

# **Optimalizace výrobní metody a materiálu součásti s použitím číslicově řízených strojů**

Bc. Tomáš Juřík

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Juřík**

Osobní číslo: **T13619**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Optimalizace výrobní metody a materiálu součásti s použitím číslicově řízených strojů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na téma **technologie obrábění**
2. Hodnoťte metody programování **CNC strojů**
3. Stanovte technologii výroby obráběného dílu na **CNC stroji**
4. Sestavte ekonomickou studii přínosu řešení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **KOCMAN, Karel.** Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2
2. **LUKOVICS, Imrich.** Konstrukční materiály a technologie. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. ISBN 8021403993
3. **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
4. **ŠTULPA, Miloslav.** CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
5. **GROOVER, Mikell P.** Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, xv, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.
6. **NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC.** Základy technologie I. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Oldřich Šuba, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 9. února 2015

  
doc. Ing. Román Čermák, Ph.D.  
*děkan*



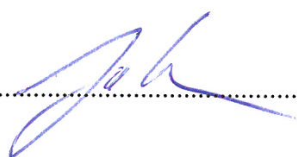
  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně 14.4. 2015



.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologií obráběním, konkrétně soustružením a frézováním. Skládá se ze dvou hlavních částí. V první, teoretické části, se zaměříme na teorii soustružení a frézování, zejména pak na fyzikální a mechanickou podstatu procesu obrábění, které je třeba respektovat jak u klasických, tak i u CNC strojů.

Ve druhé, praktické části, se bude řešit konstrukčně technologická změna výroby skříně pro pohon závory. Cílem je provést konstrukční úpravu a kompletní změnu technologie včetně materiálu za dosažení nižších finančních nákladů, zrychlení a zjednodušení výroby. Zde také provedeme porovnání obou technologií při daných materiálech a vyhodnotíme přínos řešení.

**Klíčová slova:** soustružení, frézování, obrábění, technologie, materiál, CNC (číslicové řízení pomocí počítače), programování

## ABSTRACT

The thesis deals with machining technology, specifically turning and milling. It consists of two main parts. In the first, theoretical part, we will focus on the theory of turning and milling, especially on the physical and mechanical nature of the machining process, which must be respected in classical and CNC machines.

In the second, practical part, will be addressed structurally technological change production of product. The aim is to carry out structural adjustment and a complete change of technology, including material for achieving cost savings, speed up and simplify production. Here also we will compare both of technologies, materials and after that evaluate the benefits of the solution.

**Keywords:** turning, milling, machining, technology, material, CNC (computer numerical control), programming

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné rady a vedení panu doc. Ing. Oldřichu Šubovi, CSc., panu prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. a panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. Děkuji za vstřícnost v zaměstnání ve firmě AŽD Praha, spol. s r.o., jmenovitě mému nadřízenému panu Ing. Josefu Štěpánkovi a panu Stanislavovi Krátkému. Poděkování patří také mé manželce Ing. Květoslavě Juřík Kellnerové za podporu a rady při studiu.

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 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 DEFINICE OBRÁBĚNÍ.....	12
1.1.1 Obrobek.....	13
1.1.2 Řezný nástroj.....	14
1.1.3 Pohyby při obrábění.....	15
1.1.3.1 Pohyby při soustružení .....	19
1.1.3.2 Pohyby při frézování .....	19
1.2 FYZIKÁLNÍ PODSTATA PROCESU OBRÁBĚNÍ.....	19
1.3 ROZDĚLENÍ METOD OBRÁBĚNÍ .....	20
1.4 MECHANIKA PROCESU ŘEZÁNÍ A TVORBA TŘÍSKY .....	22
1.4.1 Pěchování třísky .....	26
1.4.2 Nárůstek a jeho tvorba .....	27
1.4.3 Povrchová vrstva .....	29
1.5 ŘEZNÁ SÍLA A ODPOR.....	30
1.5.1 Řezná síla .....	31
1.5.2 Řezný odpor .....	32
1.6 DRUHY ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ, KONSTRUKCE NÁSTROJŮ .....	32
1.6.1 Nástrojové oceli slitinové (legované) .....	33
1.6.2 Slinuté karbidy (SK).....	33
1.6.3 Keramické řezné materiály .....	35
1.6.4 Syntetické diamanty .....	36
1.6.5 Kubický nitrid boru (KBN).....	36
1.7 GEOMETRIE OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ.....	36
1.7.1 Nástrojové roviny .....	37
1.7.2 Pracovní roviny .....	38
1.7.3 Nástrojové úhly .....	39
1.7.3.1 Nástrojové úhly polohy ostří.....	40
1.7.3.2 Nástrojové úhly hřbetu .....	41
1.7.3.3 Nástrojové úhly břitu .....	41
1.7.3.4 Matematické závislosti mezi nástrojovými úhly.....	43
1.7.4 Volba geometrických parametrů břitu .....	44
1.8 OBROBITELNOST MATERIÁLU .....	45
1.8.1 Činitelé mající vliv na obrobitelnost materiálu.....	45
1.8.2 Rozdělení materiálu podle kategorií.....	47
1.8.3 Rozsah skupin obrobitelnosti materiálů.....	48
1.9 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	49
1.10 OPTIMÁLNÍ PRACOVNÍ PODMÍNKY PŘI OBRÁBĚNÍ .....	51
1.11 SOUSTRUŽENÍ.....	51
1.11.1 Soustružnické nástroje .....	54
1.11.1.1 Radiální soustružnické nože.....	54
1.11.1.2 Soustružnické nože s VBD.....	56
1.11.2 Stroje pro soustružení .....	58



1.11.2.1	Hrotové soustruhy.....	59
1.11.2.2	Svislé soustruhy – karusely .....	60
1.11.2.3	Čelní soustruhy .....	61
1.11.2.4	Revolverové soustruhy.....	61
1.11.3	Upínání obrobků.....	62
1.11.4	Upínání nástrojů .....	65
1.12	FRÉZOVÁNÍ.....	65
1.12.1	Řezné podmínky při frézování .....	68
1.12.2	Nástroje pro frézování – frézy.....	70
1.12.3	Stroje pro frézování .....	75
1.12.3.1	Konzolové frézky.....	75
1.12.3.2	Stolové frézky.....	77
1.12.3.3	Rovinné frézky .....	78
1.12.3.4	Nástrojařské frézky .....	78
1.12.3.5	Kopírovací frézky .....	79
1.12.3.6	Odvalovací frézky.....	79
<b>2</b>	<b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>81</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>82</b>
<b>3</b>	<b>O FIRMĚ AŽD.....</b>	<b>83</b>
<b>4</b>	<b>SPECIFIKACE ZADÁNÍ.....</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>NÁVRH KONSTRUČNĚ TECHNOLOGICKÉ ZMĚNY .....</b>	<b>88</b>
5.1	PROBLÉMY S VÝROBKEM A .....	88
5.2	VOLBA MATERIÁLU VÝROBKU B.....	88
5.3	KONSTRUKČNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ VÝROBKU B .....	89
5.4	UKÁZKA Z VÝPOČTU ODLÉVANÉ SKŘÍNĚ .....	92
5.4.1	Okrajové podmínky použité při řešení – vazby mezi tělesy .....	95
5.4.2	Kritická místa na skříní závory .....	100
5.4.3	Závěr výpočtu.....	101
<b>6</b>	<b>VÝROBA VÝROBKU B.....</b>	<b>102</b>
6.1	PROGRAMOVÁNÍ STROJŮ.....	105
<b>7</b>	<b>POROVNÁNÍ OBOU VÝROBKŮ .....</b>	<b>107</b>
7.1	EKONOMICKÁ STRÁNKA .....	107
7.2	ČASOVÁ ÚSPORA.....	109
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>112</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>113</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>114</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>117</b>

## ÚVOD

Technologie obrábění zaujímá ve strojírenské výrobě významné místo. Umožňuje v mnoha technologických procesech vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru, požadované rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch [1].

Na počátku 50. let minulého století byly vyvinuty první číslicově řízené stroje označovány jako NC (numerical control). S myšlenkou číslicově řízených obráběcích strojů přišlo na konci 2. světové války USA [7].

Přibližně o třicet let později kolem roku 1970 byly vyvinuty CNC stroje (computer numerical control), které jsou řízeny vlastním počítačem, jenž řídí výrobní proces. Na obrazovce počítače stroje můžeme vidět grafickou simulaci, díky které můžete vizuálně zkontrolovat program před samotným obráběním, popřípadě jej může obsluha stroje pomocí klávesnice upravit [3].

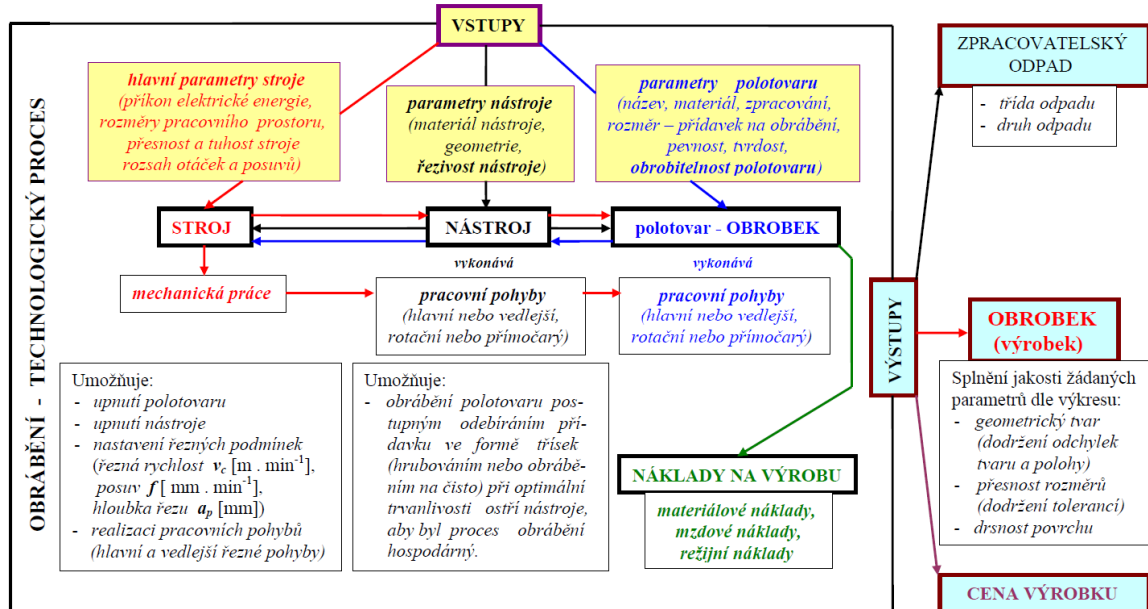
Dnes jsou téměř všechny tvářecí i obráběcí stroje vyráběny jako CNC, ty nejjednodušší můžou být v provedení NC [3].

Diplomová práce bude zaměřena na teorii obrábění (převážně soustružení a frézování) a rozbor technologie výroby výrobku se změnou materiálu za použití CNC stroje.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBRÁBĚNÍ

## 1.1 Definice obrábění



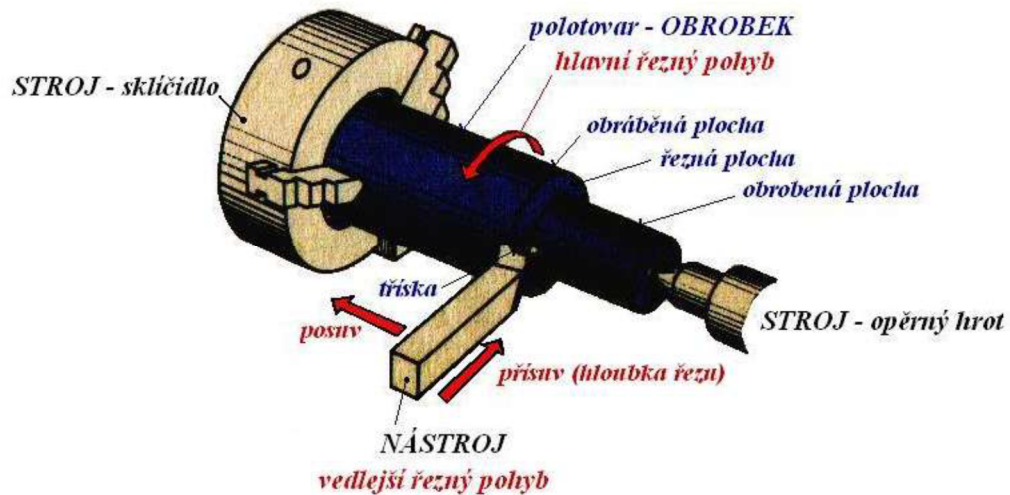
**Obrázek 1:** Obrábění jako technologický proces – systémové schéma [12]

Obrábění je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti, a to odebíráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických apod., případně jejich kombinacemi. Řezání je obrábění, při kterém dochází k odebírání částic materiálu ve tvaru třísky břitem (ostřím, řeznou hranou) řezného nástroje. Obrábění je realizováno v soustavě obrábění (SNOP). Tato soustava se skládá z následujících čtyř částí (rovněž se uvažují pouze tři části absentující přípravek):

- obráběcí stroj (S),
- řezný nástroj (N),
- obrobek (O),
- přípravek (P) [1].

Obrobek představuje objekt obráběcího procesu a je to obráběná nebo již obrobena součást či dílec. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován rozměry a tvary jednotlivých ploch. Přídavek je vrstva materiálu mezi obráběnou a obrobenu plochou obrobku, kterou je potřeba odstranit obráběním. Odebíraná vrstva je část přídavku přikloněná

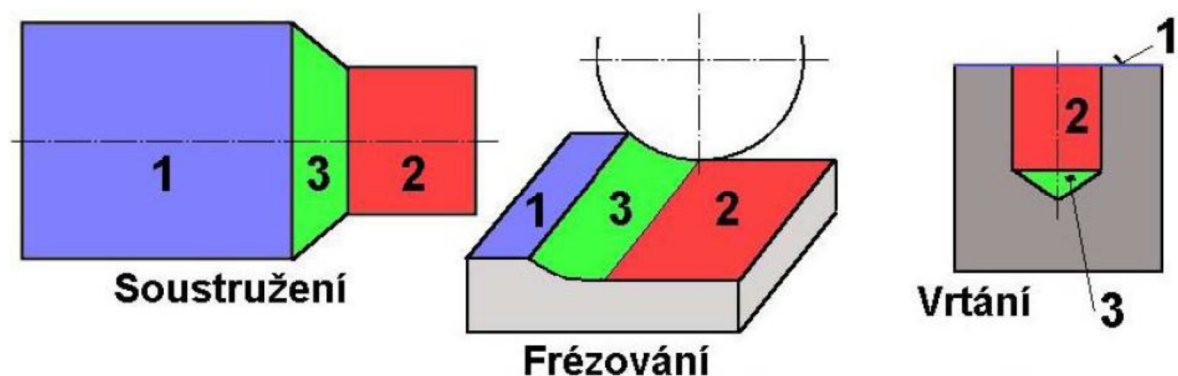
k ploše řezu, která je odřezávaná jedním břitem ve formě třísky. Tříška je odříznutá a deformovaná odebíraná vrstva materiálu obrobku [1].



Obrázek 2: Soustava stroj – nástroj – obrobek a základní pojmy procesu řezání [12]

### 1.1.1 Obrobek

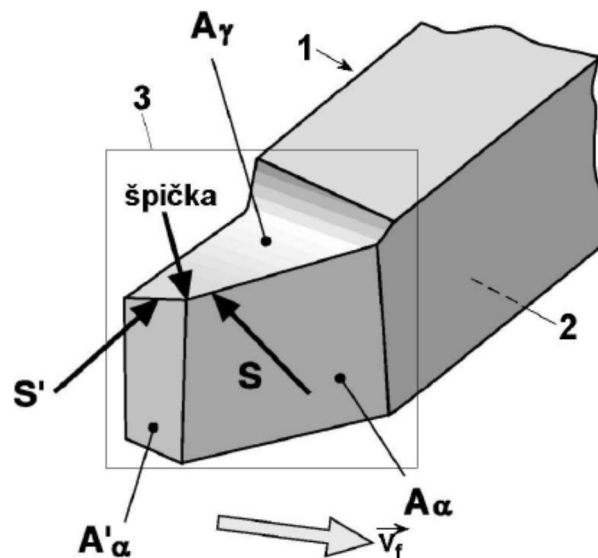
Obrobek je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou (známa též jako plocha řezu). Obráběná plocha je částí povrchu obrobku odstraňovaná obráběním. Na Obrázek 3 je znázorněna modrou barvou a označena číslem 1. Obrobená plocha je plocha na obrobku vzniklá působením řezného nástroje. Na Obrázek 3 je tato vytvořená plocha vyznačena červeně a označena čísle 2. Přechodová plocha je okamžitá plocha obrobku vytvářená při obrábění působením ostří řezného nástroje během otáčky nebo zdvihu. Na níže uvedeném obrázku je přechodová plocha znázorněna zelenou barvou s číslem 3 [1].



Obrázek 3: Plochy na obrobku [1]

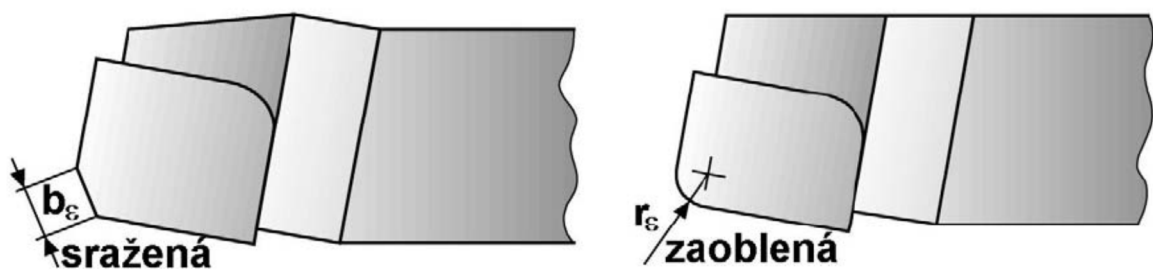
### 1.1.2 Řezný nástroj

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem v soustavě obrábění. Právě nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí tj. břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky. Řezné nástroje se skládají z těchto základních částí. Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku (viz Obrázek 4, označeno 3). Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícebřitého (vícezubého) nástroje má každý břit (zub) svou řeznou část. Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem. Je to klínovitá část nástroje vnikající do obrobku. Plochy tvořící tento klín zobrazuje Obrázek 4. Upínací část (stopka) je část nástroje, která slouží k upínání do obráběcího stroje (viz Obrázek 4, označeno 1). Základna je plochý prvek stopky nástroje sloužící pro umístění a orientaci nástroje při výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu (viz Obrázek 4, označeno 2). Plochy na nástroji se označují symboly, které se skládají z písmene A a z indexu řecké abecedy označující druh plochy (např.  $A_\gamma$  - čelo). Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují s čárkou (např.  $A_\alpha'$  - vedlejší hřbet). Hřbet nástroje  $A_\alpha$  je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Hlavní hřbet  $A_\alpha$  směřuje k přechodové ploše obrobku, vedlejší hřbet  $A_\alpha'$  směřuje k obrobené ploše obrobku viz Obrázek 4. Čelo nástroje  $A_\gamma$  je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska. Tvar čela určuje křivka vytvořená průsečíkem plochy čela  $A_\gamma$  s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří  $P_n$ . Utvařec třísky je část čelní plochy určené k lámání nebo svinování třísky. Mohou být vylisovány nebo přiloženy na čelo nástroje [1].



**Obrázek 4:** Části, plochy a ostří na řezné části soustružnického nože [1]

Ostří je prvek řezné části, kterým se realizuje vlastní proces řezání. Je průsečnicí hřbetu a čela. Hlavní ostří  $S$  je část ostří, která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku. Vedlejší ostří  $S'$  provádí dokončovací práci na obrobené ploše, ale nevytváří plochu přechodovou. Uvažovaný bod ostří je bod nacházející se v kterémkoliv místě hlavního nebo vedlejšího ostří, ve kterém se nachází počátek souřadnicového systému. Špička nástroje je relativně malá část ostří nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být přímá (sražená) nebo zaoblená [1].



**Obrázek 5:** Špička nástroje [1]

### 1.1.3 Pohyby při obrábění

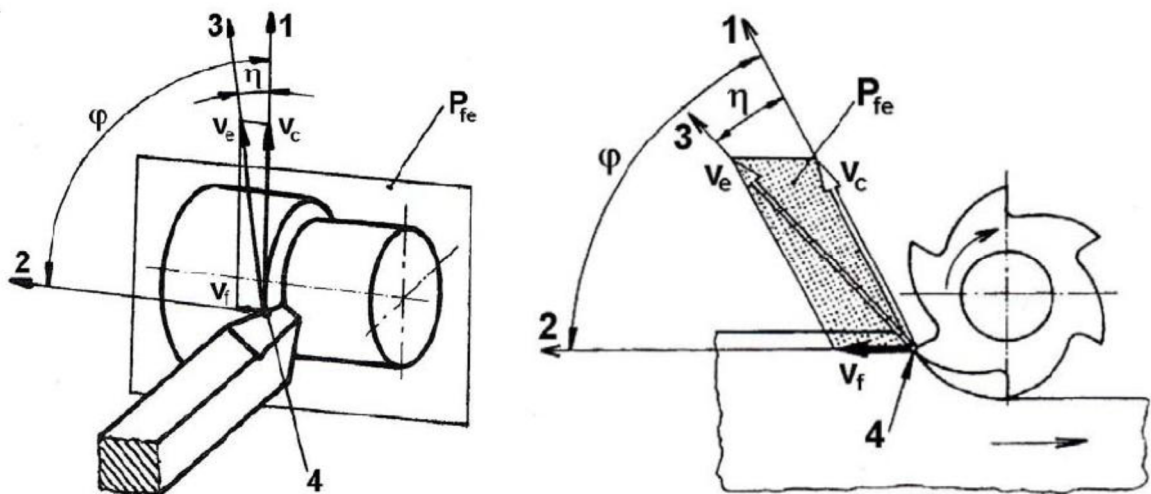
Hlavní řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Směr hlavního řezného pohybu je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří. Řezná rychlost  $v_c$  je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku. Posuvový pohyb

(vedlejší řezný pohyb) je realizován jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. U některých způsobů obrábění tento pohyb není [1].

Posuvová rychlost  $v_f$  je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku. Výsledný řezný pohyb je vycházející pohyb ze současného hlavního a posuvového pohybu. Vznikne vektorovým součtem obou pohybů. Rychlost výsledného řezného pohybu  $v_e$  je okamžitá rychlost výsledného pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku [1].

Úhel řezného pohybu  $\eta$  je úhel mezi směrem hlavního řezného pohybu a výsledného řezného pohybu v pracovní rovině boční  $P_{fe}$ . Úhel posuvového pohybu  $\varphi$  lze vyjádřit jako úhel mezi směry současného posuvového pohybu a hlavního řezného pohybu v pracovní rovině boční  $P_{fe}$ . Pro některé obráběcí procesy není tento úhel definovaný, například pro hoblování, protahování [1].

Přisuv je pohyb nástroje nebo obrobku, kterým se nastavuje nástroj do pracovní polohy na požadovanou šířku záběru  $a_p$  (v praxi ještě stále používanou hloubku řezu  $h$ ) [1].



**Obrázek 6:** Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr řezného pohybu, 3 - směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří) [1]



Velikost posuvu se udává:

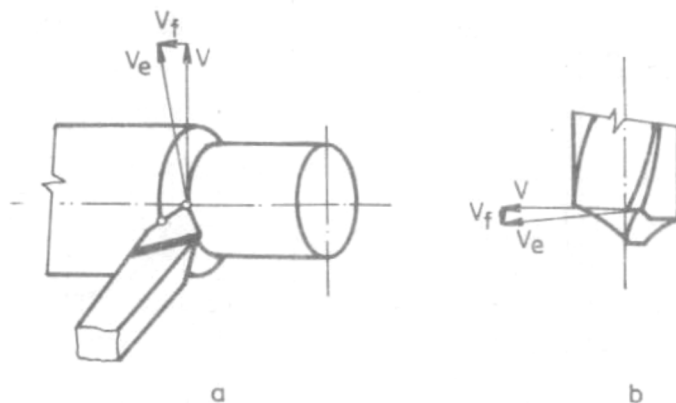
- mm na jednu otáčku obrobku (soustružení) nebo nástroje (frézování, vrtání)
- mm/min jako posuvová rychlost pracovního stolu nebo suportu obráběcího stroje
- mm na zub nástroje; dráha v mm, kterou urazí obrobek při pohybu do záběru za pootočení frézy o jednu zubovou rozteč. Přísuv je pohyb, kterým se nástroj nebo obrobek nastavuje na žádanou hloubku řezu. Není složkou řezného pohybu. Je to vedlejší pohyb umožňující vzájemné nastavení obrobku a nástroje, nastavení hloubky úběru. Přísuv se nastavuje mimo vlastní proces obrábění, a proto neovlivňuje řezný pohyb [13].

Výslednou rychlost řezného pohybu určíme ze vztahu:

$$v_e = v + v_f, \text{ kde}$$

$v$  je rychlost hlavního řezného pohybu,

$v_f$  je rychlost posuvu [13].

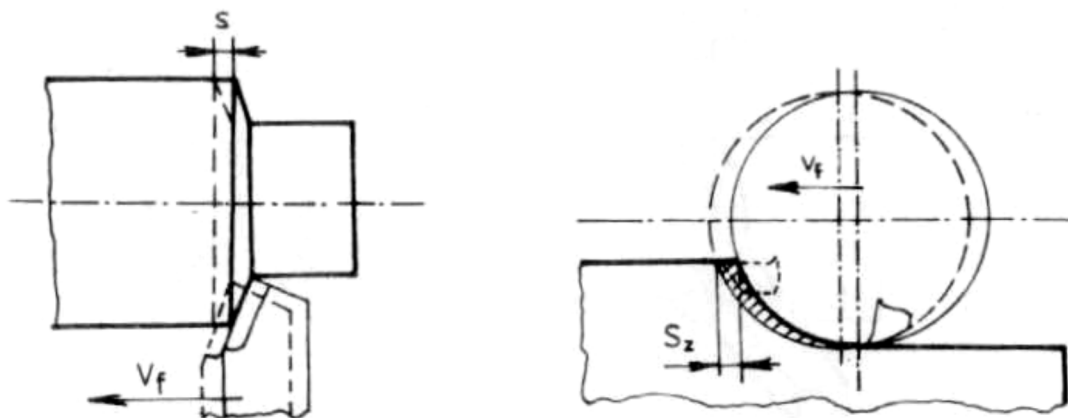


**Obrázek 7:** Určení rychlosti řezného pohybu

(a – soustružení, b – vrtání,

$v_f$  – rychlost posuvu,  $v$  – rychlost hlavního pohybu,

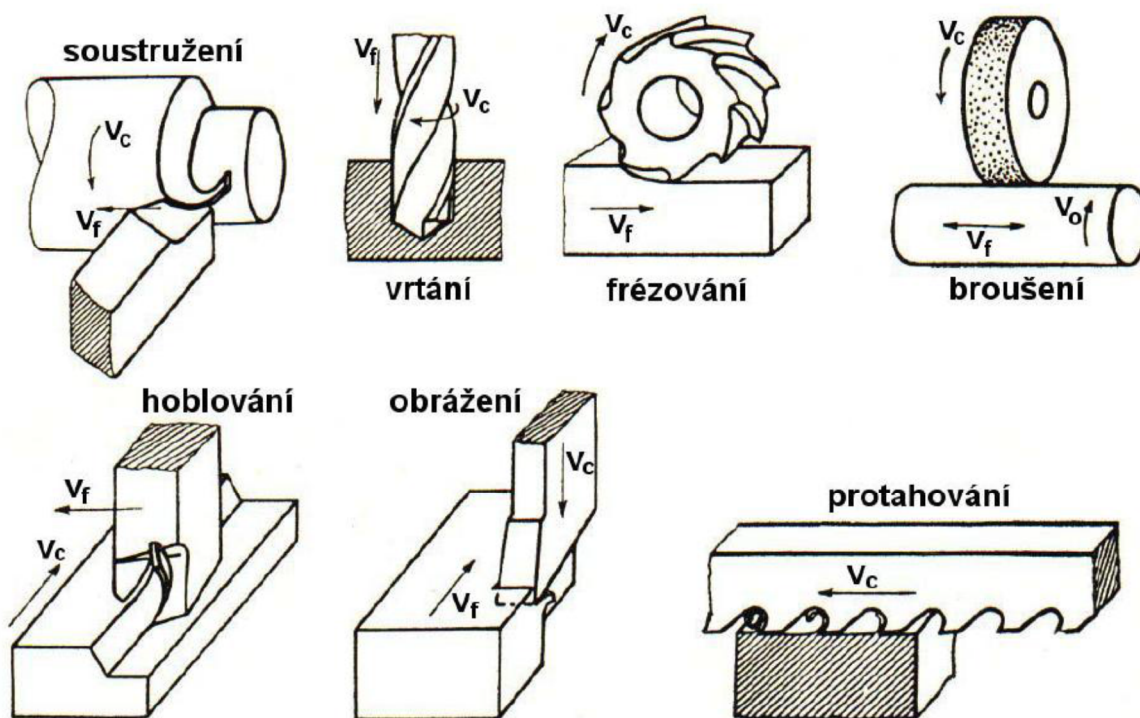
$v_e$  – rychlost řezného pohybu) [13]



Určení rychlosti posuvu při soustružení      Určení velikosti posuvu při frézování

**Obrázek 8:** Určení rychlosti posuvu [13]

Je-li hlavní pohyb rotační, roste rychlost se vzdáleností uvažovaného bodu řezné hrany od osy otáčení. Za rychlost hlavního pohybu potom považujeme rychlost tohoto bodu řezné hrany, který má největší vzdálenost od osy otáčení. Vzhledem k tomu, že rychlost posuvu bývá proti rychlosti hlavního pohybu většinou velmi malá, zanedbáváme ji při výpočtu výsledné rychlosti řezného pohybu, takže platí:  $v_e = v$ . Řezná rychlost je tedy totožná s rychlostí hlavního řezného pohybu [13].



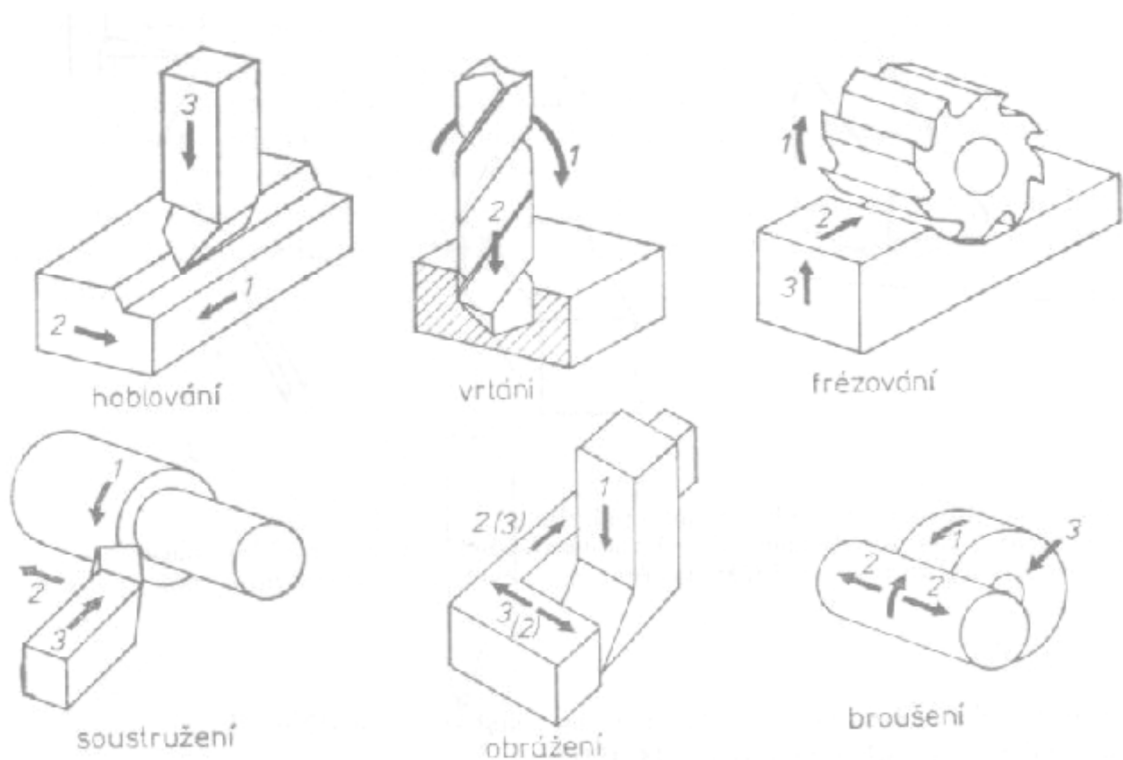
**Obrázek 9:** Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění [1]

### 1.1.3.1 Pohyby při soustružení

- hlavním pohybem je otáčivý pohyb obrobku
- vedlejší pohyb koná nástroj; je to pohyb posuvný
- přířuv je vykonáván nástrojem a slouží k nastavení hloubky řezu [13]

### 1.1.3.2 Pohyby při frézování

- hlavním pohybem je otáčivý pohyb nástroje
- vedlejší posuvný pohyb vykonává nejčastěji obrobek
- přířuv je zajištěn nastavením obrobku na hloubku řezu [13]



**Obrázek 10:** Pohyby pro jednotlivé způsoby obrábění (1 – hlavní řezný pohyb; 2 – vedlejší řezný pohyb (posuv), 3 – přířuv) [13]

## 1.2 Fyzikální podstata procesu obrábění

Fyzikální podstatou obrábění je řezání, při kterém je oddělováno jisté množství materiálu, tzv. přídavek na obrábění, mechanickým účinkem nástroje, jehož řezná část má tvar klínu a je tvrdší než obráběný materiál [12].

