dílu a pořadí upnutí. Vygenerovaný program má tedy podobu ROZVODNA\_DESKA-

UP1.NC. Ještě před vygenerováním programu lze ovlivnit některé parametry, jako je např. pozice návratu jednotlivých os nebo přidání jednotlivých poznámek do hlavičky programu.






Obr. 82 Prostředí před generováním programu

Program lze i po vygenerování otevřít v počítači v textovém editoru operačního systému nebo mnohem lepší způsob je instalace NC editoru, dostupných na internetu. Ty dokáží rozpoznat ISO kód a barevně od sebe rozlišit jednotlivé příkazy, úpravy programu mimo CAM jsou pak uživatelsky mnohem přívětivější pro uživatele. Příprava programu končí jeho přenosem po firemní síti do adresáře stroje. Zde jsou rozděleny programy do jednotlivých složek, aby byly srozumitelné pro obsluhu stroje. Tento program byl zaslán do adresáře určeného pro interní přípravky. Informace o vytvoření nového programu a jeho umístění technolog předává obsluze a konkrétní umístění programu je zapsáno na seřizovacím listu.

### 11.3.3 Spuštění programu na stroji

Pokud se jedná o díly, které se nebudou vyrábět opakovaně a nejedná se o sériové díly je velmi vhodné, aby byl technolog přítomný u spuštění programu a obsluze sdělil, jakým způsobem byl program vytvořen. Obsluha od technologa získá seřizovací list, který se přidává

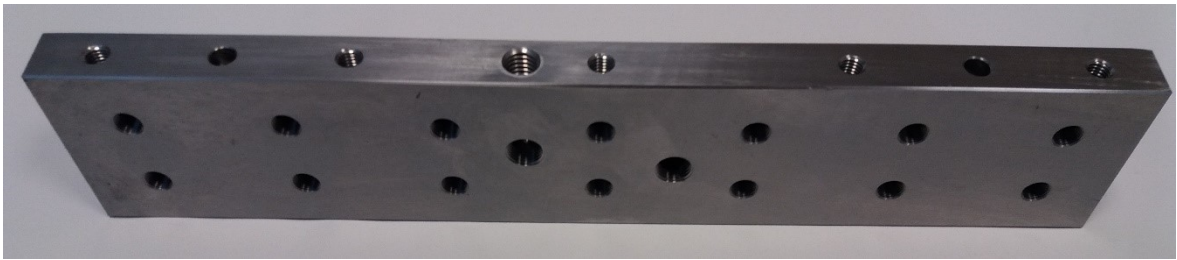
k výrobnímu výkresu. Dle tohoto listu obsluha připraví nástroje a získává základní informace o sledu výrobních informacích a použitých nástrojích. Další informace jsou uloženy v hlavičce programu.

<b>Operation Sheet for Program 01</b>			
<p>KOMENTAR PROGRAMU: 01  CESTA DOKUMENTU: F:\UTB-fakulta Technologická\ING-studium\DP\PAWS\clamp_multiple_parts\metric\rozvodna_kostka.SLDPRT  POZNAMKY:  XY-STRED, Z-MAX</p>			
<b>Celkem</b>			
<p>POCET OPERACI: 8  POCET NASTROJU: 7  NASTROJE: T1 T2 T9 T15 T17 T25 T26  Max. Z: 15.5mm  MIN. Z: -22mm  Max. POSUV: 1709mm/min  Max. OTACKY VRETENE: 6373ot/min  DELKA OBRABENI: 3669.62mm  DELKA RYCHLOPOSUVU: 2784.5mm  ODHADOVANY CAS CYKLU: 16 m:49 s</p>			
<p>Operace 1/8  POPIS: zarovnání čela Z-0,5  STRATEGIE: Celní  POCATEK: #0  TOLERANCE: 0.01mm  Max. STRANOVY KROK: 47.5mm</p>	<p>Max. Z: 10.5mm  MIN. Z: 0mm  Max. OTACKY VRETENE: 955ot/min  Max. POSUV: 460mm/min  DELKA OBRABENI: 761.4mm  DELKA RYCHLOPOSUVU: 21mm  ODHADOVANY CAS CYKLU: 1 m:40 s (9.9%)  CHLAZENI: Kapalina</p>	<p><b>T1 D1 L1</b>  Typ: čelní fréza  PRUMER: 50mm  DELKA: 50mm  BRITY: 4  DRZAK: BT40 - B4C3-0040</p>	
<p>Operace 2/8  POPIS: úhlování vnějšího rozměru Z-21  STRATEGIE: 2D Kontura  POCATEK: #0  TOLERANCE: 0.01mm  PRIDAVEK: 0mm  Max. STRANOVY KROK: 23.75mm</p>	<p>Max. Z: 11.5mm  MIN. Z: -22mm  Max. OTACKY VRETENE: 1018ot/min  Max. POSUV: 250mm/min  DELKA OBRABENI: 901.5mm  DELKA RYCHLOPOSUVU: 65mm  ODHADOVANY CAS CYKLU: 3 m:37 s (21.5%)  CHLAZENI: Kapalina</p>	<p><b>T2 D2 L2</b>  Typ: válcová fréza  PRUMER: 25mm  DELKA: 40.5mm  BRITY: 3  POPIS: FREZA D25  DRZAK: Maritool CAT40-ER32-2.35</p>	
<p>Operace 3/8  POPIS: vrtání D8,8  STRATEGIE: Vrtání  POCATEK: #0  TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>Max. Z: 11mm  MIN. Z: -13mm  Max. OTACKY VRETENE: 2893ot/min  Max. POSUV: 347mm/min  DELKA OBRABENI: 196mm  DELKA RYCHLOPOSUVU: 968.5mm  ODHADOVANY CAS CYKLU: 46 s (4.5%)  CHLAZENI: Skrz nástroj</p>	<p><b>T9 D9 L9</b>  Typ: vrták  PRUMER: 8.8mm  UHEL SPICKY: 140°  DELKA: 90.54mm  BRITY: 1  POPIS: VRTAK D8.8  DRZAK: Maritool CAT40-APU13 Drill Chuck</p>	

Obr. 83 Seřizovací list

Obsluha připraví a upne polotvar na stroj. Pro výrobu přípravků jsou k upínání používány nejčastěji modulární svěráky, případně jsou větší díly upnuty přímo na stůl stroje a zajištěny upínkami. V poznámkách ke každému upnutí je v hlavičce programu uvedeno, jak má být díl upnut a jaká je maximální hloubka obrábění. To jsou pro obsluhu důležité informace, protože volí výšku podložek do svěráku. Za mé přítomnosti probíhá obrábění rozvodné desky a po každém upnutí je provedeno měření na kontrolním pracovišti kontrolorem výroby dle výkresu. Pokud je výrobek shodný, následuje příprava nového upnutí, které předepíše

seřizovací list. Výsledkem je vyrobený díl, který od digitálního modelu prošel přes přípravu až k použitelnému dílu a po výstupní kontrole rozměrů ho lze předat na další pracoviště.



*Obr. 84 Vyrobená rozvodná deska*

#### 11.3.4 Průběh obrábění dílů

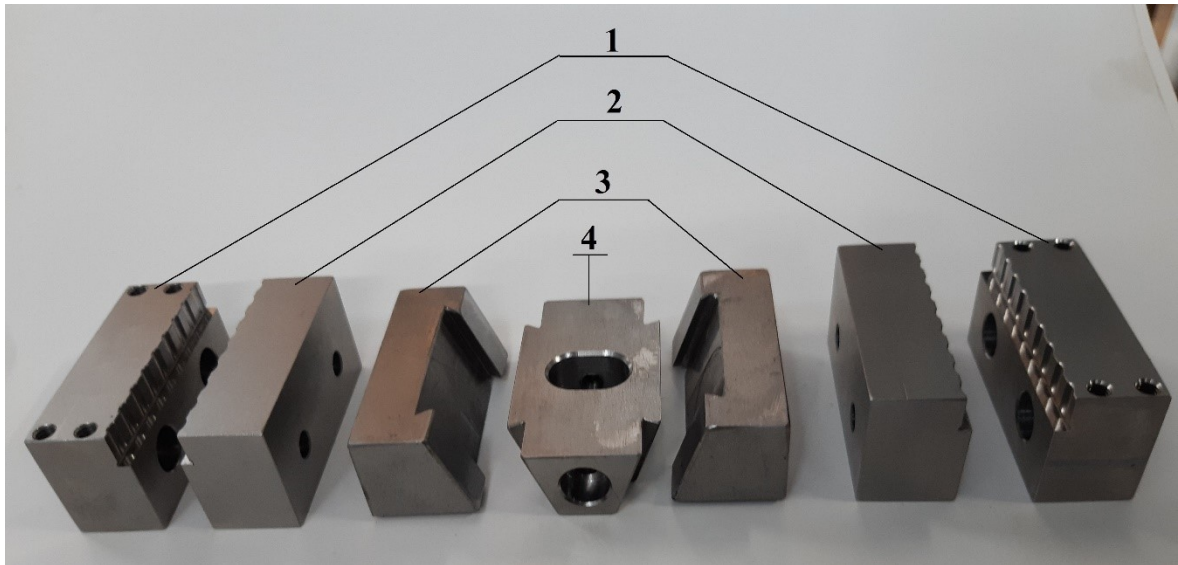
Naprostoj stejným způsobem, jako výroba rozvodné desky, probíhá příprava a výroba ostatních dílů přípravku. Obsluha se drží příkazů uvedených v programech a seřizovacích listech a za mé průběžné přítomnosti se vyrábí všechny potřebné díly, nezbytné ke smontování přípravku. Každý díl je odeslán na kontrolu kvality, aby se ke konečné montáži nedostal žádný neshodný výrobek, který by narušil funkčnost sestavy. Technologické úpravy z mé strany se týkají hlavně přejezdových výšek, doporučení na upnutí, nebo změn řezných podmínek.

