

# Technologie výroby části tělesa ventilu

Bc. Petr Grec

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr GREC**  
Osobní číslo: **T10539**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Technologie výroby části tělesa ventilu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Navržení postupu výroby části tělesa ventilu**
- 3. Vliv řezných podmínek na sledované parametry části tělesa ventilu**
- 4. Porovnání technologie výroby pomocí CNC soustruhu a univerzálního hrotového soustruhu**
- 5. Vyhodnocení geometrické přesnosti a jakosti povrchu funkčních částí tělesa ventilu**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Podle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové 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 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 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 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 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 .....

.....

<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 nevydělečně 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 vzdělávacího 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). Odpirá-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**

Tato diplomová práce se zabývá vhodnou volbou navržení výroby části ventilu pro vstřikovací jednotku v automobilu. V teoretické části je popsána technologie obrábění, v tomto případě soustružení, které je při výrobě ventilu použito. Dále jsou zde popsány sledované a vyhodnocované parametry: drsnost povrchu a geometrická přesnost. V praktické části této diplomové práce jsou porovnány technologie výroby vhodné pro výrobu ventilu a vliv řezných podmínek a parametrů na konečnou geometrickou přesnost a jakost povrchu funkčních částí tělesa ventilu.

Klíčová slova: Soustružení, CNC obrábění, geometrická přesnost, jakost povrchu

## **ABSTRACT**

The theme of this diploma thesis is to consider the appropriate choice for production of the valve injection car unit. In the theoretic part of this diploma thesis we describe the technology of machining, in this case the lathe-turning, which is used during the production of the valve. In plus we describe the observed parameters: surface roughness and geometric accuracy. In the practical part of the diplomatesis, we compare technologies of production appropriate for the valve production and the effect of cutting conditions and the parameters on the final geometric accuracy and surface quality of the function parts of the valve body.

Key words: lathe-turning, CNC machining, geometric accuracy, surface quality

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D., za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, čas a pozornost, který mě věnoval při vypracování mé diplomové práce.

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

Ve Zlíně .....

.....

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 Technologie obrábění .....	13
1.1.1 Konvenční obrábění .....	14
1.1.2 Vysokorychlostní obrábění.....	14
1.2 Soustružení .....	16
1.2.1 Základní pojmy.....	16
1.2.2 Obrobek .....	17
1.2.3 Nástroj .....	18
1.2.4 Veličiny a jednotky .....	19
1.2.5 Kinematika pohybů při obrábění.....	20
1.2.6 Řezné roviny a úhly.....	22
1.2.7 Mechanika tváření třísky .....	25
1.2.8 Tvoření nárůstku.....	26
1.2.9 Soustruhy .....	27
1.3 CNC obrábění.....	27
1.3.1 Možnosti operací na CNC obráběcích strojích .....	28
1.3.2 Číslíkově řízené obráběcí stroje .....	29
1.3.3 Výhody číslíkově řízených strojů.....	30
1.3.4 Programování CNC strojů.....	31
1.3.5 Přesnost číslíkově řízených obráběcích strojů.....	32
1.3.6 Nářadí v provozu NC a CNC strojů .....	33
<b>2 VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>34</b>
2.1 Procesní kapaliny.....	34
2.1.1 Vodné roztoky .....	34
2.1.2 Emulzní kapaliny.....	34
2.1.3 Procesní oleje .....	35
2.1.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny .....	35
2.2 Technologické požadavky na procesní prostředí .....	36
2.2.1 Chladicí účinek.....	36
2.2.2 Mazací účinek.....	36
2.2.3 Čistící účinek.....	37



2.2.4	Provozní stálost .....	37
2.2.5	Ochranný účinek.....	37
2.2.6	Zdravotní nezávadnost.....	37
2.2.7	Přiměřené náklady .....	38
2.3	Obrábění bez chlazení .....	38
2.3.1	Soustružení bez chlazení .....	38
2.3.2	Vrtání bez chlazení.....	39
<b>3</b>	<b>PARAMETRY OBROBENÉ PLOCHY .....</b>	<b>40</b>
3.1	Přesnost tvaru .....	40
3.1.1	Geometrická tolerance.....	40
3.1.2	Tolerance tvaru.....	41
3.2	Přesnost rozměrů .....	42
3.3	Jakost povrchu .....	42
3.4	Drsnost povrchu.....	43
3.5	Metody měření drsnosti povrchu.....	44
3.5.1	Průměrná aritmetická úchylka profilu Ra .....	44
3.5.2	Největší výška profilu Rz .....	45
3.5.3	Přístroje pro měření drsnosti .....	45
<b>4</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM VZNĚTOVÉHO MOTORU .....</b>	<b>47</b>
4.1	Moderní vstřikovací systémy vznětových motorů.....	47
4.1.1	Systém common rail .....	48
<b>II.</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>NÁVRH TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ ČÁSTI TĚLESA VENTILU .....</b>	<b>50</b>
5.1	Volba tvaru a geometrie součásti .....	50
5.2	Výroba části tělesa ventilu .....	52
5.2.1	Charakteristika výrobního stroje a řezných podmínek.....	52
5.2.2	Charakteristika řezného nástroje .....	55
5.3	Vliv řezných podmínek .....	57
5.3.1	Měřicí přístroje.....	57
5.3.2	Geometrická přesnost .....	60
5.3.3	Vyhodnocení geometrické přesnosti .....	69
5.3.4	Jakost povrchu.....	70
5.3.5	Vyhodnocení jakosti povrchu.....	79
5.4	Technologický postup výroby tělesa ventilu .....	79
5.4.1	Vytvoření technologického postupu pro CNC obráběcí centrum SCHERER .....	79

5.4.2 Způsobilost stroje .....	82
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>87</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>88</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>89</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>91</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

V průmyslové výrobě se lze každodenně setkat se spoustou předmětů a výrobků, které by nemohly vzniknout jinou metodou nebo způsobem než je obrábění.

Pod pojmem obrábění si lze představit technologický způsob použitý pro zhotovení požadovaného výrobku. Samozřejmě většinou lze každou součást vyrobít několika možnými způsoby, ale ne vždy jsou všechny technologie zcela vhodné. Jedním z hlavních ukazatelů pro volbu obrábění je konečná cena výrobku a samozřejmě také doba zhotovení.

Postupným vývojem bylo nalezeno mnoho metod obrábění. V dnešní době se ale stále více využívají nové a moderní metody obrábění, které jsou v mnoha případech daleko více efektivnější a to především u tvarově složitějších součástí. Každá metoda má samozřejmě i své výhody a nevýhody. Záleží také na požadovaných parametrech obráběných ploch, na požadavcích zákazníka a především na časové a finanční náročnosti. Záleží zde také na konkrétních podmínkách které máme k dispozici, jaké máme strojové vybavení a nebo možnosti spolupráce s dalšími výrobci. V dnešní době dochází k výraznému využití v praxi CNC strojů, což má za důsledek velké zvýšení produkce a kvality získaných výrobků. Samotná technologie obrábění zůstává stejná, ale řízení je prováděno výhradně pomocí počítačů.

V této diplomové práci je popsána metoda obrábění soustružením a metoda CNC obrábění. Je zde navržen postup výroby části tělesa ventilu, je sledován vliv řezných podmínek na sledované parametry, jakou je geometrická přesnost funkčních částí tělesa ventilu a jeho požadovaná jakost povrchu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

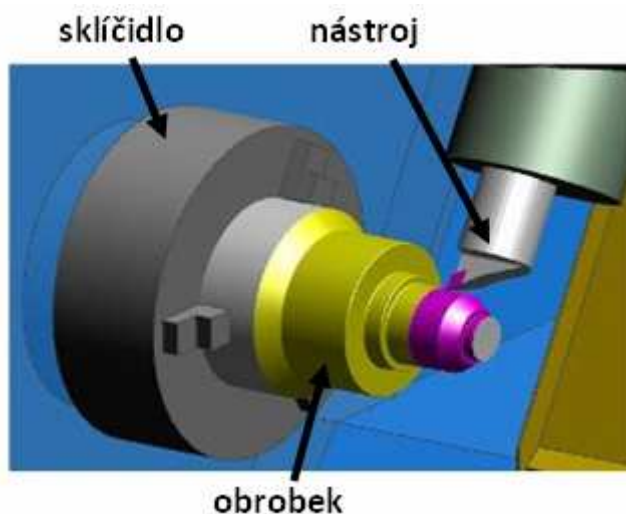
# 1 OBRÁBĚNÍ

## 1.1 Technologie obrábění

Proces obrábění při výrobě strojírenských výrobků zaujímá velmi důležité místo. Tato metoda nám v mnoha technologických procesech umožňuje vytvořit z polotovaru požadovaný tvar výrobku, v požadované rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Protože nám obrábění tvoří přibližně jednu třetinu celkové pracnosti při výrobě strojírenských výrobků, snažíme se dosáhnout co nejhospodárnějšího procesu obrábění.

V minulé době bylo převážně využíváno klasických obráběcích strojů, kde volba řezných podmínek byla částečně ponechána na obsluhujícím dělníkovi daného obráběcího stroje. V dnešní době se využívají automatické obráběcí stroje, číslicově řízené obráběcí stroje, výrobní centra, výrobní linky či integrované výrobní úseky řízené počítači, kde volba řezných podmínek přechází plně na technologa, který nese za hospodárnost obrábění zodpovědnost.

Technologie obrábění je proces, při kterém dochází k oddělování materiálu ve formě třísky z obrobku pomocí břitu nástroje. Vlivem způsobu odebírání materiálu rozlišujeme řezný proces kontinuální, diskontinuální a cyklický. Mezi procesy kontinuální řadíme metody obrábění jako je např. vrtání, vystružování nebo vyhrubování, k procesům diskontinuálním lze přiřadit např. obrážení, hoblování a k cyklickým procesům řadíme např. broušení nebo frézování. Toto obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek (Obr. 1).



Obr. 1. Soustava stroj- nástroj – obrobek

### 1.1.1 Konvenční obrábění

Konvenční obrábění probíhá za relativně nízkých teplot a pokud je to možné s chlazením řezného procesu. V oblasti primární plastické deformace prochází odřezávaný materiál výraznou plastickou deformací a tímto často dochází oproti původnímu materiálu obrobku ke zpevnění materiálu vznikající třísky. U konvenčního obrábění nezušlechtěných ocelí je charakteristická rozsáhlá oblast primární plastické deformace, která zasahuje do oblasti i pod rovinou řezu. Vznik nárůstku této tlakové deformace ještě podporuje vzhledem k většímu poloměru ostří nárůstku vůči ostří břitu.

Při obrábění zušlechtěných ocelí se deformace pod rovinou řezu zmenšují se zvětšující se tvrdostí obráběného materiálu (důsledkem zvětšování a zmenšování oblasti primární plastické deformace)

V oblasti sekundární plastické deformace vznikají nárůstky. Tyto nárůstky jsou výsledkem velkých přítláčných a třecích sil, které působí v oblasti třísky a čela nástroje. Smykové napětí v oblastech sekundární plastické deformace přesahuje mez kluzu ve smyku již zpevněného materiálu třísky a dochází tak k další výrazné plastické deformaci. Na vznik intenzivního tření a následný vývin tepla mají vliv velké síly. Vzniklé teplo má relativně dost času přejít do nástroje. Toto je ale však z důvodu intenzivnějšího opotřebení nástroje nežádoucí. Při zvyšující se řezné rychlosti roste úměrně intenzita vznikajícího procesního tepla. Toto teplo je závislé na řezném odporu. Řezný odpor závisí především na druhu materiálu který obrábíme, proto tvrdé zušlechtěné materiály, které mají velkou pevnost, se za těchto podmínek z hlediska trvanlivosti nástroje těžko obrábí.

V oblasti terciární plastické deformace je tomu právě naopak. Neúnosné zatížení břitu a zvláště hřbetu způsobují velké síly a odpor materiálu proti deformaci.

K rychlému otupení břitu nebo jeho destrukci vede nadměrný deformační odpor.

Zpevněná tříska může mít i dvakrát vyšší tvrdost a klade větší řezný odpor.

### 1.1.2 Vysokorychlostní obrábění

Vysokorychlostní obrábění (HSM – High Speed Machining) není jen inovativní technologie, ale především strategie zvýšení produktivity výroby. Aplikace této metody je vždy iniciována snahou o snížení nákladů a zvýšení objemu výroby při současném dodržení kvality. Podstatou HSM je použití výrazně vyšších otáček vřetena a posuvů za

účelem dosažení výjimečně vysokých parametrů obrábění, které nejsou v běžné praxi obvyklé. Dnes víme, že HSM není definováno jen vysokými řeznými rychlostmi a posuvy, ale že se u této metody jedná o splnění celé řady nutných parametrů, které pak charakterizují celou strategii HSM a jejichž kombinací se dosáhne podstatného zvýšení produktivity a snížení nákladů.

Při zvýšení řezné rychlosti se dostáváme do oblasti HSC, tj. rychlost nárůstu třísky. Dochází k velice odlišným pochodům než u konvenčního obrábění. Hlavním důvodem je především velká deformační rychlost, která má za důsledek nárůst procesní teploty zařízení, od které se odvíjí převážná většina dalších změn. Vysoká rychlost třísky nám způsobuje, že materiál odebírané vrstvy prochází oblastí PPD s mnohem vyšší deformační rychlostí. Toto má velký vliv na koncentraci mechanického napětí do úzkých smykových oblastí a následně na plasticitu kovu v této oblasti.

Plasticita materiálu obrobku se snižuje se zvyšující se rychlostí deformace a proto se oblast PPD zmenšuje. Pro HSC je charakteristické, že intenzivní plastická deformace neprobíhá v celém průřezu odebírané vrstvy, probíhá pouze v lokalizované oblasti smykové roviny a v blízkosti čela břitu. Objem deformovaného materiálu je mnohem menší. Velká deformační rychlost materiálu generuje ve zmenšené oblasti plastické deformace podstatné zvýšení tepla (teploty). Obzvláště v blízkosti čela dosahuje teplota bodu tavení daného materiálu tj. např. pro hliník 600°C, pro bronz 1000°C, pro šedou litinu 1300°C a 1500°C pro ocel. Díky těmto popsaným jevům je zřejmé, že silové a napěťové zatížení nástroje je menší než u obrábění konvenčního. Díky tomu lze obrábět i zušlechtěné kovové materiály.

Podstatné pro HSC je vyloučení chladicího efektu procesních médií, který může komplikovat požadované dosažení vysokorychlostního režimu. Tam, kde se velice těžko obejdeme bez procesních kapalin jako je například u vrtání nebo broušení, je dosažení efektu HSC problematické. Při HSC nám vzniká extrémně teplá tříska. Tato teplota nám může velmi ovlivnit přesnost obrábění, protože je možné, že třísky se mohou shromažďovat např. v dutině obrobku, upínacího přípravku nebo obráběcího stroje a může zde způsobit jejich tepelnou deformaci.

Současný trend z mnoha hledisek vylučuje použití procesních kapalin. V tomto případě hovoříme o tzv. suchém obrábění nebo kvazi-suchém obrábění (polosuchém), které ponechává určité silně zredukované množství procesních kapalin nebo mlhy pro mazání čela břitu nástroje a dosahuje tak snížení třecích sil.

Tam, kde je za potřeby třísky z místa řezu účinně odstraňovat (především u nástrojů s nepřerušovaným řezem) je nutné pro chlazení používat speciální zařízení.

## 1.2 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda, kterou používáme pro zhotovení součástí rotačních tvarů, při nichž se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také velmi používanou metodu, využívanou ve strojírenství.

Obrobek tvoří nejčastěji tyčovitý materiál, odlitek nebo výkovek. Při soustružení je ale možno také řezat závity, soustružit kužele, rovinné (čelní) plochy, vrtat, vyvrtávat, kopírovat tvary podle šablony, vytvářet obecné tvary a v některých případech i frézovat a brousit.

Hlavní pohyb je obvyklé rotační pohyb obrobku, při němž rychlost hlavního pohybu je současně i řeznou rychlostí. Posuvný pohyb je přímočarý nebo obecný, a tento pohyb obvykle vykonává nástroj. Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici, při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení rotační plochy obecného tvaru se pohyb realizuje po obecné prostorové křivce.



Obr. 2. Soustružení

### 1.2.1 Základní pojmy

Jmenovitý průřez třísky  $A_D$  [1] se při soustružení stanoví na základě obecného vztahu (1.). Pro zjednodušený případ podélného soustružení válcové plochy se vychází z poměru znázorněných na Obr. 3.



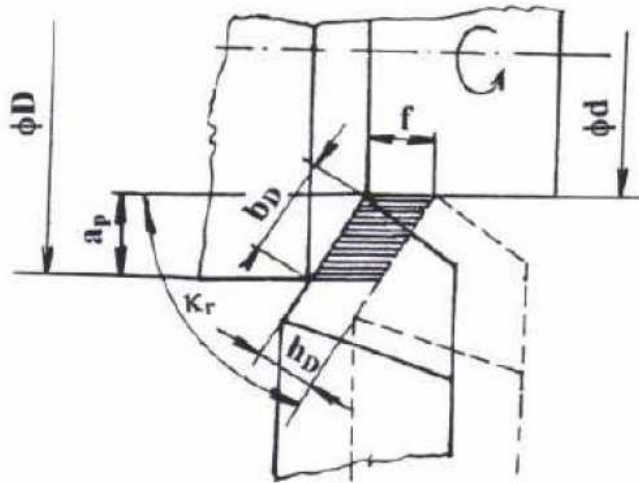
$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \quad (1.)$$

$b_D$  [mm] jmenovitá šířka třísky

$h_D$  [mm] jmenovitá tloušťka třísky

$f$  [mm.ot<sup>-1</sup>] posuv

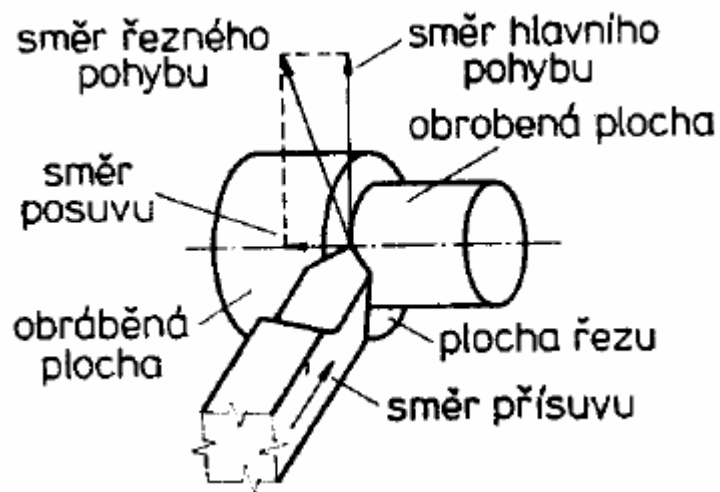
$a_p$  [mm] šířka záběru ostří



Obr. 3. Jmenovitý průřez třísky [2]

### 1.2.2 Obrobek

Obrobek je charakterizován z geometrického hlediska obráběnou, obrobenou a přechodovou (řeznou) plochou (Obr. 4).



Obr. 4. Plochy obrobku [3]

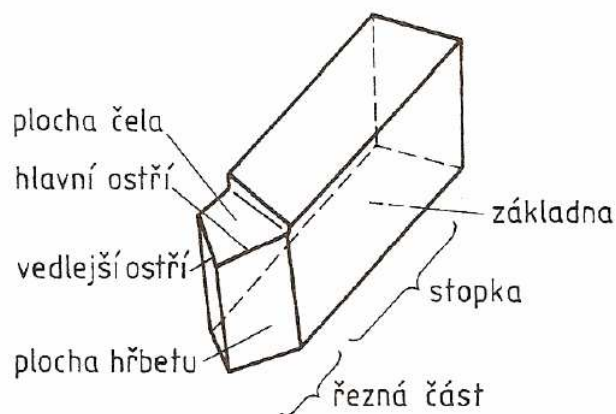
Výsledkem řezného procesu je obrobená plocha. Přechodová plocha je část povrchu obrobku, která vznikla působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje či obrobku.

Obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu. Tato plocha je z technologického procesu určena svým tvarem, rozměry, polohou, vlastnostmi povrchové vrstvy a strukturou povrchu. Je identifikovaná souborem parametrů, které jsou vztažené k jednotlivé ploše. Mezi ně patří úchylka rozměru, tvaru, úchylka polohy, vlastnosti povrchové vrstvy a struktury povrchu. Všechny tyto parametry jsou obecně funkcí souboru technologických faktorů, které souvisí s vlastnostmi obráběcího stroje, nástroje, obrobku, upínače a řezných podmínek.

Technologické vlivy na parametry obrobené plochy v závislosti na jejich charakteru lze členit na systematiky konstantní (např. úchylka tvaru, rozměru nástroje a nebo chyba v seřízení stroje), systematicky proměnné (opotřebení nástroje, tepelná deformace prvku obráběcího systému), náhodné rozptýlení vlastního obráběcího materiálu nebo rozptýlení přídavku na obrábění.

### 1.2.3 Nástroj

Nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Při procesu obrábění je nástroj aktivní prvek. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. Řezná část nástroje obsahuje pracovní část – břit. Tento břit má tvar klínu a je ohraničen plochou čela, po níž odchází tříška a plochou hřbetu. Ostřím nazýváme průsečnici ploch čela a hřbetu. Hlavní část nástroje má zpravidla dvě ostří a to hlavní a vedlejší ostří (Obr. 5).



Obr. 5. Soustružnický nůž [4]

Nástroj je upínán za část nástroje. Tato upínací část se nazývá stopka nástroje. U nožů je těleso čtvercového nebo obdélníkového průřezu.

Těleso je ta část nástroje, na které jsou vytvořeny nebo upevněny části ostří.

Základna je plochý prvek stopky nástroje. Základna nám slouží pro umístění a orientaci nástroje při výrobě, ostření nebo kontrole.

Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený hřbetem a čelem nástroje.

Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku. Do této skupiny patří hlavně ostří, čelo a hřbet.

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu. Je to středová přímka stopky nebo upínací díry nástroje. Z pravidla bývá kolmá nebo rovnoběžná k danému povrchu nástroje. Používá se při výrobě, upnutí a ostření.

Upínací díra je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, které jsou určené pro nastavení a upnutí nástroje.

#### 1.2.4 Veličiny a jednotky

Řezný pohyb je relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který nám umožňuje řezání. Tento pohyb může být přímočarý, používaný při protahování nebo hoblování, šroubový např. u vrtání nebo podélného soustružení, cykloidní používaný při frézování a rovinném broušení apod. Hlavní pohyb je složkou řezného pohybu a uskutečňuje se základním pohybem stroje. Tento pohyb může být rotační, přímočarý, případně složený a koná jej buď nástroj, nebo obrobek [3].

Posuvný pohyb je pohyb nástroje nebo obrobku, který současně s hlavním pohybem umožňuje postupné oddělování třísek. Probíhá kolmo na směr hlavního pohybu (soustružení apod.), popřípadě ve směru hlavního pohybu [3].

Řezná rychlost je dána rychlostí řezného pohybu. U většiny metod obrábění ji lze se zanedbatelnou chybou uvažovat jako rychlost hlavního pohybu [3].

$$\text{Je dána vztahem: } v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (2.)$$

Řezná rychlost  $v_c$  [m.min<sup>-1</sup>] je okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří ve vztahu k obrobku.

Otáčky  $n$  [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

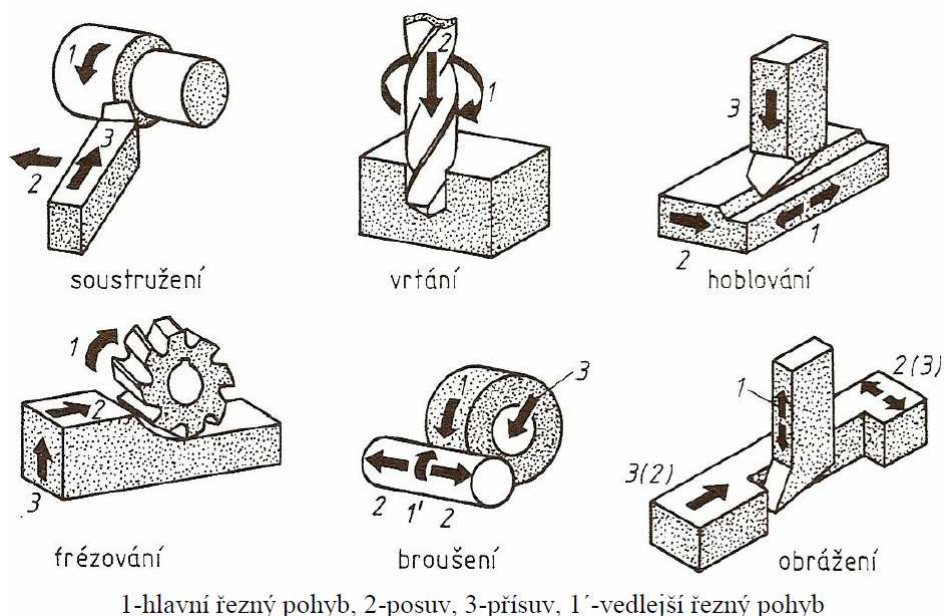
Konstanta  $\pi$  [-]

Průměr  $D$  [mm]

Vedlejší produkt řezného procesu představují třísky, ale jejich technologické charakteristiky významně vypovídají o průběhu procesu jak z energetického, tak i z hlediska jejich řízeného odchodu z místa obrábění.

### 1.2.5 Kinematika pohybů při obrábění

Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem (Obr. 6). Tento pohyb se uskutečňuje s určitou relativní rychlostí po určité dráze.



Obr. 6. Řezné pohyby [4]

Ve většině případu obrábění se řezný pohyb skládá z těchto složek:

- Hlavní řezný pohyb: jde o vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, kde se tento hlavní pohyb shoduje se základním pohybem obráběcího stroje, jako je např. otáčivý pohyb vřetena u soustruhů, vrtaček, frézek atd. Okamžitou rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu vzhledem k obrobku nazýváme řeznou rychlostí. Pro otáčivý pohyb se řezná rychlost určí podle vztahu

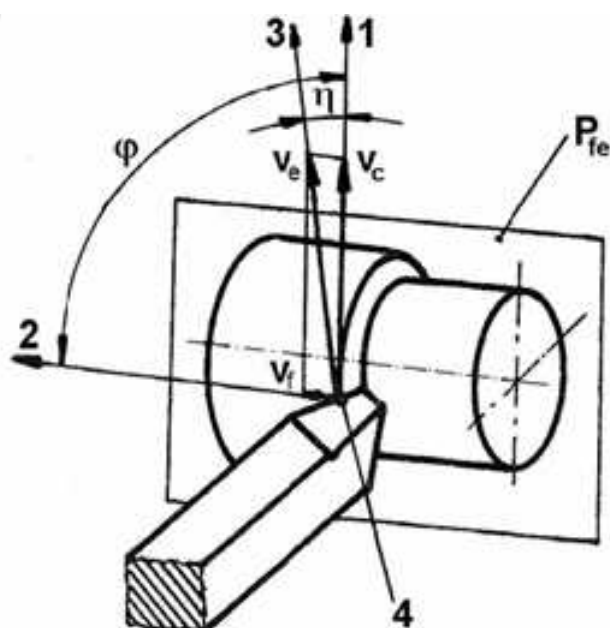
$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (3.)$$

$D$  – průměr obrobku nebo nástroje [m]

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

- Řezná rychlost  $v_c$ : je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.
- Posuvový pohyb: jedná se o vedlejší řezný pohyb, který je realizován obráběcím strojem jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Vedlejší pohyb je zpravidla kolmý na hlavní řezný pohyb. Podle způsobu obrábění je posuv podélný, příčný nebo kruhový, plynulý nebo přerušovaný. Okamžitou rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku nazýváme posuvová rychlost.
- 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.
- Úhel řezného pohybu  $\eta$ : je to úhel mezi směrem hlavního řezného pohybu a výsledného řezného pohybu v pracovní rovině boční  $P_{fe}$ .
- Úhel posuvového pohybu  $\varphi$ : lze jej 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, např. pro hoblování nebo pro protahování.
- Přířuv: jedná se o pohyb nástroje nebo obrobku, kterým se nástroj nastavuje do pracovní polohy na požadovanou šířku záběru ostří  $a_p$ . Tento pohyb se zastaví po dosažení předepsané hodnoty  $a_p$ .

[2]



Obr. 7. Pohyby nástrojů a obrobku při soustružení

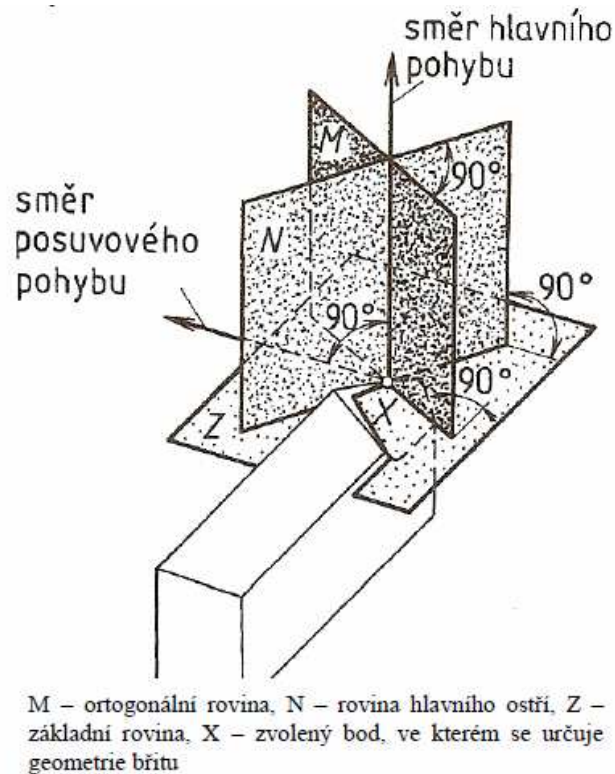
(Poznámka: 1- směr hlavního pohybu, 2 – směr řezného pohybu, 3 – směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří)

### 1.2.6 Řezné roviny a úhly

Základní rovina Z: jde o rovinu procházející zvoleným bodem hlavního ostří, ve kterém se geometrie břitu určuje. U nožů je to rovina rovnoběžná se základnou nebo osou stopky (Obr. 8). U rotačních nástrojů je to rovina procházející osou nástroje.

Rovina hlavního ostří N: jedná se o rovinu, která je tečná k hlavnímu ostří v bodě X, tedy v bodě, ve kterém se geometrie břitu určuje. K základní rovině je rovina hlavního ostří kolmá.

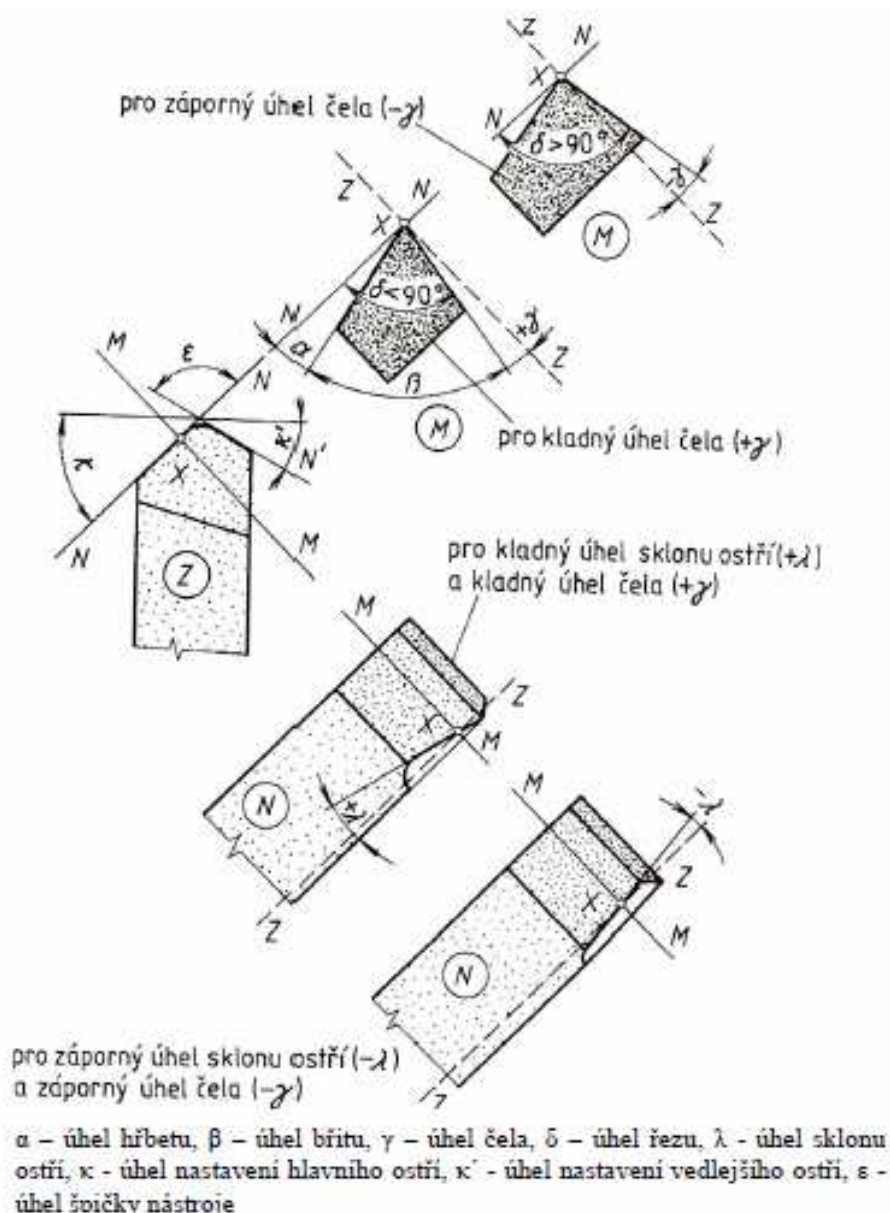
Ortogonální rovina M: k základní rovině i k rovině hlavního ostří je kolmá a prochází zvoleným bodem X, ve kterém se geometrie břitu určuje.



Obr. 8. Roviny nástroje [2]

Geometrický tvar břitu nástroje se určuje úhly, které se vztahují k jednotlivým rovinám (Obr. 9). Pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu jsou důležité řezné úhly. Nástrojové úhly jsou definovány v nástrojové souřadné soustavě a mají totožný index s indexem nástrojové roviny, ve 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



Obr. 9. Úhly nástroje [4]

Používá se následující terminologie a označení:

Základní rovina:

- úhel nastavení hlavního ostří  $Kr$  – úhel mezi rovinou N a směrem posuvu nástroje
- úhel nastavení vedlejšího ostří  $k'$  – úhel mezi rovinou N' a směrem posuvu nástroje
- úhel špičky nástroje  $\beta$  – úhel mezi rovinami N a N'

Ortogonální rovina:

- úhel hřbetu  $\alpha$  – úhel mezi tečnou rovinou plochy hřbetu a rovinou N'
- úhel břitu  $\beta$  – úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a tečnou rovinou plochy hřbetu
- úhel čela  $\gamma$  – úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a rovinou Z
- úhel řezu  $\delta$  – úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a rovinou N

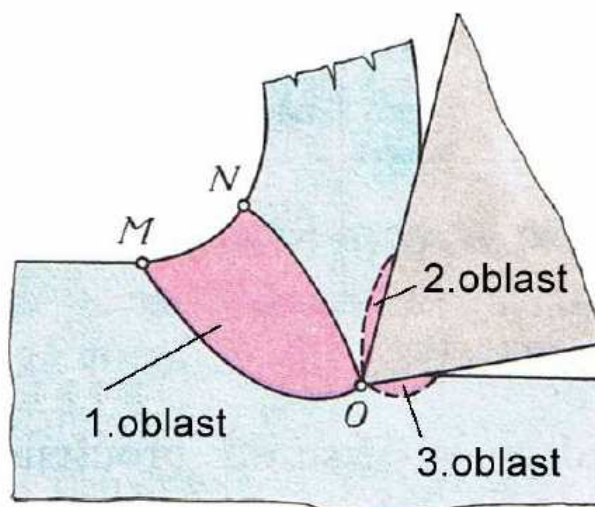


Rovina hlavního ostří:

- úhel sklonu ostří  $\lambda$  úhel mezi tečnou přímkou ostří a rovinou Z

### 1.2.7 Mechanika tváření třísky

Při vnikání břitu řezného nástroje do obrobku je materiál ořezávané vrstvy obrobku velice namáhán a značně deformován. Způsob namáhání a velikost deformací odřezávané vrstvy jsou především závislé na vlastnostech a druhu obráběného materiálu. Bylo zjištěno, že deformace probíhají převážně v ohraničené oblasti *OMN* (Obr. 10).



Obr. 10. Oblast plastické deformace [13]

Tříška je ta část materiálu, která je odebírána z obrobku a za ní vzniká tzv. obrobená plocha. Tříška má zásadní vliv na celý proces obrábění a to především na kvalitu povrchu a hospodárnost obrábění. Tvar a její celkové vlastnosti závisí na několika faktorech jako jsou například obráběný materiál a jeho vlastnosti, použitý nástroj, řezné podmínky a použité chladivo.

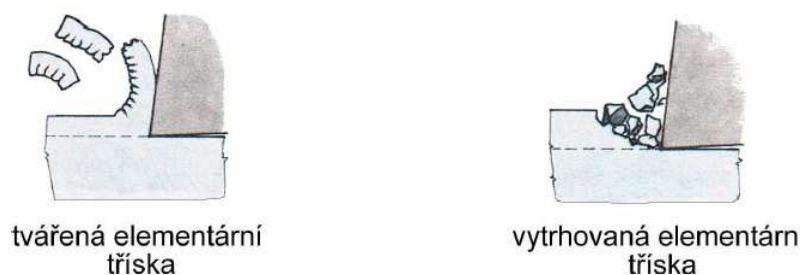
Vzniká nám proto několik druhů třísek:

- tříška tvářená plastickým kluzem typická při obrábění ocelí, slitin hliníku, mědi a podobných houževnatých kovových materiálu (Obr. 11).



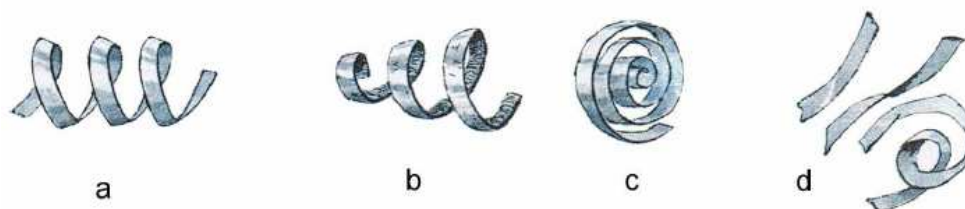
Obr. 11. Druhy třísek [13]

- elementární tvářená tříška, typická pro obrábění litiny, bronzů a podobných křehkých kovových materiálů (Obr. 12).



Obr. 12. Druhy třísek [13]

- dále se běžně při obrábění vyskytují další druhy třísek, jako je například tříška šroubovita, spirálová nebo tříška stuhová (Obr. 13).



Obr.13. Druhy třísek [13]

a) šroubovitá dlouhá, b) šroubovitá krátká, c) spirálová, d) stuhová

### 1.2.8 Tvoření nárůstku

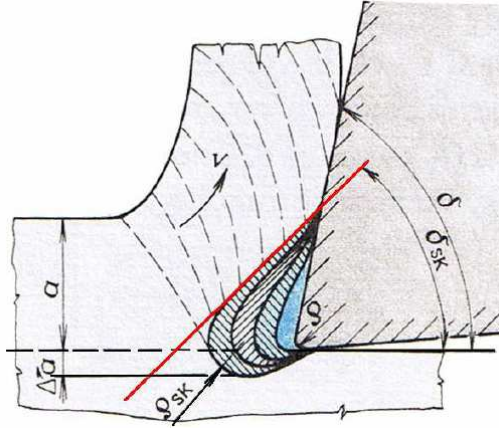
Vlivem tření třísky o čelo nástroje se zoxidovaná vrstva z nástroje setře a dalším působením vysokých tlaků v místě dotyku třísky s čelem řezného nástroje a vysoké teploty třísky se uplatní adhezní síly. V místě dotyku tak dojde k lokálnímu navaření třísky k čelu nástroje. Další pohyb třísky je možný až když dojde k porušení soudržnosti materiálu třísky. Na čele řezného nástroje zůstane část třísky, která je navařena na čele a tvoří tzv. nárůstek.