Proces obrábění lze uskutečnit:

- řezáním - nástroj má definovaný počet břitů i tvar břítu,
- abrazí - nástroj má břity nedefinovaného počtu a tvaru,
- erozí - materiál je odstraňován procesem eroze [12].

Cílem všech metod obrábění je dát obrobku požadovaný geometrický tvar, rozměr a také dosáhnout odpovídající kvality obrobené plochy při maximální efektivitě procesu obrábění [12].

### 1.3 Rozdělení metod obrábění

Obráběcí metody lze dělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku.

Podle charakteru vykonávané práce na:

- ruční,
- strojní.

Ruční obrábění se rozumí práce vykonávané člověkem pomocí ručních nástrojů jako je sekání, pilování, zaškrabávání apod. Patří sem rovněž práce vykonávané pomocí ručně ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky aj. Při ručním obrábění je využívána fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době vzhledem ke stavu techniky nízkou úroveň. Svůj neopomenutelný význam má ruční obrábění především v údržbě a opravárenství. V případě strojního obrábění je potřebná energie, která je přiváděna obvykle ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, kde se transformuje v energii mechanickou, využívanou pro realizaci obráběcího procesu [1].

Dělením obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje je:

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.),
- nekonveční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem),
- úpravy obrobených ploch (např. válečkování, leštění, hlazení, brokování) [1].

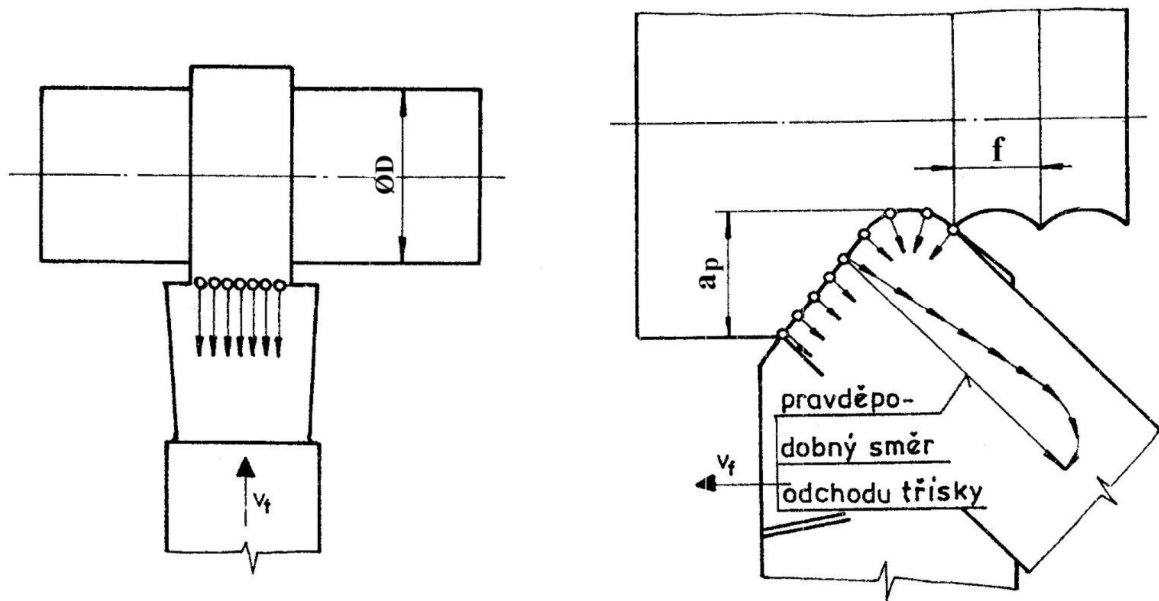
Podle charakteru záběru řezání:

- plynulé řezání, při kterém je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru,
- přerušované řezání, při němž řezný klín střídavě vchází do záběru a vychází ze záběru. Typickým příkladem takového řezání je frézování [1].

Podle směru přemísťování částic materiálu vzhledem k řezné hraně se dělí na:

- volné obrábění, při kterém je směr přemísťování částic třísky ve všech bodech řezné hrany stejný,
- vázané obrábění, při kterém se částice třísky pohybují různými směry, v zásadě však kolmo na řeznou hranu [1].

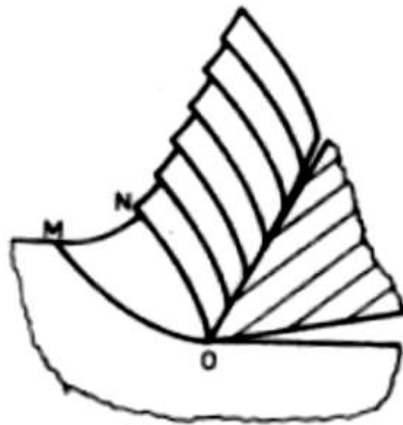
Soustružení zapichovacím nebo naběracím soustružnickým nožem je typickým příkladem volného řezání viz Obrázek 11. Naopak při vázaném řezání určuje výslednice pohybů jednotlivých částic třísky skutečný směr odchodu třísky. Uvedený příklad vázaného řezání na Obrázek 11 je podélné soustružení nástrojem se zaoblenou špičkou [1].



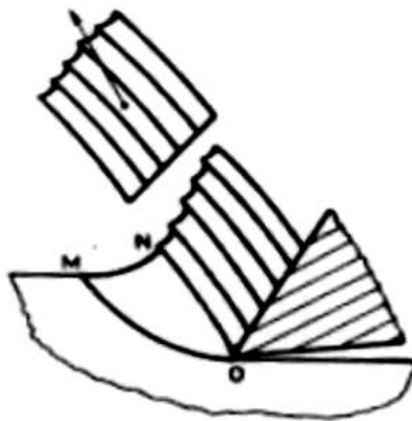
Obrázek 11: Příklad volného a vázaného řezání [1]

#### 1.4 Mechanika procesu řezání a tvorba třísky

Při řezání se oddělovaná nedeformovaná vrstva na obrobku mění v třísku. Dochází při tom k plastické deformaci, která je ovlivněna druhem, vlastnostmi obráběného materiálu a podmínkami, za kterých probíhá; hlavně deformační rychlostí a teplotou. Výsledným projevem této plastické deformace je oddělení třísky formou lomu. Dochází k tomu na konci tzv. oblasti primární plastické deformace, kde je již plasticita materiálu vyčerpána a dochází tedy ke kluzu uvnitř materiálu. Vznikají tak jednotlivé elementy (lamely), které s ohledem na vlastnosti obráběného materiálu se buď od sebe navzájem neoddělují, čímž vzniká tříska tvářená, která může být plynulá nebo dělená, nebo se od sebe oddělují, tj. případ netvářené třísky, kdy obrobený materiál odletuje z místa řezu ve formě jednotlivých malých elementů. Dochází k tomu při obrábění tvrdých a křehkých materiálů např. skla, kalené oceli apod. Naopak tvářená tříska se tvoří při obrábění většiny běžně používaných strojírenských materiálů [12].

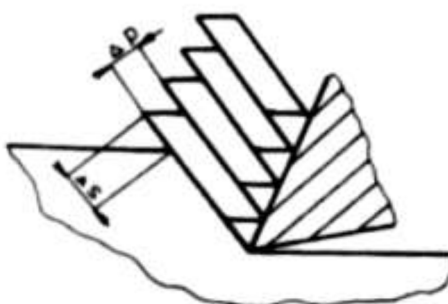


**Obrázek 12:** Tříška tvářená – plynulá [12]



**Obrázek 13:** Tříška tvářená – dělená [12]

Ve výše uvedených obrázcích **Obrázek 13** a **Obrázek 13****Obrázek 14** je také vyznačena oblast MNO – oblast primární plastické deformace, která může například při vysoké řezné rychlosti být velmi úzká a tvorbu elementů je možno si zjednodušeně představit podle **Obrázek 14** [12].



**Obrázek 14:** Zjednodušená tvorba elementů [12]

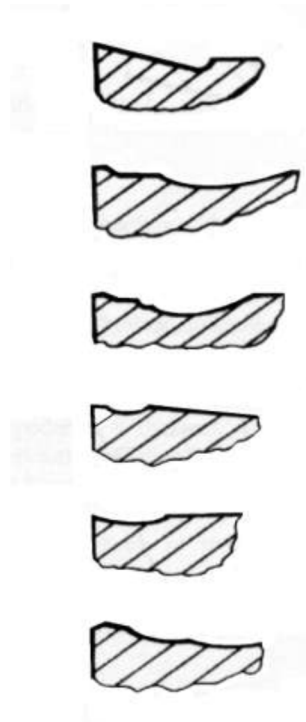
U technologických procesů, kdy nástroj periodicky nevychází z obráběného materiálu (například při soustružení), je požadavek na vytváření třísek o malých délkách velmi silný z důvodu jejich skladnosti, manipulace s nimi a také jejich dalšího zpracování [12].

Tvary třísek jsou hodnoceny podle tabulek, v nichž bývá uveden také tzv. objemový součinitel  $W$ , který je dán vztahem:

$$W = \frac{V_t}{V_m},$$

kde  $V_t$  je objem volně ložených třísek

$V_m$  je objem odebraného materiálu, ze kterého vznikl uvažovaný objem třísek.

**Obrázek 15:** Utvařeče (lamače) třísek [12]



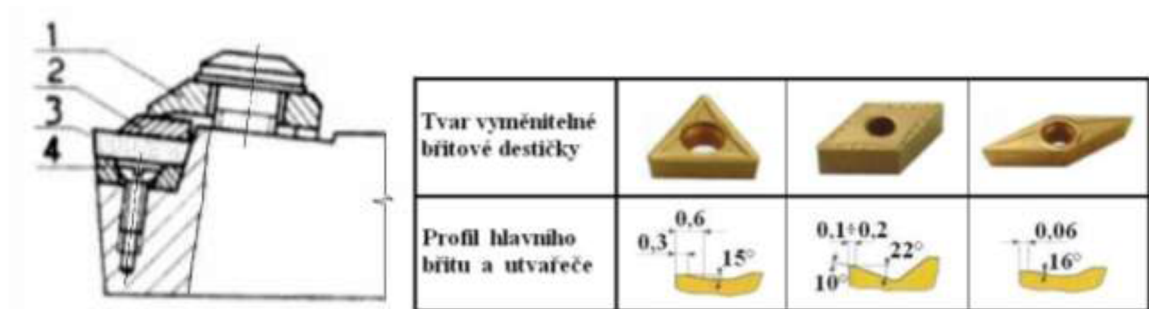
Orientační hodnoty objemového součinitele vystihuje pro některé tvary třísek následující tabulka:

**Tabulka 1:** Hodnocení tvarů třísek [12]

TVARY TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60
	SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	OBLOUKOVÉ SPOJENÉ	8 až 10
	ELEMENTÁRNÍ	4 až 6

Na tvar třísek mají kromě obráběného materiálu vliv také řezné podmínky, zejména hloubka řezu (respektive tloušťka třísky)  $a_p$  a velikost posuvu  $f$ , což pak tvoří v grafech, kterých se v praxi využívá, takzvané oblasti vhodného utváření třísky.

Pro zlepšení dělení třísek se vytvářejí na čelech obráběcích nástrojů takzvané utvařeče (lamače) třísek - viz Obrázek 16. Tyto utvařeče se dnes realizují u vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů hlavně lisováním, méně často se již utváření třísek řeší pomocí příložných utvařečů – viz Obrázek 16. Výrobci těchto destiček nabízejí většinou tři základní druhy utvařečů podle charakteru práce a to: pro hrubování, střední hrubost práce a obrábění na čisto[12].

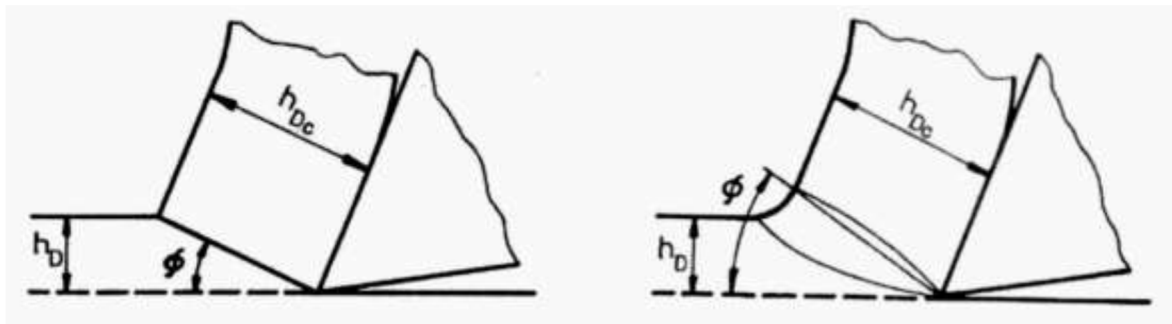


Obrázek 16: Praktická realizace utvařečů třísek:

- a) Příložný utvařeč: 1 - upínka, 2 - utvařeč třísek, 3 - břitová destička, 4 - podložka  
 b) Lisované utvařeče na vyměnitelných břitových destičkách [12]

### 1.4.1 Pěchování třísky

Tloušťka odřezávané vrstvy  $h_b$  je vždy menší než tloušťka třísky  $h_{Dc}$ . Je to důsledek plastické deformace materiálu v oblasti primární plastické deformace, během které je materiál pěchován. Podobně délka třísky  $l_c$  je menší než délka dráhy nástroje  $l$ , na níž vznikne tříska právě o délce  $l_c$ .



Obrázek 17: Charakteristiky tvoření třísky [12]

Rozdíl mezi výše uvedenými parametry charakterizuje součinitel pěchování  $A_h$ , který můžeme vyjádřit na základě následujících vztahů:

$$K_S = \frac{A_{Dc}}{A_D} = \frac{h_{Dc} \cdot b_{Dc}}{h_D \cdot b_D} = \frac{h_{Dc}}{h_D}, \text{ neboť přibližně platí } b_D = b_{Dc}$$

Respektive porovnáním délek:

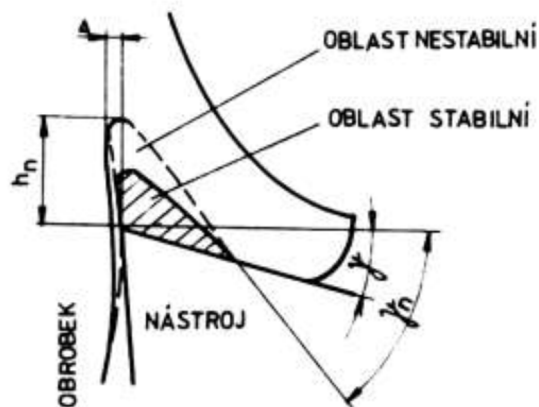
$$K_l = \frac{l}{l_c}$$

Prakticky platí:  $A_h = K_S = K_l$  [12]

Výše uvedený součinitel pěchování charakterizuje plastickou deformaci obrábění v oblasti primární plastické deformace a energetickou náročnost obrábění. Na Obrázek 17 je také naznačen úhel střížné roviny  $\Phi$ , charakterizující velikost a tvar oblasti primární plastické deformace [12].

#### 1.4.2 Nárůstek a jeho tvorba

Tříška, která se vytvořila v důsledku plastické deformace odřezávané vrstvy, odchází po čele nástroje, přičemž se již nedeformuje. Při pohybu musí překonávat třecí síly a je vystavena účinkům obrovského normálního tlaku (104 až 105 MPa) a vysoké teploty. To vede k vytváření adhezních spojů mezi tříškou a nástrojem, které brání plynulému pohybu třísky, což vede k rozrušování adhezních spojů a to má za následek růst tečných napětí ve vrstvách nejbližší čele nástroje. Tato tečná napětí vyvolávají v tříšce další plastickou deformaci, která je označována jako sekundární [12].



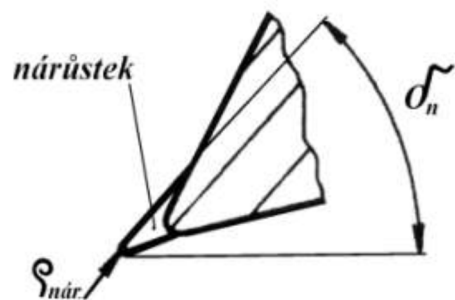
Obrázek 18: Geometrické charakteristiky nárůstku [12]

Takto zdeformovaná vrstva nebo její část může zůstat spojená s nástrojem a dochází ke vzniku nárůstku. Jak je z obrázku patrné, má dvě oblasti:

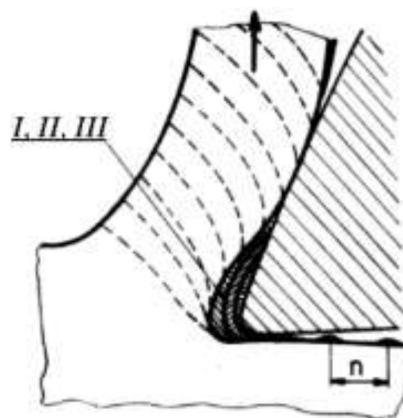
- oblast stabilní, která je pevně spojena s nástrojem,
- oblast nestabilní, tvořící špičku nárůstku.

Všeobecně platí, že stanovení přesné hranice mezi těmito oblastmi není možné.

Nárůstek po určitou dobu bývá stabilní a nestabilní je pouze jeho vrchol, řídící se periodickým procesem rušení a obnovování. Elementy špičky nárůstku mohou odcházet buď s třískou, a nebo se nalepují na obrobenou plochu a tím zhoršují její kvalitu – viz Obrázek 20. Stabilní nárůstek do jisté míry přebírá funkci břitu, břit chrání, zmenšuje opotřebení nástroje, mění však jeho geometrii (hlavně úhel řezu  $\delta$  – přechází v  $\delta_n$ , a poloměr zaoblení ostří nástroje je dán neustále se měnícím poloměrem nárůstku –  $\rho_{\text{nár}}$ ). Tím však také negativně ovlivňuje rozměr obrobku, jak je patrné z Obrázek 19 [12].

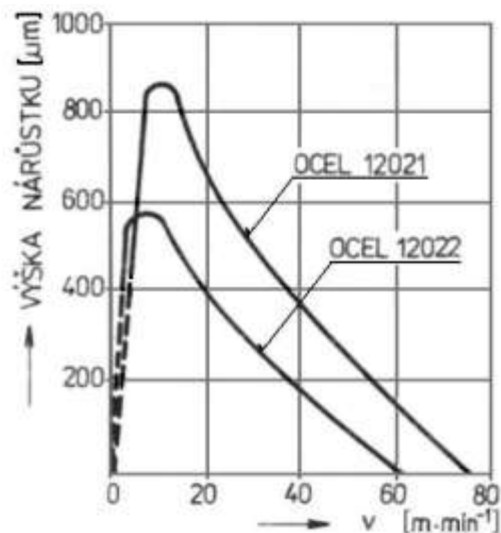


Obrázek 19: Obvyklý tvar nárůstku [12]



Obrázek 20: Postupné zvětšování nárůstku [12]

Experimentálně bylo prokázáno, že nárůstek vzniká tehdy, je-li hodnota součinitele tření  $f$  na čele nástroje větší než 0,5. Jednou z možností, jak odstranit tvoření nárůstku, je tedy mazání. Další možností je použití nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutých karbidů, které umožňují obrábění při vysokých řezných rychlostech, kdy se nárůstek netvoří, neboť při vysoké deformaci je kov vstupující do oblasti sekundární zóny deformace teplejší než vlastní tříska a tato teplá vrstva působí jako jistý druh maziva mezi třískou a čelem nástroje [12].



**Obrázek 21:** Výška nárůstku v závislosti na řezné rychlosti [12]

Jak již bylo výše uvedeno, nárůstek mění podmínky řezání, ale přitom intenzita jeho vzniku je primárně dána řeznými podmínkami. Jak je zřejmé z Obrázek 21, dosahuje maximálních rozměrů pro řezné rychlosti  $v \cong 15$  [m·min<sup>-1</sup>]. Tyto hodnoty se ještě mění s vlastnostmi materiálu obrobku. S rostoucím posuvem se rovněž zvětšuje výška nárůstku, zatímco změna hloubky řezu nevykazuje takřka žádný vliv [12].

### 1.4.3 Povrchová vrstva

Při obrábění vzniká napěťové pole, které vyvolává určitý stav deformace. Tyto deformace jsou ovlivňovány i teplotním polem, které mění vlastnosti materiálu. Jak je z Obrázek 22. patrné, bude mít poloměr zaoblení ostří nástroje  $\rho$  značný vliv na velikost deformace povrchové vrstvy, u které dojde v důsledku plastické deformace ke zpevnění, což se výrazně projeví hlavně u tvárných materiálů. Hloubka a intenzita zpevnění bude také závislá ještě na řezné rychlosti, tloušťce a šířce odřezávané vrstvy a také na geometrii nástroje [12].



**Obrázek 22:** Znázornění vzniku stlačeného pásma v povrchové vrstvě [12]

Takto zpevněná povrchová vrstva má příznivý vliv na mechanické opotřebení obrobené plochy a zvyšuje její odolnost proti korozi. Vlastnosti povrchové vrstvy ovlivňují také tzv. zbytková pnutí jako důsledek poruch struktury, vyvolaných plastickou deformací a také objemových změn strukturálních složek, což je výsledek fázových změn. Zbytková pnutí po obrábění je možno rozdělit do dvou skupin:

- vzniklá v důsledku mechanických účinků – jsou obvykle tlaková (záporná) a působí pozitivně, neboť zvyšují mez únavy  $\sigma_c$  obrobku;
- vzniklá v důsledku tepelného účinku – jsou obvykle tahová (kladná) a působí negativně, neboť jsou zdrojem povrchových trhlin, které vedou naopak k únavovým lomům [12].

### 1.5 Řezná síla a odpor

K tvoření třísky a jejímu odvádění z místa řezu se spotřebuje určité množství práce, která je potřebná k překonání odporu materiálu proti vnikání břitu nástroje do povrchu obrobku. Tento odpor materiálu se nazývá řezný odpor  $R$  a síla, která je potřebná k překonání tohoto odporu se nazývá řezná a značí se  $F$  [13].

Znalost silových poměrů řezání je potřebná zejména:

- ke stanovení pevnosti a tuhosti konstrukce obráběcího stroje, jeho jednotlivých součástí
- ke stanovení pevnosti a tuhosti upínačů nástroje i obrobku
- k návrhu a pevnostnímu výpočtu nástrojů
- ke stanovení vhodných řezných podmínek k dosažení požadované přesnosti obrábění apod.

Je třeba zdůraznit, že řezné síly a řezné odpory nejsou konstantní, ale naopak v průběhu obrábění jsou proměnné v závislosti na změně jak původních vlastností obráběného materiálu (např. teplem apod.), tak i nástroje (např. opotřebením apod.), zejména však na tvaru polotovaru, jeho upnutí, tuhosti obráběcího stroje apod. [13].

Řezný odpor při obrábění je v podstatě složen:

- z odporu obráběného materiálu proti plastické deformaci při vytváření třísky
- z odporu proti tření mezi čelem nástroje a třískou a hřbetem nástroje a obrobenou plochou

Řezné síly, které překonávají řezné odpory při obrábění, působí na nástroj, obrobek, stroj i upínací pomůcky a ovlivňují tuhost celé této soustavy, a tím i přesnost obrábění [13].

### 1.5.1 Řezná síla

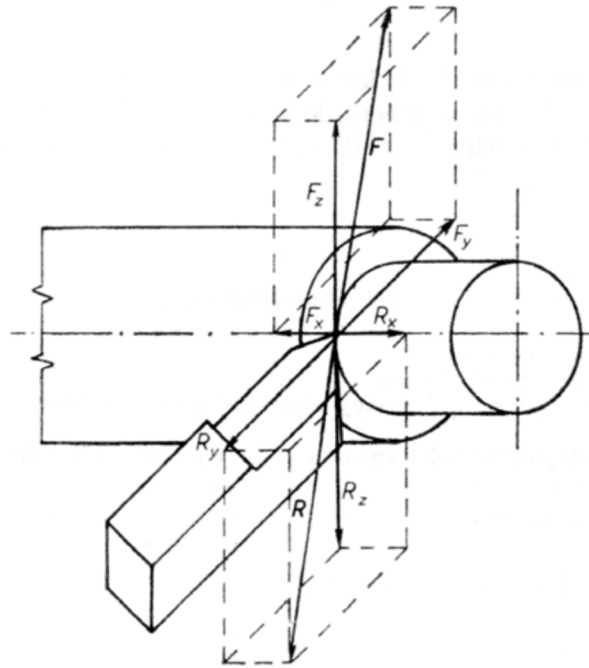
Výsledná řezná síla  $F$  je tvořena třemi složkami, které jsou navzájem kolmé a leží v souřadných osách  $x$ ,  $y$  a  $z$  - jsou to:

- axiální složka  $F_x$  je rovnoběžná se směrem vedlejšího řezného pohybu - posuvu
- radiální složka  $F_y$  je kolmá na osu rotace obrobku (při soustružení) nebo na osu rotace nástroje (při frézování, vrtání) a způsobuje vzájemné odtlačování nástroje a obrobku
- tangenciální složka  $F_z$  je tečná na směr hlavního řezného pohybu

Vzájemný vztah složek je dán rovnicí:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Vzájemný poměr jednotlivých složek řezné síly je proměnný a je závislý na geometrii břitu nástroje. Pro úhel nastavení hlavního ostří  $\chi = 45^\circ$  bývá poměr jednotlivých složek v průměru  $F_x : F_y : F_z = 1 : 2 : 4$ . Největší význam má složka  $F_z$ , která určuje s dostatečnou přesností velikost kroutícího momentu u rotačního způsobu obrábění (soustružení, frézování, vrtání) a spolu s řeznou rychlostí určuje příkon elektromotorů obráběcího stroje potřebný k obrábění:  $P = F_z \cdot v$  [13].



**Obrázek 23:** Celková řezná síla a řezný odpor ( $F$  – celková řezná síla,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  – kolmé složky celkové řezné síly,  $R$  – řezný odpor,  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  – kolmé složky řezného odporu) [13]

### 1.5.2 Řezný odpor

Je to odpor, který klade materiál obráběného polotovaru proti oddělování třísky. Řezný odpor je závislý na mnoha činitelích, především na vlastnostech obráběného materiálu, na řezných podmínkách, na geometrii břitu nástroje. Z řezných podmínek pro daný druh obráběného materiálu je řezný odpor nejvíce závislý na tloušťce třísky. Řeznou sílu lze určit výpočtem nebo přímým, případně nepřímým měřením [13].

## 1.6 Druhy řezných materiálů, konstrukce nástrojů

Při obrábění je nástroj značně mechanicky i tepelně namáhán. Aby nástroj byl schopen vykonávat svou funkci, musí být vyroben z vhodného nástrojového materiálu.

Mezi základní vlastnosti nástrojových materiálů patří:

- tvrdost; musí být podstatně vyšší než tvrdost obráběného materiálu,
- odolnost vůči opotřebení,
- vyhovující pevnost v tlaku a ohybu,
- dobrá tepelná vodivost a tepelná odolnost [13].



Vzhledem k tomu, že břit je nejdůležitější částí nástroje, je třeba volbě materiálu břítu věnovat náležitou pozornost. Na břitu závisí průběh vlastního procesu obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění. Vlastnostem řezných materiálů, tj. tvrdosti, pevnosti, houževnatosti, odolnosti proti otěru a tepelné vodivosti, se říká souhrnně řezivost [13].

Žádný z řezných materiálů není tak univerzální, aby byl vhodný k obrábění všech materiálů. Existuje celá řada řezných materiálů lišících se svými vlastnostmi, a tím i vhodností použití pro obrábění konkrétního materiálu [13].

### 1.6.1 Nástrojové oceli slitinové (legované)

Pro třískové obrábění jsou z nich nejužívanější rychlořezné oceli (RO). Podle obsahu a množství legujících prvků (Cr, V, Mn, Mo, W, ...) se dělí na RO:

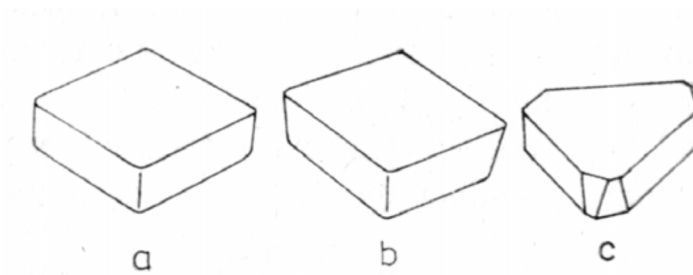
- pro běžné výkony
- výkonné
- vysoce výkonné

S nástroji zhotovenými z rychlořezných ocelí lze obrábět až do teploty 600° C [13].

### 1.6.2 Slinuté karbidy (SK)

Jsou nekovové řezné materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbidu wolframu, karbidu titanu, karbidu tantalu, pojivem je kobalt. Zvyšováním obsahu kobaltu u slinutých karbidů roste jejich pevnost a houževnatost, ale současně klesá jejich tvrdost. Po konečném slinování lze slinuté karbidy tvarově a rozměrově upravovat jen broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. Tepelná odolnost SK je 800°–1000° C. Jsou vyvíjeny stále nové druhy slinutých karbidů s větší otěruvzdorností a houževnatostí [13].

Pro třískové obrábění se slinuté karbidy zhotovují ve formě řezných destiček různého tvaru a velikosti v souvislosti se způsobem obrábění. Destičky je možné k tělesům fréz, držákům soustružnických nožů připevnit pájením, především však jsou připevňovány mechanickým způsobem - pomocí příložek, šroubů apod. To umožňuje několikeré otočení destičky při otupení konkrétní řezné hrany. Takovým destičkám říkáme vyměnitelné břitvé destičky [13].



**Obrázek 24:** Tvary vyměnitelných destiček

(a – hranolová, b – destička komolého jehla nu, c – trojúhelníková) [13]



**Obrázek 25:** Ukázka osazení frézovací hlavy a soustružnického nože vým. destičkami [13]

Soustava ISO rozděluje slinuté karbidy pro třískové obrábění podle chemického složení do tří skupin označených písmeny:

- P; slinuté karbidy wolframotitanové, vhodné pro obrábění především ocelí
- M; slinuté karbidy univerzální (pro oceli i litiny)
- K slinuté karbidy wolframové, vhodné pro obrábění tvrdých, křehkých materiálů

Kromě označení písmenem jsou vlastnosti SK určité skupiny ještě rozlišeny číselným indexem [13].

Tabulka 2: Rozdělení slinutých karbidů k obrábění [13]

Druhy slinutého karbidu	Označení ISO			Obráběný materiál
	skupina	podskupina	barva (označení nástrojů)	
F2 F1 S1 S2 S3 S4 S5	P	P01.3 P01.4 P10 P20 P30 P40 P50	Ultramarínová modř světlá č. 4400	K obrábění houževnatých materiálů s utvářenou třískou, například ocel, ocel na odlitky a temperované litiny
U1 U2 U3	M	M10 M20 M30	Chromová žluť tmavá č. 6400	Univerzální, k obrábění všech druhů litin, ocelí a těžko obrobitelných slitin
H3 H2 H1 G1.1 G2	K	K01 K05 K10 K30 K40	Višňová červeň č. 8300	Pro obrábění materiálů s drobnou třískou, tj. šedé litiny, nezelezných kovů a jejich slitin, kalených ocelí a plastů

Za účelem zvýšení otěruvzdornosti jsou břitové destičky ze slinutých karbidů opatřeny jedním nebo vícevrstevným povlakem karbidu titanu, nitridu titanu nebo oxidu hlinitého [13].