Cílem je obrábět díly postupně a navázat výrobou všech komponentů sestavy za sebou. I když se nejedná o výrobní zakázku, ale interní přípravek, časový fond, vyhrazen na výrobu, je poměrně malý. Závisí na dalším vývoji stěžejní zakázky pro důležitýho zákazníka. Pokud jsou naděleny díly z nástrojové oceli, ty vždy mají přednost před díly z oceli konstrukční, protože před kompletací ještě přechází na tepelnou úpravu do kooperace.

Díly vyrobeny z nástrojové oceli jsou sada čelistí, které upínají díly. Profil čelisti byl speciálně upraven, což bylo doporučeno konstrukcí. Z výrobního hlediska se jednalo o jednoduchou technologickou úpravu, která měla napomoci k eliminaci nepřesnosti na povrchu polotovaru. Klínové díly, na které jsou čelisti ukotveny pomocí šroubů, jsou taktéž vyrobeny z nástrojové oceli. Šikmé plochy těchto dílů budou ve stálém kontaktu s klínem středovým, taktéž vyrobeným z nástrojové oceli. U těchto dílů dochází k opakovaným pohybům a cílem bylo zmenšit opotřebení třecích ploch zvýšením tvrdosti zakalením na 60 HRC +/-1. Aby nedocházelo k větším deformacím, bylo zvoleno vakuové kalení, které bylo doporučeno na základě tvaru a materiálu odborníky z oblasti tepelného zpracování, u kterých se kalení provádělo.



Všechny tyto díly jsou zobrazeny na obr. 85. Jsou vyrobeny z nástrojové oceli jakosti dle DIN 1.2379. Pevné čelisti mají vyroben 4x závit M4 na montáž dorazu dle potřeby.



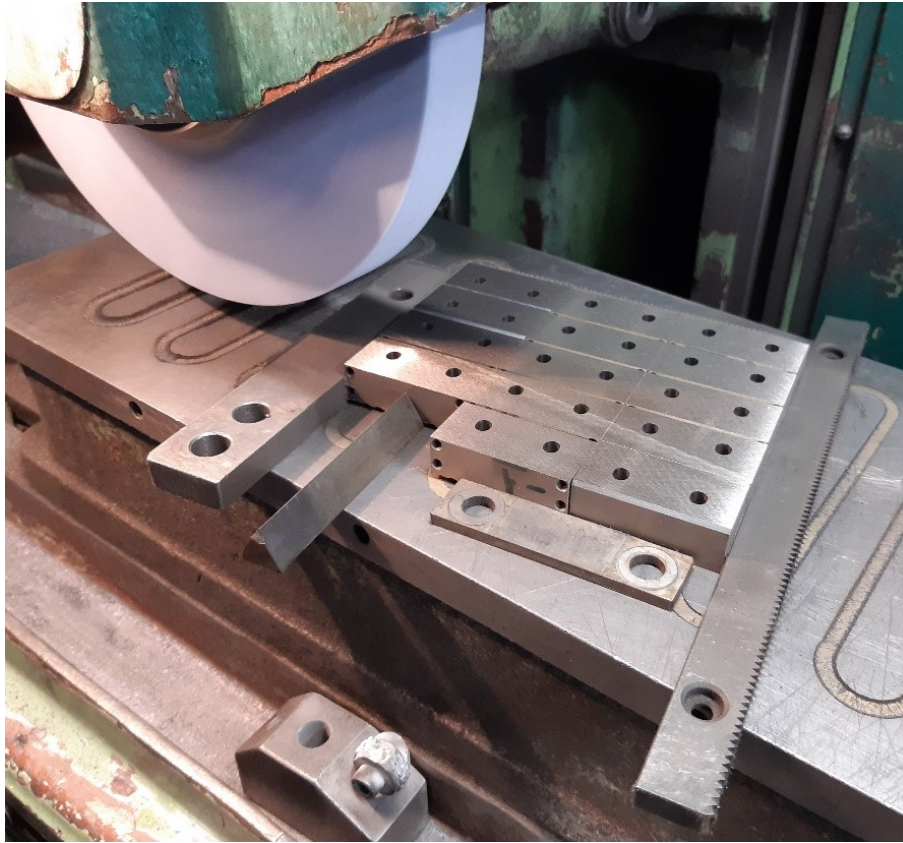
Obr. 85 Díly upínací sestavy

1 – pevné upínací čelisti, 2 - pohyblivé upínací čelisti, 3 - pohybové klíny, 4 – středový klín

### 11.3.5 Broušení

Týden byla doba, kterou si stanovil dodavatel jako termín na tepelné zpracování zaslaných komponentů. Po této době byly díly vyzvednuty v kalírně, kde k nim byl přiložen certifikát o provedené zkoušce tvrdosti. Zde bylo zjištěno, že díly splňují požadovanou tvrdost a můžou postoupit dále do výroby.

Následovalo tedy broušení. Na dílech byl při obrábění vnějších ploch ponechán přídavek na broušení. V nástrojárně je k dispozici bruska na plocho a pracovník nástrojárny převzal díly k broušení. Na výkresech bylo stanoveno, které plochy je nutné brousit. Kromě ploch obvodových se jednalo o klínové plochy, kde byla požadována drsnost povrchu Ra 0,8. Stejně důležité bylo dodržet úhel klínových ploch, aby nedocházelo k nežádoucímu zvyšování odporu, který by byl způsobem nepřesností úhlových ploch. Broušení stejně jako jiné operace prochází průběžnou a výstupní kontrolou. Kontrolovány jsou konečné rozměry a drsnost broušeného povrchu. Deformace vzniklé kalením jsou mírné a přídavky na broušení byly dostatečné. Broušení bylo stanoveno jako konečná výrobní metoda a jednalo se o poslední díly, které bylo nutné předat na montáž sestavy.



*Obr. 86 Broušení čelistí po kalení*

### 11.3.6 Souhrn vyrobených dílů

V tabulce č.9 jsou shrnuty všechny díly. V předchozích kapitolách byla popsána posloupnost výroby od digitální tvorby z počítačového softwaru, úprav a korekcí programu, tak finální nastavení a konečnou výrobu. Jak již bylo zmíněno, výroba obráběných dílů byla řazena tak, aby díly vstupující do kooperace na tepelné zpracování byly obrobena jako první. Pak následovalo obrábění dílů z konstrukční oceli. Během výroby byly díly průběžně kontrolovány a pokud byly vyhodnoceny jako shodné, jsou odeslány na montáž nebo tepelné zpracování.

Během výroby se ukázalo, že všechny provedené korekce ze stran obsluhy byly provedeny správně a žádný z dílů nebylo nutné vyrábět znovu. K dílům jsou ve firemní síti k dispozici kontrolní protokoly. Ty jsou využívány v případě přípravků zpětně, pokud by bylo nutné provést úpravu na některém z funkčních rozměrů, u něhož by byla zjištěna nutná úprava. Může se to týkat například vůlí vodících ploch, nebo sklonu úhlu klínového systému, což využije především oddělení konstrukce. Jakmile jsou jednou data k dispozici, je to důležitá část databáze výrobního cyklu každého výrobku.



Tab. 9 Souhrn vyrobených dílů

Název dílu	Číslo výkresu	Jakost (dle DIN)	ks	Tepelné zpracování
Základna_rozvodná_část	1601377-1477-1	1.0036	1	-
Rozvodná_deska	1601377-1477-2	1.0036	1	-
Podpěrná_deska	1601377-1477-3	1.0036	1	-
Základna_upínací_část	1601377-1477-4	1.0036	1	-
Středový_segment	1601377-1477-5	1.0036	1	-
Pravá_kotevní_deska	1601377-1477-6	1.0036	1	-
Levá_kotevní_deska	1601377-1477-7	1.0036	1	-
Tažný_čep	1601377-1477-8	1.0036	7	-
Středový_klín	1601377-1477-9	1.2379	7	KALENO 60 HRC +/-1
Pohyblivý_klín	1601377-1477-10	1.2379	14	KALENO 60 HRC +/-1
Pohyblivá_upínací_čelist	1601377-1477-11	1.2379	14	KALENO 60 HRC +/-1
Pevná_upínací_čelist	1601377-1477-12	1.2379	14	KALENO 60 HRC +/-1
Doraz	1601377-1477-13	1.0036	14	-
Plech krycí čelní	1601377-1477-14	1.4301	1	
Plech krycí zadní	1601377-1477-15	1.4301	1	
Boční krytka	1601377-1477-16	1.4301	1	

Všechny obráběné frézované díly byly vyrobeny na stroji Akira-Seiki SV1350. Tento stroj je svými parametry určen k obrábění dílů přípravků a větších sériových dílů. K vyrobení dílu „Tažný čep“ bylo využito soustružnické centrum s poháněnými nástroji DMG MORI NLX 2000. Díly krytování byly vyrobeny z nerezové oceli jakosti dle DIN 1.4301, výroba proběhla laserovým vyřezáním z tabule plechu.