Nárůstek má vysokou pevnost a tvrdost. Tvrdost nárůstku je 2 – 5 krát větší než tvrdost obráběného materiálu, respektive třísky. Nárůstek v tomto okamžiku může převzít funkci břitu řezného nástroje. Jednotlivé vrstvy nárůstku postupně přibývají a nárůstek dostává tvar (Obr. 14).

K porušení nárůstku dojde, dojde-li k porušení rovnováhy sil působících na nárůstek.

Nejčastěji se odtrhne jen část nárůstku. Jen v málo případech dojde k odtržení celého nárůstku. Po odtržení nárůstku se celý tento děj cyklicky opakuje s frekvencí  $10^2$  až  $10^3$  Hz.

Při obrábění ocelí se tvoří nárůstek při teplotě třisek mezi 300°C až 400°C. Nad 600°C se nárůstek už netvoří. Prostředí, které obsahuje mazací prostředky, velmi snižuje tření a čistotu plochy styku kovů. Tímto způsobem je tvorba nárůstku podstatně omezena. [13]



Obr. 14. Tvoření nárůstku [13]

### 1.2.9 Soustruhy

Soustružnické stroje představují největší podíl strojírenské obráběcí techniky. Ve velkém počtu se vyskytují v obráběcích provozech strojírenských podniků a vykazují různý stupeň automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska rozlišujeme soustruhy:

- hrotové
- svislé
- čelní
- revolverové
- speciální

Podle stupně automatizace rozlišujeme soustruhy na:

- ručně ovládané
- poloautomatické
- automatické

### 1.3 CNC obrábění

Jsou číslicově řízené výrobní stroje (CNC) charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Pojem CNC (Computer Numerical Kontrol) = počítačem číslicově řízený stroj.

Rozdělení CNC strojů:

- jednoprofesní
- víceprofesní – obráběcí centra
- pro výrobu rotačních obrobků hřídelových nebo přírubových
- pro výrobu skříňových obrobků
- umožňujících výrobu rotačních i nerotačních součástí s určitým omezením operací

Výhody:

- zvýšení kvality i kvantity výrobků, produktivnější a hospodárnější výroba
- možnost vícestrojové obsluhy – nutno méně pracovních sil
- zvýšení přesnosti a přizpůsobivosti výroby
- vyšší využití základních fondů, úspora výrobních a skladových ploch
- zlepšení pracovních podmínek, zvýšení úrovně řídicí práce
- zkrácení průběžné doby výroby

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena
- vyšší nároky na technologickou přípravu
- zvýšené nároky na údržbu a organizaci pracoviště, organizační práce apod.

### 1.3.1 Možnosti operací na CNC obráběcích strojích

V dnešní době je snaha realizovat na jednom stroji co možná nejvíce obráběcích operací, na jedno upnutí s co nejméně nástroji. Tento trend minimalizace způsobu technologií vede ke značnému zefektivnění výroby. Hlavními důvody integrací technologií výroby z několika obráběcích strojů do jediného obráběcího CNC stroje (centra) je odstranění vedlejších časů, jako je např. upínání a odepínání součástí na jiných strojích, dále jsou to časy čekání na další operaci a nebo lze odstranit časy manipulace s materiálem mezi stroji. Další snížení nákladů je docíleno úsporou výrobních prostor, nákup a provoz strojů, snadnější možnost automatizace výroby a značné zvýšení přesnosti obrábění.

Dnešní moderní CNC stroje mohou mít až 5 os řízených najednou. Pětiosé obrábění může být řešeno pomocí posuvu vřeteníku os X, Y, Z, dále naklápění kolébky v ose „A“ nebo „B“ a otáčením stolu v ose „C“ (Obr. 15)



*Obr. 15. – Pětiosé obráběcí centrum*

Moderní CNC obráběcí stroje jsou schopny pomocí svých přídatných modulů obrábět i velice tvarově náročné součásti, kde je zaručena vysoká přesnost polohování, jakost struktury povrchu a geometrická přesnost, která by se dříve jen velice těžko a pracně vyráběla. Při spojení s nástroji s povlakovanými VBD ze slinutých karbidů, kubického nitridu bóru nebo polykrystalického diamantu, lze obrábět i těžkoobrobitelné materiály.

### **1.3.2 Číslicově řízené obráběcí stroje**

#### **1. NC stroje s klasickými řídicími systémy**

Zkratka NC je výraz Numerical Control, což znamená číslicové řízení. To tedy znamená, že NC stroje jsou řízeny čísly – numericky, číslicově. Programování NC strojů se provádí v oddělení technické přípravy výroby na programovacím pracovišti a neprovádí se přímo na stroji. Vyhotovený program se do řídicího systému zavádí pomocí děrné pásky. Do řídicího systému stroje jsou postupně načítány údaje pro řízení stroje v jednom pracovním kroku. Jednu větu neboli blok programu představuje každý z těchto kroků. Tyto údaje jsou následovně uloženy a zpracovávány na řízení pohybů nebo k vyvolání technologických funkcí jako je např. start/stop vřetena, upnutí obrobku

atd. Po vykonání jednoho kroku se přečte následující věta a původní údaje se zapomenou. Po přečtení informace o ukončení programu je tento koloběh ukončen. Až na výjimky NC stroje neumožňují editaci řídicích programů na stroji. [4], [5]

## 2. CNC stroje s počítačovými řídicími systémy

CNC je zkratka výrazu Computerized Numerical Control – číslicové řízení počítačem. Tyto stroje jsou dalším krokem ve vývoji NC strojů. U těchto strojů jsou řídicí systémy vybaveny volně programovatelným počítačem, který provádí se zadanými daty výpočty a řídí stroj. Programem jsou dány vlastnosti počítačového řídicího systému, jenž řídí činnost mikropočítače v jednotlivých režimech, tedy softwarově. Na rozdíl od NC strojů z děrné pásky po jednotlivých větách čten a zpracovávání, ale je celý program zadán dříve, než se provádí první obrábění. Je zde také zpravidla umožněná grafická simulace na obrazovce, kde je možnost před započítím vlastního obrábění na CNC stroji kontrola CNC programu. [4], [5]

## 3. DNC počítačem monitorovaná a řízená síť NC strojů

Zkratka DNC je výraz Direkt Numerical Control – přímé číslicové řízení skupiny NC strojů počítačem v reálném čase. Program stroje má číslicovou formu, kde nositelem informací je PC paměť. Náklady na údržbu a opravy řídicího systému redukuje systém přímého řízení. Nejedná se však o přímou náhradu NC systému, i když počítač DNC systému může jeho funkci převzít. Hlavním úkolem DNC je uchovávat paměti programy podřízených NC strojů a ve vhodnou dobu je jim předat celé, nebo jednotlivě po blocích. [5], [6]

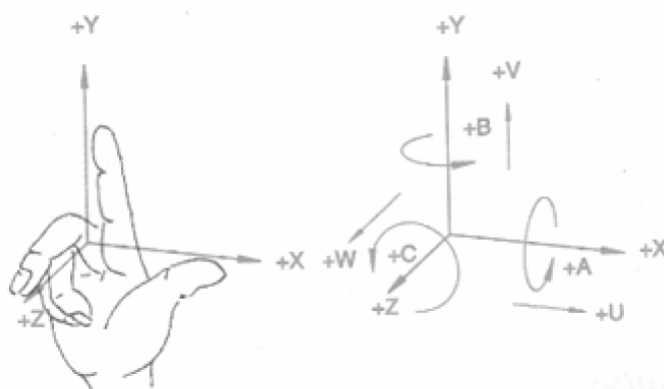
### 1.3.3 Výhody číslicově řízených strojů

Mezi hlavní výhody číslicově řízených strojů patří především zvyšování kvality výrobků, vyšší produktivita práce a hospodárnost výroby. Protože je výrobní čas předem dán, není tudíž závislý na obsluze stroje. Velkou výhodou u těchto strojů je možnost výroby součástí, jejichž tvar je zadán matematickou funkcí a umožňují také zavedení nových typů strojů do výroby. Tyto stroje také umožňují rychle měnit výrobní programy. Odpadá zde výroba, skladování, údržba a obsluha různých rýsovacích, vrtacích a jiných přípravků. Díky těmto strojům lze zmenšit sklady náhradních dílů, protože lze velmi rychle požadovanou součást vyrobit pomocí programu uloženého na paměťovém médiu. Nevýhodou však může být

vysoká cena stroje, vyšší požadavky na údržbu, zvýšené nároky na technologickou přípravu a organizaci.

### 1.3.4 Programování CNC strojů

Abychom mohli CNC stroji ve formě čísel zadat pojezdové dráhy stroje, musíme určit jednoznačně souřadné osy pracovního prostoru stroje (Obr. 16).



Obr. 16. Pravoúhlá souřadná soustava a otočné osy

Základem pro definování os je pravoúhlá souřadná soustava s osami X, Y, Z, které se orientují tak, aby souřadné osy byly rovnoběžné s vodícími plochami stroje.

Souřadnicová soustava vychází z osy Z, která je rovnoběžná s osou hlavního vřeteně, případně kolmá k pracovní ploše stolu.

Osa X je vodorovná a rovnoběžná s plochou upnutí výrobku.

Osa Y doplňuje předešlé dvě osy na pravoúhlou souřadnicovou soustavu.

Směr vzdalování nástroje od obrobku nám určuje kladný smysl pohybu.

Rovnoběžně s osami X, Y, Z jsou osy U, V, W, které se používají např. pokud může u frézky s vertikálním vřetenem provádět přísmvný pohyb jak stůl, tak i vřeteně.

Kolem os X, Y, Z jsou určeny rotační pohyby A, B, C, jejichž kladný smysl otáčení odpovídá smyslu otáčení hodinových ručiček při pohledu na danou osu v kladném směru.

[4]

V programu pro číslicové řízení, musí být obsaženy geometrické a technologické informace, potřebné pro obrábění součástí. Geometrické informace v sobě zahrnují způsob pohybu nástroje. Tento údaj znamená, zda se daný pohyb bude vykonávat posuvem,

rychloupřesunem, po přímcce nebo kruhovém oblouku a dále udávají rozměry obrobku. Technologické informace nám určují technologii obrábění a slouží k informování o rezné rychlosti, otáčkách, hloubce třísky, posuvu atd. Pomocné informace jsou informace a povely pro stroj nebo určité pomocné funkce, jako je zapnutí chladicí kapaliny, směr otáček vřetene atd. Informace nutné k organizaci programu, jsou nutné pro vyvolání požadované posloupnosti jednotlivých bloků a slov programu jako např. start/stop programu, dále pak začátek a konec bloku atd. [4], [7]

Samotné programování se provádí v ISO kódu, kde každý blok je zapsán na samostatném řádku. Každý z bloků je očíslován, kde číslo věty, případně slovo N (numer) slouží k označení jednotlivé věty. Poté jsou věty zpracovány řízením v jejich dané posloupnosti. [8]

CNC programy mohou být sestavovány krok po kroku ručně přímo na NC stroji nebo s počítačovou podporou. Při programování s podporou počítače skládá programátor obrys obrobku jako obrysový řetězec z jednotlivých čárových segmentů, jako jsou např. úsečka, kruhový oblou apod. Geometrický procesor provádí potřebné výpočty při generování strojového NC programu. Rozlišujeme několik tipů programování:

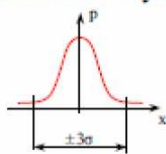
- ruční programování
- programování dílenské
- programování konturové
- absolutní programování
- programování pomocí CAD/CAM systému

### **1.3.5 Přesnost číslicově řízených obráběcích strojů**

Přesnost NC a CNC strojů je dána součtem chyb řídicího systému a mechanických chyb. Rozložení mechanických chyb se řídí Gaussovým rozdělením (Obr. 17), kde parametr  $\sigma$  udává výrobce.



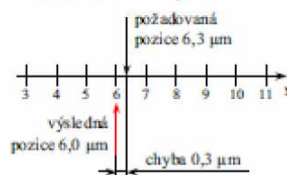
rozložení mechanických chyb:



v pásmu  $\pm 3\sigma$  leží 99,73% případů  
njetí – pásmo se měří jako  
opakovatelnost osy (tj.  $6\sigma$ )

chyba odměřování:

příklad pro rozlišení  
digitálního odměřování 1  $\mu\text{m}$ :



max. chyba odměřováním je  $\frac{1}{2}$  jeho rozlišení

**absolutní přesnost osy stroje =  $\frac{1}{2}$  rozlišení +  $3\sigma$**

*Obr. 17. Přesnost CNC obráběcích strojů*

Chyba vlivem řídicího systému je dána uspořádáním jednotlivých os, přesnost polohování jedné osy je dána rozlišením odměřování. [9]

### 1.3.6 Nářadí v provozu NC a CNC strojů

Protože jsou kladeny vysoké požadavky při obrábění na číslicově řízených strojích na produktivitu a samozřejmě také minimální náklady, jde především o vysokou řezivost a řezný výkon, který je dán kvantifikovaným velkým minutovým úběrem obráběného materiálu a také odolností vůči mechanickým a tepelným rázům, jímž musí řezné nástroje odolávat. Řezné části nástroje jsou z těchto důvodů zhotoveny z velmi kvalitních a odolných materiálů:

- nástrojové oceli (uhlíkové, slitinové)
- rychlořezné oceli
- slinuté karbidy
- cermety
- keramické nástrojové materiály
- polykrystalický kubický nitrid bóru
- polykrystalický diamant
- přírodní diamant

V dnešní době se u nástrojů na NC a CNC strojích o obráběcích centrech nejvíce používají nástroje s vyměnitelnými destičkami ze slinutých karbidů (až 80% případů), dále se pak používají nástroje z rychlořezné oceli a to zejména u tzv. osových nástrojů, jako jsou např. vrtáky, výstružníky, výhružníky a tvarové nástroje. [8]

## 2 VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES OBRÁBĚNÍ

Procesní prostředí má významný vliv na kvalitní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejvíce se používají jako procesní média kapaliny, plyny a mlhy.

### 2.1 Procesní kapaliny

Procesní kapaliny dělíme na:

- vodné roztoky
- emulzní kapaliny
- mastné oleje
- zušlechtěné řezné oleje
- syntetické kapaliny

#### 2.1.1 Vodné roztoky

Při třískovém obrábění mají vodné roztoky daleko vyšší chladicí účinek než procesní oleje. Základ roztoku je pouze voda, vyžaduje řadu úprav jako je změkčování, přidávání přísad proti korozi, proti pěnivosti a pro zlepšení smáčivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický. Rozmnožování anaerobních bakterií je nevýhodou těchto roztoků, které způsobují nepříjemný zápach a tvorbu kalů. U bakterií se dá předcházet a přidáním dezinfekčních prostředků nebo pasterizací teplem. Ke zhoršení některých vlastností vodného roztoku může dojít při odstraňování těchto nežádoucích bakterií.

#### 2.1.2 Emulzní kapaliny

Tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v druhé kapalině. Nejvíce používanou emulzní kapalinou u třískového obrábění je olej ve vodě (6 až 10 %). Přitom je třeba využívat další roztoky tzv. emulgátory, které nám zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizují emulzi a zabraňují koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Emulgační prostředky musí splňovat požadavky na jakost a spolehlivost účinku při vysokých tlacích. Na koncentraci emulze závisí chladicí účinek emulzních kapalin. Schopnost ochrany proti korozi se snižuje při určitých koncentracích a hodnotách pH.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů, proto jsou nejrozšířenější pro hrubovací operace, kde je zapotřebí mít dobrý chladicí účinek. [10]

### 2.1.3 Procesní oleje

Jedná se o zušlechtěné oleje, do kterých přidáváme přísady pro zvýšení mazacích vlastností a tlakové únosnosti. Jako přísady se používají:

- mastné látky
- organické sloučeniny
- pevná maziva

### 2.1.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tyto procesní kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí. Mají dobré chladicí, mazací, ochranné účinky a jsou rozpustné ve vodě. Syntetické procesní kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které se ve vodě rozpouští nebo emulgují. Glykoly jsou transparentní, díky tomu můžeme sledovat průběh obráběcího procesu. Používání syntetických procesních kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc je zajištěno rychlejší odvod tepla, jednoduchá příprava a dobré čistící vlastnosti. Polosyntetické kapaliny vznikají rozptýlením oleje a tím mají příznivější mazací schopnosti.

Metoda obrábění	Ocel			Litina	nikl a jeho slitiny	bronz a mosaz	měď a slitiny	hliník a slitiny	hořčík a slitiny
	nízko-uhlíková	s vyšším obsahem uhlíku	nerez oceli						
Soustružení	D3	D5	D10	-	E	D3	D3	D3	B
Vrtání a vystružování	E,D10	F	J	D5	E	B	B	B	B
Frézování	D5	D5	D10	D5	F	B	D3	D3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Řezání závitů na automatech	E	H	H	-	H	B	A	C	B
Válcování závitů	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Řezání pilou	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	B
Výroba ozubení	E,D10	F	J	D5	-	B	-	-	-
Protahování	J	J	J	D10	J	C	B	C	B
Broušení	D2	D2	D2	D2.5	D2	D2	D2	D2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C

A - minerální oleje

B - mastné oleje

C - maštěné oleje s přísadami

D - emulze (číslo udává koncentraci v %)

E - minerální oleje s přísadami

F - lehké minerální oleje s přísadami

H - oleje aditivované

J - maštěný olej s přísadami

Obr. 18. Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění [11]

## 2.2 Technologické požadavky na procesní prostředí

Z technologického a provozního hlediska jsou kladeny určité požadavky na procesní prostředí, mezi které patří zejména:

- chladicí účinek
- mazací účinek
- čistící účinek
- provozní stálost
- ochranný účinek
- zdravotní nezávadnost
- přiměřené náklady

### 2.2.1 Chladicí účinek

Je to schopnost procesního prostředí odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé prostředí, které smáčí povrch kovů a také pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a okolním prostředím. Odvod tepla se uskutečňuje tím, že procesní prostředí obklopuje obrobek, nástroj i tříška přejímá část vznikajícího tepla. Důležité je množství chladicího média. Chladicí účinek procesního prostředí bude záviset na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na měrném teple a tepelné vodivosti. Chladicí účinek procesního prostředí bude vyšší, čím vyšší budou tyto veličiny. Velice důležité je také průtokové množství procesního média. Chladicí účinek prostředí zvětšuje výparné teplo, ale příliš odpařování procesního média není žádoucí. Z hlediska hospodárného využití, čistoty a zdraví je nutné v některých případech odsávat tyto vzniklé páry.

### 2.2.2 Mazací účinek

Je schopnost prostředí vytvořit mezi nástrojem a obrobkem vrstvu maziva, která brání přímému styku kovových materiálů a snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Mazací účinek zajišťuje zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a zlepšení jakosti obráběného povrchu. Tento mazací účinek je uplatněn především při dokončovacích obráběcích operacích, jako je např. výroba ozubení, závitů nebo protahování. Na pevnosti

vytvořené mezní vrstvy a viskozitě je závislá mazací schopnost. Z rostoucí viskozitou se pronikání procesního média mezi třecí plochy, jeho proudění a obvod tepla se zhoršuje. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami, což jsou povrchově aktivní látky, které napomáhají pronikání do trhlin deformovaného kovu.

### **2.2.3 Čistící účinek**

Zajišťuje odvod třísek z oblasti obrábění a brání tak slepování částic, které vznikají při obrábění a usnadňuje jejich usazování. Velký význam má čistící účinek u takových operací, kde je nutné odnášet třísku z místa obrábění, např. při vrtání hloubkových děr nebo výrobě závitů.