### 1.6.3 Keramické řezné materiály

Zachovávají tvrdost i při teplotách 1 000° až 1 200° C. Pro jejich výrobu je výchozí surovinou oxid hlinitý ( $Al_2O_3$ ). Vyrábějí se práškovou metalurgií, slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček [13].

Keramické řezné materiály se vyznačují malou pevností v ohybu a velkou křehkostí. Nejsou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. Jsou konstrukčně řešeny stejně jako destičky z SK tak, že je můžeme v nástrojových držácích několikrát otočit a po otupení všech řezných hran se vyřazují a nahrazují novými.

Rozdělují se do tří skupin:

- Čisté oxidy
- Cermenty
- Karbidové oxidy

Snahou výrobců je zlepšit pevnost v ohybu keramických destiček a zvýšit houževnatost [13].

#### **1.6.4 Syntetické diamanty**

Chemické složení odpovídá čistému uhlíku. Je nejtvrdějším řezným materiálem vůbec. Jako řezný materiál se používá k dokončovacím úběrům při malých posuvech a hloubkách řezu, bez přerušovaných řezů. Nepoužívá se k obrábění materiálu s malou tepelnou vodivostí, protože by velmi rychle zoxidoval [13].

#### **1.6.5 Kubický nitrid boru (KBN)**

Vlastnosti, zejména tvrdost, se podobají vlastnostem a tvrdosti diamantu. Kubický nitrid boru však snese podstatně vyšší dovolené teploty (až 1 500° C). Lze ho použít na dokončovací operace u obrobků z těžkoobrobitelných materiálů, např. obrobků z kalených ocelí a slitin [13].

### **1.7 Geometrie obráběcích nástrojů**

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost síly řezání a její rozložení do jednotlivých složek, na utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu výsledné obrobene plochy, trvanlivost bříty a hospodárnost obráběcího procesu [1].

Z uvedeného je zřejmé, že chceme-li při využívání nástroje minimalizovat ztráty, je při konstrukci nástroje a zejména jeho ostření nezbytná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie bříty a jejího vlivu na proces obrábění [1].

Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- nástrojová - v této rovině se definuje geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. Roviny používané v této rovině se nazývají nástrojové roviny.
- pracovní - tato soustava se nazývá také jako efektivní nebo kinetická. Identifikuje se zde geometrie v procesu řezání [1].

Roviny používané v této soustavě se nazývají pracovní roviny. Jejich názvy a značení je totožné jako u nástrojových rovin, s tím rozdílem, že se přidává index  $e$  (např.  $P_{re}$ ) [1].

### 1.7.1 Nástrojové roviny

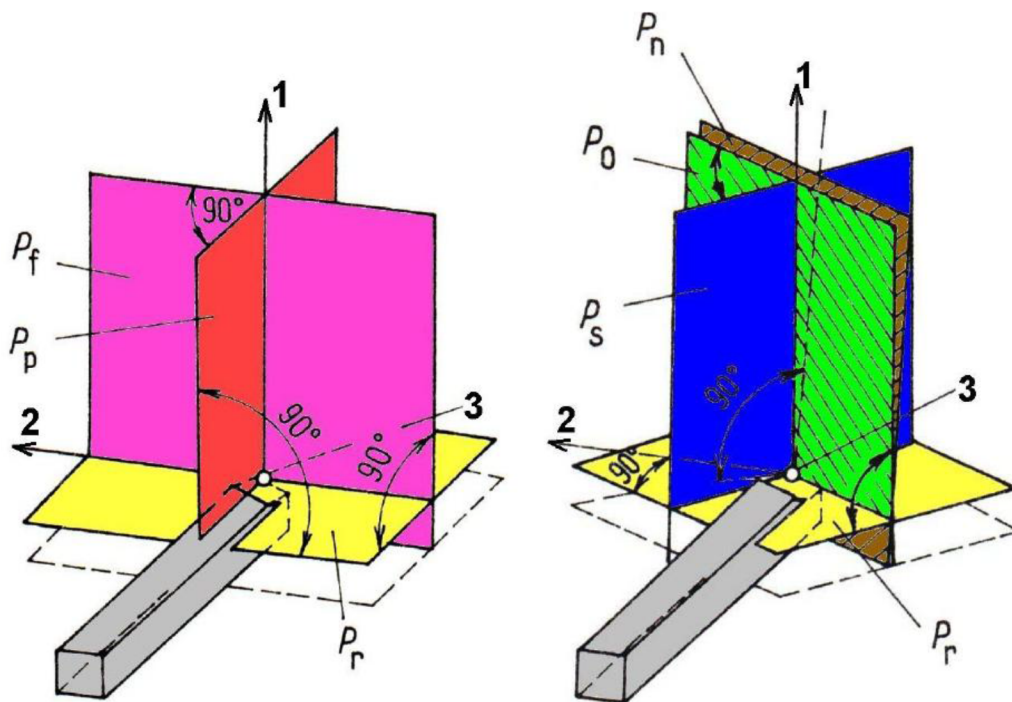
Nástrojová rovina základní  $P_r$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr hlavního řezného pohybu [1].

Nástrojová rovina boční  $P_f$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor posuvového pohybu  $v_f$  a je kolmá na rovinu základní  $P_r$ . (Pozn. leží v ní vektory všech pohybů  $v_c$ ,  $v_f$ ,  $v_e$  a všeobecně je tato rovina orientována ve směru posuvového pohybu) [1].

Nástrojová rovina zadní  $P_p$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a na nástrojovou rovinu boční  $P_f$  [1].

Nástrojová rovina ostří  $P_s$  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří, kolmá na rovinu základní  $P_r$ . Nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a nástrojovou rovinu ostří  $P_s$ . Nástrojová rovina normálová  $P_n$  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Jako jediná není obecně kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  (pouze když je úhel sklonu ostří  $\lambda_s = 0$ ). Nástrojová rovina největšího spádu čela  $P_g$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje  $A_\gamma$  a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel čela měřený v této rovině je největší, tedy  $\gamma_g$  je maximální. Nástrojová rovina největšího spádu hřbetu  $P_b$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na rovinu

hřbetu nástroje  $A_\alpha$  a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel hřbetu měřený v této rovině je nejmenší, tedy  $\alpha_b$  je minimální [1].

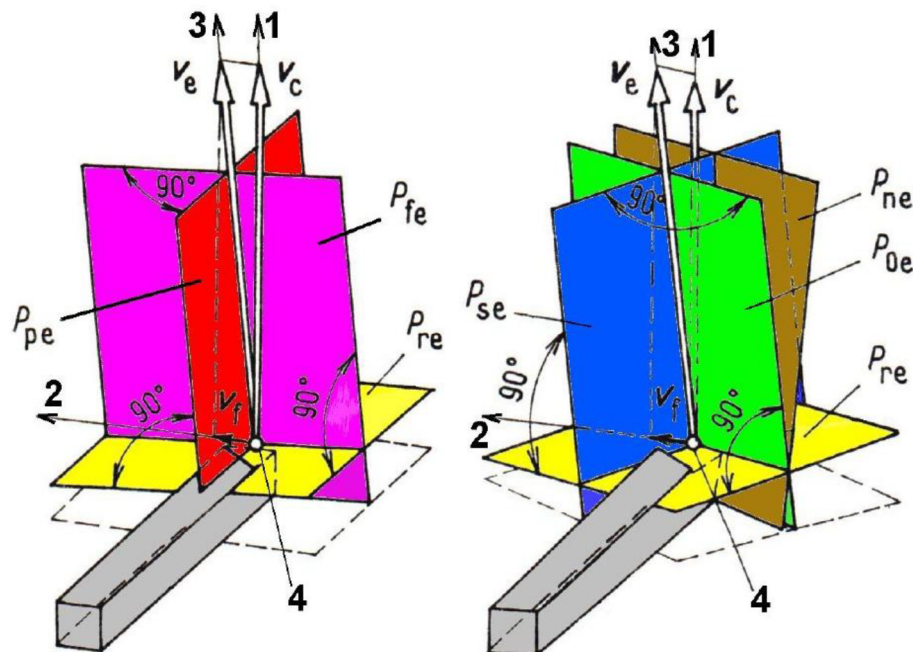


Obrázek 26: Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože [1]

### 1.7.2 Pracovní roviny

V pracovní (efektivní, kinetické) souřadnicové soustavě se identifikuje geometrie řezné části nástroje v procesu řezání. Roviny používané v pracovní souřadnicové soustavě se nazývají pracovní roviny. Pracovní rovina základní  $P_{re}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr řezného pohybu. Pracovní rovina boční  $P_{fe}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je rovnoběžná se směrem posuvového pohybu a je kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$ . Pracovní rovina zadní  $P_{pe}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$  a na pracovní rovinu boční  $P_{fe}$ . Pracovní rovina ostří  $P_{se}$  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a je kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$ . Pracovní rovina ortogonální  $P_{oe}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$  a pracovní rovinu ostří  $P_{se}$ . Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$  je totožná s nástrojovou rovinou normální  $P_n$ , takže  $P_{ne} = P_n$ . Pracovní rovina největšího spádu čela  $P_{ge}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje  $A_\gamma$  a pracovní rovinu základní  $P_{re}$ . Tato

rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel čela v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela největší, tedy  $\gamma_{ge}$  je maximální. Pracovní rovina největšího spádu hřbetu  $P_{be}$  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na hřbet nástroje  $A_a$  a pracovní základní rovinu  $P_{re}$ . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel hřbetu v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela nejmenší, tedy  $\alpha_{be}$  je minimální [1].



**Obrázek 27:** Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože

(1 - směr hlavního pohybu, 2 - směr posuvového pohybu, 3 - směr řezného pohybu, 4 - uvažovaný bod ostří) [1]

### 1.7.3 Nástrojové úhly

Úhly jsou důležité pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. Nástrojové úhly jsou definovány v nástrojové souřadnicové soustavě a mají index totožný s indexem nástrojové roviny  $v_e$ , které jsou měřeny. Nástrojové úhly obecně ovlivňují:

- velikost síly řezání a její složky,
- teplotu řezání,
- tvorbu a odvod třísky,
- hospodárnost obrábění,

- strukturu povrchu,
- vlastnosti povrchové vrstvy.

### 1.7.3.1 *Nástrojové úhly polohy ostří:*

Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  leží mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou boční  $P_f$  a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$  [1].

Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$  leží mezi nástrojovou rovinou vedlejší ostří  $P_{s'}$  a rovinou boční  $P_f$ , a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$  [1].

Nástrojový doplňkový úhel nastavení hlavního ostří  $\psi_r$  je úhlem mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou zadní  $P_p$ . Nástrojový úhel  $\psi_r$  je vždy ostrý a jeho znaménko je odvozené ze vztahu  $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$ . Nástrojový úhel špičky  $\varepsilon_r$  leží mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou vedlejšího ostří  $P_{s'}$  a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$ . Nástrojový úhel sklonu hlavního ostří  $\lambda_s$  leží mezi ostřím  $S$  a nástrojovou rovinou základní  $P_r$  a je měřený v nástrojové rovině ostří  $P_s$ . Úhel  $\lambda_s$  může nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot. Kladných hodnot nabývá tehdy, je-li špička nástroje nejvyšším bodem ostří, záporných hodnot naopak je-li bodem nejnižším. Nástrojové úhly čela Nástrojový ortogonální úhel čela  $\gamma_o$  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$  [1].

Nástrojový boční úhel čela  $\gamma_f$  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ . Nástrojový zadní úhel čela  $\gamma_p$  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ . Nástrojový normální úhel čela  $\gamma_n$  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové normální rovině  $P_n$  [1].

Nástrojový úhel největšího spádu čela  $\gamma_g$  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu čela  $P_g$ . Je ze všech nástrojových úhlů čela největší [1].

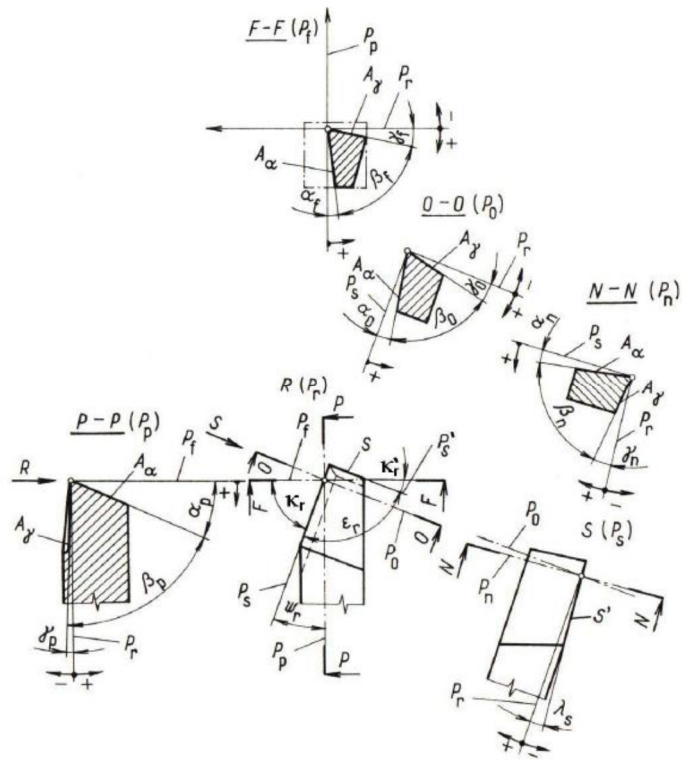


### 1.7.3.2 *Nástrojové úhly hřbetu*

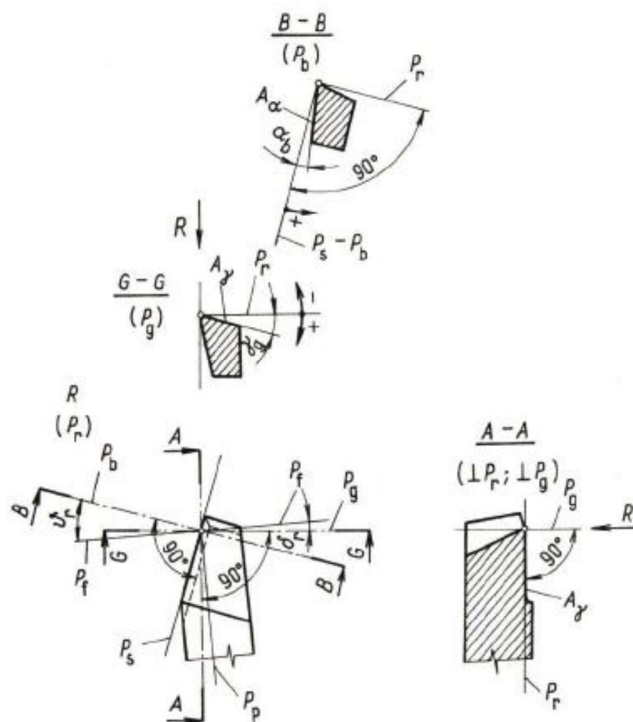
- Nástrojový ortogonální úhel hřbetu  $\alpha_o$  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .
- Nástrojový boční úhel hřbetu  $\alpha_f$  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .
- Nástrojový zadní úhel hřbetu  $\alpha_p$  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .
- Nástrojový normální úhel hřbetu  $\alpha_n$  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové normálové rovině  $P_n$ .
- Nástrojový úhel největšího spádu hřbetu  $\alpha_b$  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu hřbetu  $P_b$ . Je ze všech nástrojových úhlů hřbetu nejmenší [1].

### 1.7.3.3 *Nástrojové úhly břítu*

- Nástrojový ortogonální úhel břítu  $\beta_o$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .
- Nástrojový boční úhel břítu  $\beta_f$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .
- Nástrojový zadní úhel břítu  $\beta_p$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .
- Nástrojový normálový úhel břítu  $\beta_n$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové normálové rovině  $P_n$  [1].



**Obrázek 28:** Nástrojové úhly v rovinách  $P_r$ ,  $P_f$ ,  $P_p$ ,  $P_s$ ,  $P_o$ ,  $P_n$  zakresleny na pravém ubíracím noži [1]



**Obrázek 29:** Nástrojové úhly v rovinách  $P_b$ ,  $P_g$  zakresleny na pravém ubíracím soustružnickém noži [1]

### 1.7.3.4 Matematické závislosti mezi nástrojovými úhly

Ve všech rovinách platí  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ , tedy součet úhlů čela, hřbetu a břitu v nástrojové souřadnicové soustavě v rovině normálové  $P_n$ , ortogonální  $P_o$ , boční  $P_f$  a zadní  $P_p$  je roven  $90^\circ$  [1].

Můžeme podrobněji rozepsat konstatování do rovnic pro jednotlivé nástrojové roviny:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$$

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$$

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$$

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ$$

Pro nástrojové úhly v nástrojové rovině základní  $P_r$  platí:

$$\kappa_r + \kappa_r' + \varepsilon_r = 180^\circ \text{ a } \kappa_r + \psi_r = 90^\circ \text{ [1].}$$

Teoretickým rozbořem uvedených definic a grafickým rozbořem lze učinit několik zajímavých závěrů:

- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou normálovou  $P_n$ .
- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela roven nule, pak i všechny ostatní úhly čela budou rovny nule.
- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela kladný resp. záporný, pak i všechny ostatní úhly čela budou kladné resp. záporné.
- Je-li úhel  $\kappa_r = 90^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou boční  $P_f$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_p$ ,  $\gamma_o = \gamma_f$  a  $\alpha_o = \alpha_f$ .
- Je-li úhel  $\kappa_r = 0^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou boční  $P_f$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_f$ ,  $\gamma_o = \gamma_p$  a  $\alpha_o = \alpha_p$  [1].

#### 1.7.4 Volba geometrických parametrů bříty

Při správné volbě geometrie nástroje lze výrazně ovlivnit pevnost bříty, trvanlivost nástroje, stabilitu procesu řezání, tepelné i silové zatížení, spotřebu vynaložené energie a splnit požadavky kladené na přesnost rozměrů i jakost obrobené plochy. Jednotlivé geometrické parametry ovlivňují řezný proces především následujícím způsobem. Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$ , jehož hodnoty se běžně pohybují v rozsahu  $45^\circ \div 90^\circ$ , ovlivňuje zejména tvar třísky (tloušťku odřezávané vrstvy) a délku ostří v záběru, závisí na něm poměr složek síly řezání v nástrojové rovině základní  $P_r$  (poměr posunové a pasivní složky síly řezání). Vliv hodnoty úhlu se projevuje i v tuhosti špičky nástroje a jejím opotřebením, což má v neposlední řadě vliv na drsnost obrobeného povrchu součásti. Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$  ovlivňuje především tuhost a opotřebením špičky s následným vlivem na drsnost povrchu obrobku. Nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  zpravidla nabývá hodnoty  $-6^\circ$  do  $+6^\circ$ , včetně nulové hodnoty a ovlivňuje především směr odchodu třísky z místa řezu (kladný úhel napomáhá odchodu třísky od obrobku a naopak) a tuhost špičky nástroje [1].

Nástrojový úhel čela  $\gamma$  ( $\gamma_0$ ) se běžně volí od  $-8^\circ$  do  $+8^\circ$ . Hodnota úhlu se projevuje na utváření třísek, poměry velikosti složek síly řezání i opotřebením nástroje. Současně s úhlem hřbetu působí i na tuhost a pevnost bříty nástroje. Nástrojový úhel hřbetu  $\alpha$  ( $\alpha_0$ ) je obvykle konstrukčně navrhován v rozmezí od  $+8^\circ$  do  $+12^\circ$ . Hodnota úhlu ovlivňuje podmínky tření nástroje o obrobek, poměry velikosti složek síly řezání, vznik tepla zejména třením, tuhost bříty a trvanlivost nástroje [1].

Nástrojový úhel špičky  $\epsilon_r$  je zpravidla zvolen v rozsahu od 0,2 mm do 5 mm. Platí zásada, že čím je vyšší poloměr špičky, tím je možno využít vyšší posuvové rychlosti nástroje při zvýšené trvanlivosti nástroje. Poloměr špičky výrazně ovlivňuje strukturu povrchu. Hodnoty navržených úhlů bříty odpovídají:

- fyzikální podstatě řezného procesu vzhledem k dané operaci a metodě obrábění,
- druhu a materiálu obrobku, zejména z pohledu obrobitelnosti,
- požadovaným mechanickým vlastnostem obrobku,
- požadované struktuře povrchu,
- požadovaným vlastnostem obrobené vrstvy,
- řezným parametřům,

- silovému i tepelnému namáhání a zatížení,
- fyzikálnímu stavu a materiálu břitu (řezivosti) aj. [1].

Navrhnout ideální geometrii nástroje nelze. Volba je vždy jistým kompromisem mezi požadavky na snadné a energeticky výhodné obrábění a požadavky na dostatečnou tuhost, trvanlivost a výkon nástroje. Lze se jí však významně přiblížit [1].

## 1.8 Obrobitelnost materiálu

Souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro třískové obrábění nazýváme obrobitelností materiálu. Obrobitelnost daného materiálu není možno stanovit absolutní hodnotou, lze ji pouze srovnávat, podle určitých kritérií s obrobitelností jiných materiálů nebo s materiálem etalonovým (vzorovým) [13].

Určitý materiál bude mít v porovnání s jiným materiálem tím lepší obrobitelnost, čím dříve jej obrobíme s menší spotřebou obráběcích nástrojů, s nižší spotřebou energie při dodržení technických požadavků z hlediska drsnosti obrobeneé plochy, tvarové a rozměrové přesnosti [13].

### 1.8.1 Činitelé mající vliv na obrobitelnost materiálu

Základními činiteli ovlivňujícími obrobitelnost obráběného materiálu jsou:

- fyzikální vlastnosti obráběného materiálu; pevnost materiálu, tvrdost, tažnost, tepelná vodivost,
- jeho chemické složení; je třeba hodnotit na základě rozboru vlivu jednotlivých prvků, které působí na velikost otírání břitu, tvaru třísky a velikost řezného odporu,
- mikrostruktura; na chemickém složení a způsobu tepelného a technologického zpracování,
- způsob výroby,
- tepelné a technologické zpracování [13].

V běžné praxi se obrobiteľnost posuzuje podle řezné rychlosti, protože podstatně ovlivňuje výkon obrábění. Vyjadřuje se buď přímo řeznou rychlostí, která odpovídá určité trvanlivosti břitu za předem stanovených stejných podmínek obrábění, nebo se používá tzv. součinitele obrobiteľnosti [13].

Součinitel obrobiteľnosti je dán poměrem řezné rychlosti pro daný materiál k řezné rychlosti pro stanovený etalonový materiál při určitých stejných podmínkách obrábění:

$$k_v = v / v_e (1),$$

kde  $v$  je použitá řezná rychlost,

$v_e$  je etalonová řezná rychlost [13].

Každý materiál má svůj součinitel obrobiteľnosti. V praxi se obrábí mnoho druhů materiálů. Vypracovat řezné podmínky pro každý materiál by bylo nákladné a používání nepřehledné [13].

Byl zpracován sborník jednotlivých normativů obrobiteľnosti materiálů. V něm je uvedeno rozdělení materiálů podle kategorií, stanoven rozsah skupin obrobiteľnosti materiálů a zásady pro určení skupin obrobiteľnosti [13].

Tabulka 3: Součinitel obrobiteľnosti  $k_v$  [13]

Součinitel obrobiteľnosti $k_v$	Skupiny obrobiteľnosti			
	ocel etalon ČSN 12 051.1	litiny etalon ČSN 42 2420	barevné kovy etalon ČSN 42 3213.21	lehké kovy etalon ČSN 42 4380.11
0,050	1b	—	—	—
0,063	1b	—	—	—
0,08	3b	—	—	—
0,10	4b	—	—	—
0,126	5b	1a	2c	—
0,16	6b	2a	3c	—
0,20	7b	3a	4c	—
0,25	8b	4a	5c	4d
0,31	9b	5a	6c	5d
0,40	10b	6a	7c	6d
0,50	11b	7a	8c	7d
0,63	12b	8a	9c	8d
0,80	13b	9a	10c	9d
1,0	14b	10a	11c	10d
1,26	15b	11a	12c	11d
1,60	16b	12a	13c	12d
2,0	17b	13a	14c	13d
2,5	18b	14a	15c	14d
3,15	19b	—	—	15d
4,0	20b	—	—	16d
5,0	—	—	—	17d
6,3	—	—	—	—
7,9	—	—	—	—

### 1.8.2 Rozdělení materiálu podle kategorií

Materiály jsou rozděleny do devíti kategorií, označených písmeny a, b, c, d, v, e, f, g, h, kde značí:

a – litiny

b – oceli

c – těžké neželezné kovy

d – lehké neželezné kovy [13]

### 1.8.3 Rozsah skupin obrobitelnosti materiálů

Obrobitelnost záleží na způsobu obrábění. Způsoby obrábění rozdělujeme na:

- soustružení, hoblování, obrážení
- frézování, vrtání, vystružování

Kategorie a, b, c, d pro uvedené způsoby obrábění jsou zařazeny do 20 tříd obrobitelnosti. Nejhůře obrobitelné materiály jsou zařazeny do třídy 1, nejlépe obrobitelné do třídy 20 [13].

Zásada pro zařazení materiálu do určité třídy obrobitelnosti je, že do stejné třídy obrobitelnosti jsou zařazeny ty materiály, u nichž je za shodných podmínek obrábění stejná trvanlivost břitu nástroje [13].

K dosažení shodných podmínek obrábění je nutno dodržet:

- hloubku řezu,
- velikost posuvu,
- rozměr a tvar nástroje,
- druh řezného materiálu,
- velikost opotřebení břitu,
- rozměr a tvar obrobku,
- způsob upnutí obrobku,
- stejnou tuhost obráběcího stroje [13].

U obrábění, kde se odebírá tříška broušením, je 10 tříd obrobitelnosti. Nejhůře obrobitelné materiály jsou zařazeny do třídy 1, nejlépe obrobitelné do třídy 10.

Jako základní třídy obrobitelnosti byly stanoveny pro jednotlivé skupiny materiálů třídy 10a, 14b, 11c, 10d, kterým odpovídají etalonové materiály se součinitelem obrobitelnosti 1,00 [13].



## 1.9 Řezné podmínky

Řezné podmínky lze definovat jako souhrn všech činitelů, kteří ovlivňují průběh obrábění. Aby obrábění probíhalo co nejoptimálněji - tedy produktivně a hospodárně, je třeba znát jednotlivé podmínky obrábění, jejich vzájemné propojení a konečný vliv na vlastní průběh obrábění [13].

Základními řeznými podmínkami jsou: řezná rychlost ( $v$ ), posuv ( $s$ ) a hloubka řezu ( $h$ ). Značným způsobem však průběh obrábění ovlivňuje také: řezný materiál, druh obráběného materiálu, velikost a tvar průřezu třísky, geometrie nástroje, chlazení a mazání, celková tuhost obráběcí soustavy (stroj, nástroj, obrobek, přípravek) [13].

### Řezná rychlost

Je to rychlost řezného pohybu udávaná v metrech za minutu. V praxi se počítá zjednodušeně jako obvodová rychlost bodů ostří na obvodu nástroje nebo bodů na obvodu obrobku. (pro soustružení, frézování, vrtání) [13].

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left[ \frac{m \cdot \min^{-1}}{1} \right]$$

$D$  - průměr obrobku (soustružení), průměr nástroje (frézování, vrtání) (mm)

$n$  - otáčky obrobku, nástroje ( $\min^{-1}$ )

Na základě řezných normativů je třeba určit optimální řeznou rychlost a pak vypočítat potřebné otáčky a nejbližší nižší nastavit na stroji (konvenční obráběcí stroj se stupňovými převody).

### Posuv

Dráha v mm, kterou urazí při pohybu do záběru nástroj (obrobek) za 1 min, otáčku,...

Velikost posuvu se udává:

- mm/z; posuv na zub nástroje (frézy),
- mm/ot; posuv za 1otáčku frézy:  $s_o = s_z \cdot z$  (obrobku),
- mm/min; minutový posuv:  $s_m = s_o \cdot n$ ,
- mm na jeden zdvih (dvojzdvih) [13].

Na konvenčních soustružích se nastavuje nejčastěji posuv na otáčku, na frézkách posuv minutový; číslíkově řízené soustruhy a frézky mohou využít podle volby jak minutový, tak posuv na otáčku [13].

Z hlediska směru pohybu může být posuv:

- podélný (např. podélné soustružení),
- příčný (příčné soustružení),
- složený (soustružení kuželů, tvarových ploch),

Posuv může být:

- a) plynulý - probíhá současně s hlavním pohybem (soustružení, frézování, vrtání)
- b) po přítržích - obrobek nebo nástroj vykonává posuvný pohyb v době, v níž se hlavní pohyb nekoná; posuv nastává v úvratích mezi pracovními zdvihy (hoblování, obrážení) [13].

### **Hloubka řezu (h)**

Je to vzdálenost měřená mezi obráběnou a obrobenou plochou ve směru přísuvu, nebo měřená na odebíraném materiálu ve směru kolmém na hlavní pohyb a posuv. Udává se v mm [13].

### **Druh obráběného materiálu**

Z hlediska třískového obrábění je určen třídou obrobitelnosti. Ta je stanovena na základě obrobitelnosti materiálu, druhu a způsobu obrábění [13].

### **Řezný materiál**

Kvalitnější řezné materiály jsou schopny obrábět vyššími řeznými rychlostmi, aniž by se předčasně zkracovala trvanlivost nástroje. Na základě obrobitelnosti materiálu, druhu řezného materiálu, druhu a způsobu obrábění jsou v řezných normativních stanoveny optimální řezné podmínky – řezná rychlost, posuv, hloubka řezu [13].

### **Geometrie řezného nástroje**

Značnou měrou ovlivňuje kvalitu povrchu obrobené plochy, rozměrovou i tvarovou přesnost obráběné součásti. Má značný vliv na velikost jednotlivých složek řezných sil [13].

### **Chlazení a mazání**

Provádí se řeznými kapalinami (emulze, oleje), které odvádí z místa řezu teplo a snižují tření mezi nástrojem a obrobkem (je možné pracovat s vyšší řeznou rychlostí, aniž by se předčasně otupil nástroj). Kladný vliv má také řezná kapalina na jakost povrchu obrobene plochy [13].

### **Tuhost obráběcí soustavy**

V případě malé tuhosti obráběcího stroje, obrobku, nástroje, případně upínacího přípravku není možné využít plně parametry obráběcího stroje a nástroje. Negativně se projeví tato skutečnost také na výsledku obrábění [13].

## **1.10 Optimální pracovní podmínky při obrábění**

Z ekonomického hlediska se volí takové řezné podmínky, při jejichž použití obrobíme danou součástku při minimálních nákladech a s vysokou produktivitou při zajištění předepsaných konstrukčních a technologických požadavcích. Řezné podmínky, které splňují tyto předpoklady, se označují jako optimální [13].

Z výkonového hlediska znamená optimalizace pracovat za takových řezných podmínek, při nichž se dosahuje maximálního výkonu, bez zřetele k hospodárnosti. Optimalizace z výkonového hlediska se volí velmi zřídka [13].

Na optimální podmínky v procesu obrábění působí různou mírou jednotlivé řezné podmínky, také další vlivy jako obráběcí stroj a požadavky předepsané technickou dokumentací [13].

## **1.11 Soustružení**

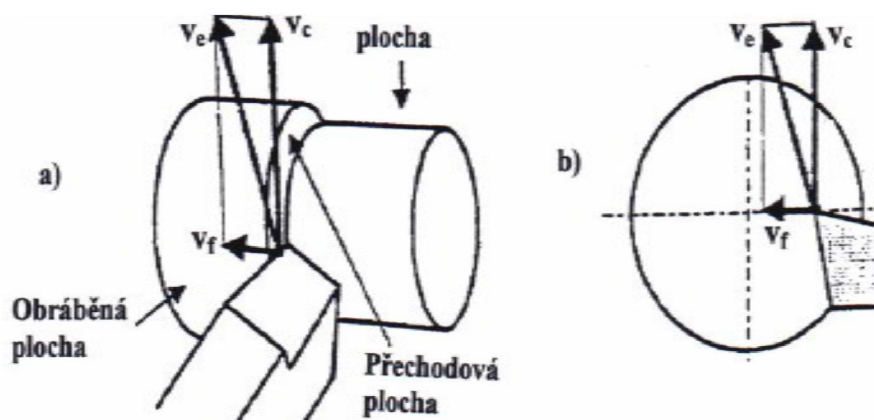
Soustružení je metoda obrábění pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, zejména pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení – soustružnických nožů. Je to nejjednodušší způsob obrábění, ale zároveň v současnosti (na klasických strojích) nejpoužívanější (proto se provádí 30 – 40 % operací obrábění na soustruzích). Obrábění na soustruzích s ručním nebo automatickým ovládáním nám umožňuje soustružit polotovary od hmotnosti několika mg až do několika tun [1].