## 11.4 Montáž

Souhrn vyrobených dílů byl uveden v předchozí kapitole v tabulce č. 9, souhrn ostatních dílů nezbytných ke smontování sestavy je uveden v tabulce č. 10.

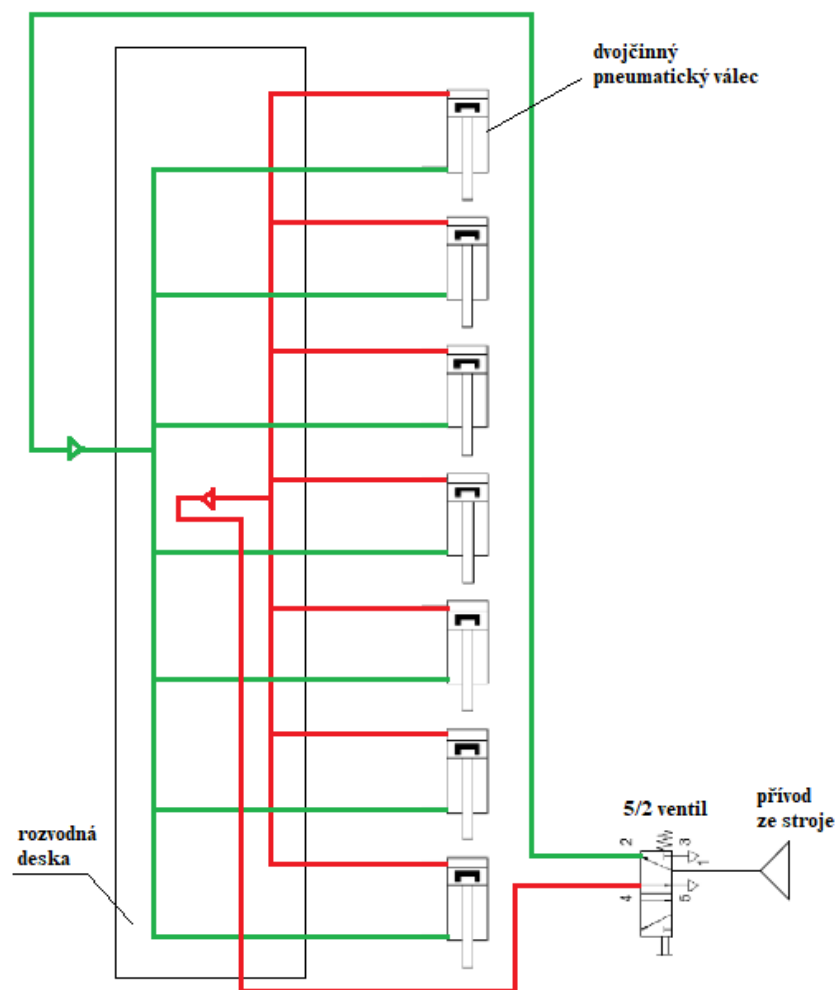
Tab. 10 Souhrn dílů k montáži

Název dílu	Číslo dílu	Dodavatel	Norma	ks
Válec pneumatický dvojitý	CD55B25-20	SMC	ISO 21287	7
Hadička 6x4 polyuretanová	TU0604BU-100	SMC		14
Hadička 10x6,5 polyuretanová	TU1065BU-100	SMC		2
Ventil ovládací 5/2, dvoupólový	VZM450-01-34B	SMC		1
Nástrčná spojka přímá d10xR1/4	KQ2H10_02AS	SMC		5
Nástrčná spojka přímá d6xR1/8	KQ2H06_01AS	SMC		14
Nástrčná spojka přímá d6xM5	KQ2H06_M5A	SMC		14
Tlumič hluku nástrčný R1/8	AN10_01	SMC		2
Nástrčná spojka úhlová d10xR1/4	KQ2L10_02AS	SMC		1
Zátka M12 s vnitřním šestihranem		ARKOV	DIN 906	4
Šroub s válcovou hlavou M8x20		ARKOV	DIN 912	10
Kolík válcový m6 8x32		ARKOV	DIN 7A	4
Šroub s válcovou hlavou M5x16		ARKOV	DIN 912	56
Šroub s válcovou hlavou M4x10		ARKOV	DIN 912	28
Šroub s válcovou hlavou M8x70		ARKOV	DIN 912	10
Kolík válcový m6 8x70		ARKOV	DIN 7A	4
Šroub s válcovou hlavou M8x35		ARKOV	DIN 912	24
Šroub s válcovou hlavou M5x35		ARKOV	DIN 912	14
Šroub se zápusťnou hlavou M4x8		ARKOV	DIN 7991	20
Šroub s válcovou hlavou M4x10		ARKOV	DIN84A	28

Všechny potřebné díly byly dodány nebo vyrobeny a mohla začít montáž sestavy. Poloha základny a rozvodné desky byla zajištěna kolíky, k montáži byly na celé sestavě použity šrouby s vnitřním šestihranem. Montáž byla rozdělena do dvou částí, na montáž spodní rozvodné části a montáž horní neboli upínací části.

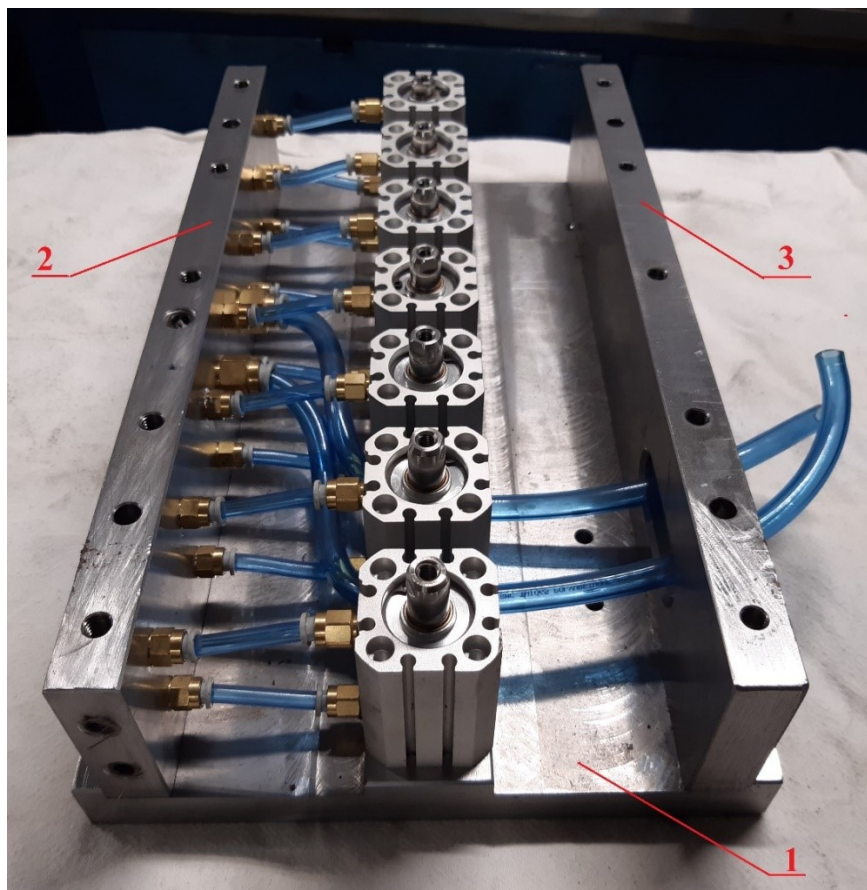
#### 11.4.1 Montáž rozvodné části

U rozvodné části byly na základnu montovány kompaktní pneumatické válce od společnosti SMC. Každý válec je na desce ukotven pomocí dvou šroubů M6 s vnitřním šestihranem, hlava šroubů je zapuštěna ze spodní strany základové desky. Na válce byly předem namontovány hadicové spojky, stejně tak do rozvodné desky. Následovalo spojení válců s rozvodnou deskou, které zajišťují hadičky vyrobené z polyuretanu. Spojení probíhalo dle následujícího schématu. Hadičky byly montovány do rychlospojek, které je pevně svírají.



Obr. 87 Schéma rozvodné části

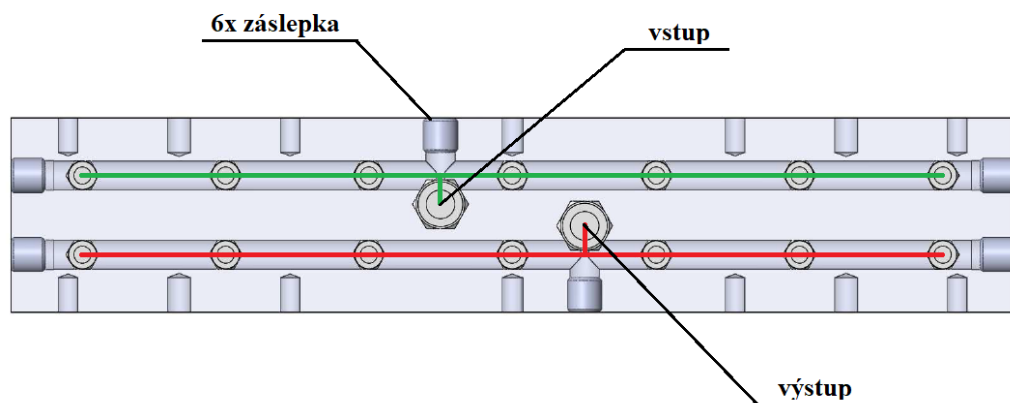
Montáž tedy probíhala postupným spojováním pneumatických válců s rozvodnou deskou. Tato část byla navržena společně s techniky společnosti SMC. Aby byl celý systém funkční, návrh rozvodné desky obstarala naše konstrukce.