### **2.2.4 Provozní stálost**

Pod tímto pojmem rozumíme dobu, po kterou není nutná výměna procesního prostředí. Dlouhodobost procesního prostředí je žádoucí a zaručuje, že se jeho vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí procesního prostředí se může projevit i jako poruch stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršení funkčních vlastností procesního prostředí a jeho rozklad. Dochází i k ztrátě ochranných schopností, zmenšení mazacího účinku a korozi. Provozní stálost procesního prostředí je také závislá na chemických a fyzikálních vlastnostech a na teplotě. Když je procesní prostředí složitější, je i větší potenciál k jeho nestabilitě.

### **2.2.5 Ochranný účinek**

Ochranný účinek procesního prostředí se projevuje tak, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Cílem tohoto požadavku je to, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, a aby se stroje ubránily korozi. Z důvodu vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do procesního prostředí přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Velmi důležitým požadavkem je, aby nátěry obráběcích strojů procesní prostředí nerozpouštělo a nebylo agresivní vůči jejich pryžovým těsněním.

### **2.2.6 Zdravotní nezávadnost**

Tento požadavek vychází z toho, že při obsluhování obráběcích strojů dochází ke styku pracovníka s nosným médiem. Z důvodu, že procesní prostředí nesmí být zdraví škodlivé,

nesmí obsahovat látky dráždicí pokožku a sliznici a nesmí být jedovaté. Také nesmí zamořovat svými výpary ovzduší a okolí nepříjemným zápachem. Proto je nutné v provozu dbát a dodržovat základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod. [12]

### **2.2.7 Přiměřené náklady**

Jsou spojené především se spotřebou procesního média. Nejdříve je nutné při rozboru nákladů posoudit vliv procesního média na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku, spotřeba energie, provozní stálost, spotřebu a výměnu. Jedním z prostředků, jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění, je procesní prostředí. Je třeba brát v úvahu náklady na likvidaci procesního prostředí. Při výběru procesního prostředí je nutné zvážit jeho působení na proces řezání tj. na průběh plastických deformací v zóně obrábění, na opotřebení nástroje a na změnu struktury povrchu obrobené plochy. [10]

## **2.3 Obrábění bez chlazení**

U této metody se používá ke chlazení pouze atmosférický vzduch. Díky této metodě lze vyřešit řadu ekonomických, hygienických, technických a technologických problémů.

### **2.3.1 Soustružení bez chlazení**

Hlavním problémem při soustružení oceli za sucha je vysoké tepelné zatížení břitu. Materiál při tomto obrábění musí odolávat především vysoké teplotě řezání. Pevnostní požadavky v ohybu jsou při plynulém řezu až druhořadé. Pro dokončovací operace soustružení se používají keramické řezné materiály s ochrannou vrstvou z TiN (titan nitrid) nebo polykrystalického kubického nitridu bóru (BN). Pro operace hrubování se používají houževnatější slinuté karbidy s ochrannou vrstvou  $Al_2O_3$ . Zvýšené náklady na řezný materiál jsou často vykompenzovány zvýšením velikosti úběru materiálu, zjednodušením technologického procesu a snížením nákladů na něj, tj. úspora procesních kapalin a souvisejících nákladů. Při použití keramických materiálu s ochrannou vrstvou z TiN se zvýší trvanlivost břitu, tím pádem i jeho řezivost, která nám umožňuje zvýšit úběr materiálu bez používání procesní kapaliny. Celkové náklady na obrábění tím klesnou asi o 10%.

### 2.3.2 Vrtání bez chlazení

Odvádění třísky z vrtaného otvoru je hlavním problémem při vrtání oceli za sucha. S hloubkou vrtaného otvoru narůstá nebezpečí napěchování třísky v drážce vrtáku, tzn. dochází zde ke zvětšení tření mezi třískou a stěnami otvoru. Při vrtání za sucha je u vrtáku důležitá optimalizace tvaru průřezu drážky, především její zvětšení, které poskytuje třísce více prostoru a snižuje tření o stěny otvoru. Vhodným druhem ochranné vrstvy, např. z TiN, lze zmenšit tření třísky o bok drážky vrtáku. Důsledkem nárůstu adhezních sil mezi třískou a vrstvou však rostou nároky na kvalitu zakotvení vrstvy.

Dalším závažným problémem při vrtání je zvýšené tepelné zatížení vrtáku, které je způsobené zhoršeným odvodem vznikajícího tepla. Vzniklá vysoká teplota při řezání má za důsledek snížení odolnosti řezného materiálu proti opotřebení a tím i trvanlivosti břitů. Zadření vrtáku může být zapříčiněno z důvodu tepelné roztažnosti nástroje. Proto je třeba používat nástroje s výraznější kuželovitostí směrem ke stopce. Přesnost hloubky otvoru může být ovlivněna měřicí délkou vrtáku, kterou způsobuje vysoká teplota.

### 3 PARAMETRY OBROBENÉ PLOCHY

Z hlediska technologie výroby je možné jakost obrobků definovat pomocí parametrů, jako jsou například přesnost rozměrů, přesnost tvaru apod. Dalším, velice důležitým parametrem je struktura neboli drsnost povrchu.

#### 3.1 Přesnost tvaru

Každý stroj je sestaven z mnoha součástí, které jsou spojeny různým způsobem. Proto je potřeba volit rozměry součástí tak, aby vyhovovaly předepsané funkci a splňovaly kladené požadavky. K tomuto účelu je třeba dodržovat tyto vzájemně související faktory:

- rozměry součástí
- geometrický tvar a vzájemná poloha ploch
- drsnost povrchu součástí

Vyrobené skutečné plochy součástí se od ideálních neboli teoretických ploch liší svými rozměry, vzájemnou polohou a tvarem. Jednoduše řečeno, nejsou vyrobeny absolutně přesně. Protože se výroba součástí dá zajistit pouze jen s určitou přesností, je třeba dovolenou nepřesnost výše uvedených faktorů předepsat formou úchylek tvaru, polohy a drsnosti povrchu. Dodržování těchto předepsaných úchylek je zejména nutné u funkčních ploch. Touto plochou rozumíme plochy, které se stýkají s jinými plochami a dodržují správnou funkci součástí.

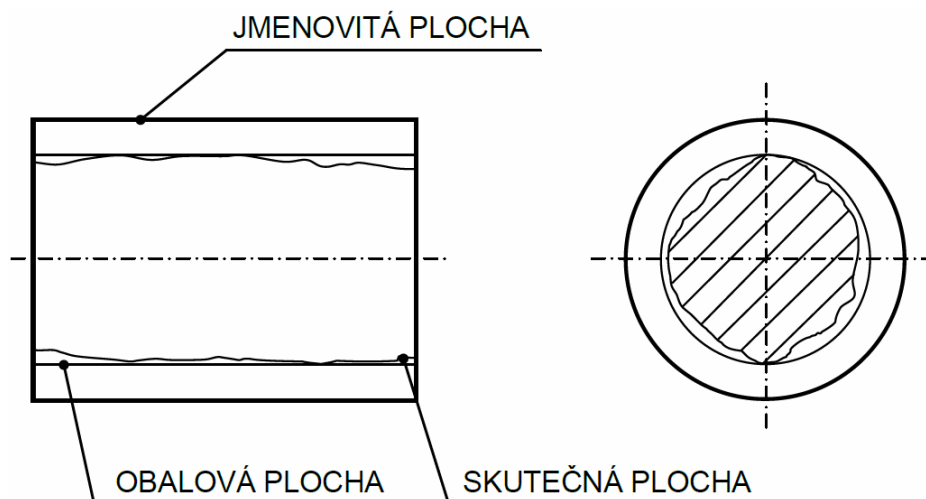
##### 3.1.1 Geometrická tolerance

Mezní úchytky rozměrů se předepisují k přesným geometrickým tvarům součástí. Skutečně vyrobené součásti však nemají přesný geometrický tvar a nemají i absolutně přesné rozměry. Proto je nutné tolerovat i geometrický tvar součástí.

Mezní úchytky délkových rozměrů určují pouze skutečné místní rozměry prvku, nikoliv úchytku jeho tvaru.

Mezní úchytky jsou definovány pomocí tzv. obalových ploch, případně obalových čar. Obalová plocha (čára) má tvar ideální plochy, což je teoretická – předepsaná plocha. Tato obalová plocha se dotýká skutečné plochy a leží vně materiálu součásti (Obr. 19).





Obr. 19. Jmenovitá, obalová a skutečná plocha

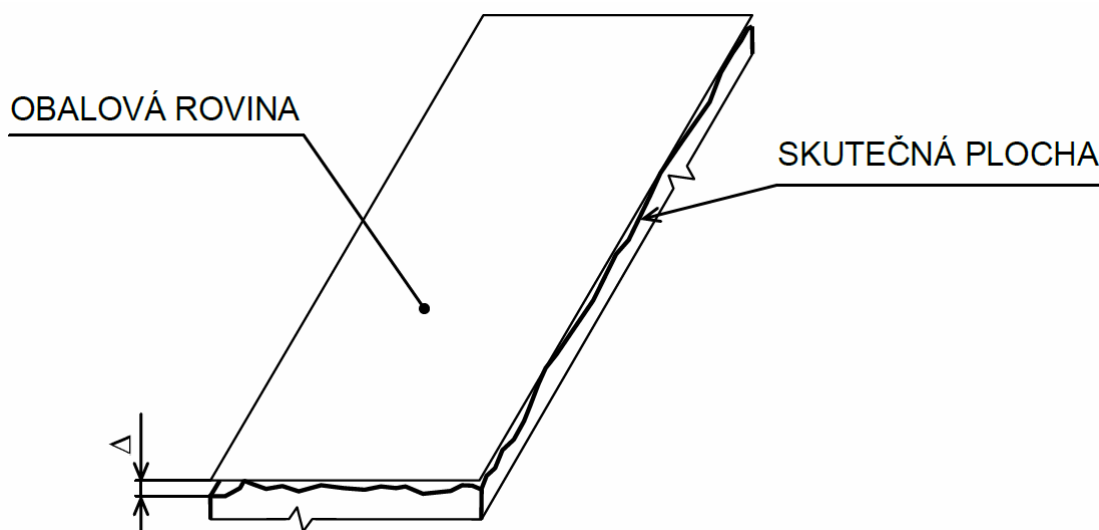
Jmenovitá plocha: je to ideální plocha, její tvar je určen výkresem nebo jinou technickou dokumentací.

Skutečná plocha: jedná se o plochu ohraničující součást a odděluje jí od okolního prostředí.

Obalová plocha: má tvar jmenovité plochy, dotýká se skutečné plochy a leží vně materiálu součásti.

### 3.1.2 Tolerance tvaru

Úchylka tvaru ideální plochy od tvaru skutečné plochy ( $\Delta$ ) vyjadřuje největší vzdálenost bodů skutečné plochy od plochy obalové ve směru normály k obalové ploše (Obr. 20).



Obr. 20. Obalová a skutečná plocha

Tolerance tvaru jsou:

- tolerance přímosti
- tolerance rovinnosti
- tolerance kruhovitosti
- tolerance válcovitosti
- tolerance tvaru profilu
- tolerance tvaru plochy

### 3.2 Přesnost rozměrů

Skutečný rozměr součásti musí ležet mezi dvěma pevně stanovenými mezními rozměry. Předepisování mezních rozměrů součásti, tj. vytvoření předpokladu správného vztahu mezi dvěma součástmi, které jsou vzájemně uloženy nebo na sebe dosedají, se označuje obecným pojmem lícování.

Lícováním lze u funkčně vázaných ploch dosáhnout buď jistého stupně volnosti vzájemného pohybu součástí, nebo naopak zaručit jistý odpor nutný k jejich spojení a rozebrání. Tento vzájemný vztah se nazývá uložení. Velikosti tolerancí i uložení jsou předepisovány pomocí horních a dolních mezních úchylek.

Přesnost rozměrů souvisí s přesností polohy a tvaru. Je třeba při výrobě zohlednit to, že výrobek bude vyráběn v určité výrobní toleranci, která je předepsaná výrobní dokumentací. Přesnost rozměrů je dána řeznými podmínkami, při kterých je řezný proces realizován. Doporučuje se nastavit takové vhodné řezné podmínky, aby nedocházelo ke vzniku nežádoucího chvění a řezný proces byl plynulý.

### 3.3 Jakost povrchu

Je to souhrn geometrických, fyzikálních a chemických vlastností skutečného povrchu posuzované plochy (povrchu), který odděluje těleso od okolního prostředí. Na jakosti povrchu závisí mnohé funkční vlastnosti strojů, životnost, popřípadě pevnost jednotlivých součástí, ale i výrobní náklady a vzhled. Jednou z podmínek úplné zaměnitelnosti součástí při sériové a hromadné výrobě je dodržení stejné jakosti povrchu funkčních ploch.

Stav povrchu jednotlivých ploch hotové součásti záleží na způsobu zpracování materiálu na polotovár a na způsobu obrábění plochy. Podle toho nerozlišujeme plochy obrobené a neobrobené, s povrchovou úpravou nebo bez ní. Mezi povrchy opracované řadíme například povrch soustružený, hoblovaný, frézovaný atd. K povrchům neopracovaným lze zařadit součástky a výrobky odlité, kované, lisované, válcované atd.

Na přesnost a trvanlivost stroje má vliv jakost povrchu. Nerovnoměrný a hrubší povrch se při chodu stroje časem vyhladí. Při posuzování jakosti povrchu strojových součástek je třeba rozlišovat druh povrchu, drsnost a vlnitost povrchu.

Rozvoj techniky, technologických zařízení a inovace výrobní techniky zvyšuje nároky na provedení součástí nejen z hlediska přesnosti, výkonu, životnosti, účinnosti a spolehlivosti, ale také samozřejmě z hlediska estetického provedení, úprav povrchu, z hlediska kvality charakterizované geometrickými parametry, drsností, povrchovým pnutím nebo případně mechanickým zpracováním. V hromadné a sériové výrobě je vyžadována vzájemná vyměnitelnost jednotlivých součástí. Stejná jakost povrchu je jedním z předpokladů vyměnitelnosti součástí. Abychom opakovaně dosahovali stejné jakosti povrchu je třeba, aby veličiny určující povrchové vlastnosti byly předepisovány kvantitativně a mohly být objektivně měřitelné. S postupným zvyšováním kvality se drsnost snižuje. Zvyšuje se ale nosný podíl obrobené plochy a také náklady na obrábění.

V současné době nelze zatím žádnou známou technologii dosáhnout dokonalou hladkost a rovinnost plochy. Velikost koeficientu tření značně ovlivňuje míra drsnosti plochy a tím i intenzitu opotřebovaných ploch. Zvyšování nosného podílu plochy ovlivňuje životnost. Na pevnostní charakteristiku má kvalita povrchu taky značný vliv, zejména pak při dynamickém zatěžování. Volba drsnosti povrchu se proto musí provádět z hlediska budoucích provozních požadavků na součást a z hlediska ekonomicky přijatelných nákladů.

### **3.4 Drsnost povrchu**

Drsnost povrchu je souhrn nerovností povrchu s poměrně malou vzdáleností, které vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. Do drsnosti povrchu se nepočítají vady povrchu, jako jsou náhodné nepravidelné nerovnosti, např. trhlinky, rysky, důlky atd., které vznikají vadami nebo poškozením materiálu. Drsnost povrchu vyhodnocujeme podle převládajícího směru nerovností v příčném nebo podélném směru a je vyhodnocována v mikrometrech.

Na skutečném povrchu součásti jsou zřejmé minimální nerovnosti, které tvoří výstupky a prohlubně přibližně stejného průběhu v celé ploše. Velikost a tvar těchto nerovností jsou závislé na druhu obrábění, technologických podmínkách a druhu obráběného materiálu.

Drsnost povrchu ovlivňuje významně funkční vlastnosti ploch, a to jak ploch stykových, tvořících uložení nebo dosedajících na jinou plochu, tak i některých ploch volných.

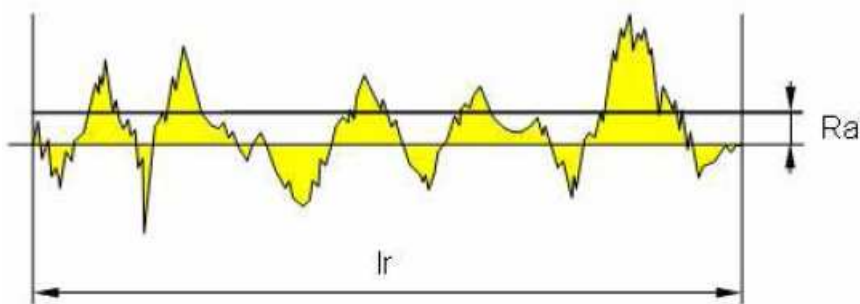
Ztráty tření u stykových ploch závisí na drsnosti povrchu, odolnosti proti opotřebení a životnosti součástí, jakosti mazání, doby záběhu, pevnosti a tuhosti spojení atd.

U volných ploch při provozu strojů mohou na drsnosti povrchu záviset fyzikální a chemické děje, jako je únava materiálů, přestup tepla, odraz světla, koroze aj. Drsnost povrchu podmiňuje dosažení určité přesnosti rozměru a tvaru ploch a má přímý vliv na výrobní náklady.

### 3.5 Metody měření drsnosti povrchu

#### 3.5.1 Průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a$

Průměrná aritmetická úchylka  $R_a$  se přednostně používá při vyhodnocování struktury povrchu. Jedná se o aritmetický průměr absolutních odchylek profilu od střední čáry v rozsahu základní délky  $l_r$  (Obr. 21).



Obr. 21. Průměrná aritmetická odchylka profilu  $R_a$

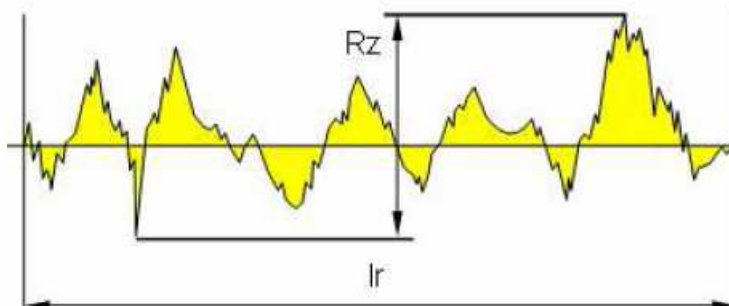
Reálné hodnoty parametru  $R_a$  závisí především na konkrétních technologických podmínkách obráběcího procesu. Střední aritmetickou úchylku profilu vyhodnotíme dotykovým měřicím přístrojem, u kterého je nutné nastavit správnou citlivost. Pro měření  $R_a$  lze však také použít bezdotykové měřicí přístroje.

Teoretické hodnoty se vyjadřují s ohledem na geometrii nástroje a kinematiku procesu obrábění. Výpočtem lze zjistit hodnotu  $R_a$  podle vztahu (4.).

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} [Z(x)] dx \quad [\mu m] \quad (4.)$$

### 3.5.2 Největší výška profilu Rz

Nejvyšší výška profilu  $Rz$  je součet výšky největší špičky profilu ( $Rp$ ) a největší hloubky prohlubně povrchu ( $Rv$ ) v rozsahu základní délky  $lr$  (Obr. 22).



Obr. 22. Největší výška profilu  $Rz$

Reálné hodnoty parametru  $Rz$  jsou totožné jako u parametru  $Ra$  a vztahují se na ně konkrétní technologické podmínky obrábění procesu.