Při soustružení dochází k odřezávání přebytečné vrstvy (přidavku na obrábění) řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Odřezávaná vrstva odchází od obrobku v podobě třísky. Aby došlo k oddělení třísky od polotovaru, musí mít činná část nástroje klínový břit, který je tvrdší než obráběný materiál. Obrobený povrch získává postupně požadovaný tvar, rozměr, drsnost i některé mechanické vlastnosti. Je nezbytné dodržovat určité podmínky (např. řezná část nástroje musí mít vhodnou řeznou geometrii,...) [1].

Hlavní řezný pohyb ( $v_c$ ) je rotační a koná ho obrobek. Tento pohyb je potřebný k tomu, aby prostřednictvím nože došlo k odříznutí třísky z povrchu obrobku.

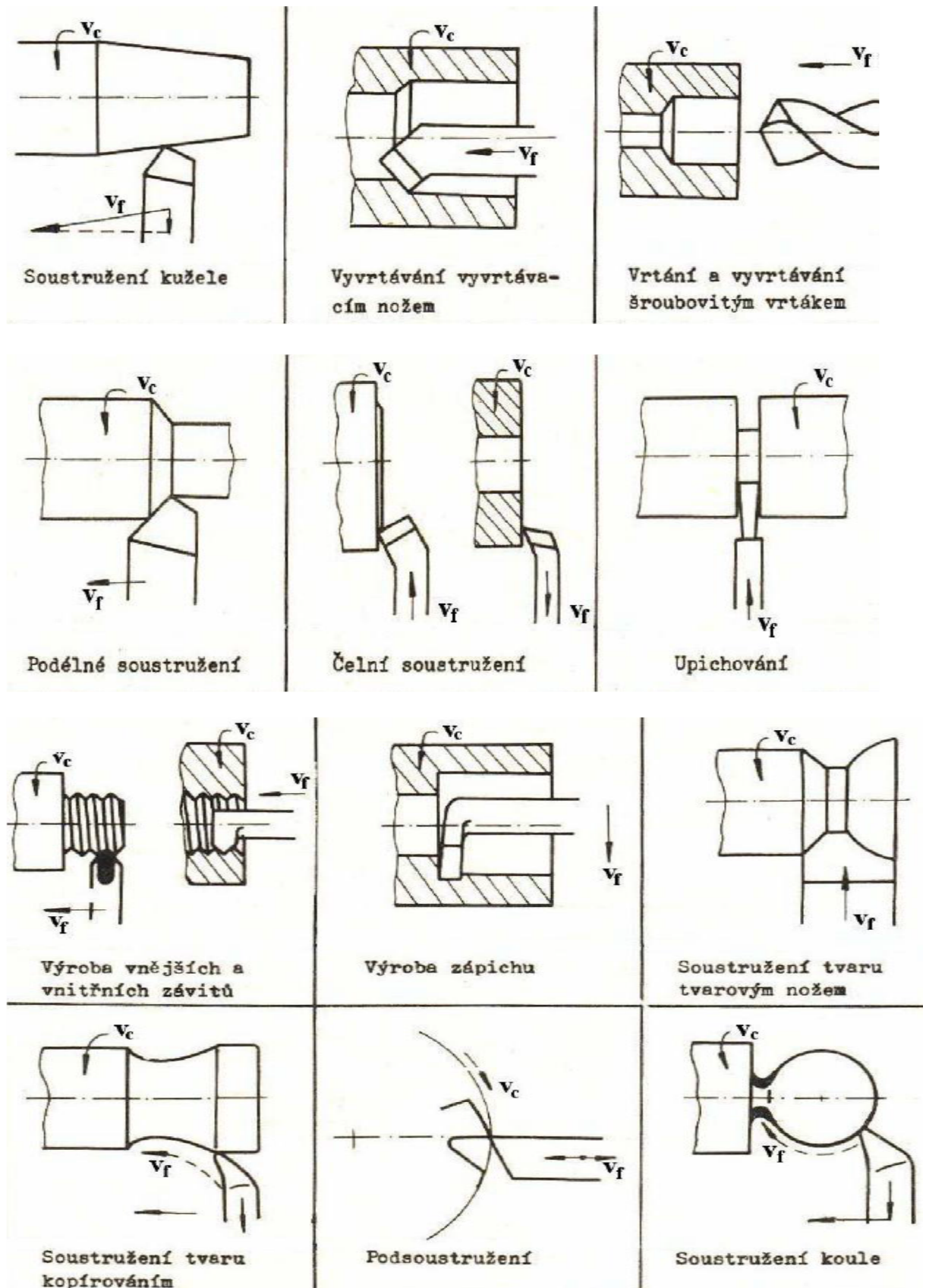
Posuvový pohyb ( $v_f$ ) je vedlejší, přímočarý a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky v požadované délce obrobku.

Posouvá-li se nůž ve směru osy rotace obrobku, pak jde o podélné soustružení a výsledný řezný pohyb ( $v_e$ ) má tvar šroubovice, posouvá-li se ve směru kolmém k ose rotace, je to přímé (čelní) soustružení (upichování, zapichování) a výsledný řezný pohyb má tvar Archimedovy spirály. Přísuv je vždy kolmý k posuvu – tedy při podélném soustružení je radiální a při čelním soustružení axiální [1].



**Obrázek 30:** Druhy soustružení (a) podélné soustružení, b) čelní soustružení) [1].

Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kulové a všeobecné rotační plochy, rovinné (čelní) plochy a závity. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním, atd. Jednotlivé operace jsou zobrazeny na Obrázek 31 [1].



Obrázek 31: Základní práce na soustruhu [1]

### 1.11.1 Soustružnické nástroje

Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kulové a všeobecné rotační plochy, rovinné (čelní) plochy a závity. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním, atd. Jednotlivé operace jsou zobrazeny na Obrázek 31 [1].

Nejpoužívanějšími nástroji pro obrábění jsou soustružnické nože. Jsou to jednobřité nástroje jednoduchých tvarů, nemají příliš vysokou cenu a jsou jednoduché z hlediska údržby. Základními prvky soustružnických nástrojů jsou:

- tvar řezného klínu,
- materiál řezné části,
- průřez tělesa nástroje [1].

Z technologického hlediska se soustružnické nože dají dělit na:

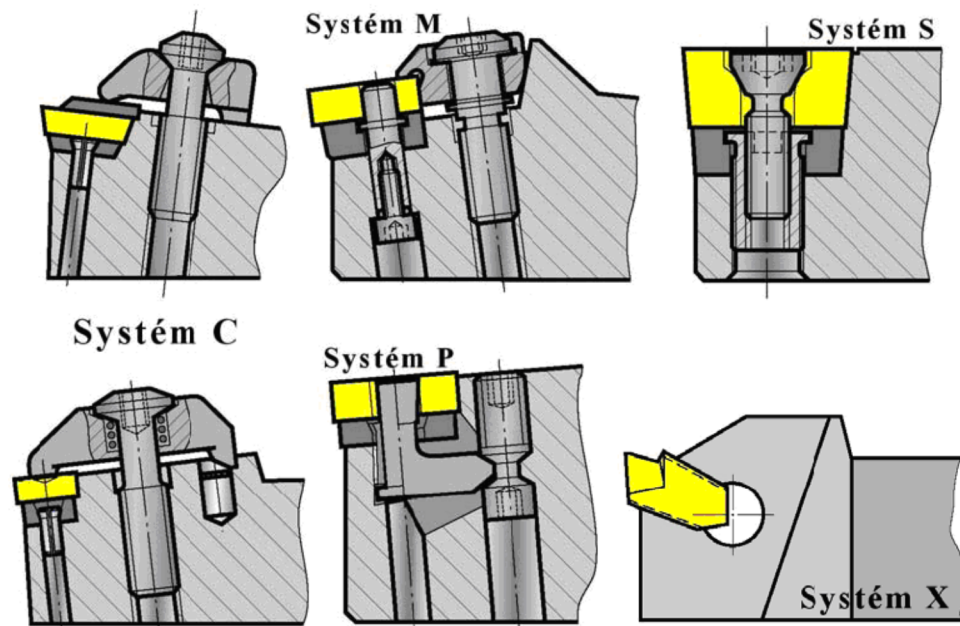
- radiální (nejfrekventovanější skupina nástrojů),
- prizmatické,
- kotoučové,
- tangenciální [1].

#### *1.11.1.1 Radiální soustružnické nože*

Tyto nástroje lze dále dělit podle konstrukce:

- celistvé - těleso i řezná část jsou vyrobeny z nástrojové nebo rychlořezné ocele a tvoří
- jeden celek,
- s pájenými břitovými destičkami - destička z řezného materiálu je připájena tvrdou
- pájkou na (do lůžka) těleso nože z konstrukční oceli,
- s vyměnitelnými břitovými destičkami - břitová destička je mechanicky upnuta

- v nožovém držáku z konstrukční oceli pomocí systémů upínání ISO (



- Obrázek 32).

[1]

**Obrázek 32:** Systém upínání vyměnitelných břitových destiček [1].

Podle směru posuvu při obrábění:

- pravé – nástroj pracuje od koníku k vřetenu,
- levé – nástroje se pohybují naopak od vřetene ke koníku.

Podle způsobu obrábění:

- pro obrábění vnější ploch (Obrázek 31),
- pro obrábění vnitřních ploch (
- Obrázek 32).

Každá z těchto skupin se dále může členit na nože:

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

Podle tvaru tělesa nože:

- přímé,
- ohnuté. [1]

### 1.11.1.2 Soustružnické nože s VBD

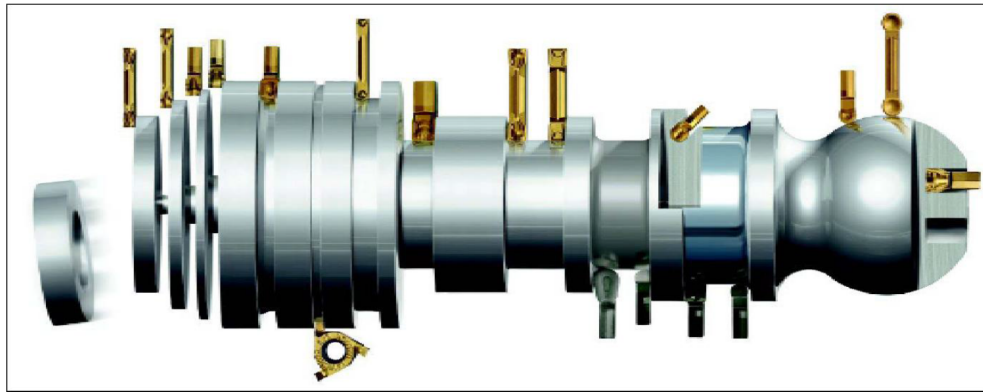
Materiály vhodné pro výrobu vyměnitelných břitových destiček radiálních nožů jsou: slinutý karbid – SK, řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid boru – PKNB a polykrystalický diamant PD (Obrázek 33). Každá destička může být vyrobena jako jednostranná destička – má jednu čelní plochu nebo oboustranná destička – má 2 čelní plochy. Čela destiček jsou buď hladká, nebo jsou u nich předlisované (u super tvrdých nástrojových materiálů vybroušené) utvařeče třísky. V současnosti se téměř všechny destičky vyrábějí jako vícebřité. Výhodou u vícebřitých destiček je to, že po otupení jednoho břitu se mohou pootočit do nové polohy pro využití dalšího břitu (např. trojúhelníková oboustranná destička má 6 využitelných břitů). Uložení břitových destiček v držáku musí zajistit, aby řezné odpory byly směřovány do stěn, aby nezatěžovaly upínací mechanismus. Výměna destiček je rychlá a snadná a polohu břitu obvykle není třeba seřizovat [1].



**Obrázek 33:** Vyměnitelné břitové destičky

- 1 - SK, tvar S, oboustranné, předlisovaný utvařeč;
- 2 - SK, tvar W, oboustranná, předlisovaný utvařeč;
- 3 - SK, zapichovací, předlisovaný utvařeč;
- 4 - SK, závitové;
- 5 - SK, upichovací, před-lisovaný utvařeč;
- 6 - monolitní PKNB, tvar R;
- 7 - roubík PD, tvar C, jednostranná;
- 8 - roubík PD, tvar T, jednostranná, utvařeč;
- 9 - roubíky PD, tvar S, oboustranná;
- 10 - monolitní PKNB, tvar S, jednostranná, vybroušený utvařeč [1]





**Obrázek 34:** Další tvary vyměnitelných břitových destiček [1]

U radiálních soustružnických nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami se můžeme setkat s tím, že jsou konstruovány jako stavitelné. Rozdíl upnutí tohoto typu nože od standardních je v tom, že je břitová destička upnuta do speciální vložky. Je tak připevněna k základnímu držáku, ve kterém jsou šrouby, které umožňují posouvat vložku v podélné i v příčné ose. Takto lze v určitém rozsahu nastavit polohu špičky destičky. Výhody nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami:

- těleso nástroje má podstatně delší životnost ve srovnání s nástroji s pájenou břitovou destičkou z důvodu možnosti pootočení řezné hrany nebo výměny celé destičky,
- u pájených břitových destiček se vyskytují zbytková pnutí, která vznikají při pájení nebo ostření, pnutí se nevyskytují u mechanicky upnutých destiček, což zajišťuje větší trvanlivost řezné hrany,
- místo výměny celého nože stačí přestavit či vyměnit destičku, což má velký význam z časového hlediska, u nástrojů vyměnitelnými destičkami se snižují nároky na skladovací prostory [1].

Nevýhodou použití nástrojů s vyměnitelnými destičkami je potřebný větší prostor pro mechanické upnutí než u pájených destiček. To je příčina toho, že nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou rozměrově větší než pájené. Tato nevýhoda se projevuje především při výrobě malých součástek na automatech a revolvech, kde se používají malé nástroje [1].

Pro obrábění menších tvarových součástek vyráběných sériově se používají nože tvarové, prizmatické a kotoučové. Použití tvarových nožů je výhodné z hlediska vysoké

výrobnosti, přesnosti a velkého počtu ostření. Soustružnické nože i vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů jsou normalizovány v jednotném systému ISO [1].

Použitím vyšších řezných rychlostí a posuvů, ale také pomocí nových a kvalitních řezných nástrojů lze dosáhnout zvýšení produktivity obrábění až o 20 %. Zároveň se také zvýšením produktivity předpokládá zvýšení jakosti obrobeného povrchu i funkční spolehlivost nástrojů, a to za současného snižování doby obrábění, tedy i celkové ceny výrobku [1].

S přihlédnutím k ceně a kvalitě výrobků a při očekávaném vývoji lze předpokládat, že se modernizace řezných nástrojů projeví na snížení celkové ceny výrobku, a to takto:

- při zvýšení trvanlivosti nástroje o 50 % se sníží celková cena výrobku o 1 %,
- při snížení cenný nástrojů o 30 % se sníží celková cena výrobku o 1 %,
- při výšení řezné a posuvové rychlosti o 20 % by mohla celková cena výrobku klesnout až o 15 %.

Z výše uvedených čísel je patrné, že předpokladem úspěšné realizace procesu obrábění je nejen výkonný a spolehlivý řezný nástroj, ale také výkonný a spolehlivý obráběcí stroj [1].

### 1.11.2 Stroje pro soustružení

Soustružnické stroje tvoří nejpočetnější skupinu obráběcích strojů. Existuje velký počet různých druhů, typů a velikostí soustruhů.

Z konstrukčního hlediska se dělí na:

- hrotové,
- svislé,
- čelní,
- revolverové,
- speciální.

Rozdělení podle stupně automatizace:

- ručně ovládané,
- poloautomatické – pracují v automatickém cyklu (zásah obsluhy je nutný na opakování cyklu, upnutí a odepnutí obrobku),

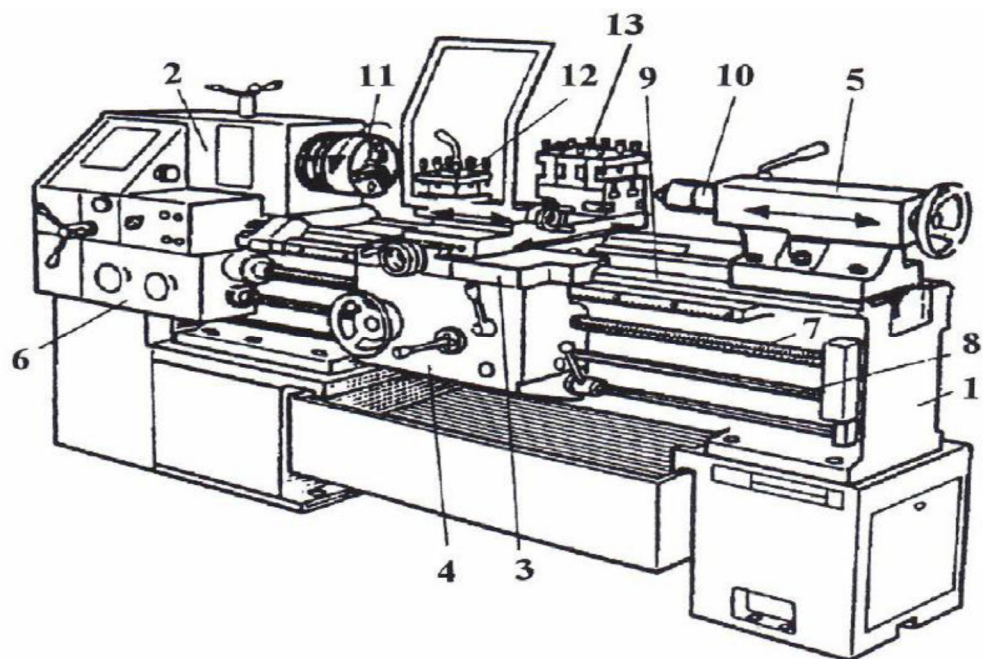
- automatické – umožňují samočinné opakování pracovního cyklu po obrobení jedné součástky [1].

### 1.11.2.1 Hrotové soustruhy

Používají se v kusové a malosériové výrobě pro soustružení hřídelových a přírubových součástí rozličných rozměrů a tvarů. Vyrábí se dva druhy, a to univerzální a jednoduché (produkční) [1].

Univerzální mají vodicí šroub a lze na nich obrábět v podstatě cokoliv. Jsou vhodné pro obrábění vnějších i vnitřních rotačních ploch. Lze obrábět rovinné i čelní plochy, zapichovat při podélném i čelním soustružení, řezat závitovým nožem závit, soustružit kuželové plochy, případně plochy tvarové. Jednoduché soustruhy nemají vodicí šroub, jsou vybaveny silnějším elektromotorem a používají se především pro hrubovací práce [1].

Velikost soustruhů je dána především tzv. točným průměrem (max. průměr obrobku, který lze obrobit) a délkou soustružení (vzdáleností mezi hroty). Bývají vybaveny plynulou změnou otáček [1].

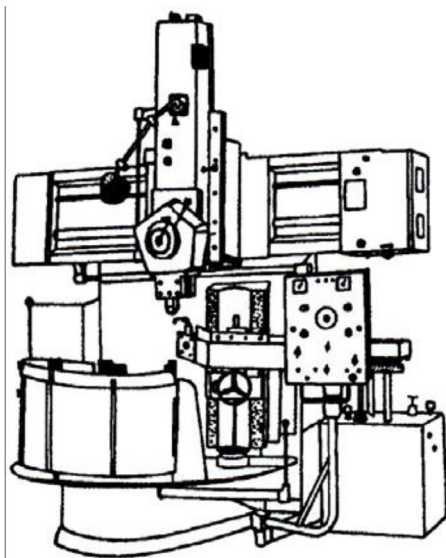


**Obrázek 35:** Univerzální hrotový soustruh (1 – lože, 2 – vřeteník, 3 – suport, 4 - suportová skříň, 5 – koník, 6 - posuvová převodovka, 7 - vodicí šroub, 8 - vodicí tyč, 9 - vodicí plochy, 10 - hrotová objímka, 11 – sklíčidlo, 12 - otočná nožová hlava, 13 - zadní nožová hlava) [1]

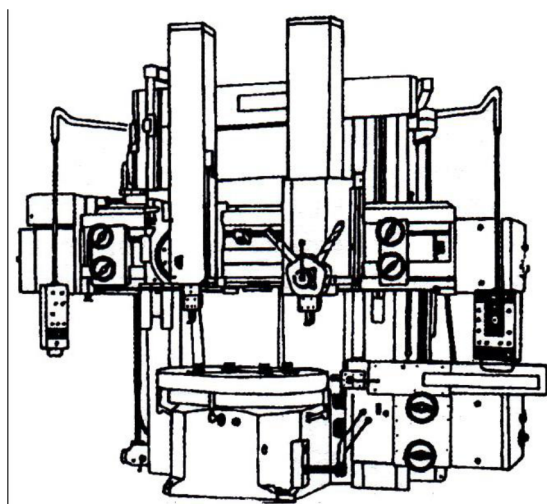
### 1.11.2.2 Svislé soustruhy – karusely

Používají se v kusové a malosériové výrobě středních a velkých rotačních součástí. Vyrábějí se jako jednostranové ( Obrázek 36) nebo dvoustranové (

Obrázek 37). Mezi hlavní části patří otočný stůl, stojany a příčníky se suportem. Někdy bývají vybaveny přidavným naklápěcím brousicím vřeteníkem (pro broušení vnějších a vnitřních povrchů), indikací polohy obrobku a číslicovým řízením. Princip karuselu spočívá v tom, že je na vřeteníku upevněno sklíčidlo s obrobkem. Na stojanu se svislým vedením je jeden nebo dva příčníky s nožovou hlavou. Pohyb nástrojů je možný ve směru svislém i vodorovném. Na svislých soustruzích se dají obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kuželové plochy (s pomocí natočení suportu), řezat závity a umožňuje i soustružit tvarové plochy. K tomu však musí být soustruh vybaven kopírovacím zařízením [1].



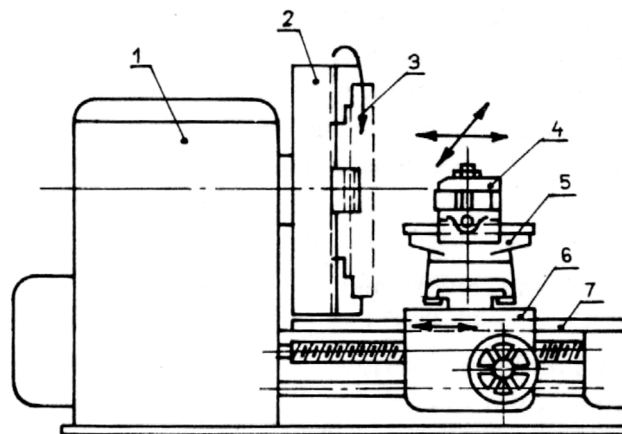
Obrázek 36: Svislý soustruh jednostranový [1]



**Obrázek 37:** Svislý soustruh dvoustojanový [1]

### 1.11.2.3 Čelní soustruhy

Čelní soustruhy (Obrázek 38) jsou vhodné pro obrábění deskovitých součástí velkých průměrů a malých délek. Bývají vybaveny jedním nebo dvěma suporty a jsou bez koníku. Nemívají koník na podepření obrobku. K upnutí obrobku slouží svislé upínací desky upevněné na konci vřeten. V provozu se tyto soustruhy nevyskytují příliš často a bývají často nahrazovány svislými soustruhy [1].

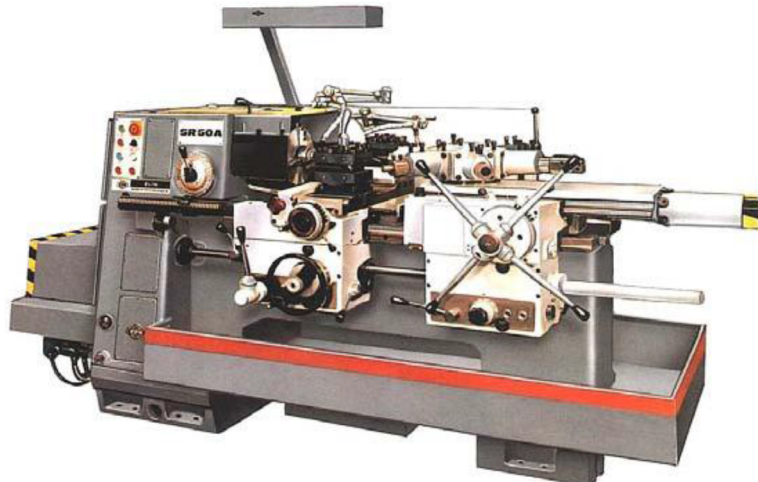


**Obrázek 38:** Čelní soustruhy (1 – vřeteník, 2 – upínací deska, 3 – obrobek, 4 – nožová hlava, 5 – příčný suport, 6 – podélný suport, 7 – lůžko) [1]

### 1.11.2.4 Revolverové soustruhy

Jsou určeny pro malé a střední série výroby součástí, které vyžadují na obrobení větší počet nástrojů. Umožní to, že na jedno upnutí více nástrojů postupně obrobí větší množství ploch. Tyto stroje soustruží podélně i příčně, vrtají v ose obrobku, vyvrtávají, vystružují, řežou závity, apod. Revolverová hlavice, ve které jsou upevněny nástroje, je otočná kolem horizontální nebo vertikální osy. Převážně se používají nástroje pro obrobení povrchů a nástroje pro obrábění děr. Nastavení nástrojů se provádí pro první obrobek a poté lze obrobit celou sérii obrobků za sebou. Celý cyklus bývá automatizován a často řízen číslicově. Celá revolverová hlava je vyměnitelná [1].

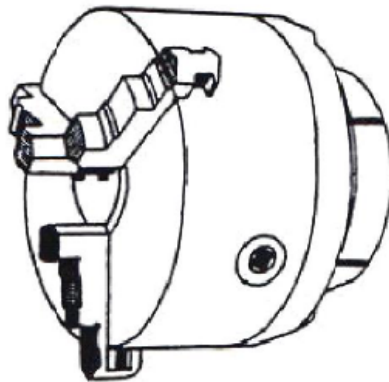
Výchozím polotovarem je tyčovina (upnutá do kleštin), odlitky, výkovky apod. Revolverové soustruhy se podle polohy osy otáčení dělí na soustruhy s vodorovnou, svislou (Obrázek 39) nebo šikmou osou revolverové hlavy [1].



**Obrázek 39:** Revolverový soustruh [1]

### 1.11.3 Upínání obrobků

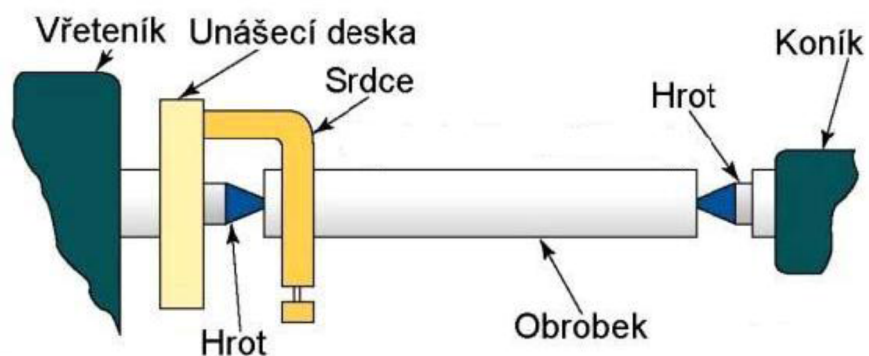
Správné upnutí obrobků musí splňovat několik podmínek. Musí být spolehlivé, jednoduché, rychlé, vykazovat dostatečnou tuhost a zajistit jednoznačnou polohu obrobku vzhledem k nástroji. Používá se celá řada upínacích elementů nebo jejich kombinací. Způsob upnutí závisí především na tvaru a hmotnosti obrobku. Nejpoužívanějším upínacím zařízením je univerzální sklíčidlo (Obrázek 40). Bývá většinou 3 čelistové, ale vyskytují se i sklíčidla čtyřčelistová. Pohyb jednotlivých čelistí může být vzájemně vázaný (samostředící sklíčidlo) nebo se mohou pohybovat nezávisle. Obvykle se upíná ručně (pomocí nástřenného klíče), méně často pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. Poslední 3 jmenované zkracují čas na upínání. U soustružnických poloautomatů a automatů se používají samosvorná sklíčidla. Jakmile se tato sklíčidla začínají otáčet, automaticky obrobek sevrou. Na těchto strojích se též používají čelní unašeče s odpruženým hrotem. U nich je kroutící moment přenášen řezným odporem nožků namáčknutých do čela obrobku. Tato alternativa umožňuje soustružit obrobek v celé jeho délce [1].



**Obrázek 40:** Univerzální sklíčidlo [1]

Obrobky s poměrem délky a průměru větším než  $2/3$  se upínají mezi hroty (Obrázek 41). Hroty se nasouvají do středících důlků navrtných v čelech obrobku. Ve vřetenu je upnut pevný hrot a v koníku hrot otočný. Tento způsob upnutí se používá při vyšších požadavcích na přesnost (kde jsou předepsány minimální odchylky souososti mezi obrobenu plochou a osou otáčení). Krouticí moment přenáší unášecí deska se srdcem [1].

Velmi štíhlé obrobky, u kterých v průběhu obrábění hrozí nebezpečí prohnutí, se musí podpírat tzv. lunetami. Tyto se upevňují ve středu obrobku. Mohou být buď pevné (upnuty k loži stroje) nebo posuvné (posouvají se po loži) [1].



**Obrázek 41:** Upínání mezi hroty [1]

Tyčovina (kruhového nebo šestihrného průřezu) menších průměrů se upíná do přesných upínacích pouzder – kleštín (Obrázek 42). Jsou rozříznuty několika podélnými drážkami a materiál se upíná vtahováním do kuželové dutiny. Nevýhodou je, že jsou odstupňovány po 0,5 mm nebo 1 mm a proto jich musí být celá sada. Patří mezi velmi přesné metody upínání (dokáží zajistit souosost 0,01 až 0,05 mm) [1].

Těžší a kratší obrobky nepravidelných tvarů (odlitky apod.) se upínají do upínací desky ([1])



**Obrázek 43)** se samostatně stavitelnými lištami. V sériové výrobě se pro upínání používají upínky. Navrhují se jednotlivě pro složité tvary součástek. Zabezpečují nejen přesné upnutí, ale i jednoduchou a rychlou obsluhu [1].



**Obrázek 42:** Kleština [1]



**Obrázek 43:** Upínací deska [1]



#### 1.11.4 Upínání nástrojů

Upínání soustružnických nožů do univerzálních soustruhů by mělo být jednoznačné a spolehlivé s minimálním vyložení. Mělo by být lehce výškově přestavitelné. Nože se upínají do různých otočných nožových hlav (až 4 nože současně) nebo upínek [1].

U revolverových a speciálních soustruhů se nože upínají do speciálních držáků umístěných v zásobníku. Ty jsou řešeny tak, že se seřizování provádí mimo pracovní prostor. Odsud se pak automaticky přesouvají do obráběcího procesu [1].

### 1.12 Frézování

Mezi velmi rozšířené metody obrábění patří také frézování. Jeho velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Tato metoda se využívá pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obráběními závitů a ozubení [1].

Při frézování je tříska odebrána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je přímočarý a vykonává ho obrobek [1].

U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky [1].

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

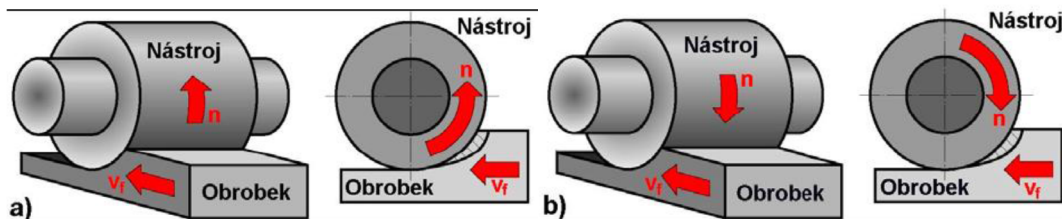
- válcové (Obrázek 44) – obvodem nástroje – osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou,
- čelní (Obrázek 45) – čelem nástroje – osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje [1].