*Obr. 88 Montáž pneumatických válců*

*1 – základna, 2 – rozvodná deska, 3 – podpěrná deska*

Rozvodná deska byla hlavní spojovací prvek rozvodu stlačeného vzduchu. Vrtané kanály byly na stranách zaslepeny pomocí utěsněných závitových zátek a teflonové pásky. Tím se zajistila těsnost soustavy. Vše bylo řešeno velmi kompaktním způsobem, což bylo od počátku jedním z hlavních parametrů návrhu. Kromě kanálů pro rozvod stlačeného vzduchu bylo nezbytné desku připevnit do sestavy. Proto bylo navrženo konstrukční řešení a deska má kromě kanálů ještě závitové a kolíkové otvory k montáži do sestavy s ostatními díly. Princip vedení stlačeného vzduchu deskou je zobrazen na obr.89. Na desce jsou dva vstupy pro hadice vedoucí z ventilu 5/2. Ten přepíná přívod stlačeného vzduchu v okruhu.



Obr. 89 Rozvod vzduchu v rozvodné desce

Ventil má centrální vstup pro hlavní přívod vzduchu a dva vzduchové tlumiče pro odvod stlačeného vzduchu ze systému. Je dvoupolohový a přepíná přívod stlačeného vzduchu mezi kanály. Mechanickým přepnutím polohy vypínače je řízen pohyb pneumatických válců.

Zbývalo smontovat druhou stranu přípravku, rozměrově stejnou, jako byla rozvodná deska. Jednalo se pouze o podpěrnou desku, která má vyfrézovanou drážku pro hlavní přívod stlačeného vzduchu a odvod stlačeného vzduchu ze systému vzduchovými tlumiči.

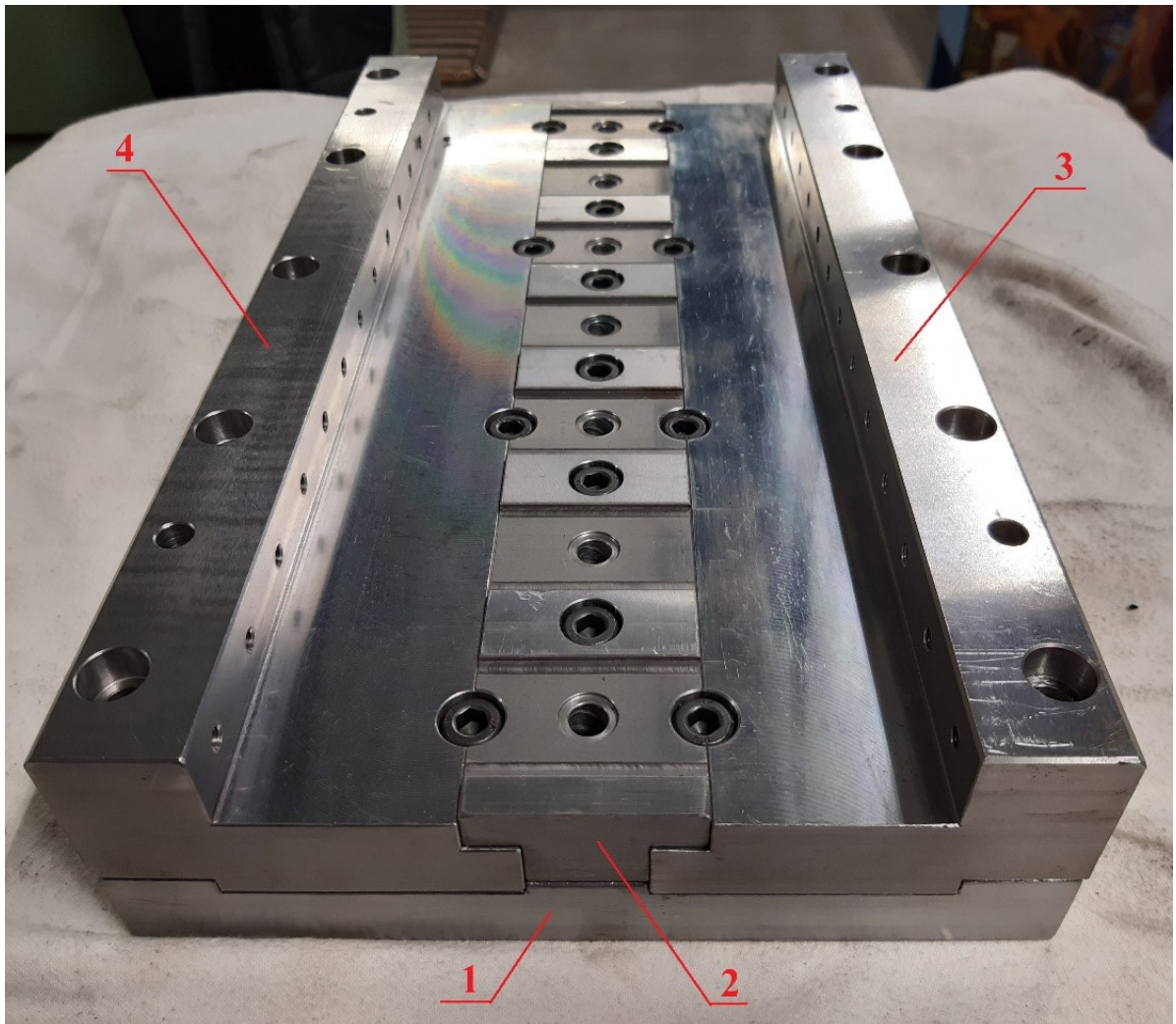
Poté co rozvodná část byla kompletně smontována, následovala montáž části upínací.

#### 11.4.2 Montáž upínací části

Prvním úkolem bylo smontovat těleso upínací části, skládající se ze čtyř komponentů. Jedná se o levou a pravou kotevní desku, do které jsou připevněny přes šrouby pevné upínací čelisti. Ty jsou montovány do základny upínací části, jejich správná poloha je zajištěna vyfrézovaným osazením, kolíky 8H7 a připevněny do základny opět pomocí šroubů s vnitřním šestihranem.

Velmi důležitým prvkem je středový segment. V něm jsou vedeny pohyblivé čelisti, které jsou šrouby připevněny do klínových segmentů, kterými pohybuje středový klín. Tento středový segment má vyfrézovány drážky pro vedení klínových segmentů a na okrajích těchto drážek je vyfrézována další drážka o šířce 4 mm a hloubce 0,5 mm, která bude sloužit jako drážka pro vedení maziva, aby docházelo ke snížení tření vlivem posuvného pohybu. Jako mazivo bude použit olej pro kluzná vedení, který bude dle potřeby manuálně doplňován na kontaktní plochy klínů. Středový segment je připevněn pomocí šroubů do základny a dalšími osmi šrouby je ještě zajištěn s kotevními deskami. Přes otvory 12H7 ve středovém segmentu jsou vedeny vodící čepy, které přenášejí pohyb pneumatických válců na středový klín.