Teoretické hodnoty se vyjadřují s ohledem na geometrii nástroje a kinematiku obráběcího procesu. Základní výpočet  $Rz$  je uveden v následujícím vztahu (5.)

$$Rz = Rp + Rv \quad [\mu m] \quad (5.)$$

### 3.5.3 Přístroje pro měření drsnosti

- **Profilograf:** dotykový přístroj u něhož je výsledkem měření grafický záznam profilu
- **Profilometr:** automaticky vyhodnocuje některé z normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu
- **Profiloměr:** kombinovaný přístroj profilometr – profilograf. Jedná se o obecně dotykový přístroj na měření drsnosti povrchu
- **Snímače:** změny polohy měřícího hrotu převádí snímač (měnič) na analogové změny elektrického napětí nebo indukčnosti

- **Měřicí hroty:** na geometrii měřícího hrotu, především pak na poloměru kulového zakončení jeho špičky a na vrcholovém úhlu závisí, jestli je při měření zachycen celý tvar nerovnosti povrchu až do dna největších prohlubní. Používají se zde většinou diamantové hroty s vrcholovým úhlem  $90^\circ$  a poloměrem špičky 2 – 10  $\mu\text{m}$ .

## 4 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM VZNĚTOVÉHO MOTORU

Vznětové spalovací motory si v posledních letech nacházejí stále více svých zákazníků. Jak často slycháváme, Evropa miluje naftu, proto se i vstřikovací systémy v posledních letech velice rychle zdokonalují. To je ale také dáno přísnou legislativou na škodliviny vznikající při provozu vozidel.

Novodobé materiály a simulační programy se postaraly o prodloužení života starších modelů vstřikovacích systémů určených pro vznětové motory, které po menších úpravách byly schopny plnit závazné normy EURO II a dokonce i EURO III. Ovšem přísnější normy jako EURO IV a od roku 2009 platné EURO V jsou již natolik přísné, že je téměř nemožné jich dosáhnout s mechanickými vstřikovacími systémy.

Proto bylo nutné vyvinout vstřikovací systém s plně variabilním vstřikováním paliva, který je pod neustálou regulací řídicí jednotky, přičemž dávkování a tlak vstřikovaného paliva je regulováno dle aktuálních jízdních podmínek. Tyto systémy bývají standartně vybaveny recirkulací výfukových plynů, lapačem pevných částic a převážně nákladní automobily jsou dnes vybaveny taktéž SCR (Selective Catalytic Reduktion) katalyzátorem. Následná úprava výfukových plynů se liší dle typu vozidla a výrobce daného agregátu.

### 4.1 Moderní vstřikovací systémy vznětových motorů

Požadavky na klidný a tichý chod motoru, nižší spotřebu paliva a nízký obsah škodlivin ve spalinách kladou vysoké nároky na motor a vstřikovací soustavu. Tyto požadavky jsou schopny dokonale splnit pouze systémy, které disponují vysokým vstřikovacím tlakem, nutným pro dokonalé rozprášení paliva v trysce, velmi přesné dávkování, definovaný průběh vstřikování a rovněž pilotní a následné vstřiky paliva.

Tyto požadavky splňují moderní vstřikovací systémy vyvinuté pro vznětové motory, mezi které řadíme:

- systém „common rail“
- sdružené vstřikovače
  - PDE (Pumpe Düse Einheit)
  - PLD (Pumpe Leitung Düse)

### 4.1.1 Systém common rail

Vstřikovač paliva common rail je systém přímého vstřikování paliva. Jedná se v podstatě o vylepšenou verzi přímého vstřikování paliva, používaného především u diesellových motorů. Název „common rail“ se používá proto, že palivo je vstřikováno pomocí jednoho rozvodného vedení. U diesellových motorů dodává rozvodné vedení pod vysokým tlakem palivo k jednotlivým elektromagnetickým ventilům.

Tento moderní systém určený pro vznětové motory, s přímým vstřikem paliva, byl uveden na trh v roce 1997 a je neustále modernizován. Systém common rail byl původně určen pro osobní vozy s rychloběžnými vznětovými motory, ovšem je vhodný a užívaný i v motorech nákladních vozidel, stavební a zemědělské technice, autobusů i lodí. Systém common rail je všestranným vstřikovacím systémem s vysokou flexibilitou pro vznětové motory.

Flexibility tohoto systému je dosaženo za pomoci vysokých vstřikovacích tlaků, které mohou být výjimečně až 2500 bar, přizpůsobení vstřikovacích tlaků danému provoznímu stavu motoru (200 až 2500 bar), proměnný počátek vstřiku, více možných úvodních a následných vstřiků paliva (zejména možnost velmi pozdních následných vstřiků). Těmito možnostmi přispívá systém common rail k zvýšení měrného výkonu, snížení spotřeby paliva, hlučnosti a emisí škodlivin.

Oblast využití systému common rail:

- osobní vozidla s úspornými tříválcovými motory od objemu 0,8 l, výkonem 30 kW, točivým momentem 100 Nm a spotřebou od 3,5 l / 100 km až do osmiválcových motorů vyšší třídy o objemu 4 l, výkonem 180 kW a točivým momentem 560 Nm
- lehká užitková vozidla s výkonem do 30kW / válec
- těžká nákladní vozidla, lokomotivy a lodě s výkonem cca 200 kW / válec



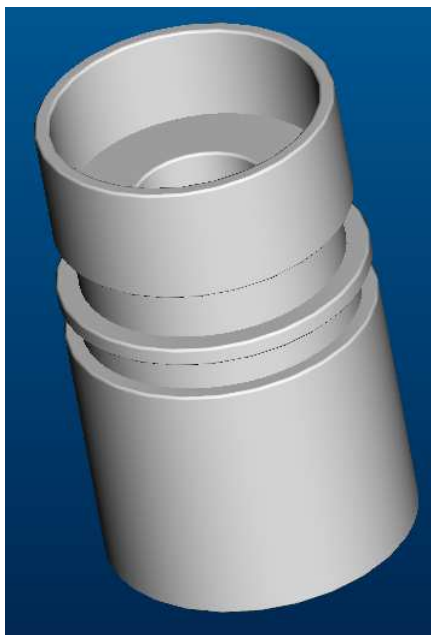
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 NÁVRH TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ ČÁSTI TĚLESA VENTILU

Cílem této praktické části diplomové práce, je navržení postupu výroby části tělesa ventilu. V praktické části budou zkoumány vlivy řezných podmínek na sledované parametry části tělesa ventilu, vyhodnocení geometrické přesnosti a jakosti povrchu funkčních částí tělesa ventilu a porovnání technologie výroby, jakosti povrchu a geometrické přesnosti při výrobě pomocí CNC obráběcího centra a univerzálního hrotového soustruhu.

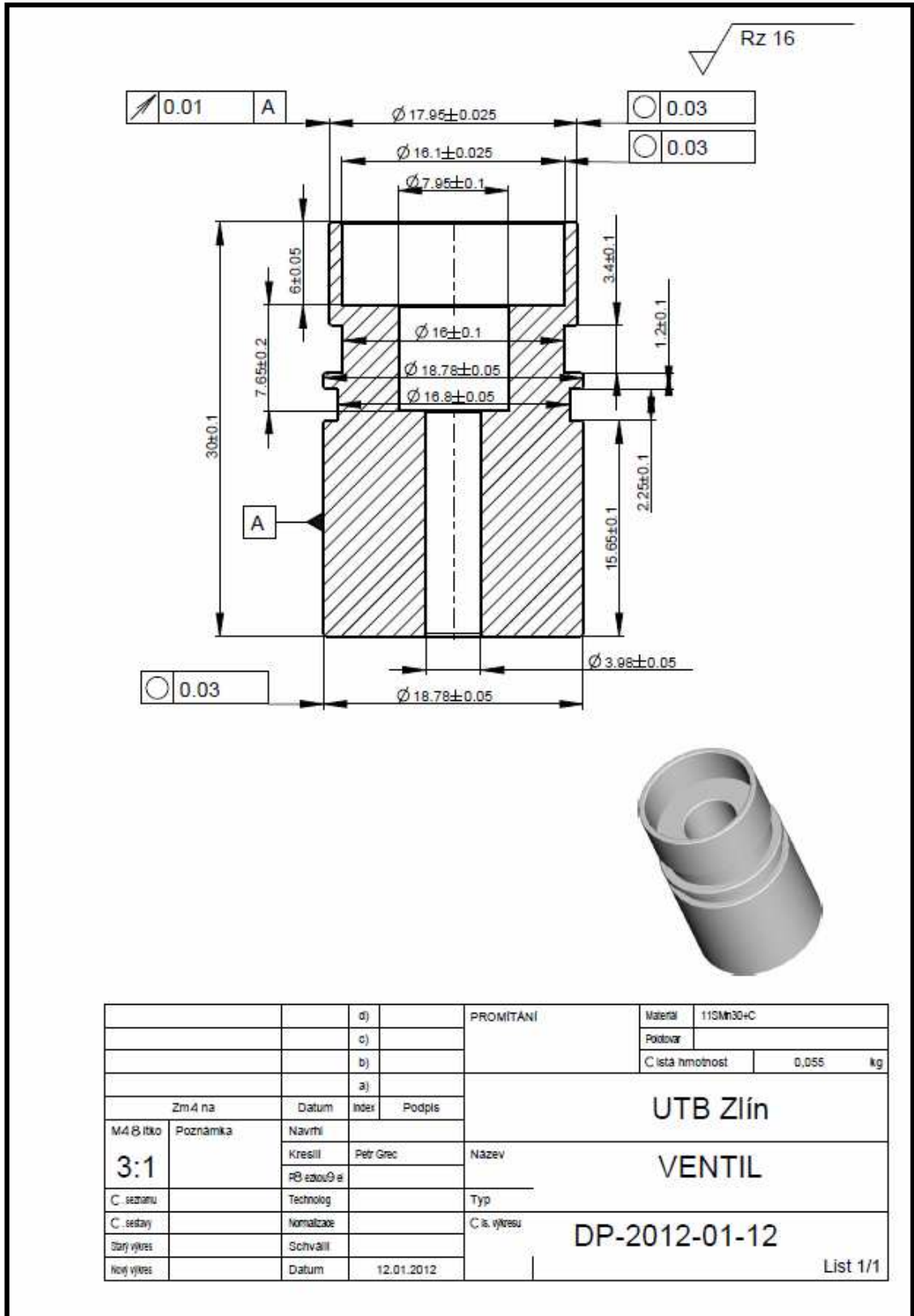
### 5.1 Volba tvaru a geometrie součásti

Pro potřeby zkoumání již zmíněných parametrů, jsem si vytvořil pomocí programu Pro ENGINEER Wildfire 4.0 model součásti (Obr. 23).



*Obr. 23. Model součásti ventilu*

Z tohoto 3D modelu části tělesa ventilu, jsem vytvořil 2D výkres (Obr. 24), podle kterého bude součást vyrobena a následně budou zkoumané geometrické parametry a jakost povrchu.



Obr. 24. Výkres ventilu

## 5.2 Výroba části tělesa ventilu

Z vytvořené výkresové dokumentace jsem začal s výrobou součásti. Pro výrobu tělesa ventilu stanovil zákazník materiál 11SMn30+C. Pro výrobu součásti jsem měl k dispozici polotovár, který byl již opracován na  $\varnothing 19,2 \pm 0,1$  mm.

Při výrobě dílů jsem postupoval podle technologického postupu:

- vrtání otvoru  $\varnothing 7,95$  mm
- vrtání otvoru  $\varnothing 3,98$  mm
- soustružení otvoru  $\varnothing 16,1$  mm
- soustružení otvoru  $\varnothing 17,95$  a  $18,78$  mm
- vytvoření zápichu na  $\varnothing 16$  a  $16,8$  mm
- zarovnání dílu na požadovanou délku 30 mm

### 5.2.1 Charakteristika výrobního stroje a řezných podmínek

Pro výrobu části tělesa ventilu jsem použil CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS a pro porovnání geometrických parametrů a jakosti povrchu jsem pro výrobu části tělesa ventilu použil universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA. Na každém typu stroje bylo vyrobeno pět dílů a to pokaždé s odlišnými řeznými podmínkami.

#### 1) CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS:

Pro výrobu prvních pěti vzorků, jsem zvolil CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS (Obr. 25). Jedná se o CNC obráběcí centrum německého výrobce, v našem případě je použit pro výrobu součástí jednovřetený typ stroje s technickými údaji uvedenými v tabulce č. 1.



Obr. 25. CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS

Tab. 1. Charakteristika CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS

Oběžný průměr	200 mm
<b>Pojezdy</b>	
Svislá osa Z	240 mm
Příčná osa X	738 mm
Výška obrobku včetně upínacího přípravku	275 mm
Průměr vřetene v předním ložisku	90 mm
Zakončení vřetene s kuzelem, DIN 55026	A5 / 2 x A5
<b>Přímo poháněné motorové vřeteno</b>	
Jmenovitý výkon 100% ED	29,3 / 2 x 29,3 kW
Jmenovitý Mk	200 Nm
Jmenovité otáčky	1400 ot/min
Maximální otáčky	6500 ot/min
<b>Rychloposuvy</b>	
X - osa	60 m/min
Z - osa	30 m/min
<b>Nástrojové systémy</b>	
VDI 30 poháněný, 12 nástrojů, Capto C4, HSK 40, UTS 40, ..., lineární nástrojový systém	

Použitím tohoto CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS bylo vyrobeno pět dílů při různých řezných podmínkách. Pro výrobu všech těchto pěti dílů byl zvolen stejný posuv 0,15 mm/otáčka. Volba otáček při obrábění byla však zvolená

pro každý díl rozlišná a to v rozmezí od 3800 do 4000 otáček za minutu, jak je zřejmé z tabulky č. 2.

Tab. 2. Řezné podmínky pro CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS

<b>Řezné podmínky při výrobě tělesa ventilu</b>					
	<b>CNC obráběcí centrum Scherer VDZ 120 DS</b>				
	vzorek č.1	vzorek č.2	vzorek č.3	vzorek č.4	vzorek č.5
<b>otáčky [ot/min]</b>	3800	3850	3900	3950	4000
<b>posuv [mm/ot]</b>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

## 2) Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA

Pro výrobu dalších pěti vzorků tělesa ventilu jsem použil universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA (Obr. 26). Výrobce tohoto universálního hrotového soustruhu je TOS Trenčín. Základní technická data jsou uvedena viz. obr. č. 27.



Obr. 26. Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA

Oběžný průměr nad ložem:	380 mm
Oběžný průměr nad suportem:	215 mm
Vzdálenost hrotů:	1000 mm
Vrtání vřetena:	42 mm
Největší hmotnost obrobku:	300 kg
Největší otáčky vřetena:	2800 min <sup>-1</sup>
Rozměry stroje:	950x2720 mm
Hmotnost stroje:	1800 kg

Obr. 27. Technické údaje universálního hrotového soustruhu TOS SV-18-RA

Použitím tohoto universálního hrotového soustruhu TOS SV-18-RA bylo vyrobeno při různých řezných podmínkách dalších pět dílů tělesa ventilu. Při výrobě dílů pomocí universálního hrotového soustruhu TOS SV-18-RA byl zvolen stejný posuv 0,15 mm/otáčka, jako v předcházejícím případě, kde k výrobě tělesa ventilu bylo použito CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS. Z důvodu, že universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA má největší otáčky včetně 2800 otáček za minutu, nemohlo být proto při výrobě dílu použito stejných otáček včetně jako bylo použito v případě výroby dílu pomocí CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS. Volba otáček pro obrábění na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA byla tedy z tohoto již zmíněného důvodu nižší a pro jednotlivé díly se otáčky včetně pohybovali v rozmezí od 1800 do 2000 otáček za minutu, jak je znázorněno v tabulce č. 3.

Tab. 3. Řezné podmínky pro universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA

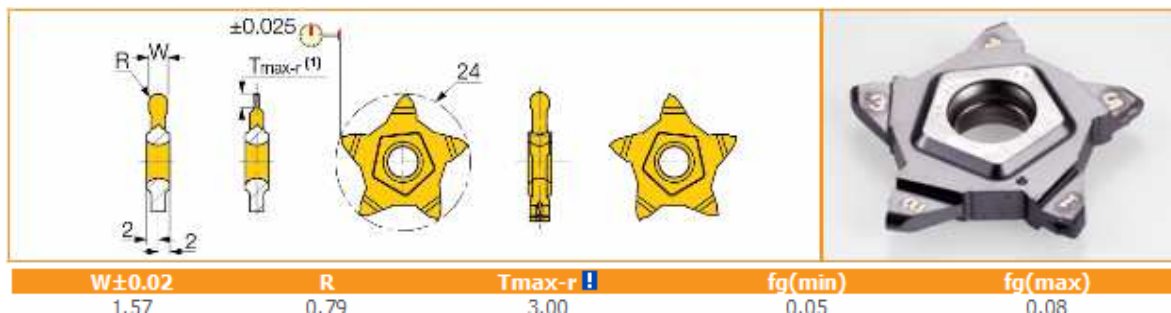
<b>Řezné podmínky při výrobě tělesa ventilu</b>					
	<b>Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA</b>				
	<b>vzorek č. 6</b>	<b>vzorek č. 7</b>	<b>vzorek č. 8</b>	<b>vzorek č. 9</b>	<b>vzorek č. 10</b>
<b>otáčky [ot/min]</b>	1800	1850	1900	1950	2000
<b>posuv [mm/ot]</b>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

### 5.2.2 Charakteristika řezného nástroje

#### ➤ CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS

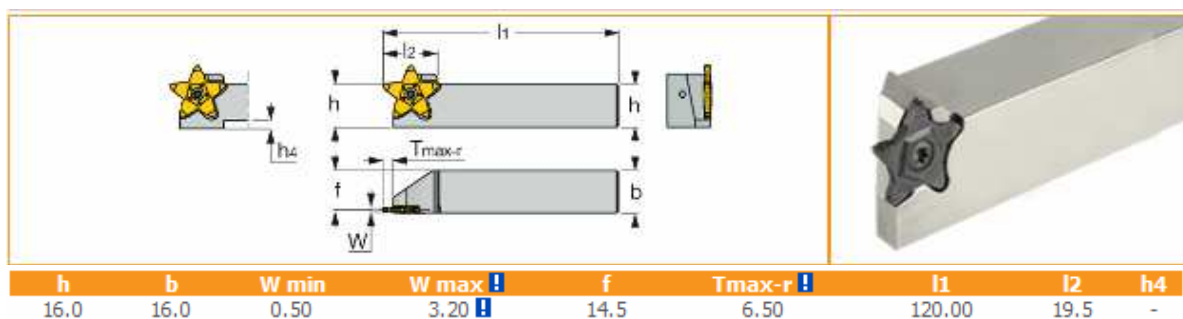
Pro výrobu tělesa ventilu pomocí CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS, jsem zvolil řezný nástroj od firmy ISCAR a to destičku typu „Z“. Tato břitová destička má pozitivní řeznou hranu, vhodnou pro upichování trubek, tenkostěných dílů a malých průměrů. Je vhodná pro měkké materiály, výborná na ložiskové kovy a pro nižší a střední posuvy.

Podle katalogu firmy ISCAR jsem zvolil destičku s katalogovým označením PENTA 24N157J079 (Obr. 28).



Obr. 28. PENTA 24N157J079

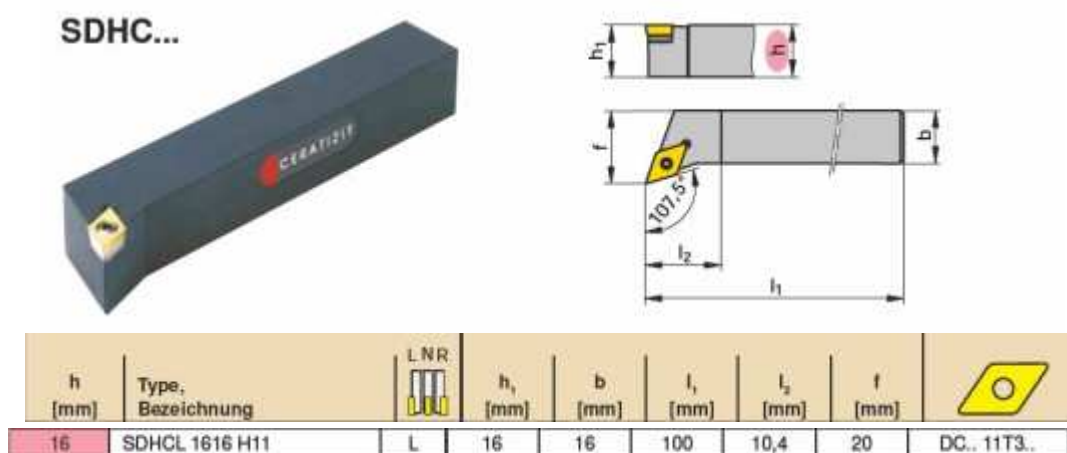
Pro tuto destičku jsem zvolil integrální nožový držák opět od firmy ISCAR a to nožový držák s profilem 16x16, katalogové označení PCHR/L 16-24 (Obr. 29).