Existují některé další způsoby frézování, které se odvozují od těchto základních způsobů:

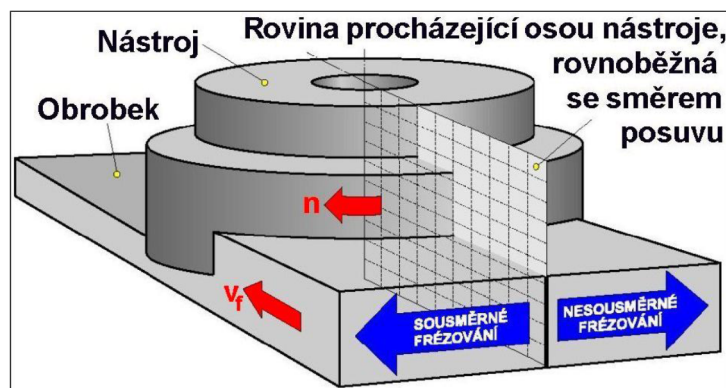
- okružní – obvodem rotačního nástroje obrobku, který je rovněž rotačního tvaru – osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje

ve směru kolmém na osu obrobku. Okružním frézováním lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy,

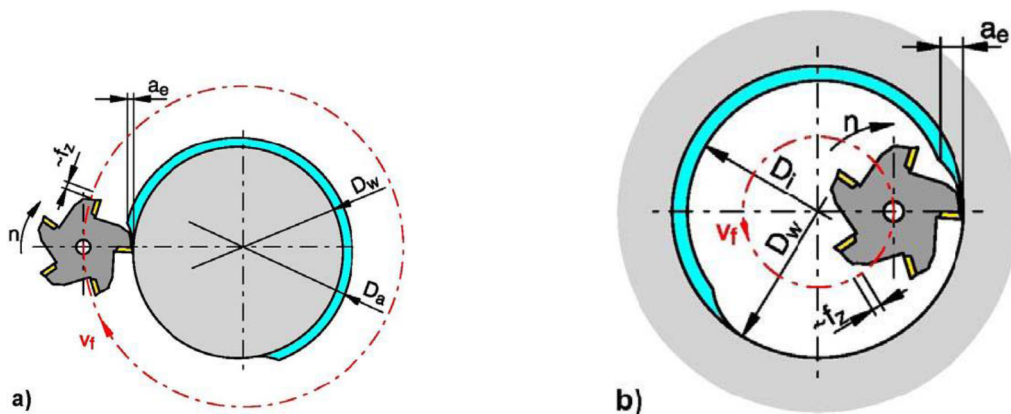
- planetové (Obrázek 46) – pro obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch [1].



Obrázek 44: Válcové frézování - a) nesousledné b) sousledné [1]



Obrázek 45: Čelní frézování [1]



Obrázek 46: Planetové soustružení: a) vnější, b) vnitřní [1]

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

- nesousledné,
- sousledné.

Při nesousledném (nesousměrném) frézování se nástroj pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Charakteristickým znakem je proměnlivá tloušťka třísky (mění se od nulové hodnoty na hodnotu maximální). Při vnikání nástroje do materiálu z počátku břit materiál stlačuje. K oddělování třísky dochází v okamžiku, kdy tloušťka odřezávané vrstvy dosáhne určité velikosti. Důvodem je skutečnost, že ostří frézy není vlastně ostrá hrana, ale ploška o poloměru  $R = 8$  až  $30 \mu\text{m}$ . Silové účinky a deformace, vznikající při nesousledném frézování, způsobují zvýšené opotřebení břitu [1].

#### **Výhody nesousledného frézování:**

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.,
- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- menší opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu [5].

#### **Nevýhody nesousledného frézování:**

- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí [1].

Smysl rotace nástroje je při sousledném (sousměrném) frézování ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do nuly. K tomu, abychom mohli na stroji provádět sousledné frézování, musí být frézka přizpůsobena tak, že se vymezí vůle a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu. Pokud není tato podmínka splněna, může dojít k poškození nástroje a dokonce i stroje [1].

#### **Výhody sousledného frézování:**

- vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,

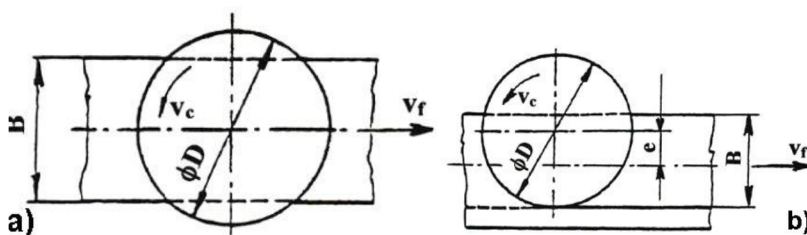
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků,
- menší sklon ke chvění,
- menší drsnost obrobeneho povrchu,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku [5].

#### Nevýhody sousledného frézování:

- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- silová zátěž každého zubu při záběru [1].

Při čelním frézování má nástroj umístěn břity na obvodu frézy, ale i na čele (na ploše kolmé k ose frézy). Podle polohy osy otáčení frézy vzhledem k obráběné ploše existují 2 základní metody:

- symetrické frézování (Obrázek 47 a) – osa nástroje prochází středem frézované plochy,
- nesymetrické frézování (Obrázek 47 b) – osa nástroje je mimo střed frézované plochy [1].



Obrázek 47: Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické [5]

#### 1.12.1 Řezné podmínky při frézování

Pro zjednodušení se za řeznou rychlost  $v_c$  pokládá obvodová rychlost nástroje:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde}$$

$D$  – průměr nástroje [mm],  
 $n$  – otáčky nástroje [min<sup>-1</sup>].

Posuv na zub  $f_z$  [mm] je základní jednotkou posuvového pohybu. Je to délka dráhy obrobku za dobu záběru zubu. Posuv na otáčku  $f_n$  je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje [1].

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \text{ kde}$$

$z$  – počet zubů (břitů) nástroje [-].

Vzorec pro výpočet posuvové rychlosti  $v_f$ :

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

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

Při válcovém nesousledném frézování se tloušťka třísky  $h_i$  mění od nulové do maximální hodnoty a při sousledném frézování od maxima do nuly (Obrázek 44). Jmenovitá tloušťka třísky  $h_i$  je v libovolné fázi odřezávání vyjádřena vztahem:

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

$f_z$  - posuv na zub [mm],

$\varphi_i$  – úhel posuvového pohybu [o] [1].

Úhel posuvového pohybu  $\varphi_i$  se mění nejen v závislosti na poloze řešeného zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici, dále pak podél příslušného ostří. Označení jmenovitého průřezu třísky pro polohu frézy  $i$  je  $A_{Di}$ . Pro poměry naznačené v obrázku se vypočítá ze vztahu [1]:

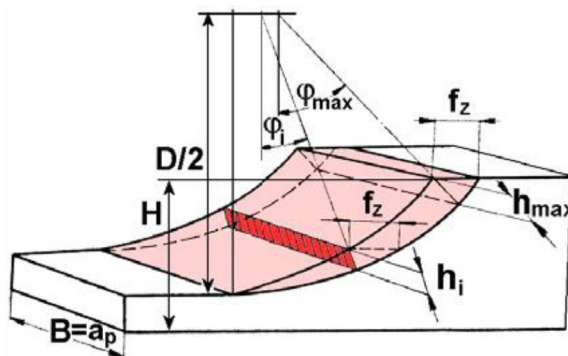
$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]}, \text{ kde}$$

$a_p$  – hloubka řezu [mm].

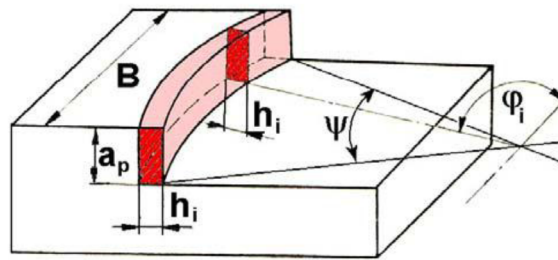
Pokud  $\varphi_i = \varphi_{\max}$ , potom maximální velikost jmenovitého průřezu třísky bude:

$$A_{D\max} = a_p \cdot h_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{\max} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2}$$



Obrázek 48: Průřez třísky při válcovém fréz [1]



Obrázek 49: Průřez třísky při čelním fréz [1]

U čelního frézování platí také, že se tloušťka třísky mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu  $\varphi_i$ . Má na něj také vliv úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$ . Okamžitou hodnotu lze vypočítat ze vztahu:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}]$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_i$  je pro libovolné  $\varphi_i$  konstantní a vypočítá se ze vztahu:

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}]$$

Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  pro  $\kappa_r = 90^\circ$ :

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

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při  $\varphi_i = 90^\circ$ :

$$A_{D\max} = a_p \cdot f_z \quad [\text{mm}^2]$$

### 1.12.2 Nástroje pro frézování – frézy

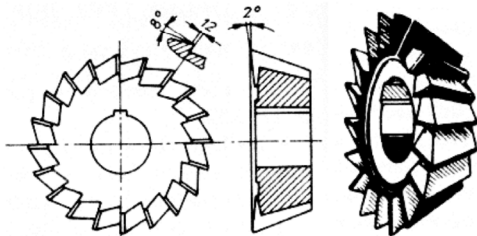
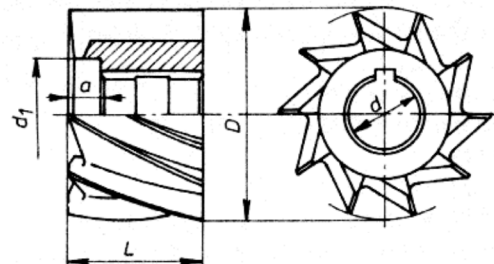
Frézy jsou několikabřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy. U čelních fréz jsou i na čelní ploše. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velmi mnoho druhů fréz, z nichž většina je normalizovaná. Vyráběné frézy lze rozřadit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

- **podle ploch, na nichž jsou vytvořeny zuby:**
  - a) válcové – zuby jsou na válcové ploše
  - b) válcové-čelní – zuby frézy jsou na válcové a čelní ploše
  - c) kotoučové – průměr frézy je podstatně větší než její šířka
  - d) tvarové – např.: radiusové vyduté nebo vypuklé, úhlové, modulové,...
  - e) speciální – např.: odvalovací, hřebínkové,...
- **podle způsobu upínání:**
  - a) frézy stopkové se stopkou válcovou nebo kuželovou
  - b) frézy nástrčné – mají otvor
- **podle způsobu výroby zubů dělíme frézy na:**
  - a) frézy se zuby frézovanými
  - b) frézy se zuby podsoustruženými – např.: radiusové, které se ostří pouze na čele
  - c) lité – zuby vzniknou odstředivým litím, čelo a zábřit jsou naostřeny

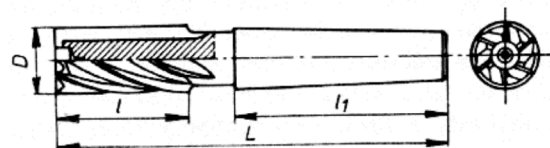
- **podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy:**
  - a) jemnozubé
  - b) polohrubozubé –  $z = (0,8-1,25) \cdot \sqrt{D}$  (D – průměr frézy)
  - c) hrubozubé
- **podle tvaru břitů se dělí frézy na:**
  - a) frézy s břity přímými – břity jsou rovnoběžné s osou frézy
  - b) frézy s břity šikmými
  - c) frézy s břity šroubovitými
  - d) frézy se střídavými břity – vyskytují se u kotoučových fréz [13]



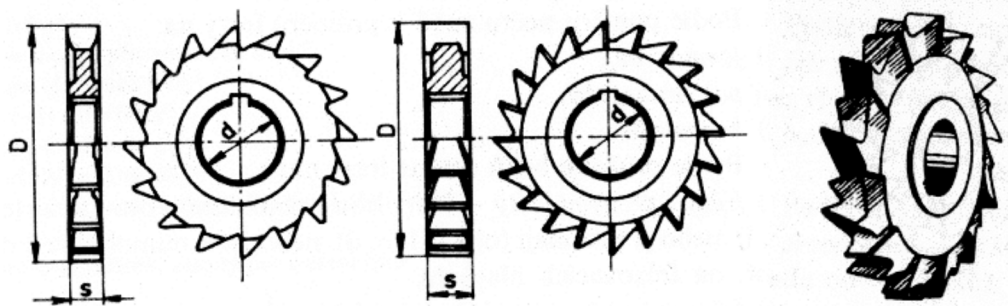
Válcové



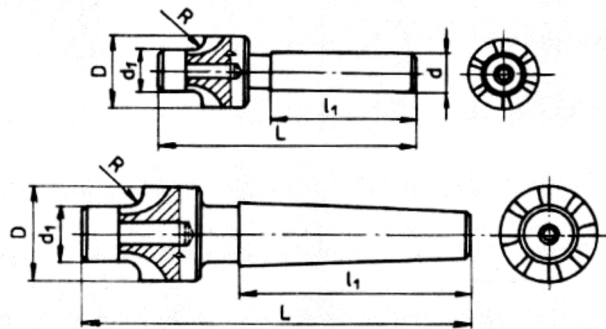
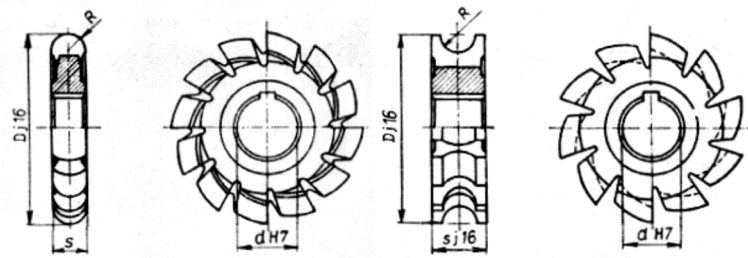
Kuželové



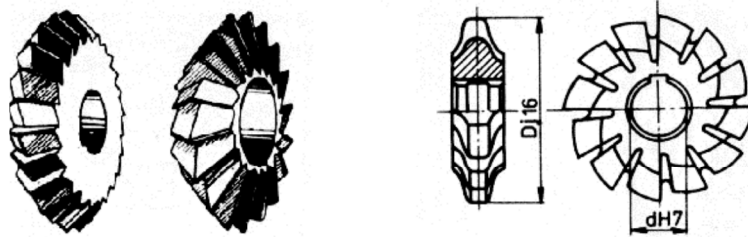
Čelní válcové



Kotoučové

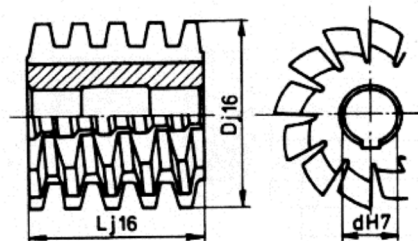


Tvarové

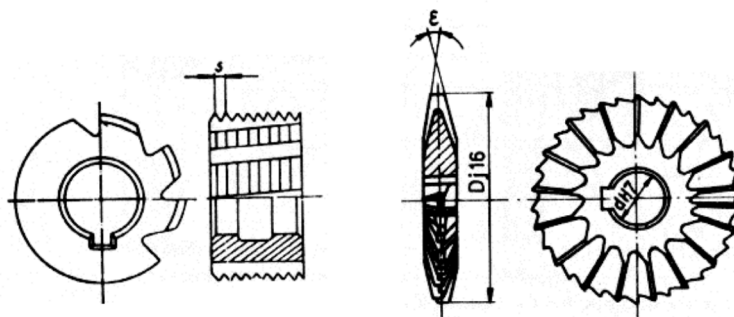


Úhlové

Modulové



Odvalovací



Hřebenové

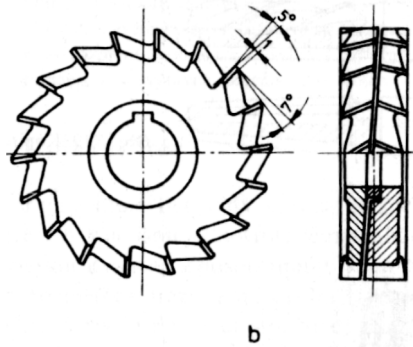
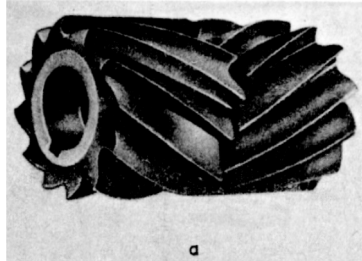
na závity

Obrázek 50: Druhy fréz [13]

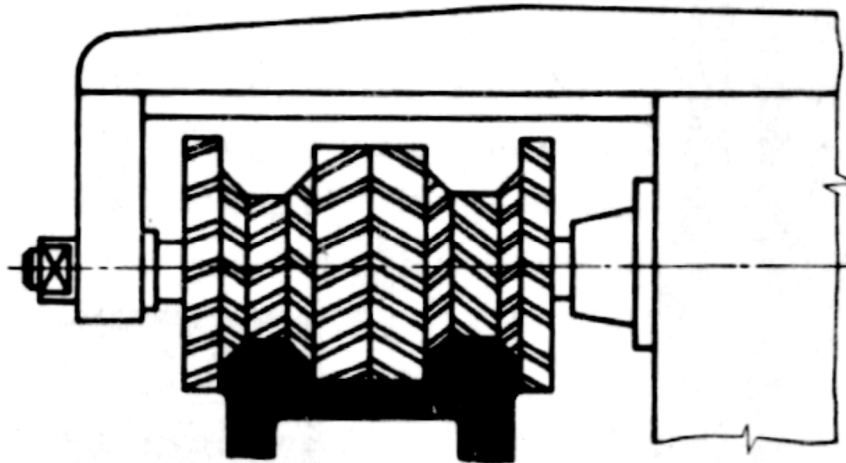


- **podle počtu dílů rozeznáváme:**

- frézy celistvé – těleso frézy i zuby jsou vcelku a vyrobeny z jednoho materiálu (rozměrově malé frézy)
- frézy dělené – jsou vyrobeny ze dvou nebo většího počtu dílů
- frézy složené – několik běžných fréz umístěných a upnutých vedle sebe na společném trnu [13]



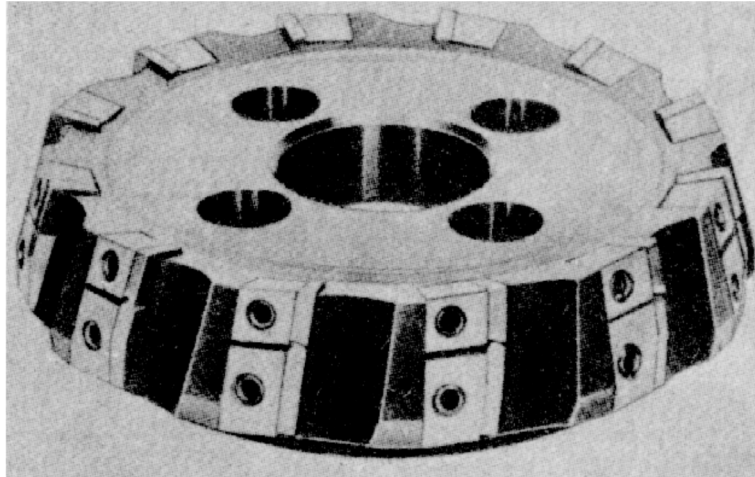
**Obrázek 51:** Frézy dělené (a – válcová fréza, b – kotoučová fréza) [13]



**Obrázek 52:** Složená fréza [13]

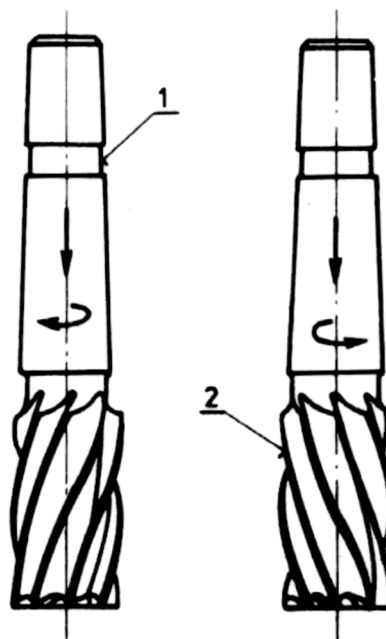
- **podle řezného materiálu:**

- frézy z nástrojové legované oceli
- frézy s břitovými destičkami ze slinutých karbidů
- frézy s břitovými destičkami z keramických řezných materiálů
- frézy s břitovými destičkami z KNB [13]

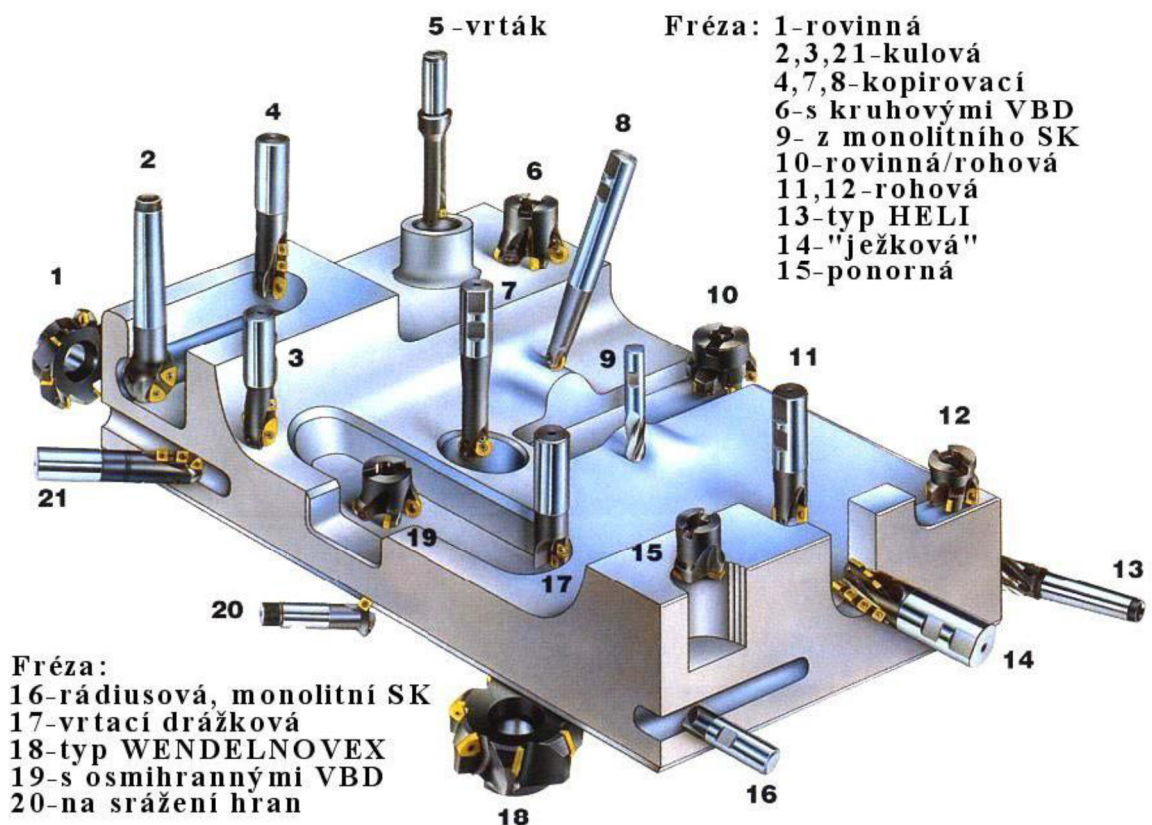


Obrázek 53: Frézovací hlava s břitovými destičkami [13]

- **podle smyslu otáčení se dělí frézy na:**
  - a) pravořezné – při pohledu od vřetene ve směru osy se otáčí ve směru pohybu otáčení hodinových ručiček
  - b) levořezné – ve stejném pohledu se otáčejí proti směru hodinových ručiček. [13]



Obrázek 54: Rozdělení fréz podle směru otáčení (1 – fréza pravořezná, 2 – fréza levořezná) [13]



Obrázek 55: Frézy firmy Walter [1]

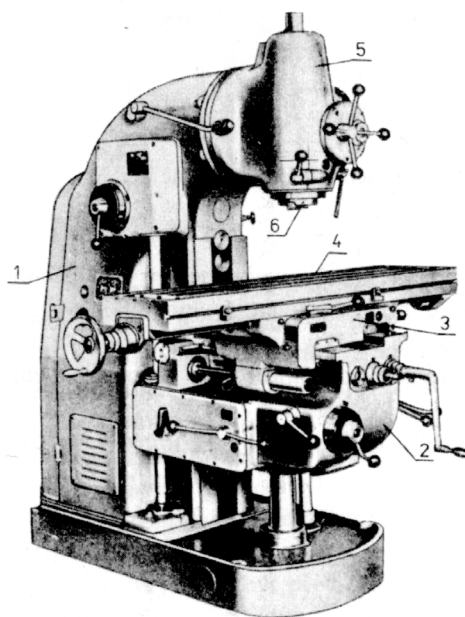
### 1.12.3 Stroje pro frézování

Frézovací stroje - frézky patří k nejuniverzálnějším obráběcím strojům, protože se na nich mohou obrábět nejen rovinné, ale i tvarové plochy, závity, ozubení i rotační plochy [13].

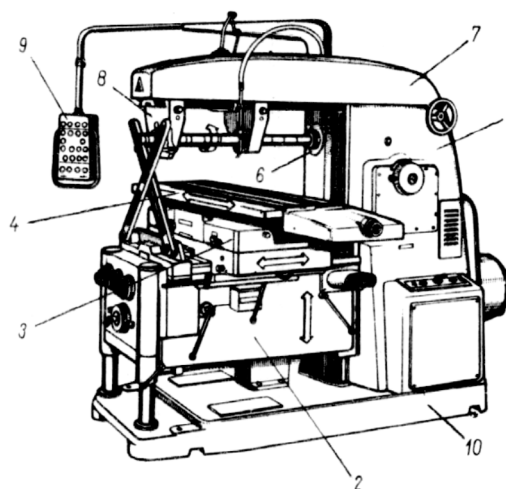
#### 1.12.3.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky jsou nejrozšířenější a jsou určeny k frézování rovinných a tvarových ploch na malých a středně velkých součástech v kusové a malosériové výrobě. Charakteristickým znakem je svisle přestavitelná konzola, s níž lze obrobek nastavit do potřebné polohy se zřetelem k nástroji. Konzolové frézky se vyrábějí ve třech základních řadách označených FA (nejstarší frézky), FB a FD (číslicově řízené) a třech provedeních:

- svislé (vertikální) frézky mají vřeteno ve svislé poloze
- vodorovné (horizontální) frézky mají vřeteno ve vodorovné poloze
- univerzální frézky umožňují natočit pracovní stůl ve vodorovné rovině o 45° na obě strany [13].



**Obrázek 56:** Svislá konzolová frézka (1 – stojan, 2 – konzola, 3 – příčné saně, 4 – podélný stůl, 5 – vřeteník, 6 – vřeteno) [13]



**Obrázek 57:** Vodorovná konzolová frézka (1 – stojan, 2 – konzola, 3 – příčné saně, 4 – podélný stůl, 6 – vřeteno, 7 – výsuvné rameno, 8 – podpěrné ložisko, 9 – ovládací panel, 10 – deska rámu) [13]

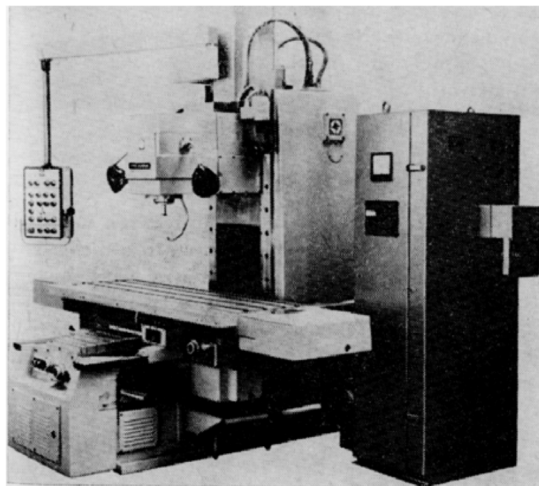
### Hlavní části konzolových frézek

Konzolové frézky mají stojan, konzolu, příčné saně, pracovní stůl, vřeteník, výsuvné a podpěrné rameno. Stojan je nosnou částí všech ostatních dílů a mechanismů frézek. Je vyroben z litiny, má skříňový tvar uvnitř vyztužený žebry. Ve spodní části přechází v zá-

kladovou desku, ve které jsou uloženy nádrže s chladicí kapalinou. Konzola je litinový odlitek skříňového tvaru. Je posuvně uložena na svislém vedení přední části stojanu, na němž se pohybuje vertikálním směrem. Jsou v ní uloženy převody pro ruční a strojní posuvy. Příčné saně nesou podélný stůl. Umožňují příčné nastavení podélného stolu. Na horní ploše příčných saní je vedení podélného stolu. U univerzálních frézek je na příčných saních uložena točnice. Podélný stůl se pohybuje podélně nebo příčně ve vodorovné rovině. Pracovní plocha stolu má několik podélných T drážek, do kterých se vkládají hlavy upínacích šroubů. Vřeteník se nachází v horní části stojanu a je v něm uloženo otočně vřeteno. Vřeteno je duté a je uložené v radiálně-axiálních ložiskách. V krajní části je kuželová dutina, u frézek novější výroby je i vnější konec vřetena kuželový. Kuželová dutina i vnější kuželový konec vřetena slouží k upínání nástrojů. Výsuvné rameno mají vodorovné a univerzální frézky. Je uloženo v rybinovém vedení horní části stojanu a je přestavitelné v příčném směru. Vysunutí je závislé na délce frézovacího trnu. Podpěrné rameno je uloženo ve vedení výsuvného ramena. V jeho ložisku je uložen letmý konec frézovacího trnu [13].

### *1.12.3.2 Stolové frézky*

Stolové frézky jsou využívány pro frézování hmotnějších obrobků. Obrobek se pohybuje v podélném a příčném směru, svislý pohyb vykonává nástroj spolu s vřeteníkem. Dodávají se ve vertikálním nebo horizontálním provedení. Velmi tuhá konstrukce frézek umožňuje výkonné obrábění s vysokou jakostí obrobeného povrchu a geometrickou přesností obrobku. Dokonalou přesnost zajišťuje uložení podélného stolu a příčných saní na tuhém loži [13].

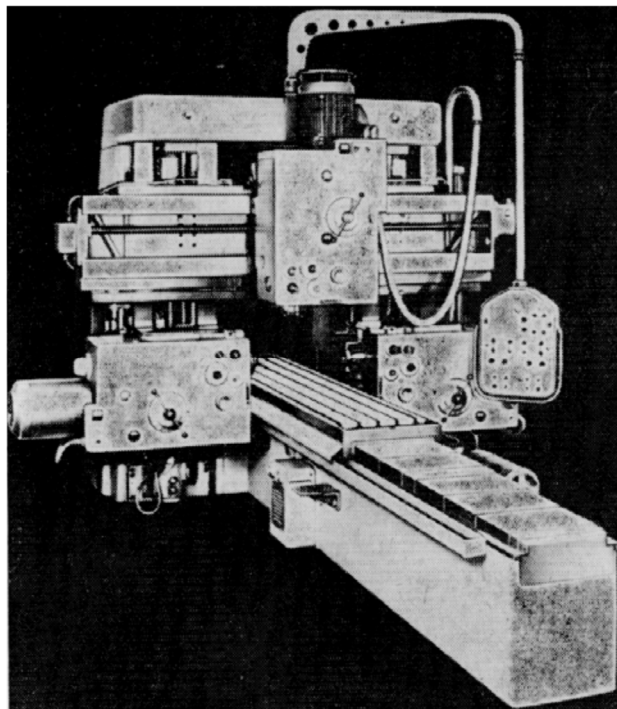


**Obrázek 58:** Stolová frézka FC [13]

### 1.12.3.3 Rovinné frézky

Tyto frézky jsou sestavené z typizovaných stavebnicových dílů, např. loží, stojanů, frézovacích vřeteníků, příčnicků apod. Na rovinných frézkách se obrábějí velké obrobky s hmotností až 10 000 kg; vykonávají se na nich nejtěžší frézovací práce. Je také možné upnout na stůl frézky větší počet menších obrobků, které jsou obráběny společně. Rovinné frézky se vyznačují vysokou produktivitou, která se dosahuje současným obráběním několika ploch v různých polohách [13].