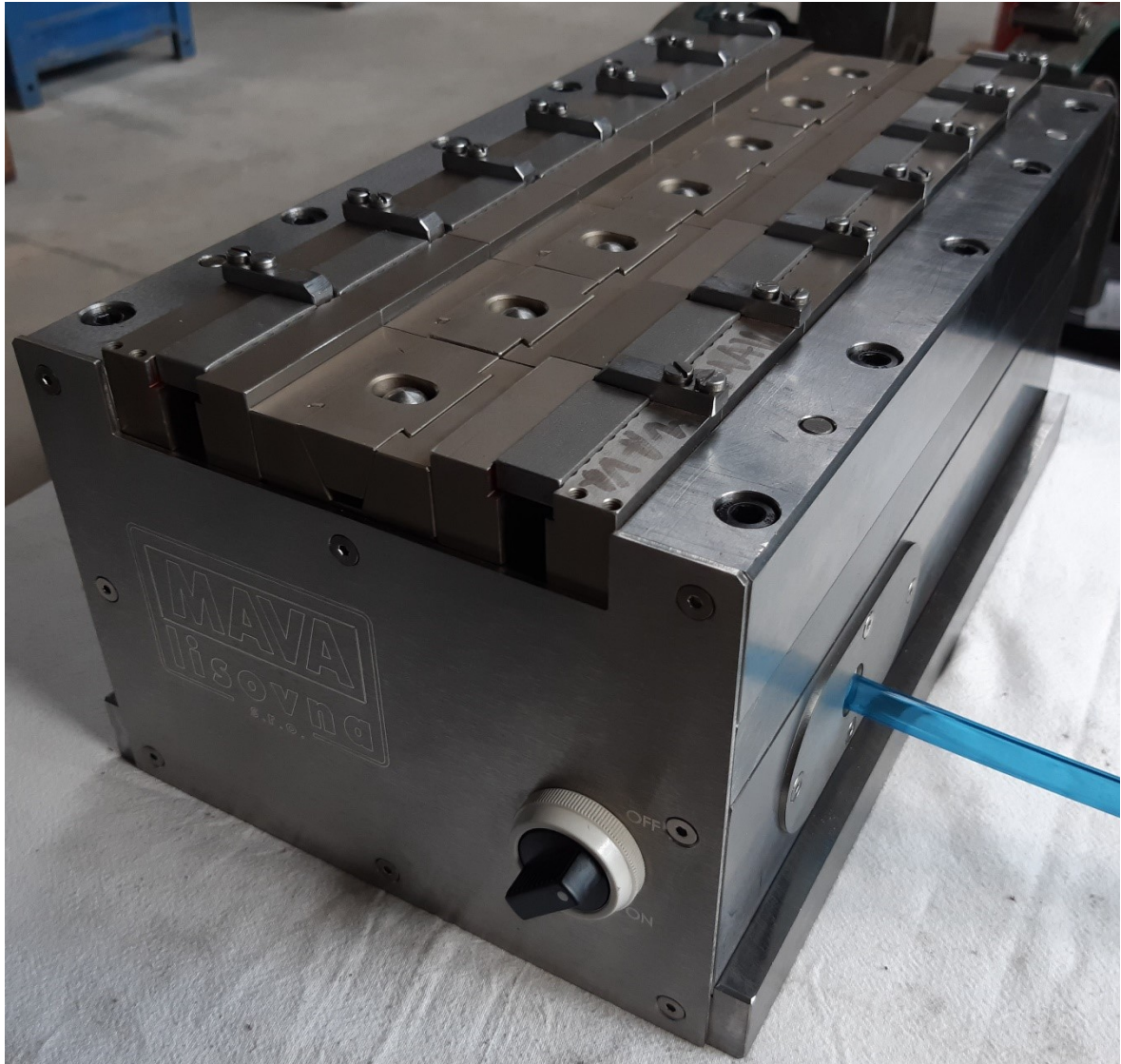


*Obr. 90 Upínací část - montáž*

*1 – základna upínací části, 2 – středový segment, 3 – pravá kotevní deska*

*4 – levá kotevní deska*

Rozvodná i upínací část jsou připraveny, lze tedy přejít ke spojení těchto dvou částí. Vznikne tak kompletní sestava, na kterou se domontuje sestava dílů pro upínání obrobků. Ta bude obsahovat pevnou a pohyblivou čelist, vodící klíny a klín středový. Spojení rozvodné a upínací části bude opět šrouby M8 s vnitřním šestihranem a čtyřmi kolíky 8H7 pro zajištění správné polohy sestav. Dalším prvkem na sestavě jsou dorazy obrobků. Ty jsou montovány dvěma šrouby M4x10 do závitů, které jsou vyrobeny v pevných čelistech. Zbývá celou sestavu zakrytovat nerezovými kryty a instalovat přepínací ventil přes převlečnou matici do předem vyrobené drážky na čelním krytu.



*Obr. 91 Finální podoba přípravku*

Smontováním posledních součástí tak vznikne kompletní sestava, které je připravena na testování. Před předáním na obráběcím centru se ještě provede testování pneumatického okruhu, namažou všechny pohyblivé součásti a funkční plochy. Naposled se zkontrolují všechny pozice dle výkresu, dotažení dílů a připravená sestava se předá na obráběcí centrum. Na obr. 91 je zobrazena finální podoba přípravku po smontování všech komponentů před předáním na pracoviště CNC obrábění.

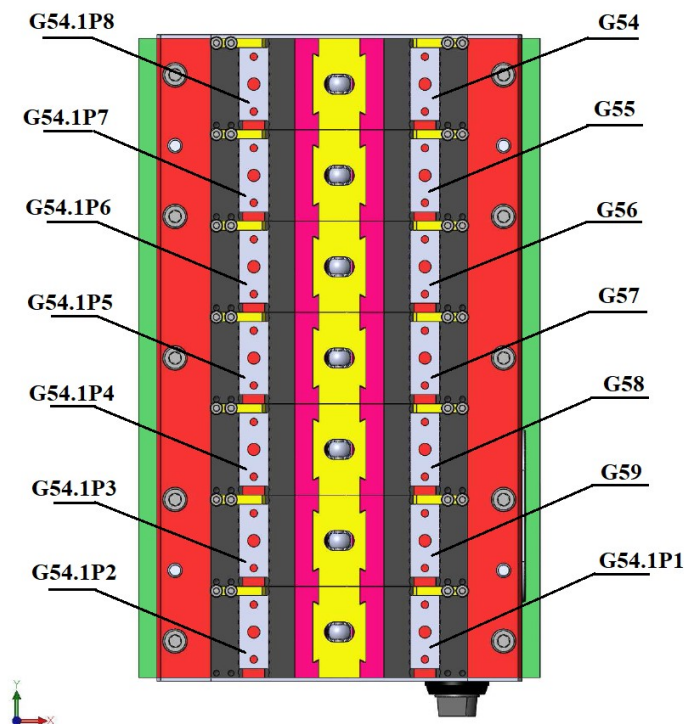
## 12 TESTOVÁNÍ VYROBENÉHO PŘÍPRAVKU

Pro testování bude nejprve nutné připravit přívod stlačeného vzduchu na stroji. Stroj má standartně již z výroby připraven vývod, na který je jednoduchým způsobem přes rychlospojky zavedena hadice z polyuretanu, na které je namontována rychlospojka. Zacvaknutím hadice do spojky vznikne velmi rychle sestava připravená na připojení do přípravku.

Na přípravku je připraven vstup pro stlačený vzduch, který je na ovládacím ventilu. Přívod je připojen ze strany. V podpěrné desce je vyfrézována drážka, ve které je prostor pro vývod z ovládacího ventilu. Tlak v okruhu je řízen regulátorem přes stroj, ten je nastaven na 0,65 Mpa. Při poklesu stlačeného vzduchu v systému by stroj nahlásil chybu přes chybové hlášení na panelu stroje a nebylo by možné pokračovat v obrábění.

### 12.1 Příprava obráběcího programu

Před upnutím přípravku na stůl musí být připraven obráběcí program, přizpůsoben nové sestavě. Jednotlivé pozice obrobků v přípravku budou mít vlastní nulové body, tak aby bylo možné provádět korekce polohy otvorů jednotlivě. Je to práce především s registrem nulových bodů. Zde jsou uloženy hodnoty os X, Y a Z, které stanovují polohu obrobku v přípravku.

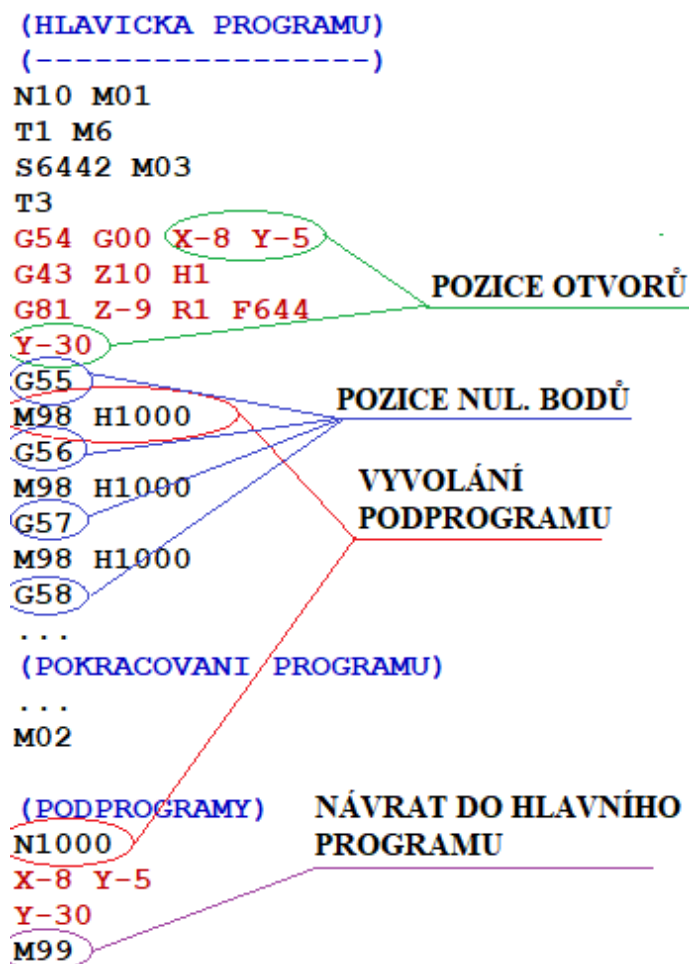


Obr. 92 Číslování nulových bodů



Kromě standardních nulových bodů v rozmezí G54-G59 byly využity ještě rozšiřující nulové body, které se značí indexem G54.1P a pozicí v registru nulových bodů.

Stejně jako tomu bylo při obrábění ve čtyřech svěrácích, dojde k násobení operací. K tomu se při programování využívá podprogramu se souřadnicemi os otvorů. K tomu slouží možnost opakovatelnosti programování pevných cyklů, využitých při vrtání a závitování.