Obr. 29. Integrální nožový držák PCHR/L 16-24

➤ Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA

Při výrobě tělesa ventilu na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA byl použit nástroj od firmy CERATIZIT s katalogovým označením MaxiLock SDHCL 1616H11 (Obr. 30) s břitovou destičkou od stejné firmy CERATIZIT s katalogovým označením MaxiLock DCGT 11T302FN (Obr. 31).




Obr. 30. MaxiLock SDHCL 1616 H11




f [mm]	Type, description	LNR	H210T	H10T	AMZ	CTP2120	CTC2135	TCC410	TCM407	TCM10	SM80	l [mm]	d [mm]	s [mm]	d <sub>1</sub> [mm]
0.00	DCGT 11T300FN-F23	N				●						11.60	9.52	3.97	4.40
0.10	DCGT 11T301FN-F23	N				●						11.60	9.52	3.97	4.40
0.20	DCGT 11T302EN-SF	N						●	●	●		11.60	9.52	3.97	4.40
0.20	DCGT 11T302FN	N								●		11.60	9.52	3.97	4.40
0.20	DCGT 11T302FN-25P	N	●		●							11.60	9.52	3.97	4.40
0.20	DCGT 11T302FN-27	N		●	●							11.60	9.52	3.97	4.40
0.20	DCMT 11T302EN-F43	N				●						11.60	9.52	3.97	4.40

	Steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Stainless	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Cast iron	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Non ferrous metals	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Heat resistant	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Hard materials														

● Main application  
 ○ Extended application  
 ● International CERATIZIT range, for present availability see price list



Obr. 31. MaxiLock DCGT 11T302FN

### 5.3 Vliv řezných podmínek

Na vyrobených dílech jsem začal zkoumat vliv řezných podmínek na sledované parametry části tělesa ventilu. Zaměřil jsem se tedy na geometrickou přesnost a jakost povrchu funkčních částí dílu.

#### 5.3.1 Měřicí přístroje

Vyhodnocování geometrické přesnosti a jakosti povrchu bylo prováděno v měřicí laboratoři při stálé teplotě  $20 \pm 2$  °C, za použití těchto měřicích přístrojů:

- 3D souřadnicový stroj WENZEL LH 54: pomocí tohoto měřicího stroje (Obr. 32) byly měřeny průměry a kruhovitosti na vyrobených dílech. Technické údaje o 3D měřicím stroji Wenzel LH 54 nám ukazuje obrázek č. 32.



Obr. 32. 3D souřadnicový stroj Wenzel LH 54

- rozlišovací schopnost 0,0005 mm
- pracovní plocha měřícího centra je 500x600x400 mm
- hmotnost měřeného dílu až 100 kg
- možnost tisku měřícího protokolu v češtině a mnoha dalších jazycích (AJ, NJ, SP, FR, IT, HU, FIN, SW, NL)
- možnost exportu a importu naměřených dat ve formátu VDA, IGES, ASCII
- možnost použití různých tolerančních tabulek DIN a ISO
- možnost tvorby CNC programů pro sériová měření a jejich statistické vyhodnocení.

Obr. 33. Technické údaje 3D souřadnicového stroje Wenzel LH 54

- Kruhoměr MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000: pro vyhodnocení čelního házení, byl použit kruhoměr MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000 (Obr. 34). Technické údaje o tomto použitém přístroji nám specifikuje obrázek č. 35.



Obr. 34. Kruhoměr MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000

- jednoduché rychlé měření s vyhodnocením a tiskem naměřených výsledků
- včetně PC
- včetně výkonného měřicího a analyzačního software ROUNDPAK pro Windows
- otočný stůl na vzduchových ložiskách pro velmi přesné polohování
- rychlé, přesné manuální vyrovnání obrobku digitálním vyrovnávacím stolem (DAT)
- absolutní stabilita konstrukcí FEM použitím keramických komponentů
- velký rozsah centrování  $\pm 3$  mm
- velký rozsah nivelace  $\pm 1^\circ$
- optimální objem měření
- upnutí obrobků do průměru až 400 mm a o hmotnosti až 10 kg
- měřitelný průměr 100 mm
- nastavitelná síla měř. snímače
- nastavení měř. snímače  $\pm 45^\circ$
- rozsah měření  $\pm 400$   $\mu\text{m}$
- výška měření vnější/vnitřní 150 mm
- dráha pojezdu R-osy 75 mm
- maximální hloubka měření 90 mm
- široká nabídka příslušenství

Obr. 35. Technické údaje kruhoměru MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000

- Drsnoměr ZEISS SURFCOM 130A: pomocí tohoto měřicího přístroje (Obr. 36), který byl využit pro měření drsnosti, byla na všech funkčních obrobených

průměrech propouštěcího ventilu proměřena drsnost těchto funkčních částí. Technické údaje o tomto použitém přístroji nám specifikuje obrázek č. 37.



Obr. 36. Drsnoměr ZEISS SURFCOM 130A

#### Zeiss Surfcom 130A

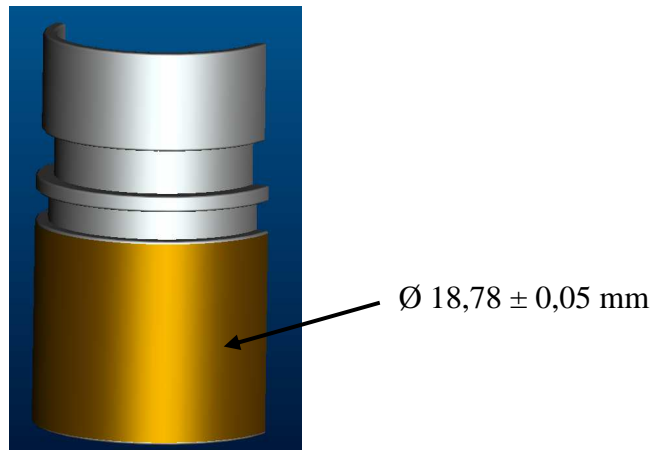
- 50 mm délka Traverse
- 0,3 mm / 50 mm šířky pásma
- Volitelná rychlost pohybu, 0,3, 0,6, 1,5, 3,0 mm / s
- Počet měřené délky (pojistky) = 0 až 150 (volitelné)
- Vzorkované datových bodů = max 32.767
- 0,032 "vertikálního rozsahu měření
- Filtry jsou Gaussian a správné a fáze 2RC, & 2RC
- Pojistky = 0,008, 0,025 / 0,08 / 0,25 / 0,8 / 2,5 / 8 mm
- Metrické / palce
- Parametry drsnosti Ra =, Rq, Ry, RzDIN, Rp, Rv, Rc, R3z, RzISO, Rt, RmaxDIN, PC, S, Rdelta, Rdeltaq, LR, RSK, Rku, tp, OB2, RMR, Rk, RPK, RVK, MR1, Mr2, Vo, K, CNOMO-Parametry, ISO, DIN, ASME, JIS
- Vlnitosti parametry = Wt, Wa, Wern, WEA, WSM, ....
- Profil parametry = RzJ, Pt, TILT A, Krok výšku, AVH, Hmax, hmin, AREA
- Standardní příslušenství patří kalibrace a Stylus kontrolní vzorky a nástroje.

Obr. 37. Technické údaje drsnoměru ZEISS SURFCOM 130A

### 5.3.2 Geometrická přesnost

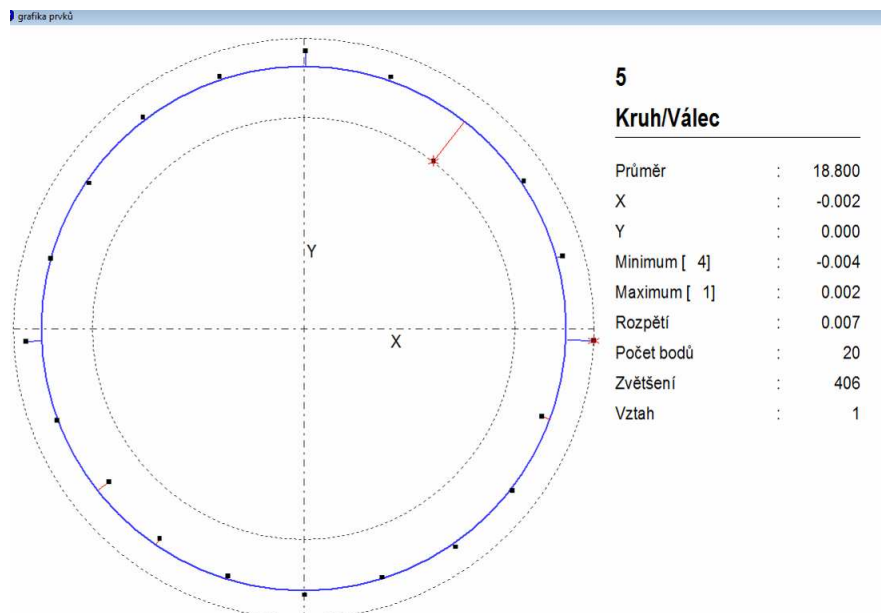
Prvním předpokladem dobrého dílu je jeho geometrická přesnost, tak aby veškeré rozměry odpovídali výkresové dokumentaci. V našem případě jsem se zaměřil na tři funkční rozměry a to na  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  mm,  $\varnothing 17,95 \pm 0,025$  mm a  $\varnothing 16,1 \pm 0,025$  mm. U všech těchto tří průměrů jsem kromě daných geometrických parametrů zkoumal i jejich kruhovitost, která byla dána dle výkresové dokumentace 0,03 mm. Pro měření těchto dvou jmenovitých rozměrů jsem použil 3D souřadnicový stroj WENZEL LH 54.

➤ Ø 18,78 ± 0,05 (Obr. 38):



Obr. 38. Průměr 18,78 mm

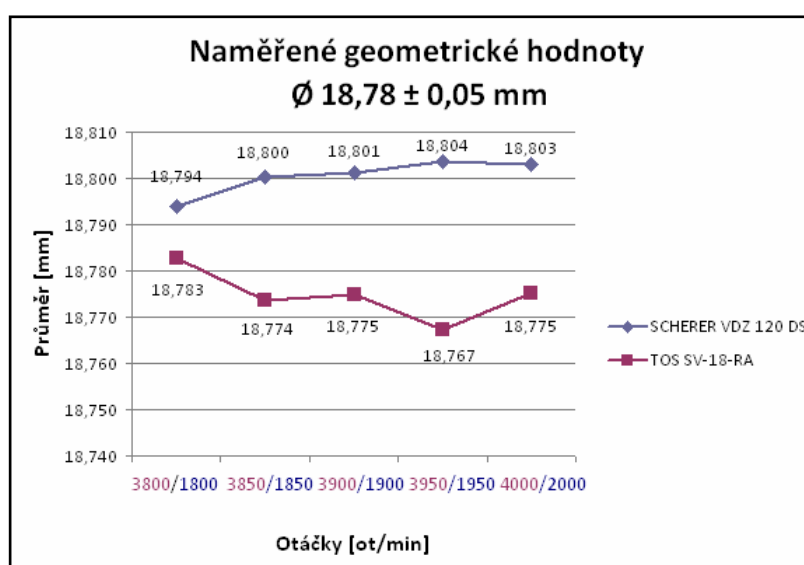
Geometrická přesnost  $\text{Ø } 18,78 \pm 0,05$  a její kruhovitost na všech vyrobených dílech byla měřena na 3D souřadnicovém stroji WENZEL LH 54. Z tohoto měřicího zařízení byly vyexportovány grafické měřicí protokoly (Obr. 39). Tento průměr byl proměřen 10x za sebou a výsledné hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 4. Kruhovitost byla rovněž proměřena 10x za sebou a tyto naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 5. Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace, jak průměr (Obr. 40) tak i kruhovitost (Obr. 41).



Obr. 39. Grafický měřový protokol Ø 18,78 mm

Tab. 4. Naměřené geometrické hodnoty  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  mm

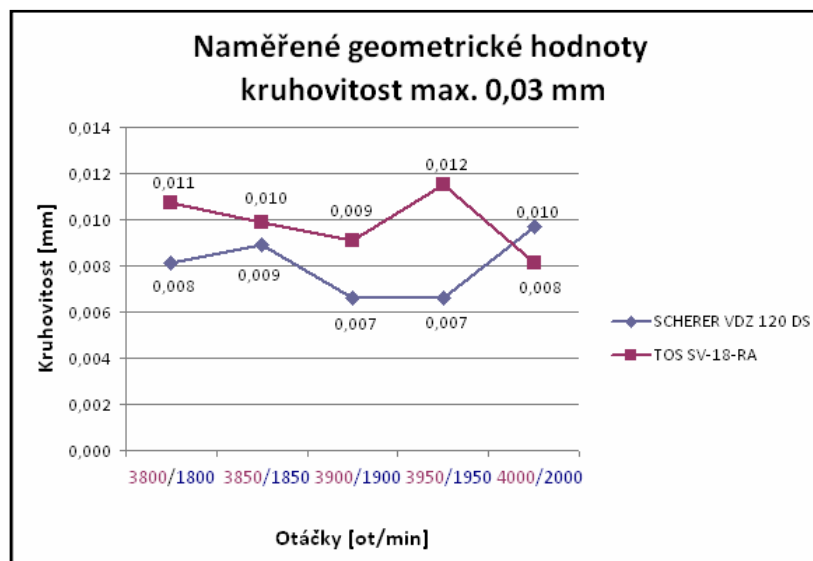
Naměřené geometrické hodnoty										
Průměr $\varnothing 18,78 \pm 0,05$ mm										
CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot						Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
Číslo měření	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	18,789	18,801	18,8	18,805	18,806	18,778	18,778	18,778	18,772	18,775
2	18,792	18,795	18,805	18,809	18,801	18,781	18,769	18,776	18,763	18,771
3	18,799	18,806	18,798	18,796	18,798	18,785	18,772	18,767	18,768	18,779
4	18,793	18,799	18,801	18,8	18,805	18,781	18,776	18,773	18,769	18,779
5	18,798	18,8	18,799	18,804	18,804	18,782	18,772	18,774	18,767	18,773
6	18,796	18,8	18,8	18,802	18,801	18,784	18,77	18,777	18,763	18,778
7	18,791	18,801	18,804	18,807	18,805	18,785	18,776	18,778	18,766	18,774
8	18,797	18,8	18,803	18,804	18,804	18,784	18,776	18,776	18,771	18,772
9	18,79	18,803	18,803	18,8	18,8	18,784	18,776	18,774	18,767	18,776
10	18,793	18,797	18,799	18,808	18,805	18,784	18,771	18,775	18,766	18,774
Průměr:	18,794	18,800	18,801	18,804	18,803	18,783	18,774	18,775	18,767	18,775


 Obr. 40. Graf naměřených geometrických hodnot na  $\varnothing 18,78$  mm

 Tab. 5. Kruhovitost na  $\varnothing 18,78$  mm

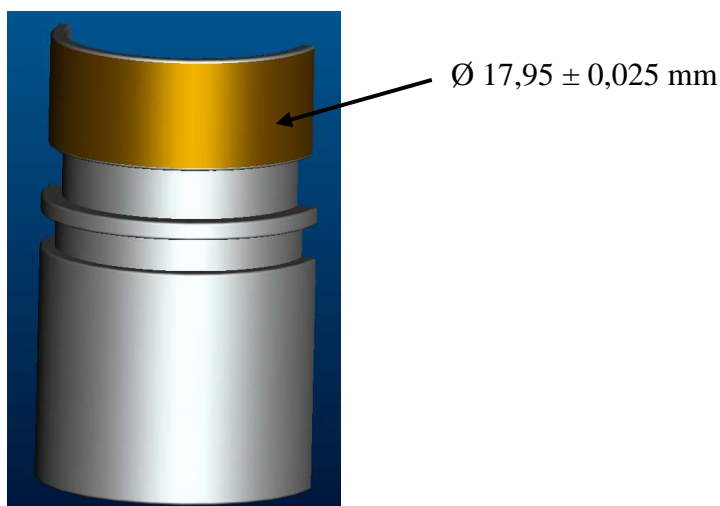
Naměřené geometrické hodnoty										
Kruhovitost na $\varnothing 18,78$ - max. 0,03 mm										
CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot						Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
Číslo měření	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	0,009	0,008	0,007	0,009	0,007	0,008	0,014	0,008	0,008	0,007
2	0,006	0,01	0,005	0,005	0,012	0,013	0,011	0,006	0,014	0,005
3	0,011	0,009	0,009	0,006	0,009	0,009	0,006	0,012	0,009	0,011
4	0,009	0,009	0,006	0,006	0,009	0,012	0,006	0,008	0,011	0,007
5	0,008	0,01	0,005	0,005	0,01	0,011	0,007	0,011	0,012	0,01
6	0,007	0,009	0,008	0,008	0,008	0,011	0,009	0,008	0,012	0,007
7	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,013	0,011	0,011	0,013	0,009
8	0,007	0,008	0,005	0,007	0,012	0,012	0,009	0,009	0,014	0,008
9	0,006	0,009	0,007	0,006	0,011	0,009	0,013	0,009	0,011	0,009
10	0,009	0,009	0,006	0,006	0,011	0,009	0,013	0,009	0,011	0,008
Průměr:	0,008	0,009	0,007	0,007	0,010	0,011	0,010	0,009	0,012	0,008





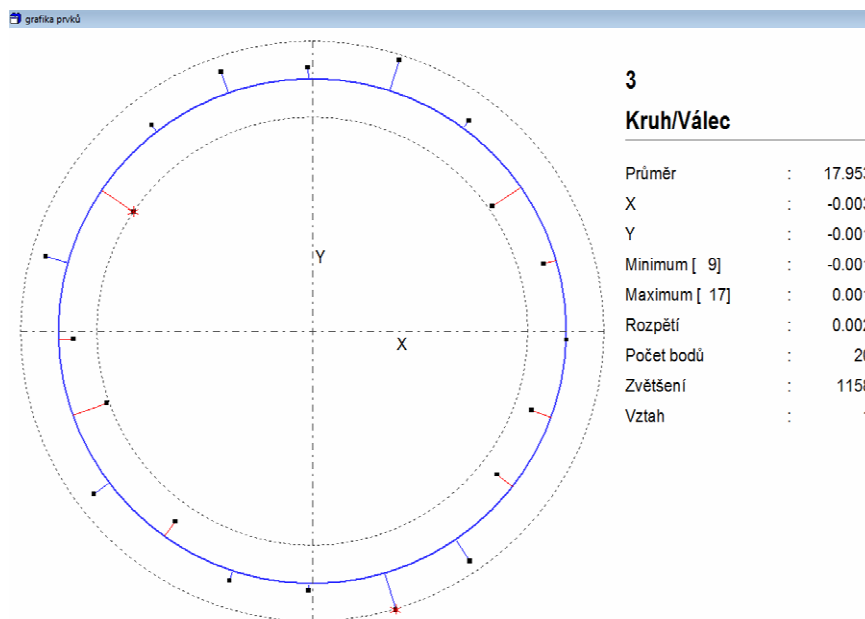
Obr. 41. Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na  $\varnothing 18,78$  mm

➤  $\varnothing 17,95 \pm 0,025$  (Obr. 42):



Obr. 42. Průměr  $17,95 \pm 0,025$  mm

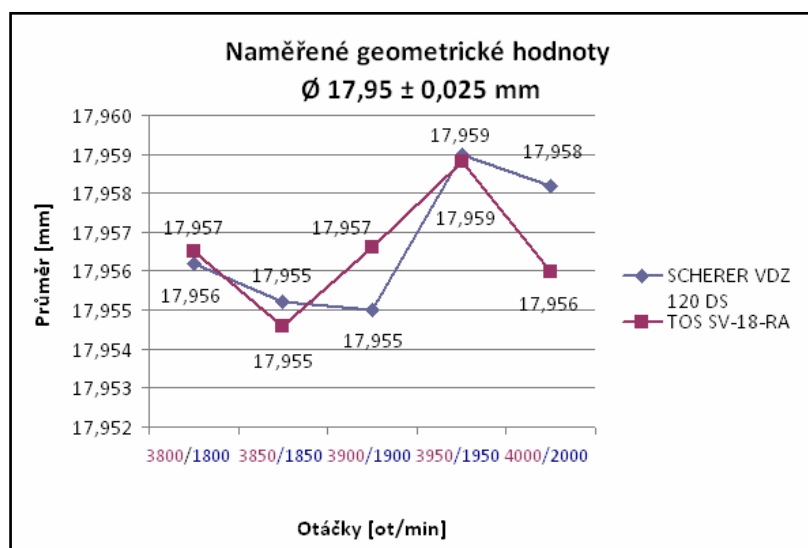
Geometrická přesnost  $\varnothing 17,95 \pm 0,025$  a její kruhovitost na všech vyrobených dílech byla měřena na 3D souřadnicovém stroji WENZEL LH 54. Z tohoto měřicího zařízení byly vyexportovány grafické měřicí protokoly (Obr. 43). Tento průměr byl proměřen 10x za sebou a výsledné hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 6. Kruhovitost byla rovněž proměřena 10x za sebou a tyto naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 7. Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace, jak průměr (Obr. 44) tak i kruhovitost (Obr. 45).