Konstrukce rovinných frézek je odvozena od frézek portálových FP. Portálové frézky mají vždy čtyři vřeteníky, které mohou pracovat současně. Portálové frézky jsou konstruovány ve třech velikostech – FP12, FP16, FP20 [13].



Obrázek 59: Rovinná frézka [13]

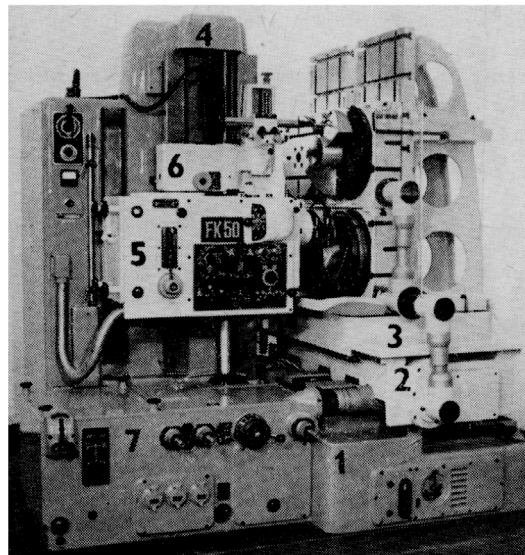
### 1.12.3.4 Nástrojařské frézky

Nástrojařskými frézkami lze přesně frézovat složité tvary obrobků menších rozměrů a hmotností. Je možné na nich vykonávat velký rozsah různých frézovacích prací a frézovat obrobky v různých polohách. Uplatňují se nejen při výrobě nástrojů složitých tvarů, zápustek, kovových modelů, forem, šablon a měřidel především v nářadovných, ale i v kusové výrobě tvarově složitých součástí. Je možno na nich jak frézovat, vrtat, vyvrtávat, brousit a obrážet, tak i vykonávat práce vyžadující přesné dělení a obrábět různě skloněné tvarové plochy. Základem konstrukce nástrojařské frézky je vodorovná frézka se svislým

stolem a příčně posuvným vřeteníkem. Na svislou upínací plochu stolu lze namontovat pevný stůl s příčným posuvem, sklopný a otočný ve třech směrech a nastavitelný do libovolné polohy [13].

#### ***1.12.3.5 Kopírovací frézky***

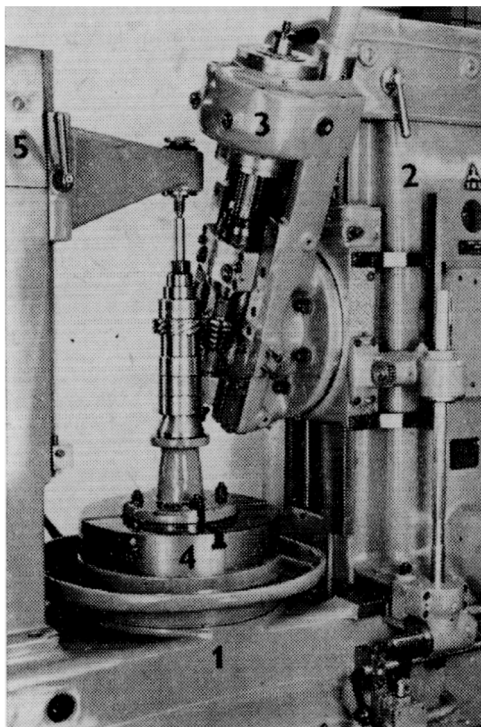
Tyto frézky se uplatňují především při výrobě kovových forem, zápustek, modelů, vaček, šablon a podobných součástí. Kopírováním se přenáší tvar modelu (vzorku) na obrobek. Na strojích lze kromě kopírování frézovat i klasické plochy rovinné, kolmé nebo šikmé [13].



**Obrázek 60:** Kopírovací frézka FK 50 [13]

#### ***1.12.3.6 Odvalovací frézky***

Na odvalovacích frézkách se vyrábějí čelní ozubená kola s přímými a šikmými zuby, šneková a řetězová kola. Stroj se skládá z lože, stojanu, vřeteníku, otočného pracovního stolu a pomocného stojanu [13].



**Obrázek 61:** Odvalovací frézka FO6 [13]



## 2 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části se shrnují základní principy obrábění, které by se měly respektovat jak při aplikaci na klasických a dnes již morálně zastaralých strojích, tak i na CNC strojích. V praktické části této práce bude čtenář krátce seznámen s firmou AŽD Praha s.r.o. a také s tím, čím se zabývá. Hlavním cílem praktické části je konstrukčně technologická změna výroby skříně pro pohon závory. V poslední části budeme porovnávat vliv volby materiálu a konstrukce výrobku na samotný proces obrábění a jeho ekonomiku.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 O FIRMĚ AŽD

AŽD Praha je významným ryze českým dodavatelem a výrobcem zabezpečovací, telekomunikační, informační a automatizační techniky, zejména se zaměřením na oblast kolejové a silniční dopravy včetně telematiky a dalších technologií. Společnost zajišťuje výzkum, vývoj, projektování, výrobu, montáž, rekonstrukce a servis zařízení, systémů i investičních celků v těchto hlavních oblastech:

- železniční doprava,
- provoz metra a závodová doprava,
- oblast telekomunikačních, informačních a radiových systémů,
- telematické aplikace,
- silniční, signalizační a parkovištní systémy,
- nové telefonní a rozhlasové systémy pro řízení železniční dopravy a pro informování cestujících [9].

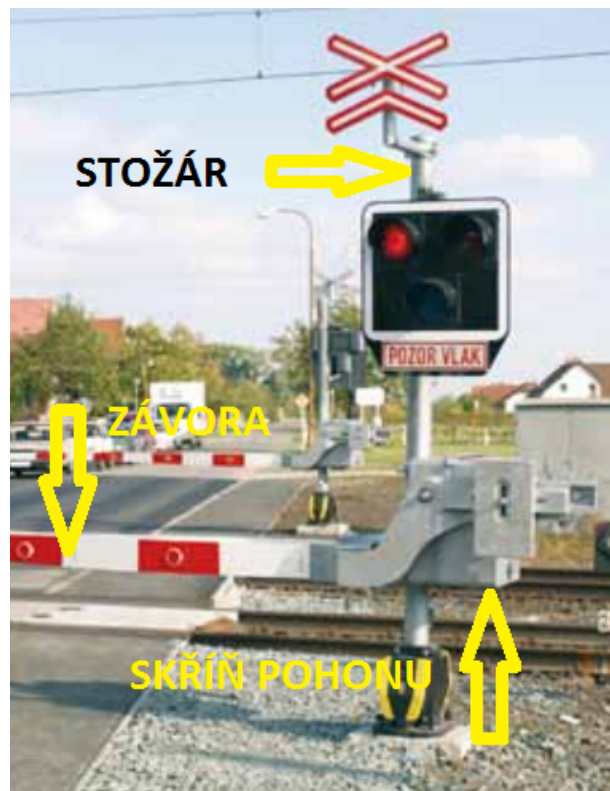


**Obrázek 62:** Logo firmy AŽD Praha [9].

Produkty, které společnost vyrábí, zachycují nejnovější technické a užité trendy. Ve firmě AŽD je v současné době zaměstnáno přes 1 500 pracovníků. Díky své dlouholeté tradici, která se datuje již od roku 1954, si firma získala stálou pozici a vedoucí postavení mezi ostatními dodavateli ve svém oboru [9].

## 4 SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Zavedený prototyp výrobku, který prošel ověřovací výrobou, pracovně jej označme jako výrobek A, je skříň pro pohon závory. Uvnitř každé skříňe nalezneme poměrně hodně komponent, ale asi ty nejdůležitější jsou motor a převodovka. Tato sestavená skříň je upevněná ke stožáru a následně je připevněna i samotná bezpečnostní závora.

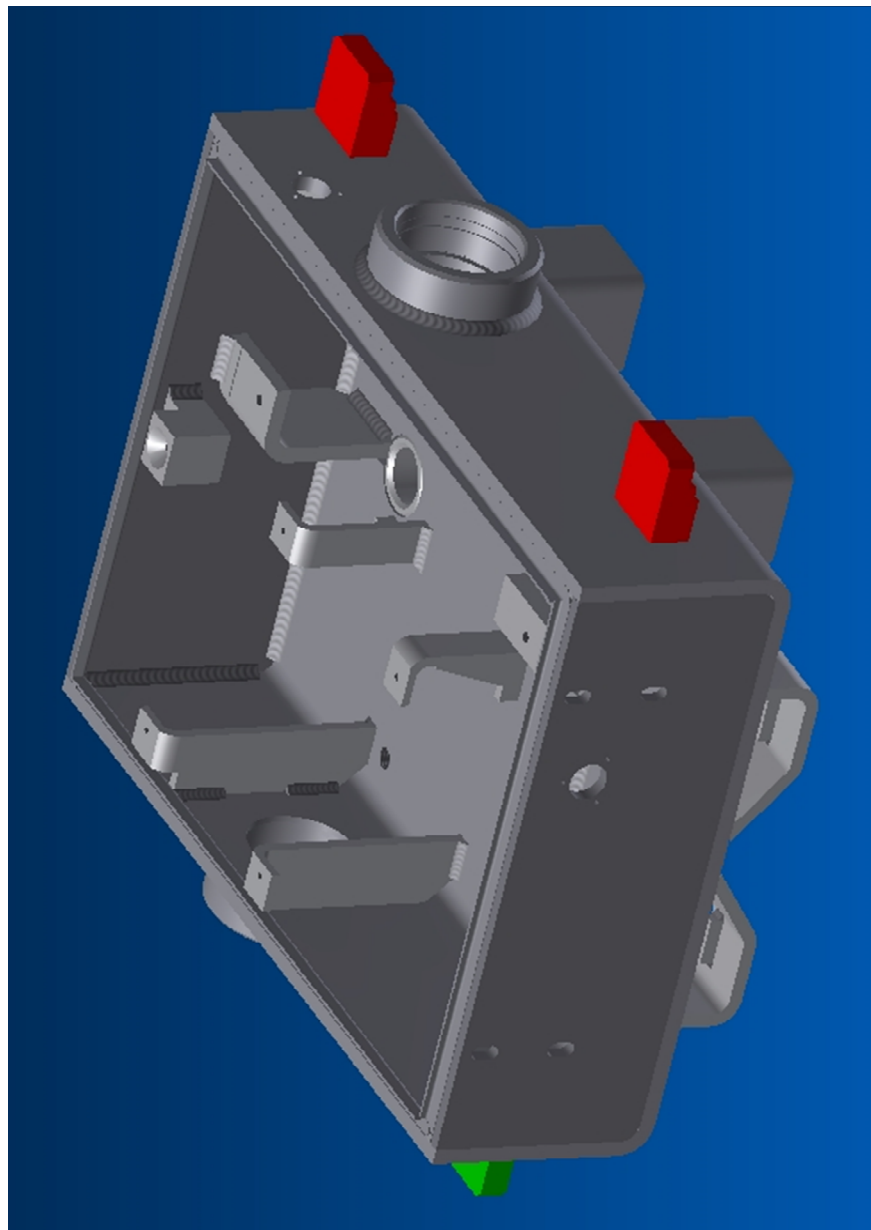


**Obrázek 63:** Skříň pohonu závory na železničním přejezdu [9]

Výrobek A nyní vzniká částečně v kooperaci tak, že se jednotlivé části skříňe pohonu vypálí laserem z ocelového plechu o síle 12 mm, ohnou se do požadovaného tvaru na CNC ohraňovacím lise a nakonec se svaří v přípravku do výsledné sestavy. Po svařování následuje žihání ke snížení vnitřního pnutí. Tento polotovár je poté obráběn na frézovacím centru VARIAXIS (viz technologický postup na Obrázek 66). Obrábí se dosedací plochy pro komponenty, díry pro ložiska a těsnění a také závity pro přichycení.

Důvodů, proč je potřeba provést konstrukčně technologickou změnu daného výrobku, je hned několik. Mezi ty nejdůležitější patří:

- Požadavek na zlevnění výrobku.
- Design a inovace výrobku.
- Odstranění problémů s obráběním.
- Zjednodušení výroby.
- Zvýšení tuhosti skříně při obrábění.
- Eliminaci problematiky s vnitřním pnutím po svařování.
- Zvýšení přesnosti rozměrů.
- Zvýšení konkurenceschopnosti zrychlením výrobního procesu.



Obrázek 64: 3D model výrobku A [14]



VZO										TECHNOLOGICKÝ POSTUP										List 1 / 2	
Výkres / Index		Ail.		Název		Výrobek A		Postavení		DS						Stev		Poč. operaci			
X1	technologická	minimální	maximální	Kmen, středisko	Platí od	Modifikace	Změna					H							11		
Dávky:		1	1	1	230																
Poznámka:										Autor postupu					Schválil						
Operace	Pracoviště	Název pracoviště			Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / SVK												
1	M0020	VYROBA DILU / SESTAV			230	E 27 000,00	0,00 hod. 1	1,0	1,0												
		Vyrobit skříň					0,00 hod. 1	1,00	1,00												
		Pozice	Název	Klíč	Výkres	Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3	Mnozství	MJ											
		30	DL UPNACI	657226	708450230		70845D-230		2,00 ks												
		31	DL UPNACI LEVY	697513	708450231		70845D-231		2,00 ks												
		Vyrobit skříň - Skanska																			
2	M9807	KONTROLA VYROBKU			230		0,00 hod. 7	1,0	1,0												
		100% kontrola kooperace					0,00 hod. 7	1,00	1,00												
		100% kontrola kooperace																			
3	M5154	Centrum frez. VARIAXIS			230		2,00 hod. 6	1,0	1,0												
		Seřídít					0,00 hod. 6	1,00	1,00												
		SEŘÍDIT PROGRAM																			
4	M5154	Centrum frez. VARIAXIS			230		0,00 hod. 5	1,0	1,0												
		Frézovat					1,50 hod. 5	1,00	1,00												
		OBROBIT SKŘÍŇ:																			
5	M9422	ZAMECNIK-DS			230		0,151 hod. 3	1,0	1,0												
		Odjehlit					0,14393 hod. 3	1,00	1,00												
		ODJEHLIT SKŘÍŇ PO OBRÁBĚNÍ, DOSADIT VČETNĚ ZALEPENÍ ŠROUBŮ b.č.30																			
6	M9625	ODMASTOVANI-GALATEK			230		0,11325 hod. 3	1,0	1,0												
		Odmastit					0,05037 hod. 3	1,00	1,00												
		ODMASTIT SKŘÍŇ PŘED PŮ.																			
7	M6781	NATERAC - STRIKANI			230		0,3775 hod. 3	1,0	1,0												
		Stříkat dle PŮ 92500 0 033					0,64765 hod. 3	1,00	1,00												
		Pozice	Název	Klíč	Výkres	Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3	Mnozství	MJ											
		32	PU OCELI VNEJSI RAL 9006	165702			92500D-033		1,00 ks												
		33	BARVA ZAKLADNI SG 64	214818		0246279991111	LANKWITZER	RAL 3012	1,164 kg												
		34	BARVA VRCHNI PD 13	92844		0246279991075	LANKWITZER	RAL 9006	0,36 kg												
		35	TUZIDLO	215169		0246279991112	LANKWITZER	SH 05-00000	0,057 kg												
		36	TUZIDLO	93003		0246279991061	LANKWITZER	PH 33-00000	0,04 kg												
		37	REDIDLO	92951		0246279991062	LANKWITZER	VS 20-21830	0,233 l												
		38	REDIDLO	92952		0246279991063	LANKWITZER	VP 30-24330	0,072 l												
		ZHOTOVIT PŮ DLE 92500 0 033:																			
		DOTYNY NATŘÍT ŠTĚTKEM.																			
		OPRACOVANÉ PLOCHY A ZÁVITY CHRÁNIT PŘED PŮ.																			
		100% KONTROLA ŘKJ.																			

Obrázek 66: Technologický postup výrobku A [14]

## 5 NÁVRH KONSTRUČNĚ TECHNOLOGICKÉ ZMĚNY

### 5.1 Problémy s výrobkem A

Největším problémem výrobku A jsou vysoké finanční náklady na jeho výrobu. Stejně závažným tématem k řešení je oblast obrábění, která se značnou mírou podílí právě na ceně výrobku. Přestože je svařovaná skříň pro její účel dostatečně tuhá, tak tuhost při obrábění je slabší a to se odráží i na spotřebě řezného materiálu a nutnosti snížení řezných podmínek. Při sledování rozdílů se jedná asi o 3x větší spotřebu řezného materiálu než u odlévané skříně ze slitiny hliníku, pracovně označené jako výrobek B.

Cena řezného materiálu na jeden kus výrobku:

- Výrobek A (svařovaná skříň) – 1191 Kč,
- výrobek B (odlévaná skříň) – 397 Kč.

To, že svařování skříně není ideální technologií, zejména z hlediska finančních nákladů, si ukážeme později v ekonomickém porovnání výrobků A a B. Prototyp skříně tedy vznikl jako svařenec, kterým se ověřovala výroba. Z hlediska dynamičnosti úpravy rozměrů a tvarů, by volba odlitku na ověřovací výrobu nebyla vhodná. Výroba formy pro lití je nákladná, a pokud bychom zjistili, že je potřeba větší konstrukční úpravy, bylo by to finančně velmi nákladné a méně flexibilní než svařování. Teď, když se výrobek jako svařenec stabilizoval a osvědčil, je třeba najít nejlepší a nejekonomičtější způsob pro sériovou výrobu.

### 5.2 Volba materiálu výrobku B

Uvažovaný materiál pro odlitek skříně by mohla být buďto tvárná litina nebo slitina hliníku. Protože u nás ve firmě pracujeme s oběma materiály, tak pro tento konkrétní případ volíme slitinu hliníku, konkrétně AlSi10MgMn (dle ČSN 42 4331) a to z důvodů:

- Markantně nižší hmotnosti, čímž odpadají problémy při montáži sestavené skříně.
- Možnosti použití vyšších řezných rychlostí.
- Delší životnosti řezných nástrojů.
- Menší fluktuace rozměrů při sériové výrobě.

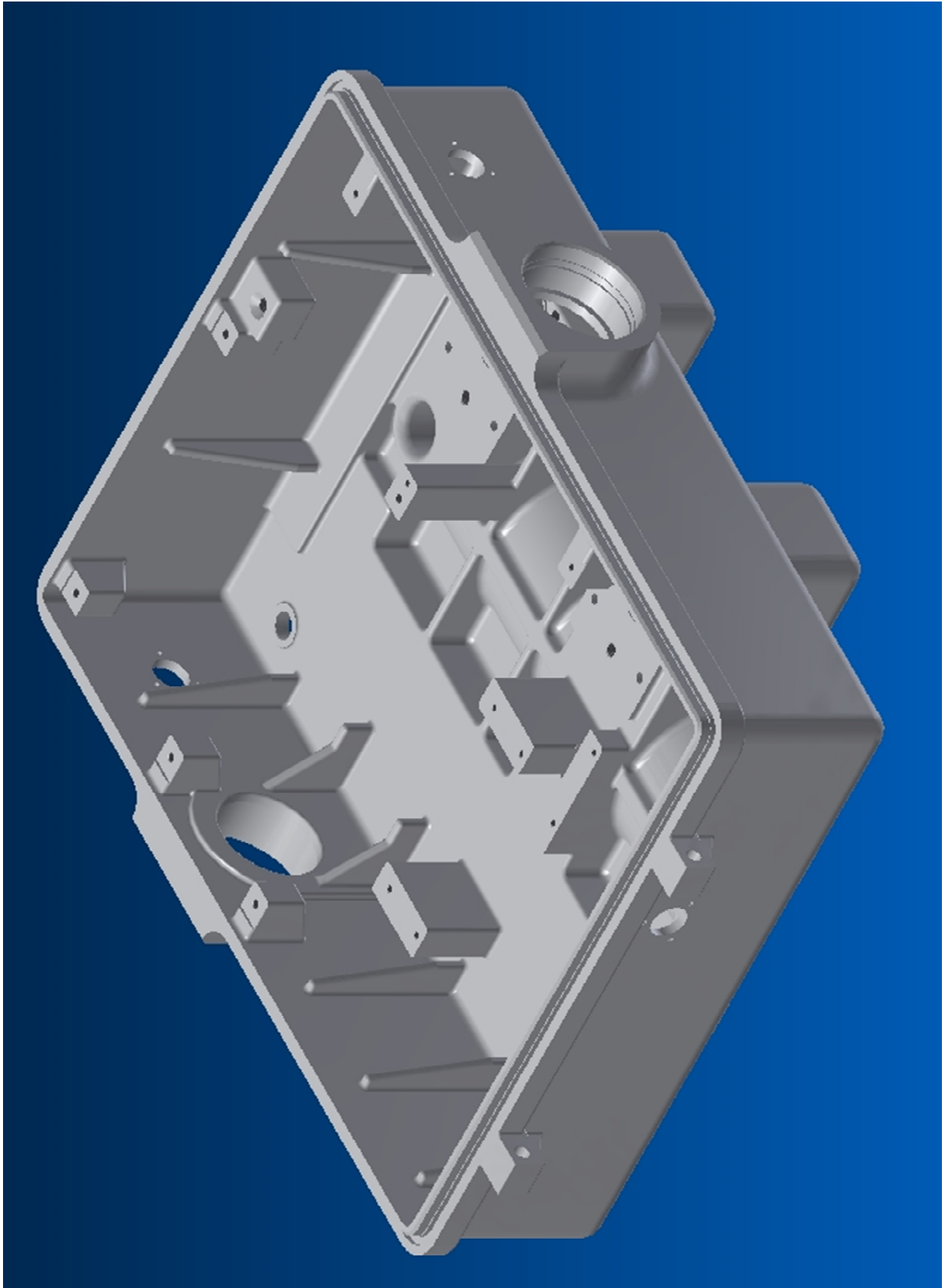


**Tabulka 4:** Porovnání obou materiálů pro odlitek skříně

	<b>Tvárná litina</b>	<b>AlSi10MgMn</b>
Životnost modelového zařízení (ks)	3 000	8 000
Cena modelového zařízení (Kč)	300 000	210 000
Hmotnost odlitku (kg)	88	32
Náklady za formu na 1 ks odlitku (Kč)	100	26
Cena za 1 kg materiálu včetně tepelného zpracování (Kč)	50	148
Cena odlitku (Kč)	4 500	4 466
Náklady na obrábění jednoho odlitku (Kč)	1 950	1 050
Náklady na řezný materiál jednoho odlitku (Kč)	1 600	300
<b>Celkové náklady na 1 ks odlitku (Kč)</b>	<b>8 050</b>	<b>5 816</b>

### 5.3 Konstrukční návrh řešení výrobku B

Výrobek prošel různými konstrukčními modifikacemi a poté byl VŠB zadán k pevnostnímu výpočtu metodou konečných prvků, včetně optimalizace tvaru, zjednodušeného výpočtu předepjatých šroubů a řešení únavy skříně závory. Na Obrázek 67 můžeme vidět, že v porovnání se svařovanou skříní je ta odlévaná po designové stránce mnohem modernější. Takovýto konstrukční návrh vyžaduje najít rovnováhu mezi funkčností, pevností a již zmiňovaným designem, což mnohdy není jednoduchý úkol.



Obrázek 67: 3D model výrobku B [14]



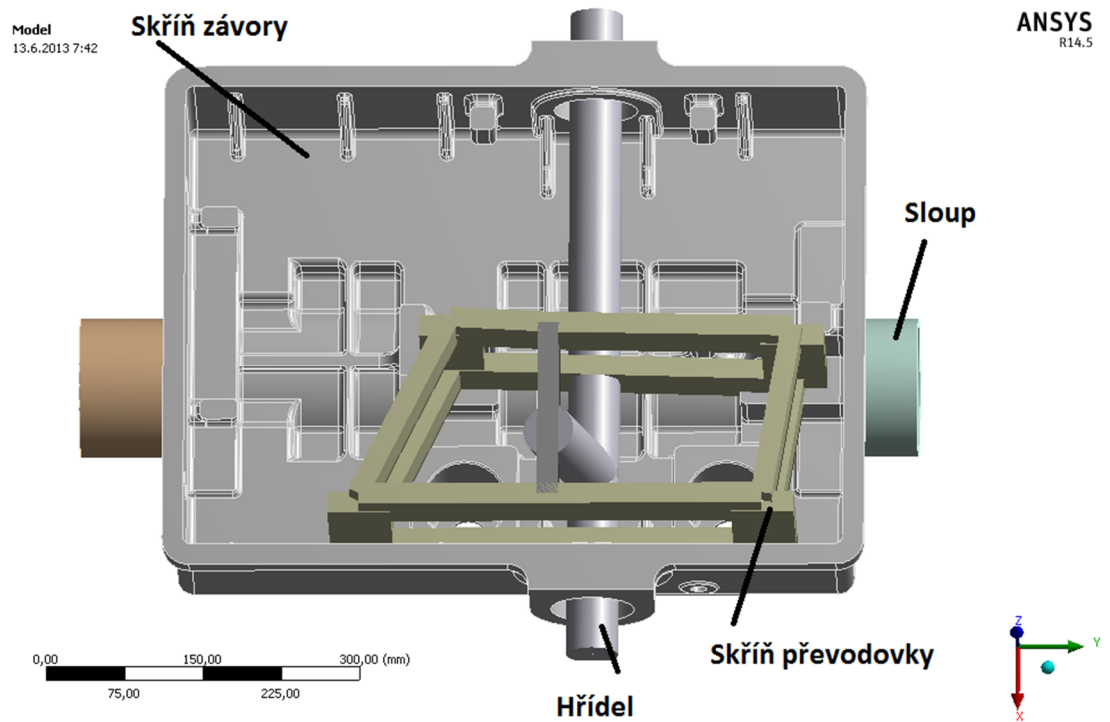
## 5.4 Ukázka z výpočtu odlévané skříně

Všechny výpočty byly provedeny v softwaru Ansys Workbench verze 14.5 a to v oblasti platnosti Hookova zákona. Na základě výsledků výpočtů skříně byl tvar optimalizován. Na Obrázek 69 je sestavena specifikace výpočtu pro jednotlivé druhy namáhání.

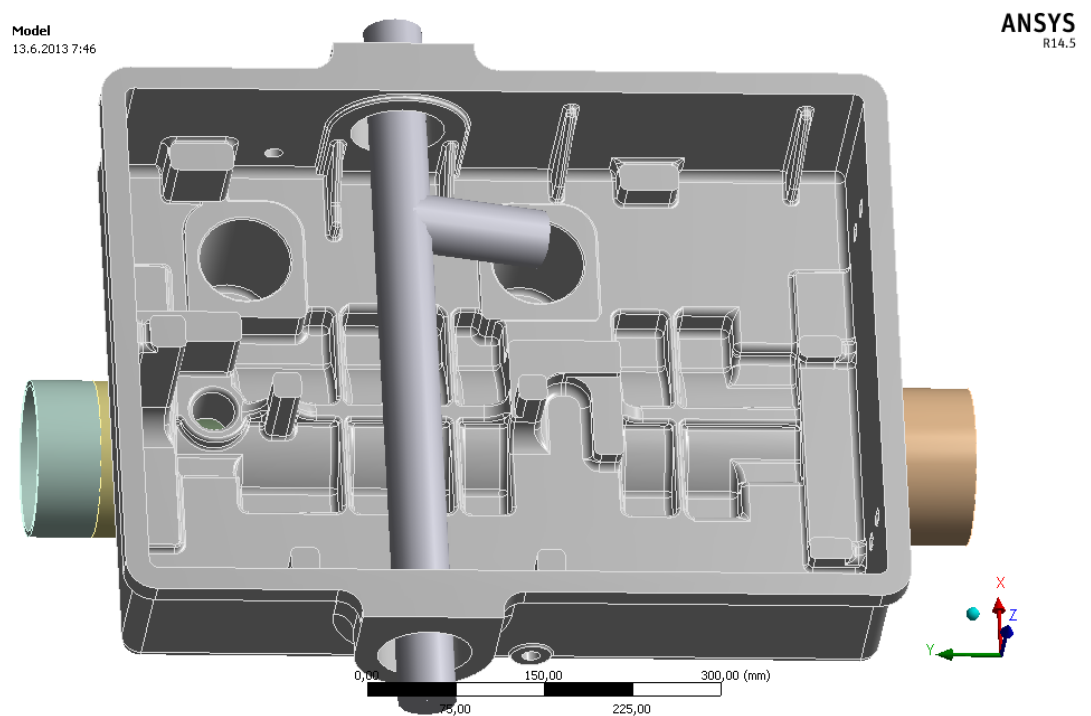
Výrobek se ověřoval na tyto možné kombinace namáhání:

- **Namáhání č.1** – namáhání větrem působícím proti směru zvedání břevna (moment zvedání v převodovce + namáhání přípevňovacích 4 ks předepjatých šroubů M24 + hmotnost elementů)
- **Namáhání č.2** – namáhání větrem působícím ve směru zvedání břevna (moment větru přenášený přes ozubený segment na dorazovou pružinový výstupek ve skříně + namáhání přípevňovacích 4 ks předepjatých šroubů M24 + hmotnost elementů)
- **Namáhání č.3** – namáhání bočním větrem působícím zleva (moment větru přenášený přes hřídel na skříně + namáhání přípevňovacích 4 ks předepjatých šroubů M24 + hmotnost elementů)
- **Namáhání č.4** – namáhání bočním větrem působícím zprava (moment větru přenášený přes hřídel na skříně + namáhání přípevňovacích 4 ks předepjatých šroubů M24 + hmotnost elementů)
- **Namáhání č.5** – namáhání silou 31 000 N (síla vyvinutá vandalem + namáhání předepjatých šroubů M24 + hmotnost elementů)





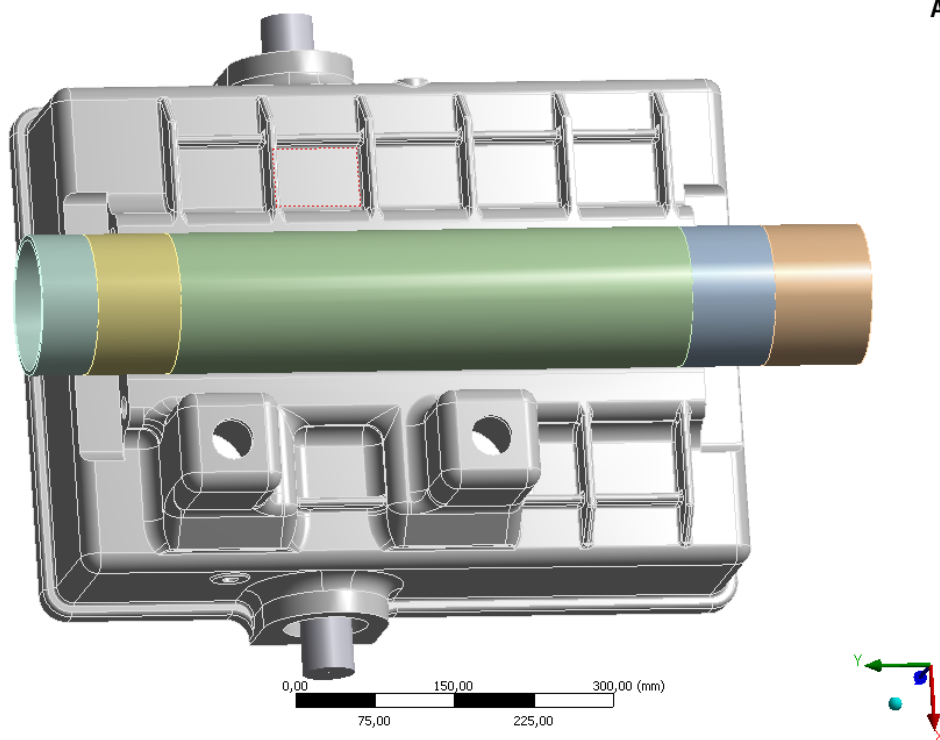
**Obrázek 70:** Pohled dovnitř skříně. Skříň závory, sloup, skříň převodovky a hřídel. Model byl použit u zátěžných stavů 1, 3, 4, 5 [14]



**Obrázek 71:** Pohled dovnitř skříně. Skříň závory, sloup, skříň převodovky a hřídel. Model byl použit u zátěžného stavu 2 [14]

Model  
13.6.2013 7:46

ANSYS  
R14.5



**Obrázek 72:** Pohled z vnější strany skříňě [14]

Materiál skříňě závory je dle výkresové dokumentace AlSi10MgMn (dle ČSN 42 4331). Pro výpočet byly použity materiálové parametry z Tabulka 5 (odlitky lité do pískových forem vytvrzených za tepla).