Obr. 93 Úprava programu

Program využitý při předchozí výrobě vzorové série nebude možné použít. Upnutím přípravku na stůl stroje došlo ke změně pozic os X a Y, díly jsou otočeny o 90°. Proto musí dojít k úpravě celého programu. Z CAM softwaru je vygenerován nový program, který následně bude v NC editoru upraven. V CAM bude nutné správně naprogramovat první obráběný díl, tím bude vytvořena základní kostra programu, která bude rozšířena podprogramy tak, jak je znázorněno na obr.93. Jedná se o jednoduchou úpravu, kterou jsem provedl u všech operací. Principem bylo využít pozice otvorů a znásobit tak obráběcí operace, než dojde k výměně nástroje. Tím bude dosaženo maximální efektivity z hlediska programování. Program je tedy po úpravě připraven a lze přejít k provozní zkoušce na stroji.

## 12.2 Spuštění programu

Obsluha stroje připraví stůl a očistí od třísek z předchozího obrábění. Následuje ustavení přípravku na stůl a jeho vyrovnaní páčkovým úchytkoměrem. Po vyrovnaní je do přípravku připojen stlačený vzduch z předem připraveného okruhu. Odzkouší se funkčnost pohybu čelistí, pokud je vše funkční, lze upnout do přípravku polotovary.

Spuštění a test první série ověří funkčnost přípravku. Známý je cyklový čas dílů a celkový reálný čas při původním obrábění osmi dílů. Teď je v jednom přípravku upnuto dílů 14. Porovnáván bude cyklový čas a celkový čas od založení polotovaru po konečné obrobení, tak jako tomu bylo při předchozím obrábění. Tato data budou porovnána a následně bude možné zhodnotit, jak byla tato změna efektivní. Pořád lze ale uvažovat o tom, že se jedná jen o jednu třetinu dostupné kapacity, protože v předchozích kapitolách jsem uvedl, že přípravy stejné druhu na stůl lze upnout hned tři. Pokud výroba na jednom z nich bude natolik efektivní, nebude problém přesvědčit vedení a zadat výrobu dalších dvou.

První série nejen těchto dílů, ale každého nového programu, probíhá vždy v režimu zvýšené pozornosti. Může se stát, že programátor vytvoří v programu chybu, o které nemusel vědět, nebo je program nefunkční z důvodu špatné posloupnosti operací. Chyba, která by mohla v programu být, by mohla způsobit poškození stroje. Způsobilo by to komplikaci v plnění termínů a každá neplánovaná odstávka stroje je velmi nákladná.

To lze při zvýšené opatrnosti eliminovat. Stroj má k dispozici několik režimů na průchod programem. Jednou z pomocných funkcí je funkce „Single Block“, která se zapíná na panelu stroje. Tento režim prochází program po jednotlivých řádcích. Rychloposuvy, v programu značeny funkcí G00, lze rovněž zpomalit a hlídat tak přejezdy nad díly. Další funkcí je „Optional Stop“, rovněž lze zapnout na panelu stroje. Tato funkce zastavuje program na každém příkazu M01. Tento příkaz je na každém bloku programu na prvním řádku společně s číslem bloku. Kombinací těchto funkcí společně s omezením rychloposuvu dochází k bezpečnému ověření funkčnosti programu.

Poté, co je ověřen program, může dojít ke spuštění testovací série na daném přípravku. Obsluha stroje je poučena, jakým způsobem díly upínat, jak přípravek udržovat a o sledu operací. První spuštění vždy provádím jako technolog sám, abych dokázal ihned reagovat na případné úpravy programu. Mírné korekce v hodnotách desetín milimetru upraví pozice otvorů na střed tolerance dané výkresem, což se provede ještě před předáním dílů na kontrolu.

Lze s úspěchem konstatovat, že první testovací série byla obrobena bez problémů a všech 14 kusů bylo předáno ke kontrole a následně byly zhodnoceny jako shodné.

### 12.3 Hodnocení efektivity přípravku

Výroba v pneumatickém přípravku probíhala týden, což byla dostatečná doba na zhodnocení funkčnosti i efektivity přípravku. Ze strany obsluhy nebyly připomínky k funkčnosti, což považují za velmi pozitivní zjištění. Úprava přípravku by zabrala další čas, který však k blízkému termínu první dodávky nebyl k dispozici. Celá výroba tohoto dílu by se musela vrátit k původnímu druhu upínání, případné řešení kooperací by bylo velmi nákladné a komplikované. Vzhledem k předchozí výrobě první série ve svěrácích lze porovnat tuto výrobu s výrobou probíhající ve vyrobeném přípravku. Porovnány budou skutečné cyklové časy.

Tab. 11 Porovnání času cyklů

Výrobní operace	Čas výrobního cyklu – 4x svěrák 8 ks (h:m:s)	Čas výrobního cyklu – přípravek 14 ks (h:m:s)
Upnutí polotovaru	00:02:08	00:00:42
Vrtání otvoru ø 4.2	00:01:28	00:01:10
Vrtání otvoru ø 6.8	00:00:48	00:00:28
Sražení hran otvorů- 1. strana	00:00:48	00:00:42
Otočení dílů obsluhou stroje + upnutí	00:02:32	00:01:08
Sražení hran otvorů- 2. strana	00:00:48	00:00:42
Řezání závitů M8	00:01:20	00:02:20
<b>Celkový čas výroby</b>	<b>00:09:52</b>	<b>00:07:12</b>

Z tab.11 lze pozorovat porovnání při změně způsobu upínání. Rozdíl v celkovém výrobním cyklu je značný. Ve výrobním čase je započten výrobní cyklus včetně návratu nástroje do referenční polohy pro výměnu nástroje. To způsobuje i rozdílné výrobní časy u jednotlivých výrobních operací, což je způsobeno minimalizací přejezdů mezi díly. Jako stěžejní faktor působí na celkový čas výrobního procesu čas upnutí polotovaru a otočení dílů. Stejně jako byl předpoklad, nahradit mechanické upínání přepínačem a pneumatickým upínáním se uká-

zalo jako klíčové. Razantně se změnil počet vyrobených kusů z 8 na 14 za kratší čas a odstranil se větší vliv obsluhy při upínání dílů. Celková změna času výrobního cyklu se pak promítla do týdenní produkce, které byla zhodnocena v tab.12.

Tab. 12 Týdenní produkce – upínání v přípravku

Den v týdnu	Výrobní čas (h:m)	Počet vyrobených kusů
Pondělí	07:25	882 ks
Úterý	07:41	910 ks
Středa	07:41	910 ks
Čtvrtek	07:33	896 ks
Pátek	07:25	882 ks
Celková týdenní produkce:		<b>4480 ks</b>

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{n} = \frac{882 + 910 + 910 + 896 + 882}{5} = 896 \text{ ks} \quad (21)$$

Byla zjištěna průměrná denní produkce 896 kusů při použití jednoho přípravku. Nyní bude ověřeno, jestli lze splnit plánovanou roční sérii 210 000 kusů. Pro jednosměrný roční provoz je počet pracovních dnů:

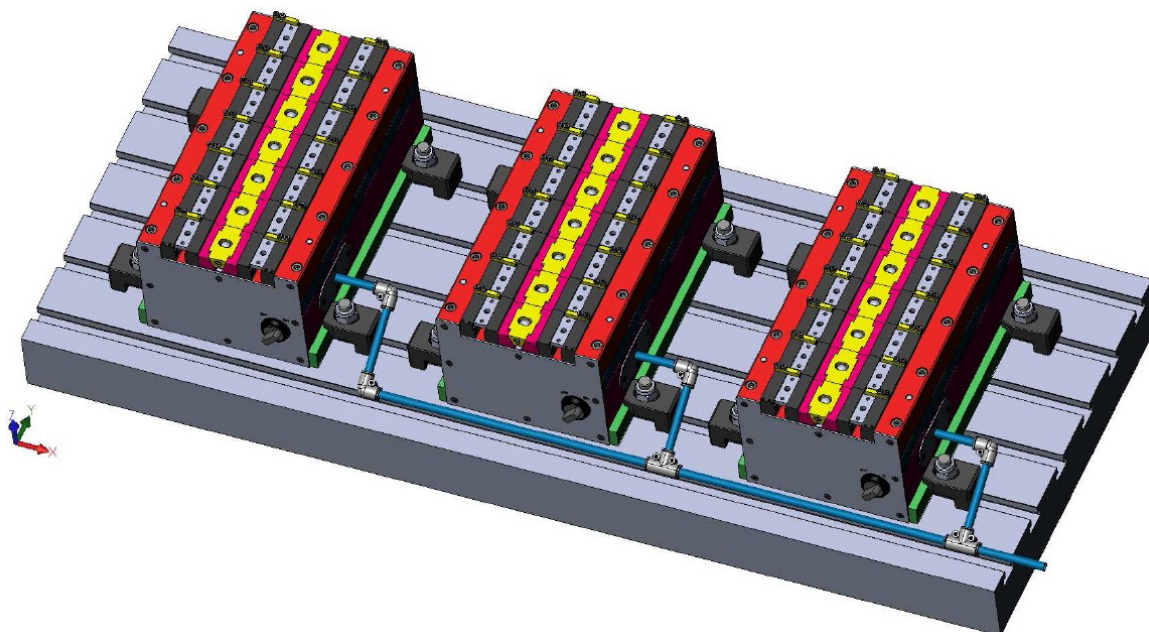
$$D_p = (365 - 52 - 52 - 12) = 249 \text{ dnů/rok} \quad (22)$$

Do výpočtu je vztaženo roční počet 365 dnů, odečteny jsou soboty, neděle a dny státních svátků.

$$V_r = 249 \cdot 896 = 223\,104 \text{ kusů} \quad (23)$$

Předběžná roční výroba v jednosměrném ročním provozu na jednom vyrobeném pneumatickém přípravku vykazuje, že lze teoreticky vyrobit 223 104 kusů. Výpočet má pouze informativní charakter, cílem je zhodnotit, jestli se změnila produkce na novém systému upínání. Rámcová roční objednávka je 210 000 kusů. I při použití jednoho přípravku je kapacita teoreticky překročena, což je velmi pozitivní zpráva a původní účel splňuje stanovený cíl. Je nutné předpokládat další vnější vlivy, které mohou výrobu ovlivnit, nicméně tento údaj slouží jako základ pro podnět k výrobě dalších dvou přípravků stejného druhu. Tato data budou předána vedení a analyzována pro návrh dalšího postupu.