Obr. 43. Grafický měrový protokol Ø 17,95 mm

Tab. 6. Naměřené geometrické hodnoty Ø 17,95 ± 0,025 mm

Naměřené geometrické hodnoty										
Průměr Ø 17,95 ± 0,025 mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	17,958	17,955	17,953	17,963	17,958	17,959	17,956	17,955	17,958	17,956
2	17,958	17,953	17,958	17,964	17,962	17,951	17,952	17,961	17,954	17,951
3	17,954	17,958	17,951	17,967	17,955	17,955	17,957	17,953	17,963	17,959
4	17,957	17,957	17,957	17,967	17,961	17,959	17,956	17,959	17,961	17,958
5	17,955	17,954	17,955	17,964	17,958	17,958	17,953	17,956	17,958	17,958
6	17,955	17,956	17,957	17,964	17,958	17,959	17,956	17,957	17,956	17,956
7	17,957	17,953	17,952	17,967	17,958	17,955	17,955	17,958	17,959	17,956
8	17,957	17,956	17,955	17,966	17,956	17,957	17,953	17,955	17,962	17,958
9	17,956	17,957	17,954	17,964	17,957	17,954	17,953	17,958	17,955	17,952
10	17,955	17,953	17,958	17,966	17,959	17,958	17,955	17,954	17,962	17,956
Průměr:	17,956	17,955	17,955	17,959	17,958	17,957	17,955	17,957	17,959	17,956

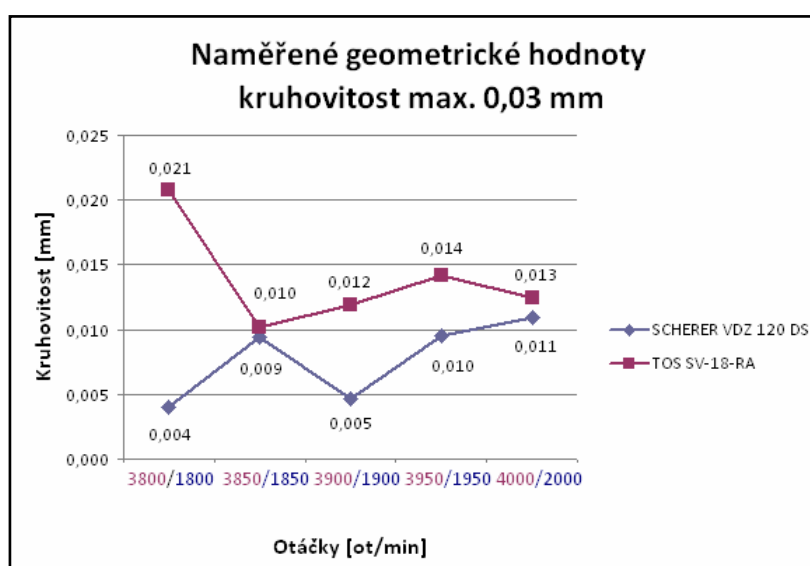


Obr. 44. Graf naměřených geometrických hodnot na Ø 17,95 mm

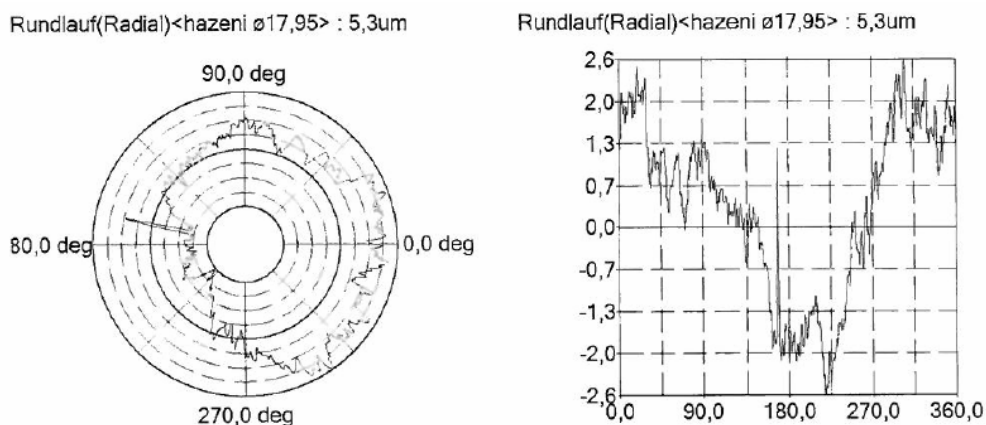


Tab. 7. Kruhovitost na  $\varnothing 17,95$  mm

Naměřené geometrické hodnoty										
Kruhovitost na $\varnothing 17,95$ - max. 0,03 mm										
CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot						Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
Číslo měření	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	0,007	0,006	0,002	0,008	0,009	0,02	0,012	0,012	0,017	0,016
2	0,005	0,013	0,008	0,011	0,014	0,018	0,011	0,01	0,011	0,009
3	0,002	0,011	0,007	0,009	0,008	0,025	0,008	0,013	0,015	0,01
4	0,004	0,007	0,005	0,009	0,009	0,02	0,008	0,013	0,014	0,015
5	0,004	0,008	0,002	0,009	0,011	0,02	0,011	0,011	0,015	0,015
6	0,004	0,012	0,006	0,01	0,009	0,02	0,012	0,012	0,014	0,016
7	0,005	0,009	0,003	0,011	0,011	0,021	0,011	0,013	0,016	0,013
8	0,002	0,006	0,006	0,008	0,012	0,023	0,01	0,012	0,013	0,009
9	0,003	0,01	0,004	0,011	0,013	0,021	0,009	0,013	0,014	0,01
10	0,004	0,012	0,003	0,009	0,013	0,02	0,01	0,01	0,013	0,012
Průměr:	0,004	0,009	0,005	0,010	0,011	0,021	0,010	0,012	0,014	0,013

Obr. 45. Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na  $\varnothing 17,95$  mm

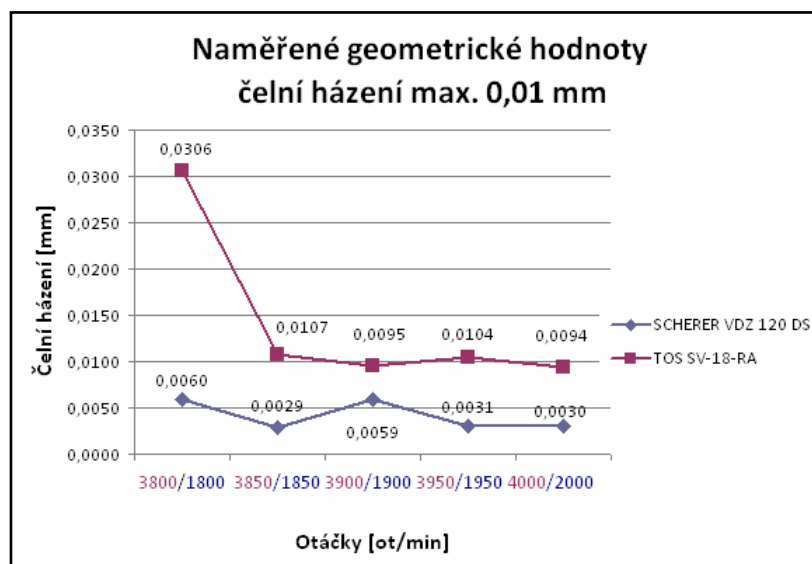
Na průměru  $17,95 \pm 0,025$  mm se dle výkresové dokumentace vyhodnocuje ještě další rozměr a tím je čelní házení, které je vztaženo k základně „A“. V našem případě, je základna „A“ průměr  $18,78 \pm 0,05$  mm. Toto předepsané čelní házení jsem vyhodnocoval pomocí měřicího zařízení – kruhoměr MITUTOYO ROUNDTTEST RA-2000. Z tohoto měřicího zařízení byly vyexportovány grafické měřicí protokoly (Obr. 46). Čelní házení bylo rovněž proměřeno 10x za sebou a tyto naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 8. Naměřené hodnoty u dílů vyrobených na CNC obráběcím centru SCHERER VZD 120 DS jsou v toleranci podle výkresové dokumentace. U dílů, které byly vyrobeny na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA nejsou všechny rozměry v toleranci (Obr. 47).



Obr. 46. Grafický měrový protokol čelního házení na  $\varnothing$  17,95 mm

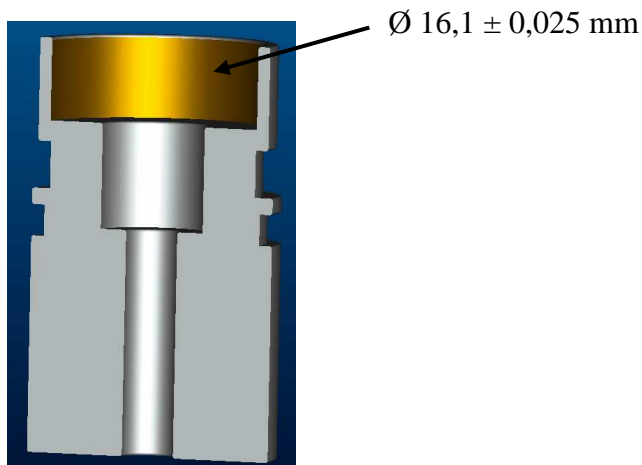
Tab. 8. Čelní házení na  $\varnothing$  17,95 mm

Naměřené geometrické hodnoty										
Čelní házení na $\varnothing$ 17,95 max. 0,01 mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	0,0067	0,0033	0,0053	0,0026	0,0036	0,0311	0,0111	0,0092	0,0104	0,0095
2	0,0058	0,0026	0,0068	0,0035	0,0039	0,0301	0,0106	0,0097	0,0107	0,0096
3	0,0051	0,0027	0,0051	0,0026	0,0024	0,0313	0,0104	0,0095	0,0102	0,0092
4	0,0053	0,003	0,0067	0,0028	0,0024	0,0309	0,0109	0,0094	0,0103	0,0092
5	0,0062	0,0027	0,0058	0,0034	0,0032	0,0306	0,0105	0,0096	0,0104	0,0094
6	0,0067	0,0032	0,0051	0,0028	0,0026	0,0302	0,0108	0,0095	0,0102	0,0093
7	0,0056	0,0027	0,0067	0,0033	0,0028	0,0303	0,0108	0,0093	0,0103	0,0093
8	0,0055	0,0033	0,0058	0,0035	0,0029	0,0303	0,0106	0,0094	0,0105	0,0095
9	0,0064	0,0029	0,0055	0,0033	0,0036	0,0302	0,0107	0,0095	0,0104	0,0093
10	0,0063	0,0028	0,006	0,0027	0,0028	0,0312	0,0107	0,0097	0,0107	0,0095
Průměr:	0,0060	0,0029	0,0059	0,0031	0,0030	0,0306	0,0107	0,0095	0,0104	0,0094



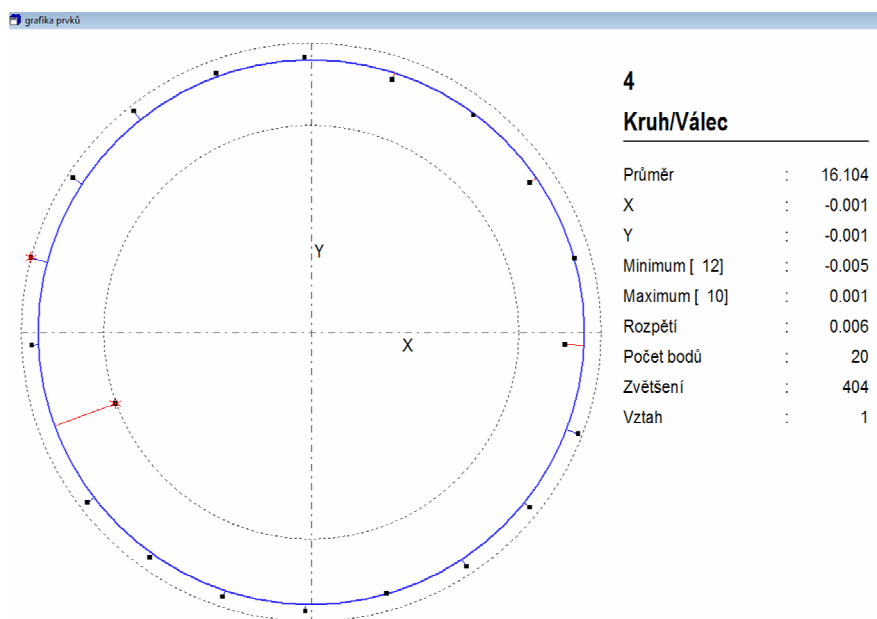
Obr. 47. Graf naměřených geometrických hodnot čelního házení na  $\varnothing$  17,95 mm

➤  $\varnothing 16,1 \pm 0,025$  (Obr. 48):



Obr. 48. Průměr  $16,1 \pm 0,025$  mm

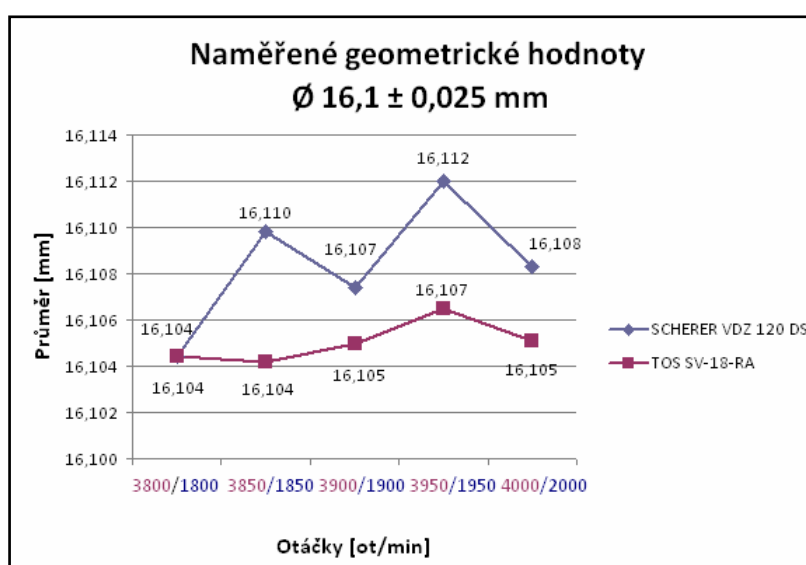
Geometrická přesnost  $\varnothing 16,1 \pm 0,025$  a její kruhovitost na všech vyrobených dílech byla měřena na 3D souřadnicovém stroji WENZEL LH 54. Z tohoto měřicího zařízení byly vyexportovány grafické měřicí protokoly (Obr. 49). Tento průměr byl proměřen 10x za sebou a výsledné hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 9. Kruhovitost byla rovněž proměřena 10x za sebou a tyto naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 10. Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace, jak průměr (Obr. 50) tak i kruhovitost (Obr. 51).



Obr. 49. Grafický měrový protokol  $\varnothing 16,1$  mm

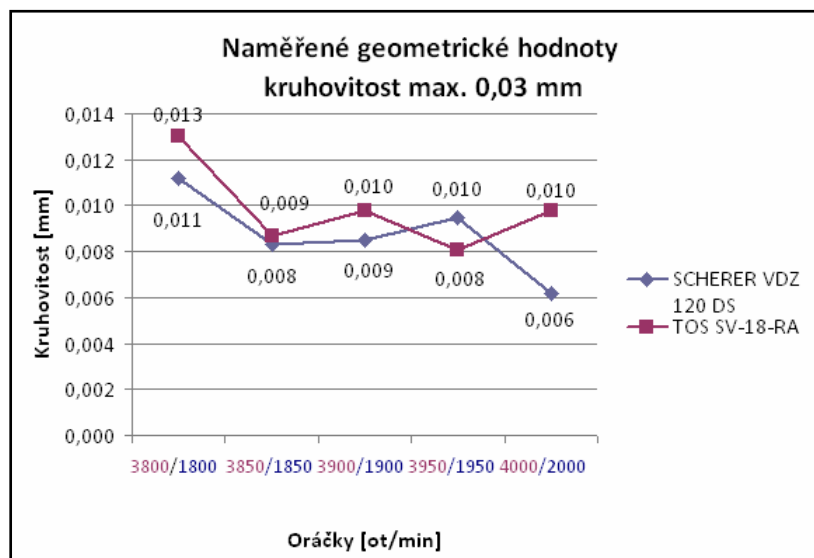
Tab. 9. Naměřené geometrické hodnoty  $\varnothing 16,1 \pm 0,025$  mm

Naměřené geometrické hodnoty										
Průměr $\varnothing 16,1 \pm 0,025$ mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	16,108	16,106	16,104	16,116	16,112	16,103	16,104	16,107	16,101	16,102
2	16,101	16,107	16,109	16,114	16,106	16,105	16,102	16,102	16,112	16,101
3	16,107	16,113	16,107	16,109	16,107	16,107	16,108	16,108	16,102	16,108
4	16,105	16,113	16,108	16,111	16,108	16,103	16,103	16,104	16,108	16,108
5	16,102	16,111	16,108	16,109	16,106	16,106	16,105	16,104	16,104	16,107
6	16,103	16,112	16,107	16,112	16,112	16,104	16,105	16,104	16,111	16,106
7	16,103	16,113	16,109	16,111	16,106	16,105	16,102	16,105	16,111	16,102
8	16,104	16,109	16,108	16,115	16,111	16,104	16,104	16,102	16,111	16,105
9	16,107	16,109	16,106	16,112	16,109	16,104	16,106	16,106	16,103	16,107
10	16,104	16,107	16,108	16,111	16,107	16,103	16,103	16,108	16,104	16,105
Průměr:	16,104	16,110	16,107	16,112	16,108	16,104	16,104	16,105	16,107	16,105


 Obr. 50. Graf naměřených geometrických hodnot na  $\varnothing 16,1$  mm

 Tab. 10. Kruhovitost na  $\varnothing 16,1$  mm

Naměřené geometrické hodnoty										
Kruhovitost na $\varnothing 16,1$ - max. 0,03 mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	0,012	0,011	0,006	0,011	0,007	0,017	0,011	0,008	0,008	0,006
2	0,009	0,005	0,009	0,01	0,008	0,011	0,008	0,013	0,012	0,014
3	0,015	0,007	0,012	0,008	0,004	0,009	0,006	0,007	0,005	0,005
4	0,01	0,009	0,009	0,009	0,006	0,012	0,008	0,01	0,007	0,01
5	0,01	0,007	0,01	0,009	0,006	0,013	0,009	0,01	0,005	0,013
6	0,014	0,005	0,008	0,011	0,008	0,017	0,01	0,011	0,007	0,007
7	0,01	0,011	0,006	0,009	0,004	0,013	0,01	0,009	0,007	0,013
8	0,01	0,009	0,008	0,008	0,005	0,013	0,007	0,013	0,01	0,011
9	0,01	0,011	0,009	0,01	0,006	0,01	0,008	0,008	0,01	0,012
10	0,012	0,008	0,008	0,01	0,008	0,015	0,01	0,009	0,01	0,007
Průměr:	0,011	0,008	0,009	0,010	0,006	0,013	0,009	0,010	0,008	0,010



Obr. 51. Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na  $\varnothing 16,1$  mm

### 5.3.3 Vyhodnocení geometrické přesnosti

Pro vyhodnocení geometrické přesnosti vyrobených dílů, vyrobených pomocí dvou různých výrobních zařízení bylo naměřeno celkem 700 hodnot, které byly zpracovány a vyhodnoceny v kapitole 5.3.2. Tyto naměřené hodnoty se skládali z měření průměru jednotlivých částí tělesa ventilu, kruhovitosti těchto průměrů a čelního házení průměru 17,95 mm, tak jak je uvedeno ve výkresové dokumentaci.