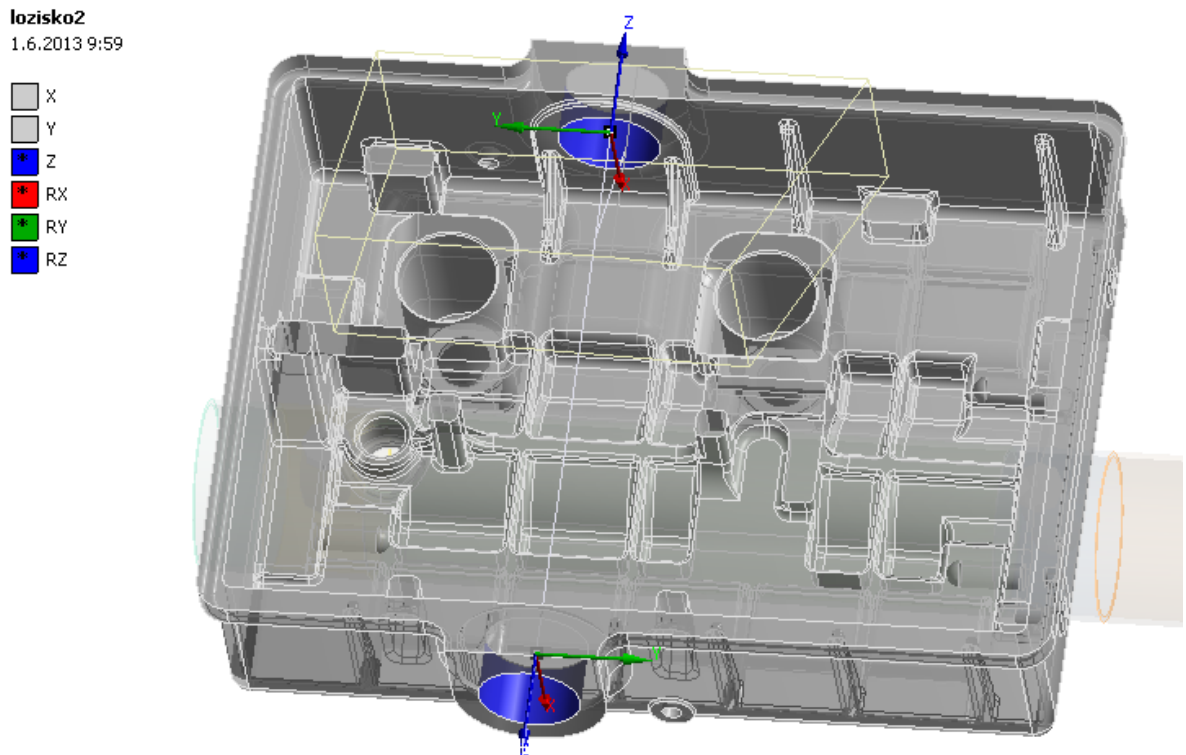
**Tabulka 5:** Materiálové parametry AlSi10MgMn [14]

Označení	Hodnota	Popis
E	74000	Modul pružnosti v tahu [MPa]
$R_p 0.2$	160	Mez kluzu [MPa]
$R_m$	200	Mez pevnosti [MPa]
$\rho$	2680	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	0,33	Poissonovo číslo [-]

#### 5.4.1 Okrajové podmínky použité při řešení – vazby mezi tělesy

Ložiska byla simulována sjednocením posuvů v ose x a y mezi hřídelí a plochou na skříni závory. Síla v ose z (v ose hřídele) se zachycuje na ložisku bližší převodovce. Body

na hřídeli jsou zvýrazněny souřadným systémem, plochy na skříní závory modře, viz Obrázek 73.



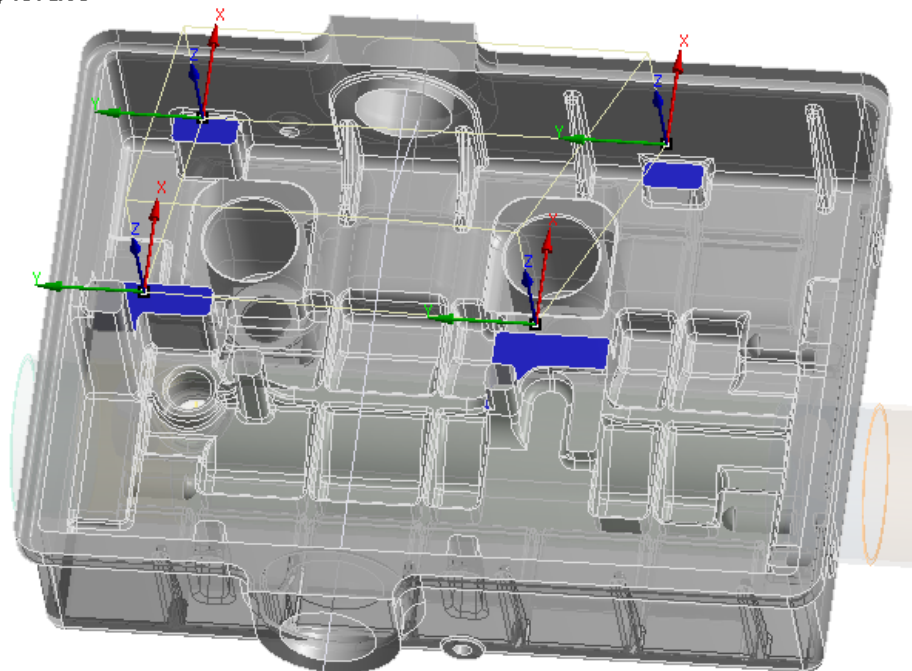
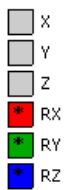
**Obrázek 73:** Vazby mezi hřídelí a skříní závory – ložiska [14]

Spojení mezi skříní převodovky a skříní závory je realizováno spojením vybraných bodů a opěrných ploch. Body jsou zvýrazněny souřadným systémem, plochy modře, viz Obrázek 74. Zachycují se síly v osách (momenty jsou volné – jejich zachycení má minimální vliv na výsledky).

Napojení hřídele (ozubené kolo) na převodovku je realizováno stejně jako v předchozích případech – přenáší se síla v ose x (kolmo na poloměr) viz Obrázek 75.

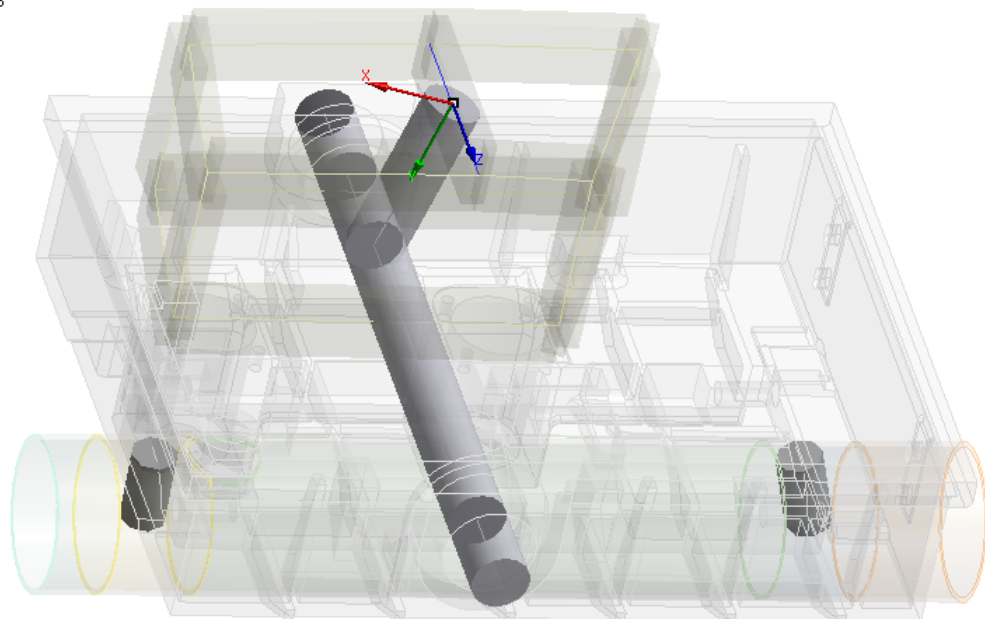


General - Line Body To Part 1  
1.6.2013 10:00



Obrázek 74: Vazby mezi skříní převodovky a skříní závory [14]

General - Line Body To Line Body  
29.5.2013 17:08

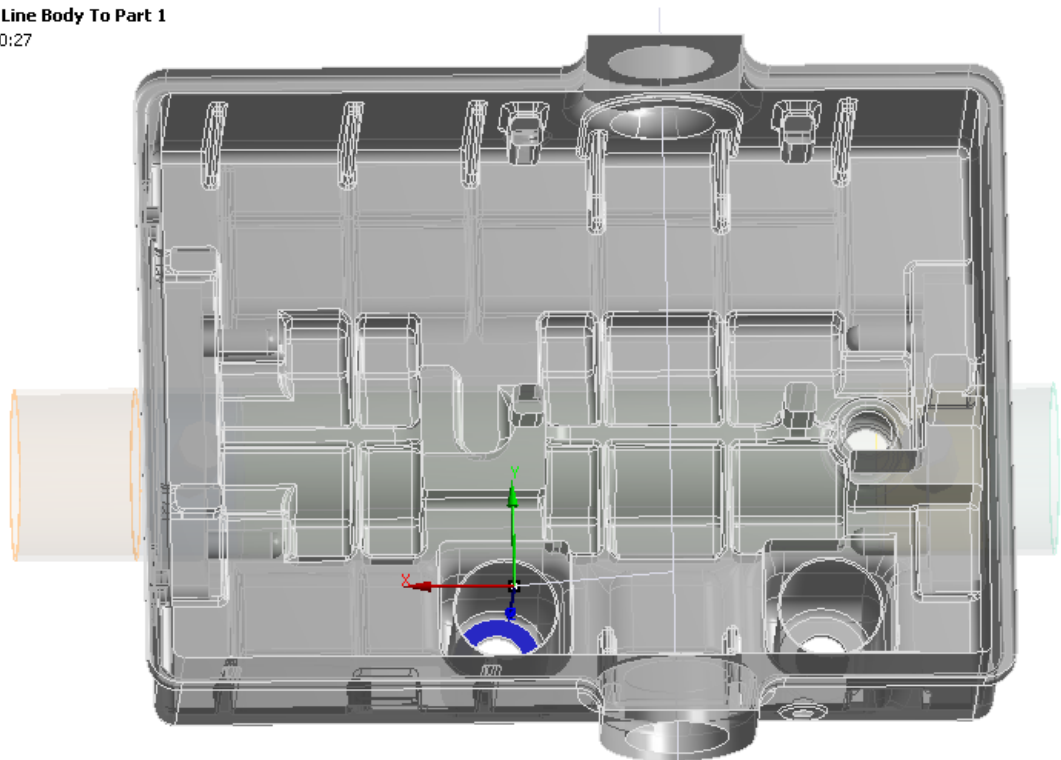


Obrázek 75: Vazba mezi skříní převodovky a hřídelí (ozubené kolo) [14]

Zátěžný stav č. 2 (opření o doraz) byl modelován přímým spojením hřídele a skříně závory. Do skříně se přenáší pouze síla v ose z. Dotykový bod na hřídeli (kole) je označen souřadným systémem, dotyková plocha na skříní (pružina) je označen modrou barvou, viz Obrázek 76.

General - Line Body To Part 1  
1.6.2013 10:27

- \* X
- \* Y
- \* Z
- \* RX
- \* RY
- \* RZ



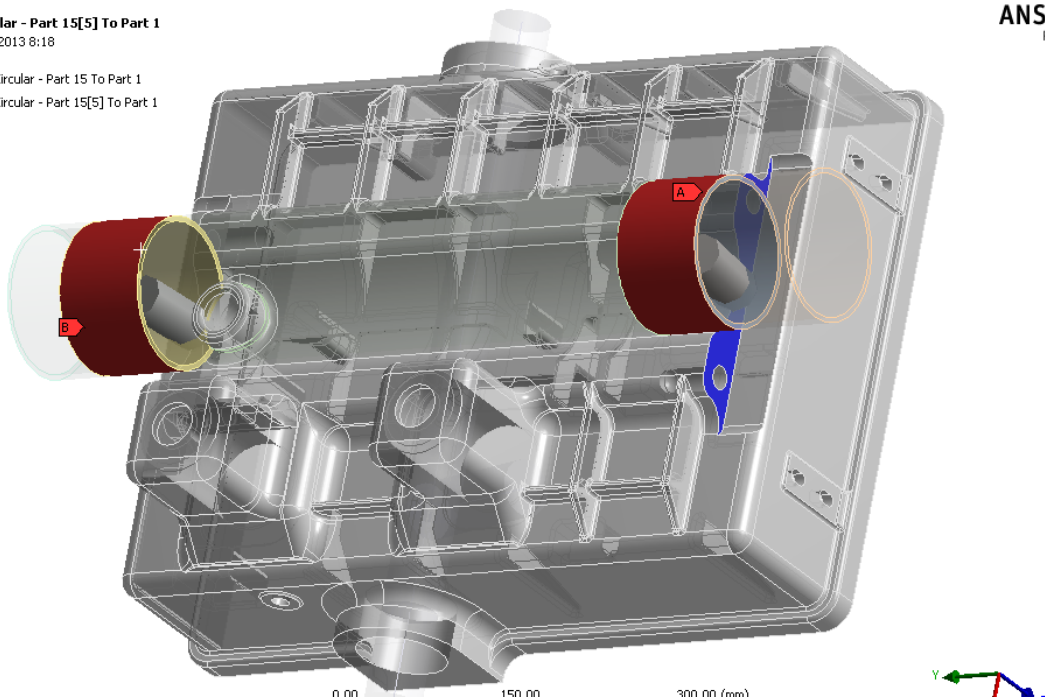
**Obrázek 76:** Vazba mezi skříní závory a hřídelí (doraz) [14]

Spojení mezi sloupem a skříní závory je realizováno pomocí nosíkových prvků (tyč o poloměru 20 mm), které jsou pevně spojeny s částí sloupu (objímka) a plochou, viz Obrázek 77.

Circular - Part 15[5] To Part 1  
13.6.2013 8:18

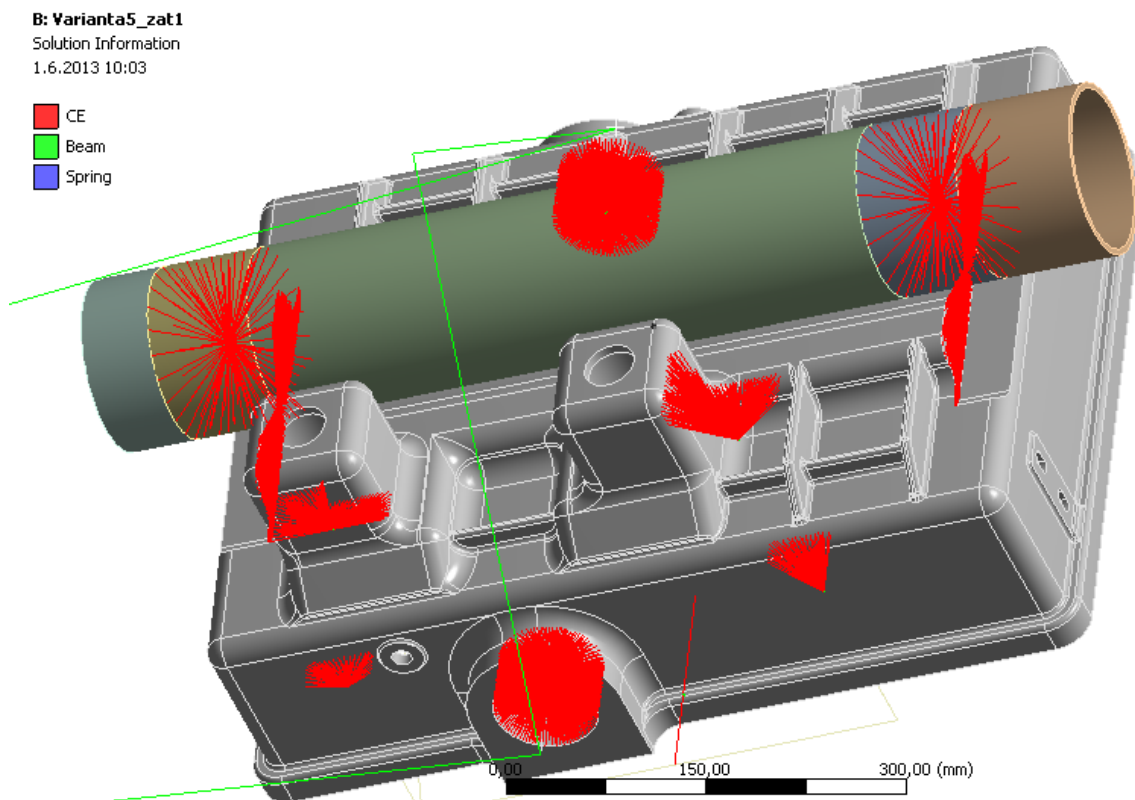
- A Circular - Part 15 To Part 1
- B Circular - Part 15[5] To Part 1

ANSYS  
R14.5



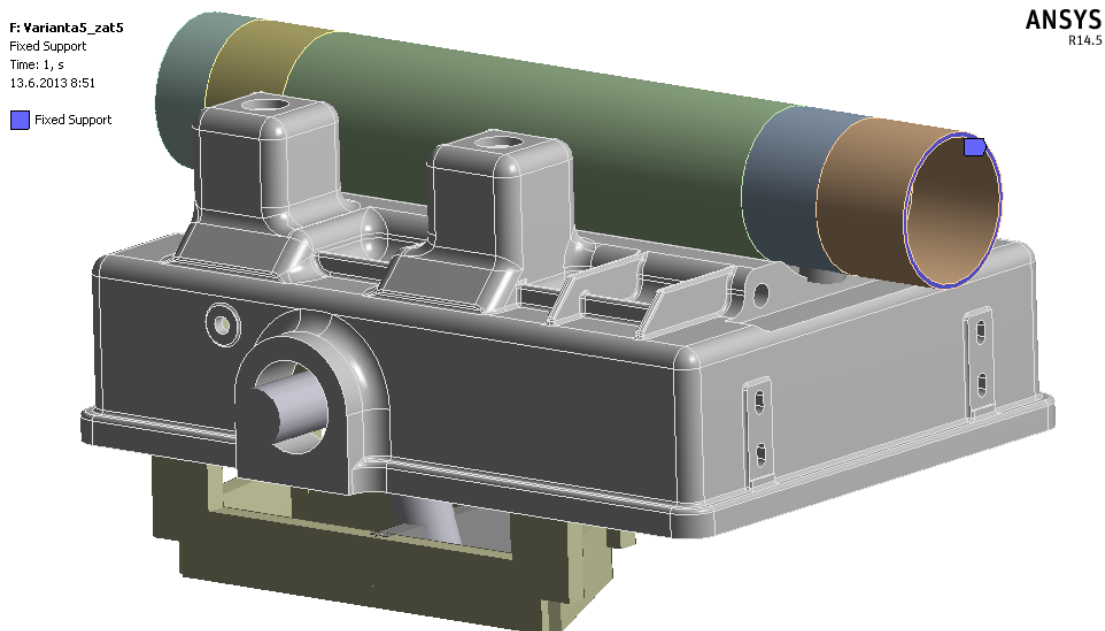
**Obrázek 77:** Vazba mezi sloupem a skříní závory [14]

Výše uvedené vazby jsou realizovány pomocí tzv. MPC algoritmu, viz Obrázek 78.



Obrázek 78: Použití MPC algoritmu [14]

Vetknutí sloupu je použito u všech zátěžných stavů.

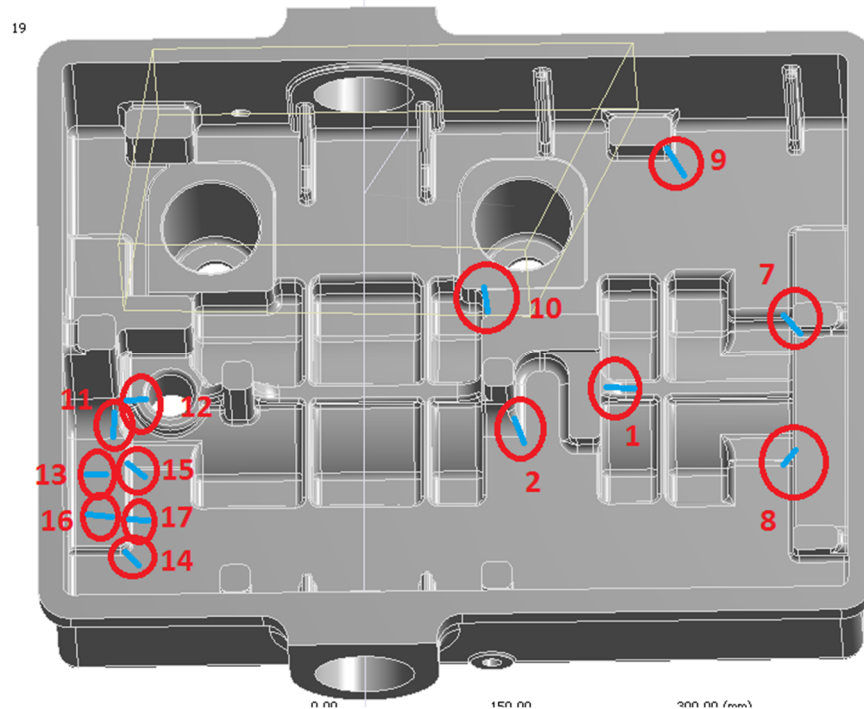


Obrázek 79: Vetknutí sloupu [14]

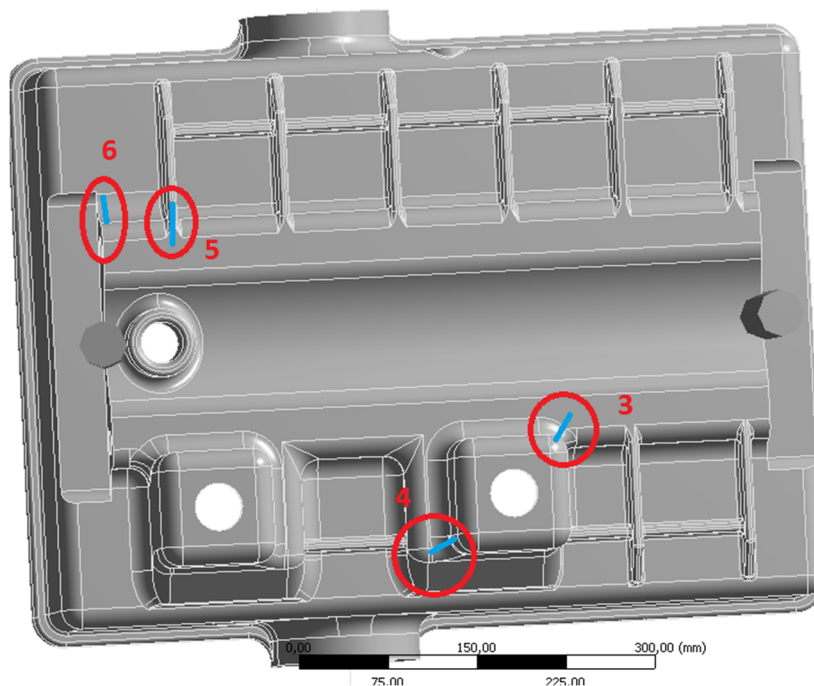
#### 5.4.2 Kritická místa na skříni závory

Kritická místa byla stanovena na základě výpočtu 5 zadaných zátěžných stavů. Kritická místa jsou v oblastech, kde redukovaná napětí překročily povolenou hodnotu. Celkem bylo nalezeno 17 kritických míst. Na vnitřní straně skříně závory 13 míst a na vnější straně skříně závory 4 kritická místa.

Kritická místa byla popsána číslem v pořadí, v jakém byly identifikovány. Nebyly vyhodnocovány místa ležící v oblasti, kde byly aplikovány okrajové podmínky (princip lokálnosti). V těchto místech nejsou překročena napětí reálná.



**Obrázek 80:** Kritická místa na vnitřní straně skříně závory, směry kritických hlavních napětí [14]



**Obrázek 81:** Kritická místa na vnější straně skříně závory, směry kritických hlavních napětí [14]

Takto výpočet pokračuje dále, protože to ale není hlavním předmětem diplomové práce, nebudeme zde uvádět celý výpočet.

#### 5.4.3 Závěr výpočtu

Vzhledem k typu materiálu výrobku (AlSi10MgMn) lze očekávat relaxační procesy ve skříně závory zejména v trvale zatížených oblastech (předepjaté šrouby). Lze tedy doporučit pravidelnou kontrolu předepjatých šroubů v intervalu 1 rok.

Při analýze všech zatěžujících stavů maximální hodnoty redukovaného napětí nedosáhly meze kluzu. Výše popsané kritické zátěžné stavy tedy nezpůsobí porušení konstrukce ani trvalé deformace.

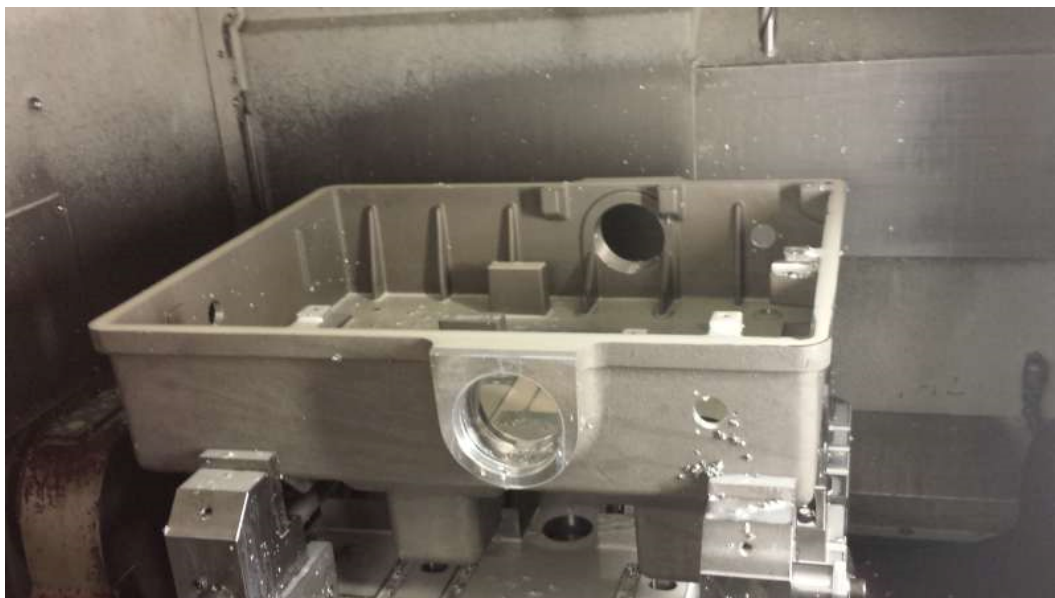
Z únavové analýzy vyplývá, že součást vydrží po celou dobu své požadované životnosti bez poškození. Svěrný spoj i předepjaté šrouby vyhoví s dostatečným koeficientem bezpečnosti.

Navržená součást vyhovuje zadaným požadavkům v plném rozsahu.

## 6 VÝROBA VÝROBKU B

Po úspěšném konstrukčním návrhu následuje výroba modelového zařízení pro lití do písku. To má při zadaném materiálu podle dodavatelské firmy garantovanou životnost 8 000 ks. Při ceně 210 000 Kč za modelové zařízení a udávané životnosti, jsou náklady na jeden odlitek pouhých 26,3 Kč. Tyto náklady jsou naprosto zanedbatelné, protože původní cena kooperace, kde vypálili jednotlivé komponenty skříně, poté je v přípravku svařili a dále žíhali, aby snížili vnitřní pnutí, byla 27 000 Kč. Odlitek skříně stojí “pouhých“ 4 466 Kč včetně rozpočtených nákladů na životnost modelového zařízení. Z toho vyplývá, že návratnost investice do modelového zařízení je již po deseti kusech svařované skříně.

Po převzetí výrobku z kooperace se výrobek na frézovacím centru obrobí a ve výrobním čase se odjehlí ostré hrany. Markantní je rozdíl v použitých řezných rychlostech. Zatímco u svařované skříně se pohybujeme v oblasti 150-200 m/min, u odlitku ze slitiny hliníku je to kolem 400 m/min. To činí čas obrábění u výrobku A 49 min a B 30 min. Výrobek A je z oceli 11 523, to proto, aby se dal materiál svařit. Ovšem kvůli ochraně před korozí bylo nutné po zhotovení skříní odmastit a povrchově upravit. To s volbou odlitku ze slitiny hliníku odpadá, čímž ušetříme 480,5 Kč a také 1,19 hodin práce. Poté už je skříní nachystaná k montáži komponent, zabalení a exportu k zákazníkovi.



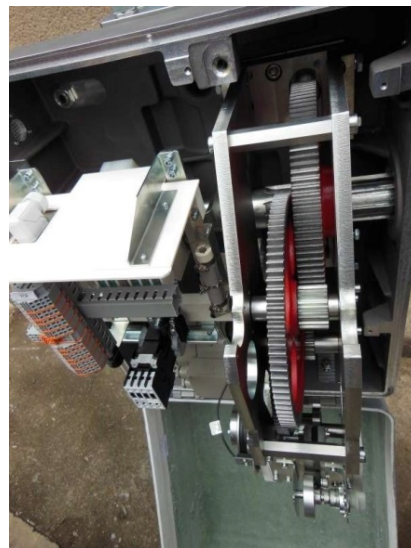
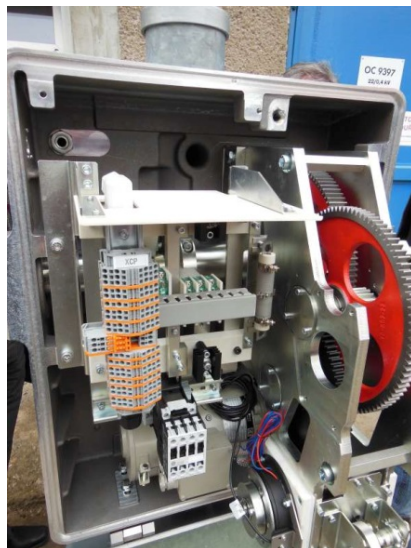
**Obrázek 82:** Výrobek B v upínacím přípravku na stroji VARIAXIS těsně po dokončení obrábění [14]



Obrázek 83: MAZAK Variaxis 730 - 5X [9]

#### PARAMETRY STROJE:

- 5-ti osé frézovací centrum
- Maximální rozměry obrobku (průměr x výška) 730x500 mm/1000x340 mm
- Rotace stolu 360°
- Naklápění stolu +30° až -120°
- Polohování po 0,001°



Obrázek 84: Pohled na sestavený prototyp AL závory [14]

VZO TECHNOLOGICKÝ POSTUP List: 1 / 2

Výkres / Index	Alt.	Název					Postavení
		<b>Výrobek B</b>					<b>Díl</b>
technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od	Modifikace	Změna	Stav Poč. operací
Dávky: 1	1	1	230				H 2

Poznámka:	Autor postupu	Schválí
-----------	---------------	---------

Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / SVK
---------	------------	------------------	----------------	-----------	-----------	-------	-----------

Materiál -název	Výkres / atributy		Spotřební množství		MJ	% ztrát
SKRIN POHONU ZAVORY ( AI )	0202139990058	hliník. odlitek	708450400	1,0	ks	0
Příznaky Pracoviště	Středisko	Rozměr přřezu	Ks Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.
++++++						
Poznámka:	Klíč: 700196					

Materiál -název	Výkres / atributy		Spotřební množství		MJ	% ztrát
R390-11 T3 08E-NL H13A	9206960160116	SANDVIK	54233	1,317	ks	0
Příznaky Pracoviště	Středisko	Rozměr přřezu	Ks Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.
++++++						
Poznámka:	Klíč: 273607					

Materiál -název	Výkres / atributy		Spotřební množství		MJ	% ztrát
880-03 03 05H-C-LM 1044	9206960161809	SANDVIK	517623	0,038	ks	0
Příznaky Pracoviště	Středisko	Rozměr přřezu	Ks Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.
++++++						
Poznámka:	Klíč: 219821					

Materiál -název	Výkres / atributy		Spotřební množství		MJ	% ztrát
880-03 03 W06H-P-LM 4024	9206960161821	SANDVIK	517629	0,038	ks	0
Příznaky Pracoviště	Středisko	Rozměr přřezu	Ks Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.
++++++						
Poznámka:	Klíč: 219824					

Materiál -název	Výkres / atributy		Spotřební množství		MJ	% ztrát
TCMT 06 T1 04-KF 3005	9206960161620	SANDVIK	421697	0,067	ks	0
Příznaky Pracoviště	Středisko	Rozměr přřezu	Ks Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.
++++++						
Poznámka:	Klíč: 219775					

1 M5154 Centrum frez. VARIAXIS 230 2,00 hod. 6 1,0  
Seřadit program. 0,00 hod. 6 1,00

Pozice	Název	Klíč	Výkres	Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3	Mnozství	MJ
5	R390-11 T3 08E-NL H13A	273607		9206960160116	SANDVIK	54233	1,317	ks
6	880-03 03 05H-C-LM 1044	219821		9206960161809	SANDVIK	517623	0,038	ks
7	880-03 03 W06H-P-LM 4024	219824		9206960161821	SANDVIK	517629	0,038	ks
8	TCMT 06 T1 04-KF 3005	219775		9206960161620	SANDVIK	421697	0,067	ks

SEŘADIT PROGRAM: 70845/1 0 400.