Jeden přípravek navýšil znatelně celkovou produkci. To bylo prokázáno porovnáním současného stavu výroby a toho původního ve svěracích. Zvýšení produktivity jednoznačně vyznělo pro schválení výroby dalších dvou přípravků. Na obr. 94 je zobrazena vizualizace výroby včetně pneumatického rozvodu ve své finální podobě.



Obr. 94 Vizualizace finální podoby výroby

V tab. 13 je porovnání přechodí produkce se současnou a zahrnut předpoklad po dokončení výroby dalších dvou přípravků. Procentuálně je vyjádřeno plnění výroby ročního počtu 210 000 ks. Lze předpokládat, že se opět zkrátí přípravné časy a čas výměny hotových dílů za polotovary. Zároveň se prodlouží strojní čas, což rovněž způsobí zvýšení produktivity.

Tab. 13 Finální porovnání produkce

Typ upínání	Týdenní produkce	Předpokládaná roční produkce	Plnění roční produkce (%)
4x svěrák – 8 ks	1864 ks (skutečná)	92 827 ks	- 55,8 %
1x přípravek – 14 ks	4480 ks (skutečná)	223 104 ks	+ 6,2 %
3x přípravek – 42 ks	4620 ks (předpoklad)	230 076 ks	+ 9,6 %

Předpokládaná produkce na třech přípravcích by měla současný stav navýšit ještě o 3,4 %. To zajistí rovnoměrnější plnění ročního výrobního plánu a zabezpečí plnění produkce pro případné neplánované přerušování výroby.

## ZÁVĚR

Vše začalo vcelku běžným požadavkem na výrobu jednoduchého strojního dílu. I když byl díl poměrně malých rozměrů a vyroben z nerezové oceli byla předpokládána poměrně velká série s dlouhodobým plánem výroby. To je vždy impuls k tomu zamyslet se nad řešením, které firmě přinese dlouhodobý užitek a využije know-how podniku společně se zkušenostmi týmu, který má k dispozici.

Prvotní impuls vzešel ode mě ihned ve chvíli, kdy už bylo nanejvýš jasné, že splnit termín výroby s plánovanou kapacitou nebude možné. Navrhnout takové řešení, aby bylo vyrobitelné, využívalo dostupných zdrojů a technologií, bylo vyrobitelné v co nejkratším čase a mělo požadovaný efekt, bylo mým cílem již od počátku. Plně jsem se zapojil do návrhu společně s konstrukcí a kompletně vytvořil technologie na díly, které se strojně obráběly. Využil jsem obchodní kontakty s dodavateli nástrojů a dodavatelem komponentů pro stlačený vzduch.

Momentálně probíhá výroba druhé měsíční série. Ta první byla vyrobena v řádném termínu bez větších potíží. Bylo zjištěno, že důkladné čištění vodících ploch upínacích čelistí je nezbytné minimálně jednou týdně. Obsluha stroje byla tedy poučena o údržbě přípravku a upozorněna na dodržování pravidelného mazání vodících ploch. Zákazníkem byl zaslán kontrolní protokol a výrobky byly uznány jako shodné.

Cílem následujícího měsíce je výroba dalších dvou přípravků. Vedení bylo přesvědčeno, že vše směřuje správnou cestou k produktivitě výroby a návrh na výrobu byl podpořen. S dodavatelem nástrojů byla dohodnuta rámcová smlouva na dodávky nástrojů na jeden rok na základě skutečné životnosti nástrojů. Ta se nelišila výrazně od teoretické, což značí, že i výběr dodavatele nástrojů se zaměřil správným směrem. Přípravek byl navržen tak, aby bylo možné v budoucnu přejít k automatizaci výroby a tato myšlenka je stále více aktuální. Je to jeden z dalších cílů, které do budoucna plánuji splnit.

Všechny tyto poznatky mi dovolují se stále zlepšovat. Jedná se o neocenitelné zkušenosti a já mám to štěstí, že mám možnost získávat zkušenosti tam, kde vznikají prvotní fáze strojírenské výroby. To je důvod, proč se zabývám tímto oborem a proč i do budoucna doufám, že dokážu svými poznatky zlepšovat své návrhy na zlepšení současných i budoucích technologií strojírenské výroby.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
- [2] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [3] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [4] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [5] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [6] GARANT. *Příručka obrábění*. [s.l.]: [s.n.], 2008. 843 s. ISBN 3-00-016882-6, 0807-00167-Dm-KT.
- [7] De Vos, P., STAHL, J.-E. *Obrábění kovů – Teorie v praxi*. Fagersta. Seco Tools AB. 2016
- [8] *Soustružení vnějších ploch* [online]. c2000-2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/external-turning.aspx>
- [9] *Soustružení vnitřních ploch* [online]. c2000-2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/internal-turning.aspx>
- [10] *OTS Kompaktní 3D doteková nástrojová sonda* [online]. c2001-2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/ots-kompaktni-3d-dotekova-nastrojova-sonda--6783>
- [11] *NC4 – bezkontaktní laserová nástrojová sonda* [online]. c2001-2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/nc4-bezkontaktni-laserova-nastrojova-sonda--6099>

- [12] *OMP60 Sonda s optickým přenosem signálu* [online]. c2001-2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/omp60-sonda-s-optickym-prenosem-signalu--6101>
- [13] *Měření nástroje i obrobku bez kabelu* [online]. c2001-2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/mereni-nastroje-i-obrobku-bez-kabelu--7934>
- [14] KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.
- [15] *Vysoce přesné silové sklíčidlo* [online]. c2020 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/silova-sklicidla/pruchozi-sklicidla/br10>
- [16] *Modulární svěrák* [online]. 2020 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://www.hoffmagroup.com/CZ/cs/hot/Up%C3%ADnac%C3%ADtechnika/Sv%C4%9Br%C3%A1ky/Modul%C3%A1rn%C3%AD-sv%C4%9Br%C3%A1k/p/362100?tid=909>
- [17] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02610-8.
- [18] *Magnetické upínání obrobků* [online]. c2020 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/magneticke-upinani-obroubku-uvod>
- [19] *Zero point - efektivní způsob upínání obrobků* [online]. c2020 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zero-point-efektivni-zpusob-upinani-obrobku.html>
- [20] BRYCHTA, Josef. *Technologie II. – 2. díl* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1822-1
- [21] *Vrtáky řady Perfomax* [online]. c2020 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84588>
- [22] *Nerezové plocháče* [online]. c2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.ine-rez.cz/nerezove-profilu/nerezove-plochace/>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HRC	Zkouška tvrdosti podle Rockwella
CNC	[Central Numeric Control] – číslicové řízení počítačem
NC	[Numeric control] – číslicové řízení
CAD	[Computer Aided Design] – počítačem podporované projektování
CAM	[Computer Aided Manufacturing] – počítačová podpora obrábění
OMP	[Optical Machine module] – optická obrobková sonda
OTS	[Optical Tool Setter] – optická nástrojová sonda
HSS	[High speed steel] – rychlořezná ocel
PVD	[Physical Vapor Deposition] – fyzikální depozice z plynné fáze
CVD	[Chemical Vapor Deposition] – chemická depozice z plynné fáze
DIN	[Deutsches Institut für Normung] – Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
AISI	[American Iron and Steel Institute] – Americký institut pro železo a ocel
PKD	Polykrystalický diamant
CBN	Kubický nitrid boru
BPH	Bruska plochých hran
ČSN	Označení českých technických norem
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
WC	Karbid Wolframu
TiC	Karbid Titanu
TiN	Nitrid Titanu
$f(s)$	Délka dráhy v mm na jednu otáčku pracovního vřetena
$f$	Posuv na otáčku [mm]
$f_z$	Posuv na zub nástroje [mm]
$f_z(s_z)$	Délka dráhy v mm na jeden zub vícebřitého nástroje

$V_f$	Rychlost posuvu [mm.min <sup>-1</sup> ]
$V_c$	Řezná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]
$V_e$	Rychlost výsledného řezného pohybu [m.min <sup>-1</sup> ]
$L$	Délka obráběné plochy [mm]
$l$	Délka obrobené plochy [mm]
$h$	Hloubka řezu [mm]
$n$	Počet otáček vřetene [ot.min <sup>-1</sup> ]
$D$	Průměr obráběné plochy [mm]
$d$	Průměr obrobené plochy [mm]
$z$	Počet zubů nástroje
$\alpha_o$	Ortogonální úhel hřbetu
$\gamma_o$	Ortogonální úhel čela
$r_n$	Poloměr ostří
$a_p$	Tloušťka obráběné vrstvy [mm]
$F_u$	Upínací síla [N]
$F_z$	Řezná síla [N]
$F_t$	Třecí síla [N]
$F_i$	Celková síla řezání [N]
$Ra$	Střední aritmetická úchylka profilu
$f$	Součinitel tření

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Řezání pilou [2]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Pilový list v řezu [2]</i> .....	13
<i>Obr. 3 Frikční pila [2]</i> .....	14
<i>Obr. 4 Princip stříhání noži [2]</i> .....	15
<i>Obr. 5 Řezání kyslíko-acetylenovým plamenem [2]</i> .....	16
<i>Obr. 6 Soustava stroj-nástroj-obrobek [1]</i> .....	17
<i>Obr. 7 Rozdělení ploch při obrábění [1]</i> .....	18
<i>Obr. 8 Řezné pohyby při obrábění [1]</i> .....	19
<i>Obr. 9 Soustružení vnějších ploch [8]</i> .....	20
<i>Obr. 10 Soustružení vnitřních ploch [9]</i> .....	21
<i>Obr. 11 Revolverový soustruh [2]</i> .....	24
<i>Obr. 12 Válcové frézování a) sousledné b) nesousledné [20]</i> .....	25
<i>Obr. 13 Čelní frézování [20]</i> .....	25
<i>Obr. 14 Složky sil při frézování sousledném a nesousledném [20]</i> .....	27
<i>Obr. 15 Čelní frézování a) symetrické b) nesymetrické [20]</i> .....	27
<i>Obr. 16 Vodorovná konzolová frézka [2]</i> .....	29
<i>Obr. 17 Stolní vrtačka [20]</i> .....	31
<i>Obr. 18 Vodorovná desková vyvrtávačka [3]</i> .....	32
<i>Obr. 19 Geometrie brousícího zrna [2]</i> .....	33
<i>Obr. 20 Vodorovná rovinná bruska (BPH) [3]</i> .....	34
<i>Obr. 21 Princip elektroerozivního obrábění [4]</i> .....	36
<i>Obr. 22 Příklady prvků vyrobených pomocí elektrojiskrové metody [3]</i> .....	37
<i>Obr. 23 Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou [3]</i> .....	38
<i>Obr. 24 Elektrokontaktní obrábění [3]</i> .....	39
<i>Obr. 25 Princip anodomechanického obrábění [3]</i> .....	40
<i>Obr. 26 Prostředí CAD/CAM</i> .....	42
<i>Obr. 27 Dotyková sonda OTS od Renishaw [10]</i> .....	44
<i>Obr. 28 Bezkontaktní měření laserem NC4 od Renishaw [11]</i> .....	45
<i>Obr. 29 Obrobková sonda OMP60 od Renishaw [12]</i> .....	46
<i>Obr. 30 Proces měření obrobkovou sondou [13]</i> .....	47
<i>Obr. 31 Oblasti plastických deformací [4]</i> .....	48
<i>Obr. 32 Vlivy působící na břit nástroje během obrábění [7]</i> .....	49

<i>Obr. 33 Vybrané vlastnosti řezných materiálů [6]</i> .....	51
<i>Obr. 34 Konstrukce nožů [17]</i> .....	53
<i>Obr. 35 Vybrané druhy fréz [2]</i> .....	54
<i>Obr. 36 Monolitní vrták s chladicími kanály [20]</i> .....	56
<i>Obr. 37 Vrták s vyměnitelnou špičkou [20]</i> .....	56
<i>Obr. 38 Vrtáky řady Perfomax od SECO TOOLS [21]</i> .....	57
<i>Obr. 39 Princip orovnění kotouče [2]</i> .....	58
<i>Obr. 40 Tvary brousících kotoučů [2]</i> .....	59
<i>Obr. 41 Řezné a upínací síly 1. případ [1]</i> .....	61
<i>Obr. 42 Řezné a upínací síly 2.případ [1]</i> .....	62
<i>Obr. 43 Řezné a upínací síly 3.případ [1]</i> .....	62
<i>Obr. 44 Vysoce přesné tříčelistové skličidlo KITAGAWA 10“ [15]</i> .....	65
<i>Obr. 45 upínání mezi hroty [17]</i> .....	65
<i>Obr. 46 Univerzální upínací deska [17]</i> .....	66
<i>Obr. 47 Strojní modulární svěrák [16]</i> .....	67
<i>Obr. 48 Upínací systém Zero-point [19]</i> .....	68
<i>Obr. 49 Upínky [20]</i> .....	69
<i>Obr. 50 Síly při magnetickém upínání [18]</i> .....	70
<i>Obr. 51 Bezhraté broušení [20]</i> .....	71
<i>Obr. 52 Model obráběného dílu</i> .....	76
<i>Obr. 53 Základní rozměry dílu</i> .....	76
<i>Obr. 54 Nabídka ploché nerezové oceli [22]</i> .....	77
<i>Obr. 55 Nástřihový plán laseru – společný řez</i> .....	78
<i>Obr. 56 Vertikální obráběcí centrum Akira-Seiki SV1050</i> .....	81
<i>Obr. 57 Zvolené nástroje</i> .....	85
<i>Obr. 58 Toolbox od společnosti SECO</i> .....	86
<i>Obr. 59 Upínače nástrojů</i> .....	88
<i>Obr. 60 kleštiny</i> .....	89
<i>Obr. 61 Tažný čep DIN 40</i> .....	89
<i>Obr. 62 Sestava svěráku s díly</i> .....	91
<i>Obr. 63 Sestava svěráků</i> .....	92
<i>Obr. 64 Pozice nulových bodů obrobků</i> .....	92
<i>Obr. 65 Rozdíly souřadnic otvorů</i> .....	93

<i>Obr. 66 Hlavička programu.....</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 67 Dvojitá čelist.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 68 Úprava svěráku na násobný.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 69 Násobný mechanický přípravek.....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 70 Část 1. – upínací.....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 71 Mechanismus upínací části .....</i>	<i>103</i>
<i>Obr. 72 Část 2. – rozvodná.....</i>	<i>104</i>
<i>Obr. 73 Strana 1 - Výrobní výkres základny rozvodné části .....</i>	<i>106</i>
<i>Obr. 74 Strana 2 – Technologický postup výroby .....</i>	<i>107</i>
<i>Obr. 75 Struktura sestavy .....</i>	<i>110</i>
<i>Obr. 76 Výběr součásti ze sestavy .....</i>	<i>111</i>
<i>Obr. 77 Příprava technologie – 1. upnutí.....</i>	<i>112</i>
<i>Obr. 78 Příprava cyklů – 1.upnutí.....</i>	<i>112</i>
<i>Obr. 79 Konfigurace cyklu vrtání .....</i>	<i>113</i>
<i>Obr. 80 Konfigurace knihovny nástrojů .....</i>	<i>114</i>
<i>Obr. 81 Simulace – 1.upnutí .....</i>	<i>115</i>
<i>Obr. 82 Prostředí před generováním programu.....</i>	<i>116</i>
<i>Obr. 83 Seřizovací list .....</i>	<i>117</i>
<i>Obr. 84 Vyrobená rozvodná deska .....</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 85 Díly upínací sestavy.....</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 86 Broušení čelistí po kalení .....</i>	<i>120</i>
<i>Obr. 87 Schéma rozvodné části .....</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 88 Montáž pneumatických válců .....</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 89 Rozvod vzduchu v rozvodné desce.....</i>	<i>125</i>
<i>Obr. 90 Upínací část - montáž.....</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 91 Finální podoba přípravku .....</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 92 Číslování nulových bodů .....</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 93 Úprava programu.....</i>	<i>129</i>
<i>Obr. 94 Vizualizace finální podoby výroby .....</i>	<i>133</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1</i> Součinitele tření při upínání [1] .....	63
<i>Tab. 2</i> Cenová kalkulace polotovaru .....	79
<i>Tab. 3</i> Obráběcí stroje .....	81
<i>Tab. 4</i> Zvolené nástroje .....	85
<i>Tab. 5</i> Zvolené upínače .....	87
<i>Tab. 6</i> Teoretický čas výroby dílu .....	95
<i>Tab. 7</i> Porovnání skutečného a teoretického času výroby.....	96
<i>Tab. 8</i> Týdenní produkce – upínání ve svěrácích .....	97
<i>Tab. 9</i> Souhrn vyrobených dílů .....	121
<i>Tab. 10</i> Souhrn dílů k montáži .....	122
<i>Tab. 11</i> Porovnání času cyklů.....	131
<i>Tab. 12</i> Týdenní produkce – upínání v přípravku.....	132
<i>Tab. 13</i> Finální porovnání produkce .....	133

## SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Elektronická data – 3D model ve formátu .stp
- P2 Elektronická data – výkresová dokumentace formát .pdf