2 M5154 Centrum frez. VARIAXIS 230 0,00 hod. 5 1,0  
Frézovat a odjehlít. 1,30 hod. 5 1,00

Pozice	Název	Klíč	Výkres	Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3	Mnozství	MJ
1	SKRIN POHONU ZAVORY ( AI )	700196		0202139990058	hliník. odlitek	708450400	1,00	ks

FRÉZOVAT SKŘÍŇ, včetně OTVORŮ A ZÁVITŮ A ODJEHLIT PO FRÉZOVÁNÍ VE STROJNÍM ČASE.

1.kus předložit ŘKJ, ostatní kontrolovat samokontrolou.

Pomůcky operace: 2			
Pomůcka	Atributy	Ks	
Posuvné měřidlo dígi	9408128991120	200mm	1

Obrázek 85: Technologický postup výrobku B [14]



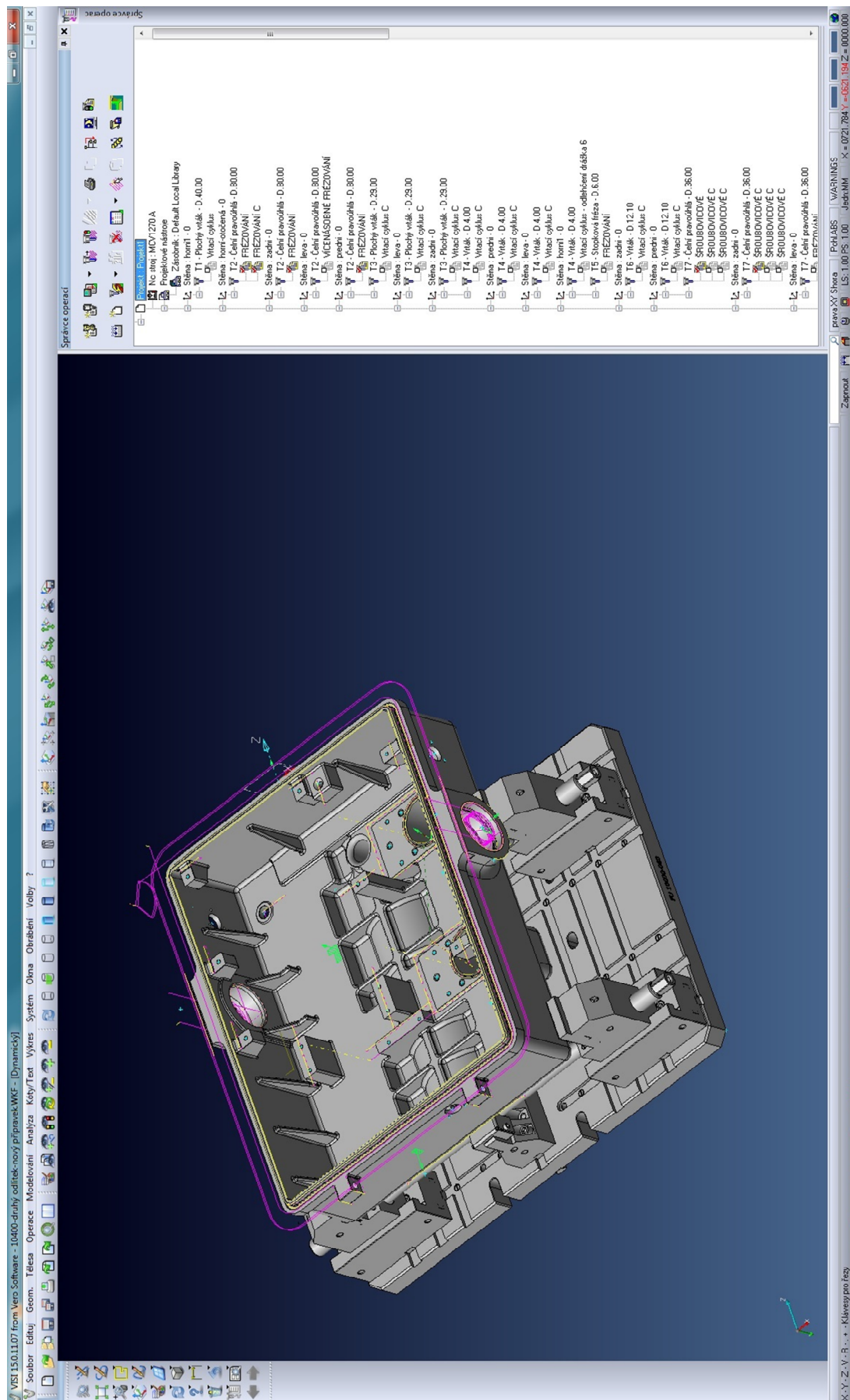
## 6.1 Programování strojů

Metoda CNC výroby je oproti klasické mnohem flexibilnější a rychlejší. Nevýhodou je nutná časová investice na naprogramování strojů. Ve větších firmách bývá programátor, který za pomoci softwarů vytváří práci pro stroje. Jednodušší výrobky se u většiny strojů dají naprogramovat přímo u řídicího počítače stroje, ale tato možnost je spíše pro výjimečné případy nebo pro velkosériové výroby s malým sortimentem, kdy je zbytečné zaměstnávat programátora a kupovat poměrně drahé softwary. Také je nutné si uvědomit, že ve chvíli, kdy obsluha stroje programuje, stroj nevyrábí, a firma tak přichází o zisk a ztrácí konkurenceschopnost [3].

Firma AŽD má hodně členitou a spíše malosériovou výrobu, z tohoto důvodu má programátor své opodstatnění. Programy pro obráběcí centra jsou vytvářeny v programu VISI. Tato firma jako jedna z mála byla schopna nabídnout postprocesory ke všem strojům, což byla hlavní priorita. Protože i sebelepší software bez toho, aby byl navázaný na stroj a generoval CNC kód tak, aby stroj dělal přesně to co má, je k ničemu.

```
N1 (PROGRAM: VÝROBEK B)
N2 G90 G54 G17 G94 G61.1
N3 G00 A0 C0
N4 G53 Z0.
N5 G53 X-730. Y0.
N6 (STENA - PREDNI)
N7 T03 M06 T05 ( VRTAK PLOCHY / DRAZKOVACI FREZA PRUM 29 )
N8 G54
N9 G00 C-180. A-90.
N10 G65 P9902 U58. V-278. W221.156 A-90. C-180. M54 S55
N11 G55( ROVINA OBRABENI)
N12 (C)
N13 X-130. Y-48.5 S2525 M03 M51
N14 G43 H03 Z-38.
N15 G81 G99 R-38. Z-58. F202
N16 G00 Z10.
N17 G53 Z0. M09
N18 G53 X-730. Y0.
N19 (STENA - LEVA)
N20 G54
N21 C-270. A-90.
N22 G65 P9902 U-332. V-76. W254.156 A-90. C-270. M54 S55
N23 G55( ROVINA OBRABENI)
N24 (C)
N25 X0. Y-1.5 M51
N26 Z2.
N27 G81 G99 R2. Z-18. F202
N28 G00 Z10.
N29 G53 Z0. M09
N30 G53 X-730. Y0.
N31 (STENA - ZADNI)
N32 G54
N33 C-360. A-90.
N34 G65 P9902 U58. V278. W221.156 A-90. C-360. M54 S55
N35 G55( ROVINA OBRABENI)
N36 ()
N37 X130. Y-48.5 M51
N38 Z-38.
N39 G81 G99 R-38. Z-58. F202
N40 G00 Z10.
N41 Z160. M09
N42 T05 M06 T06 ( VRTAK PRUM 4 )
N43 ()
N44 G00 X119.75 Y-66.254 S4775 M03 M51
N45 G43 H05 Z-30.
N46 G81 G99 R-30. Z-58. F239
N47 G00 Z10.
N48 G00 Y-30.746
N49 G00 Z-30.
N50 G81 G99 R-30. Z-58. F239
```

Obrázek 86: Ukázka CNC kódu [14]



Obrázek 87: Ukázka programování ze softwaru VISI [14]

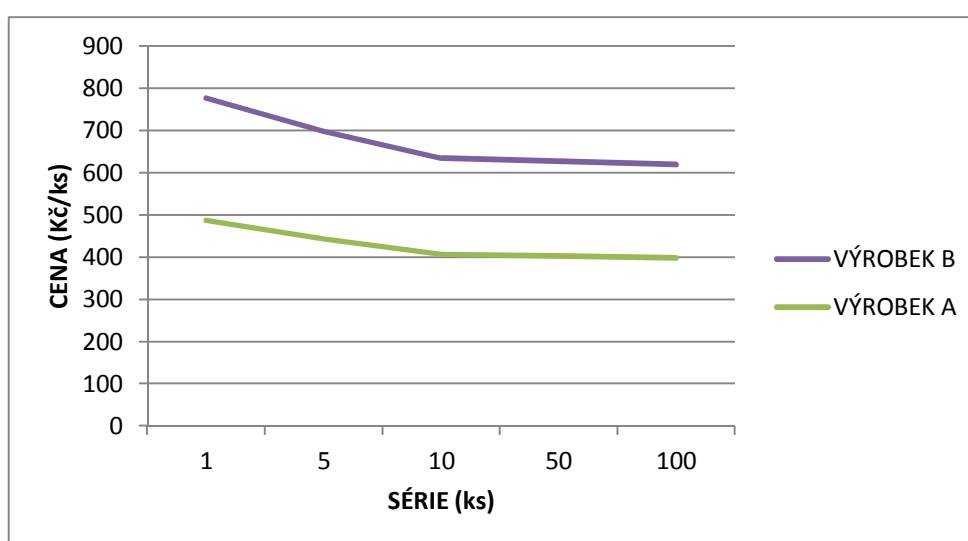
## 7 POROVNÁNÍ OBOU VÝROBKŮ

### 7.1 Ekonomická stránka

Cenu výrobku určuje souhrn faktorů jako jsou cena za materiál, kooperace, odpisy strojů, výrobní čas (mzda obsluhy stroje), marže, fixní náklady a jiné. Protože zisková přírážka, odpisy na stroje a režie se v každé firmě liší, porovnávejme tedy náklady na oba výrobky na základě součtu ceny za práci zaměstnanců na výrobku dle průměrné hrubé mzdy uvedené k 11.3. 2015, která činí 27 200 Kč [10], kooperační ceny polotovarů a nákladů na řezný materiál tak, aby mělo finanční vyhodnocení určitou vypovídající hodnotu.

**Tabulka 6:** Porovnání finančních nákladů za práci na zhotovení výrobků A a B

SÉRIE (ks)	CENA PRÁCE ZAMĚSTNANCE NA VÝROBKU PŘI DANÉ SÉRII (kč/ks)		FINANČNÍ ÚSPORA ZA PRÁCI ZAMĚSTNANCE NA JEDNOM KUSU VÝROBKU (Kč)	CELKOVÁ FINANČNÍ ÚSPORA ZA PRÁCI ZAMĚSTNANCE NA CELÉ ZAKÁZCE (Kč)
	VÝROBEK A	VÝROBEK B		
1	847,2	561,0	286,2	286,2
5	488,0	289,0	199,0	994,8
10	443,0	255,0	188,0	1 880,4
50	407,1	227,8	179,3	8 965,7
100	402,6	224,4	178,2	17 822,2
1 000	398,6	221,3	177,2	177 240,6

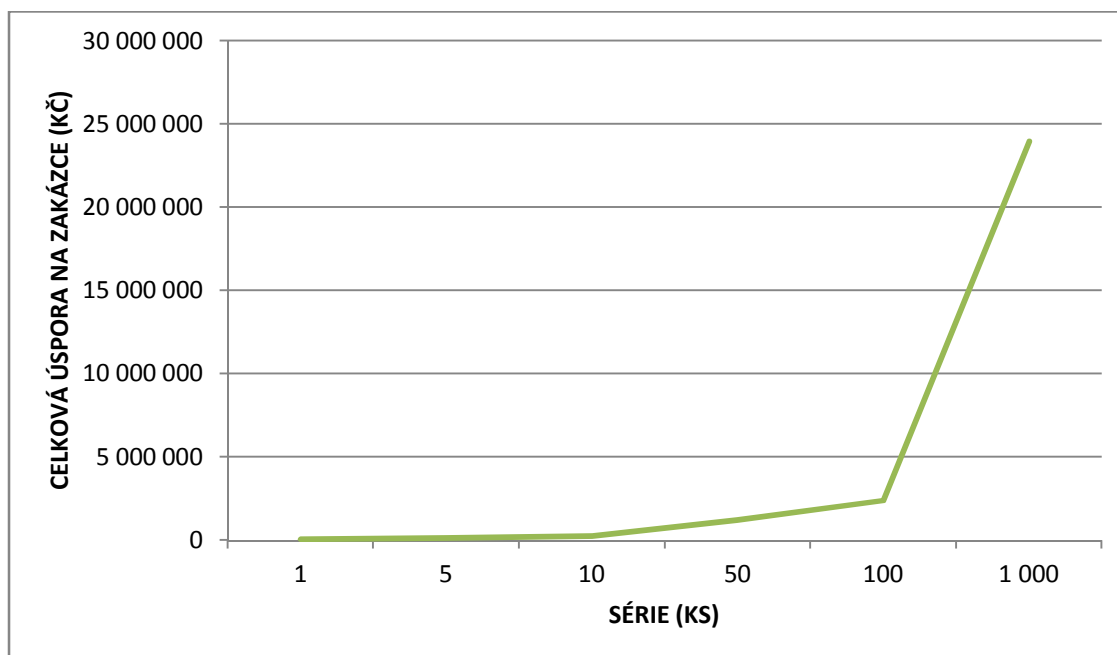


**Obrázek 88:** Porovnání finančních nákladů za práci na zhotovení výrobku A a B

Z výše uvedeného vyplývá, že náklady na pracovní sílu jsou u výrobku B mnohem menší než u výrobku A. Úspora u série 1ks je 286,2 Kč a u 1000 kusů je úspora 177 240,6 Kč. Cena za kus se u obou výrobků snižuje s rostoucím počtem kusů série. Je to proto, že při výpočtu ceny za 1 ks sečteme výrobní časy všech operací a přípravný čas, který je stejný pro jeden i tisíc kusů. Z toho vyplývá, že se přípravný čas rozloží na počet kusů v sérii. Nejmarkantnější snižování nákladů můžeme v běžných příkladech pozorovat do série 100 kusů. Potom už snižování roste pomaleji.

**Tabulka 7:** Porovnání finančních nákladů na zhotovení výrobků A a B

SÉRIE (ks)	CELKOVÉ NÁKLADY NA VÝROBEK PŘI DANÉ SÉRII (kč/ks)		FINANČNÍ ÚSPORA ZA NÁKLADY NA VÝROBU NA JEDNOM KUSU VÝROBKU (Kč)	CELKOVÁ FINANČNÍ ÚSPORA ZA NÁKLADY NA VÝROBU CELÉ ZAKÁZKY (Kč)
	VÝROBEK A	VÝROBEK B		
1	29 518,7	5 424,0	24 094,7	24 094,7
5	29 159,5	5 152,0	24 007,5	120 037,3
10	29 114,5	5 118,0	23 996,5	239 965,4
50	29 078,6	5 090,8	23 987,8	1 199 390,7
100	29 074,1	5 087,4	23 986,7	2 398 672,2
1 000	29 070,1	5 084,3	23 985,7	23 985 740,6



**Obrázek 89:** Porovnání finančních nákladů na zhotovení výrobků A a B

V Tabulka 7 jsou zahrnuty i známé fixní náklady. Jedná se o náklady, které jsou přímo svázané s výrobou bez rozdílu velikosti série.

**U výrobku A se jedná:**

- 27 000 Kč za zhotovení polotovaru v kooperaci
- 1 191 Kč za řezný materiál pro obrábění
- 480,5 Kč za povrchovou úpravu

**U výrobku B se jedná:**

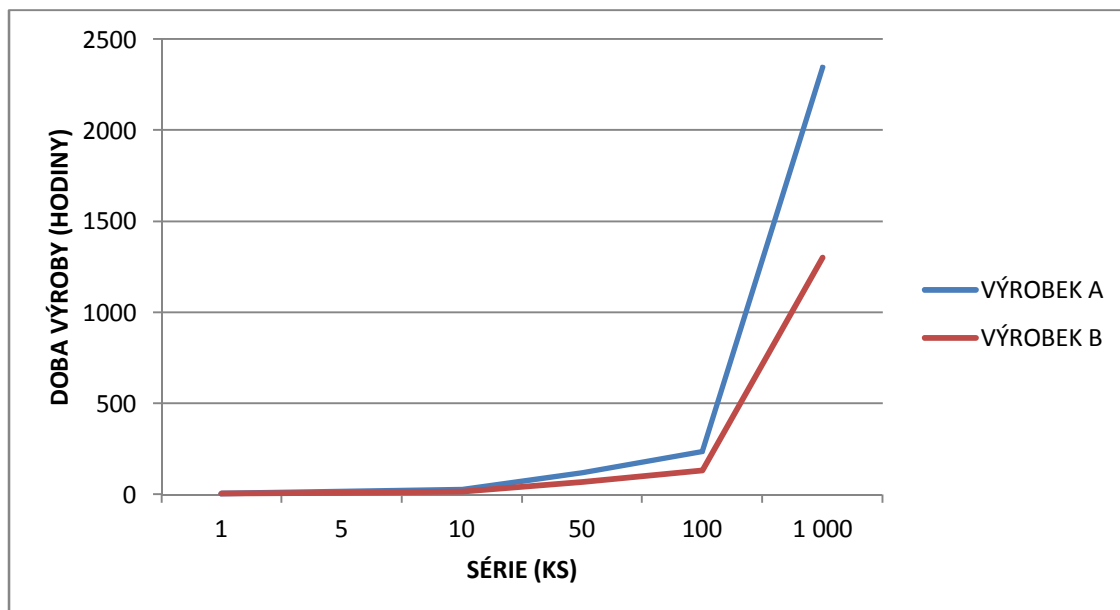
- 4 466 Kč za odlitek včetně rozpočtených nákladů na modelové zařízení
- 397 Kč za řezný materiál pro obrábění

Celková úspora u série 1ks je 24 094,7 Kč a u 1000 kusů je úspora neuvěřitelných 23 985 740,6 Kč.

## 7.2 Časová úspora

**Tabulka 8:** Porovnání výrobních časů výrobků A a B

SÉRIE (ks)	DOBA VÝROBY CELÉ ZAKÁZKY (hod.)		ČASOVÁ ÚSPORA (hod.)	ČASOVÁ ÚSPORA (PRACOVNÍ SMĚNA)
	VÝROBEK A	VÝROBEK B		
1	5	3	1,7	0,2
5	14	9	5,9	0,7
10	26	15	11,1	1,4
50	120	67	52,7	6,6
100	237	132	104,8	13,1
1 000	2345	1302	1042,6	130,3



**Obrázek 90:** Porovnání výrobních časů výrobků A a B

Z výše uvedeného je patrné, že výrobek B má mnohem kratší výrobní čas, než výrobek A. Pro představu uvažujme, že by se pracovalo na dvě směny (tedy 16 hodin denně). To by ovšem znamenalo, že například zakázku 100 ks výrobků B budeme mít vyrobeno o 6,56 dnů dříve a 1000 kusovou sérii dokonce o 65,2 dní dříve než výrobek A. Toto je v době silné konkurence zásadní rozdíl.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést konstrukčně technologickou změnu skříně pohonu závory. Navržená skříně úspěšně prošla všemi výpočty a vyhověla tak zadaným kritériím.

Přínos konstrukčně technologické změny:

- **snížení finančních nákladů na jeden kus na méně než pětinu nákladů původních,**

Mezi hlavními požadavky bylo právě snížení finančních nákladů na výrobu nové skříně. To se nám povedlo u série jednoho kusu o 24 094,7 Kč a u tisíce kusů dokonce o 23 985 740,6 Kč.

- **čas výroby se zkrátil na téměř polovinu,**

Po optimalizaci technologie výroby bude možné vyrábět téměř dvojnásobný počet výrobků bez navýšení kapacit firmy, pořízení nových strojů, zvýšení počtu zaměstnanců atd. U série jednoho kusu došlo ke zkrácení výrobního času o 1.7 hodin a u stovky kusů o 104.8 hodin.

- **snížení hmotnosti na třetinu z 95 kg na 32 kg,**

Snížení hmotnosti nám usnadní manipulaci při montáži výrobku na železničních přejezdech.

- **s volbou nového materiálu odpadá nutnost povrchové úpravy,**
- **možnost použití vyšších řezných rychlostí,**

Odlitek skříně bude nyní možné obrábět řeznou rychlostí okolo 400 m/min, což je více než dvojnásobek rychlosti původní. Značným přínosem je trojnásobná životnost řezného materiálu, což je velmi příznivé pro cenu výrobku a také operátora CNC stroje, kterému se prodlouží interval výměny břitových destiček.

- **nový design skříně odpovídající dnešním standardům,**
- **zjednodušení výrobního procesu,**
- **zrušení nutnosti povrchové úpravy.**

Ze zjištěných údajů vyplývá, že s volbou materiálu, technologie výroby, řezných podmínek, designu a optimalizací tvaru z hlediska pevnosti můžeme prohlásit, že tato konstrukčně technologická změna měla značný přínos ve všech směrech.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Literatura:

- [1] BRYCHTA, Josef. 2007. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] BULÁNEK, Jiří. 2008. Teorie třískového obrábění kovů. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita.
- [3] JUŘÍK, Tomáš. 2013. Vývoj technologie tváření na číslicově řízeném stroji. Zlín. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [4] KELLER, Petr. 2005. Programování a řízení CNC strojů: prezentace přednášek - 2.část. Technická Univerzita v Liberci.
- [5] KOČMAN, Karel. 2011. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [6] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. 2007. Technologie obrábění. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [7] SMID, Peter. 2008. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, xx, 540 p. ISBN 978-0-8311-3347-4.
- [8] VONDRÁK, Jan. 2010. Technologie CNC frézování. Brno. Diplomová práce. VÚT.

### Internetové zdroje:

- [9] AŽD Praha. [Online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [www.azd.cz](http://www.azd.cz).
- [10] Český statistický úřad. 2015. Český statistický úřad [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [www.czso.cz](http://www.czso.cz).
- [11] Mazak. 2015. MAZAK [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [www.mazakeu.com](http://www.mazakeu.com).
- [12] Teorie třískového obrábění [online]. In: . [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T11.pdf>.
- [13] Základy teorie třískového obrábění [online]. In: . [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrabení.pdf>.

### Podnikové zdroje:

- [14] Podnikové informace. Olomouc : AŽD Praha, 2015.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

aj.	a jiné
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
AŽD	automatizace železniční dopravy
CNC	computer numerical control
CSc.	akademicko-vědecký titul kandidát věd
ČSN	česká státní norma
doc.	vědecko-pedagogický titul docent
Ing.	akademický titul inženýr
min.	minimálně
MKP	výpočet metodou konečných prvků
např.	například
NC	numerical control
Ph.D.	akademicko-vědecký titul doktor
prof.	vědecko-pedagogický titul profesor
s.r.o.	s ručením omezeným
tj.	to je
USA	United States of America
VŠB	Vysoká škola báňská

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1:</b> Obrábění jako technologický proces – systémové schéma .....	12
<b>Obrázek 2:</b> Soustava stroj – nástroj – obrobek a základní pojmy procesu řezání .....	13
<b>Obrázek 3:</b> Plochy na obrobku .....	13
<b>Obrázek 4:</b> Části, plochy a ostří na řezné části soustružnického nože .....	15
<b>Obrázek 5:</b> Špička nástroje.....	15
<b>Obrázek 6:</b> Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném.....	16
<b>Obrázek 7:</b> Určení rychlosti řezného pohybu.....	17
<b>Obrázek 8:</b> Určení rychlosti posuvu .....	18
<b>Obrázek 9:</b> Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění.....	18
<b>Obrázek 10:</b> Pohyby pro jednotlivé způsoby obrábění.....	19
<b>Obrázek 11:</b> Příklad volného a vázaného řezání .....	22
<b>Obrázek 12:</b> Tříska tvářená – plynulá.....	23
<b>Obrázek 13:</b> Tříska tvářená – dělená .....	23
<b>Obrázek 14:</b> Zjednodušená tvorba elementů.....	24
<b>Obrázek 15:</b> Utvařeče (lamače) třísek.....	24
<b>Obrázek 16:</b> Praktická realizace utvařečů třísek: .....	26
<b>Obrázek 17:</b> Charakteristiky tvoření třísky .....	26
<b>Obrázek 18:</b> Geometrické charakteristiky nárůstku .....	27
<b>Obrázek 19:</b> Obvyklý tvar nárůstku.....	28
<b>Obrázek 20:</b> Postupné zvětšování nárůstku.....	28
<b>Obrázek 21:</b> Výška nárůstku v závislosti na řezné rychlosti.....	29
<b>Obrázek 22:</b> Znázornění vzniku stlačeného pásma v povrchové vrstvě .....	29
<b>Obrázek 23:</b> Celková řezná síla a řezný odpor.....	32
<b>Obrázek 24:</b> Tvary vyměnitelných destiček.....	34
<b>Obrázek 25:</b> Ukázka osazení frézovací hlavy a soustružnického nože vým. destičkami.....	34
<b>Obrázek 26:</b> Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože.....	38
<b>Obrázek 27:</b> Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože.....	39
<b>Obrázek 28:</b> Nástrojové úhly v rovinách $P_r$ , $P_f$ , $P_p$ , $P_s$ , $P_o$ , $P_n$ .....	42
<b>Obrázek 29:</b> Nástrojové úhly v rovinách $P_b$ , $P_g$ .....	42
<b>Obrázek 30:</b> Druhy soustružení (a) podélné soustružení, (b) čelní soustružení) .....	52
<b>Obrázek 31:</b> Základní práce na soustruhu.....	53

<b>Obrázek 32:</b> Systém upínání vyměnitelných břitových destiček.....	55
<b>Obrázek 33:</b> Vyměnitelné břitové destičky .....	56
<b>Obrázek 34:</b> Další tvary vyměnitelných břitových destiček .....	57
<b>Obrázek 35:</b> Univerzální hrotový soustruh .....	59
<b>Obrázek 36:</b> Svislý soustruh jednostranový .....	60
<b>Obrázek 37:</b> Svislý soustruh dvoustranový .....	61
<b>Obrázek 38:</b> Čelní soustruhy .....	61
<b>Obrázek 39:</b> Revolverový soustruh .....	62
<b>Obrázek 40:</b> Univerzální sklíčidlo .....	63
<b>Obrázek 41:</b> Upínání mezi hroty.....	63
<b>Obrázek 42:</b> Kleština.....	64
<b>Obrázek 43:</b> Upínací deska .....	64
<b>Obrázek 44:</b> Válcové frézování - a) nesousledné b) sousledné .....	66
<b>Obrázek 45:</b> Čelní frézování.....	66
<b>Obrázek 46:</b> Planetové soustružení: a) vnější, b) vnitřní .....	66
<b>Obrázek 47:</b> Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické .....	68
<b>Obrázek 48:</b> Průřez třísky při válcovém fréz .....	69
<b>Obrázek 49:</b> Průřez třísky při čelním fréz .....	70
<b>Obrázek 50:</b> Druhy fréz.....	72
<b>Obrázek 51:</b> Frézy dělené (a – válcová fréza, b – kotoučová fréza).....	73
<b>Obrázek 52:</b> Složená fréza.....	73
<b>Obrázek 53:</b> Frézovací hlava s břitovými destičkami.....	74
<b>Obrázek 54:</b> Rozdělení fréz podle směru otáčení.....	74
<b>Obrázek 55:</b> Frézy firmy Walter .....	75
<b>Obrázek 56:</b> Svislá konzolová frézka .....	76
<b>Obrázek 57:</b> Vodorovná konzolová frézka .....	76
<b>Obrázek 58:</b> Stolová frézka FC .....	77
<b>Obrázek 59:</b> Rovinná frézka.....	78
<b>Obrázek 60:</b> Kopírovací frézka FK 50.....	79
<b>Obrázek 61:</b> Odvalovací frézka FO6 .....	80
<b>Obrázek 62:</b> Logo firmy AŽD Praha .....	83
<b>Obrázek 63:</b> Skříň pohonu závory na železničním přejezdu .....	84
<b>Obrázek 64:</b> 3D model výrobku A .....	85

<b>Obrázek 65:</b> Výkres výrobku A .....	86
<b>Obrázek 66:</b> Technologický postup výrobku A .....	87
<b>Obrázek 67:</b> 3D model výrobku B .....	90
<b>Obrázek 68:</b> Výkres výrobku B .....	91
<b>Obrázek 69:</b> Specifikace výpočtu .....	93
<b>Obrázek 70:</b> Pohled dovnitř skříně. Skříň závory, sloup, skříň převodovky a hřídel. ....	94
<b>Obrázek 71:</b> Pohled dovnitř skříně. Skříň závory, sloup, skříň převodovky a hřídel.....	94
<b>Obrázek 72:</b> Pohled z vnější strany skříně .....	95
<b>Obrázek 73:</b> Vazby mezi hřídelí a skříní závory – ložiska .....	96
<b>Obrázek 74:</b> Vazby mezi skříní převodovky a skříní závory .....	97
<b>Obrázek 75:</b> Vazba mezi skříní převodovky a hřídelí (ozubené kolo) .....	97
<b>Obrázek 76:</b> Vazba mezi skříní závory a hřídelí (doraz) .....	98
<b>Obrázek 77:</b> Vazba mezi sloupem a skříní závory .....	98
<b>Obrázek 78:</b> Použití MPC algoritmu .....	99
<b>Obrázek 79:</b> Vetknutí sloupu .....	99
<b>Obrázek 80:</b> Kritická místa na vnitřní straně skříně závory, směry kritických hlavních napětí .....	100
<b>Obrázek 81:</b> Kritická místa na vnější straně skříně závory, směry kritických hlavních napětí .....	101
<b>Obrázek 82:</b> Výrobek B v upínacím přípravku na stroji VARIAXIS .....	102
<b>Obrázek 83:</b> MAZAK Variaxis 730 - 5X .....	103
<b>Obrázek 84:</b> Pohled na sestavený prototyp AL závory.....	103
<b>Obrázek 85:</b> Technologický postup výrobku B.....	104
<b>Obrázek 86:</b> Ukázka CNC kódu .....	105
<b>Obrázek 87:</b> Ukázka programování ze softwaru VISI .....	106
<b>Obrázek 88:</b> Porovnání finančních nákladů za práci na zhotovení výrobku A a B.....	107
<b>Obrázek 89:</b> Porovnání finančních nákladů na zhotovení výrobků A a B.....	108
<b>Obrázek 90:</b> Porovnání výrobních časů výrobků A a B .....	110

**SEZNAM TABULEK**

<b>Tabulka 1:</b> Hodnocení tvarů třísek .....	25
<b>Tabulka 2:</b> Rozdělení slinutých karbidů k obrábění .....	35
<b>Tabulka 3:</b> Součinitel obrobiteľnosti $k_v$ .....	47
<b>Tabulka 4:</b> Porovnání obou materiálů pro odlitek skříně .....	89
<b>Tabulka 5:</b> Materiálové parametry AlSi10MgMn .....	95
<b>Tabulka 6:</b> Porovnání finančních nákladů za práci na zhotovení výrobků A a B .....	107
<b>Tabulka 7:</b> Porovnání finančních nákladů na zhotovení výrobků A a B .....	108
<b>Tabulka 8:</b> Porovnání výrobních časů výrobků A a B .....	109