Díky těmto získaným rozměrům bylo zjištěno, že výroba tělesa ventilu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS vede k požadované geometrické přesnosti výrobku a je pro výrobu těchto dílů vhodná. Bylo zjištěno, že i změna otáček při výrobě, nezpůsobila geometrickou nepřesnost vyrobených dílů a všechny rozměry byly v toleranci podle výkresové dokumentace.

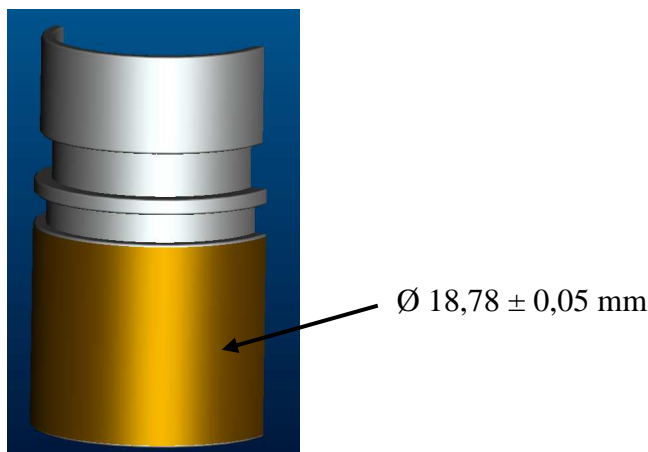
U dílů vyrobených na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA se veškeré průměry a kruhovitosti těchto průměrů také pohybovaly v toleranci dle výkresové dokumentace a změny otáček u výroby jednotlivých dílů rovněž nezpůsobily geometrickou nepřesnost vyrobených dílů. Jediným rozměrem, který při výrobě na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA byl mimo toleranci je čelní házení. Tento rozměr byl mimo výkresovou toleranci u třech vyrobených variant a u zbývajících dvou variant se naměřené hodnoty pohybovali na horní hranici tolerančního pásma. Bylo tedy zjištěno, že výroba dílů na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA v námi zvolených

rozmezí otáček není vhodná pro výrobu těchto dílů z důvodu geometrické nepřesnosti a nedodržení tolerance čelního házení podle výkresové dokumentace.

### 5.3.4 Jakost povrchu

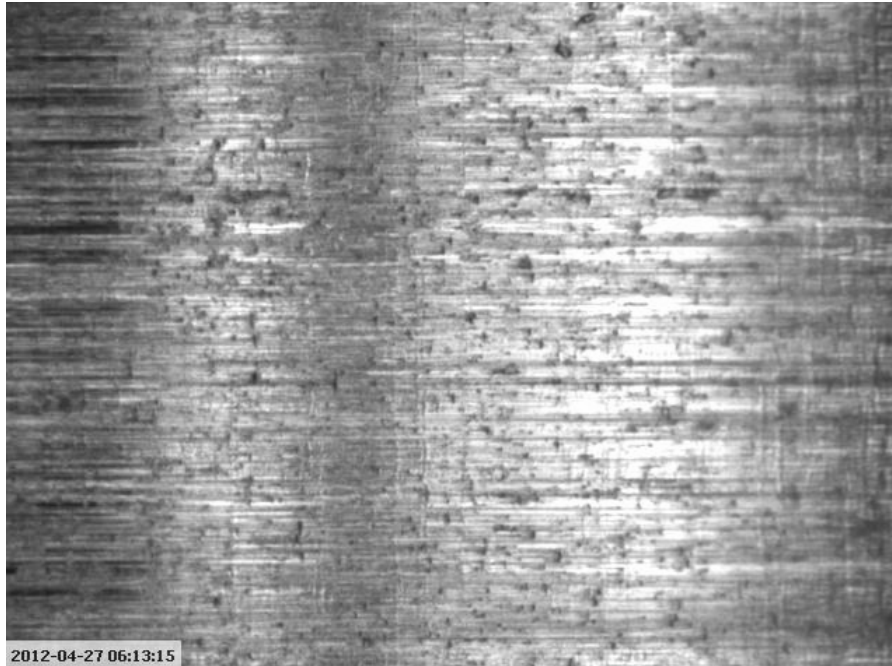
Druhým předpokladem správně vyrobeného dílu je jeho předepsaná jakost povrchu, tak aby povrch odpovídal výkresové dokumentaci. V našem případě je dle výkresové dokumentace předepsaná drsnost povrchu Rz max. 16. Při měření jakosti povrchu jsem se zaměřil opět na tři funkční rozměry tělesa ventilu a to na  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  mm,  $\varnothing 17,95 \pm 0,025$  mm a  $\varnothing 16,1 \pm 0,025$  mm. Pro měření jakosti povrchu jsem použil drsnoměr ZEISS SURFCOM 130A.

- Jakost povrchu na  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  (Obr. 38):



Obr. 38. Průměr 18,78 mm

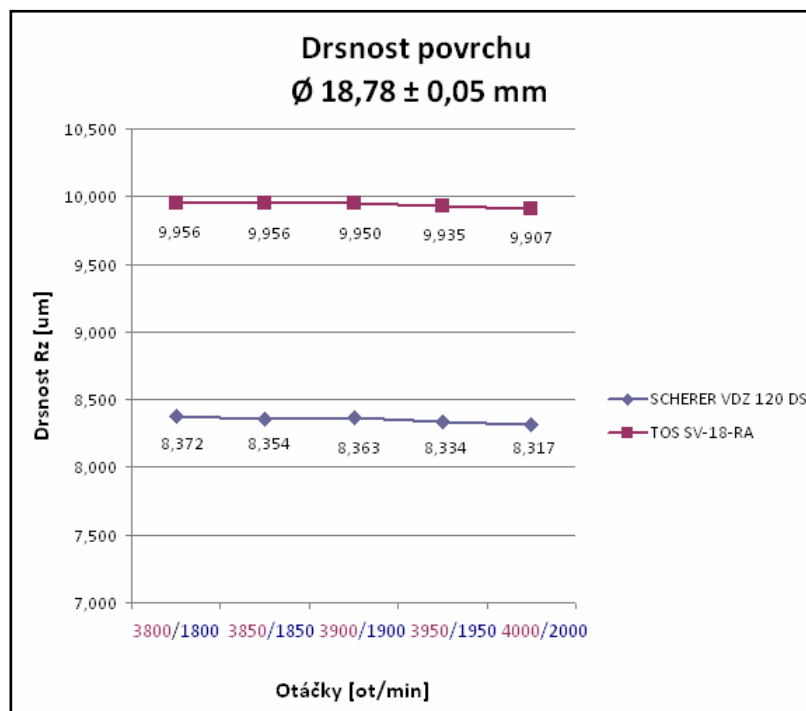
Jakost povrchu na  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  byla měřena na drsnoměru ZEISS SURFCOM 130A a to 20x za sebou, vždy na jiném místě daného průměru. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 11. Pomocí tříosřadnicového optického měřicího CNC přístroje značky VERTEX 310 byly pořízené fotografie jakosti povrchu v 82 násobném zvětšení (Obr. 52). Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace (Obr. 53).



Obr. 52. Foto povrchu na  $\varnothing 18,78$  mm

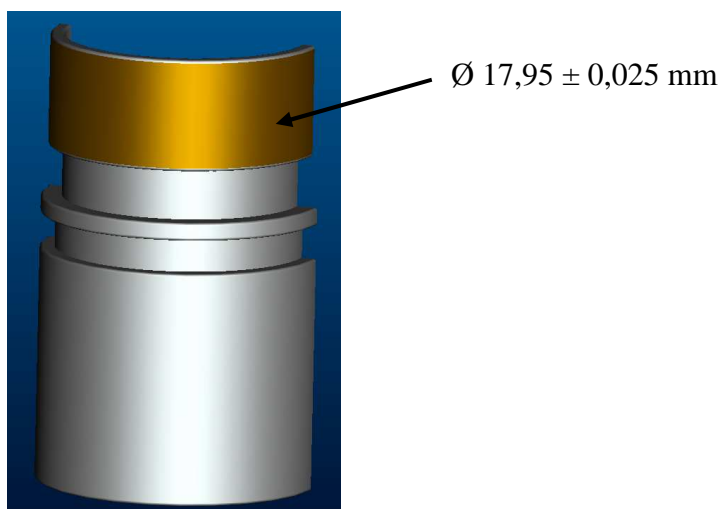
Tab. 11. Drsnost povrchu na  $\varnothing 18,78$  mm

Drsnost povrchu										
Průměr $\varnothing 18,78 \pm 0,05$ mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	8,351	8,345	8,375	8,329	8,335	9,974	9,934	9,947	9,925	9,914
2	8,391	8,387	8,378	8,347	8,301	9,947	9,981	9,957	9,933	9,921
3	8,349	8,351	8,369	8,319	8,314	9,942	9,968	9,961	9,917	9,899
4	8,364	8,33	8,344	8,344	8,325	9,965	9,944	9,963	9,942	9,892
5	8,377	8,347	8,364	8,335	8,294	9,951	9,959	9,935	9,948	9,912
6	8,358	8,368	8,35	8,335	8,307	9,943	9,939	9,954	9,942	9,92
7	8,37	8,339	8,357	8,336	8,323	9,944	9,967	9,951	9,94	9,898
8	8,376	8,37	8,365	8,337	8,311	9,958	9,979	9,94	9,939	9,913
9	8,388	8,386	8,365	8,342	8,298	9,961	9,942	9,952	9,937	9,898
10	8,384	8,352	8,376	8,343	8,328	9,951	9,965	9,952	9,925	9,897
11	8,373	8,339	8,354	8,325	8,334	9,958	9,937	9,955	9,942	9,915
12	8,391	8,37	8,368	8,346	8,32	9,964	9,97	9,939	9,934	9,917
13	8,382	8,386	8,369	8,33	8,313	9,965	9,952	9,958	9,94	9,913
14	8,374	8,336	8,352	8,343	8,315	9,968	9,946	9,959	9,945	9,913
15	8,371	8,353	8,359	8,325	8,326	9,955	9,961	9,957	9,926	9,894
16	8,367	8,349	8,346	8,323	8,314	9,95	9,949	9,938	9,927	9,913
17	8,37	8,336	8,365	8,346	8,334	9,967	9,939	9,947	9,922	9,91
18	8,391	8,338	8,373	8,323	8,3	9,949	9,969	9,937	9,946	9,895
19	8,361	8,373	8,352	8,323	8,316	9,962	9,959	9,94	9,94	9,899
20	8,36	8,333	8,369	8,32	8,326	9,946	9,959	9,96	9,92	9,902
Průměr:	8,372	8,354	8,363	8,334	8,317	9,956	9,956	9,950	9,935	9,907



Obr. 53. Graf naměřených hodnot drsnosti na Ø 18,78 mm

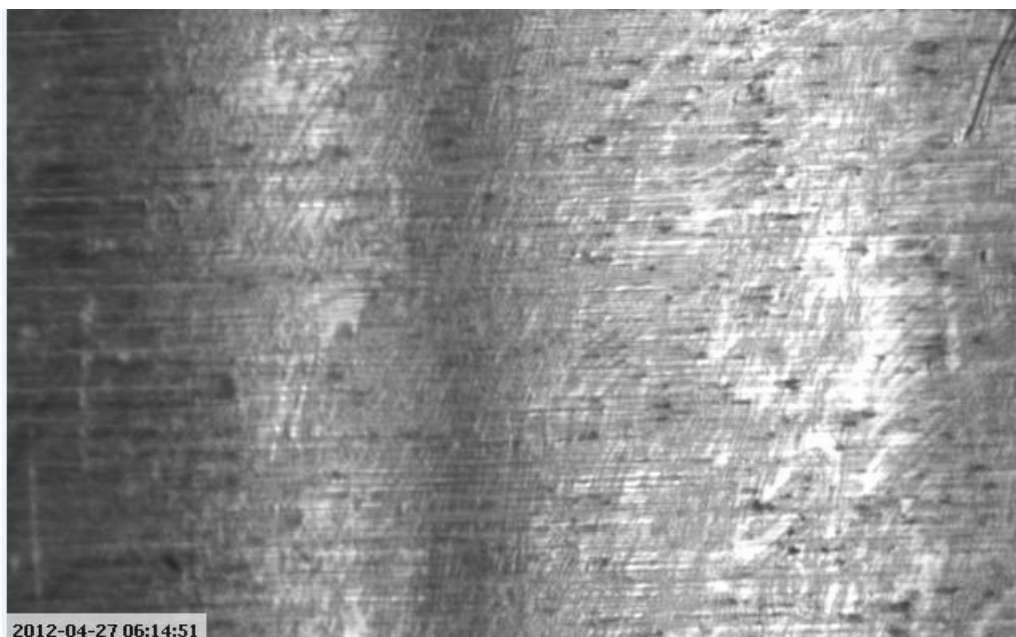
➤ Jakost povrchu na Ø 17,95 ± 0,025 (Obr. 42)



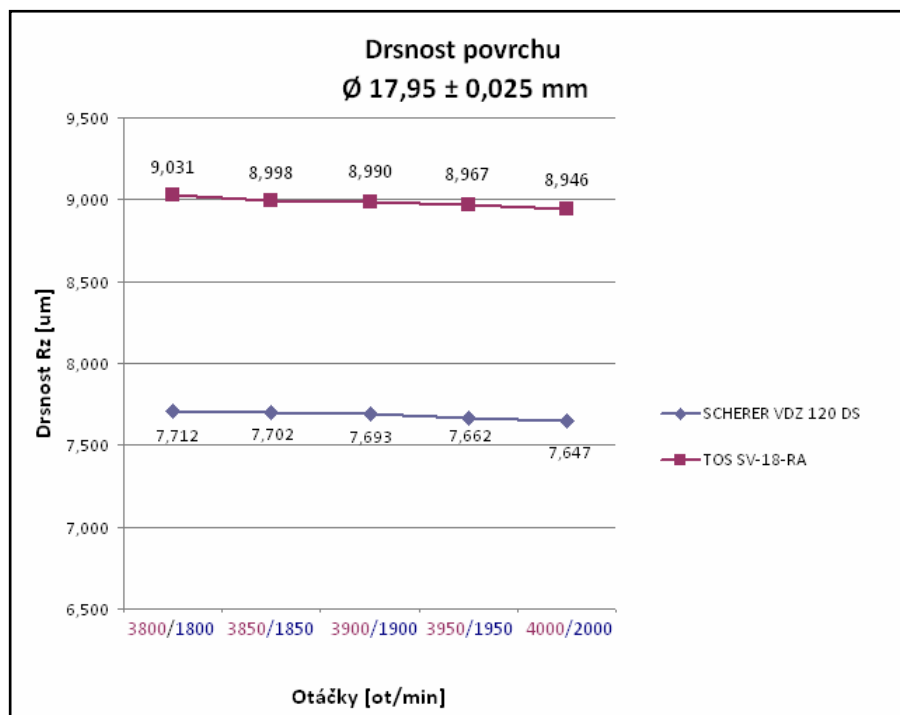
Obr. 42. Průměr 17,95 ± 0,025 mm

Jakost povrchu na Ø 17,95 ± 0,025 byla měřena na drsnoměru ZEISS SURFCOM 130A a to 20x za sebou, vždy na jiném místě daného průměru. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 12. Pomocí tříosřadnicového optického měřicího CNC přístroje značky VERTEX 310 byly pořízené fotografie jakosti povrchu v 82 násobném zvětšení (Obr. 54). Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace (Obr. 55).



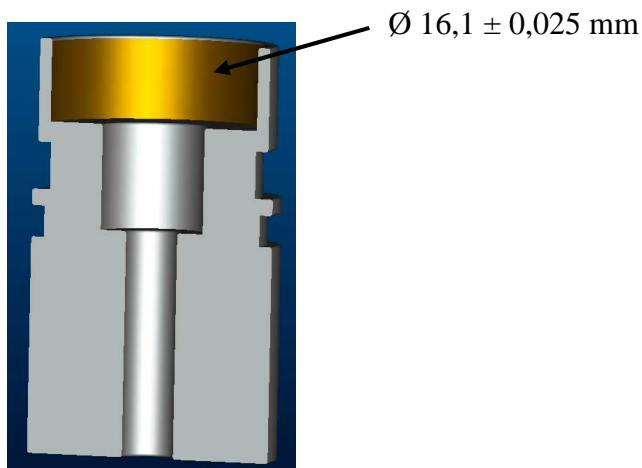
Obr. 54. Foto povrchu na  $\varnothing 17,95$  mmTab. 12. Drsnost povrchu na  $\varnothing 17,95$  mm

Drsnost povrchu										
Průměr $\varnothing 17,95 \pm 0,025$ mm										
CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot						Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
Číslo měření	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	7,725	7,708	7,708	7,645	7,636	9,041	8,971	9,011	8,992	8,955
2	7,708	7,716	7,698	7,667	7,629	9,017	8,992	9,025	8,982	8,964
3	7,73	7,682	7,702	7,649	7,647	9,055	9,011	8,974	8,953	8,974
4	7,716	7,695	7,672	7,683	7,639	9,036	9,021	8,966	8,942	8,934
5	7,69	7,711	7,691	7,652	7,671	9,009	9,008	8,991	8,963	8,924
6	7,709	7,706	7,701	7,645	7,636	9,034	8,978	8,97	8,988	8,93
7	7,712	7,712	7,686	7,654	7,64	9,041	8,985	9,008	8,986	8,924
8	7,707	7,695	7,706	7,646	7,666	9,041	8,99	8,976	8,963	8,928
9	7,726	7,688	7,677	7,673	7,642	9,022	8,989	8,987	8,952	8,931
10	7,726	7,708	7,681	7,65	7,664	9,027	9,003	9,002	8,973	8,935
11	7,706	7,705	7,676	7,663	7,658	9,028	9,007	8,972	8,966	8,96
12	7,698	7,698	7,702	7,671	7,634	9,009	9,006	8,997	8,985	8,932
13	7,722	7,713	7,692	7,645	7,647	9,024	8,973	8,972	8,957	8,97
14	7,717	7,704	7,701	7,682	7,664	9,051	9,004	8,979	8,969	8,948
15	7,693	7,709	7,703	7,677	7,651	9,047	9,016	8,971	8,946	8,937
16	7,73	7,694	7,703	7,682	7,635	9,012	9,021	8,998	8,964	8,964
17	7,703	7,694	7,683	7,65	7,644	9,016	8,995	8,985	8,968	8,945
18	7,693	7,714	7,691	7,649	7,64	9,05	8,98	9,013	8,953	8,94
19	7,696	7,706	7,704	7,676	7,631	9,045	9,005	9,009	8,989	8,961
20	7,727	7,684	7,68	7,677	7,666	9,021	9,001	8,986	8,95	8,963
Průměr:	7,712	7,702	7,693	7,662	7,647	9,031	8,998	8,990	8,967	8,946



Obr. 55. Graf naměřených hodnot drsnosti na Ø 17,95 mm

- Jakost povrchu na Ø 16,1 ± 0,025 (Obr. 48):

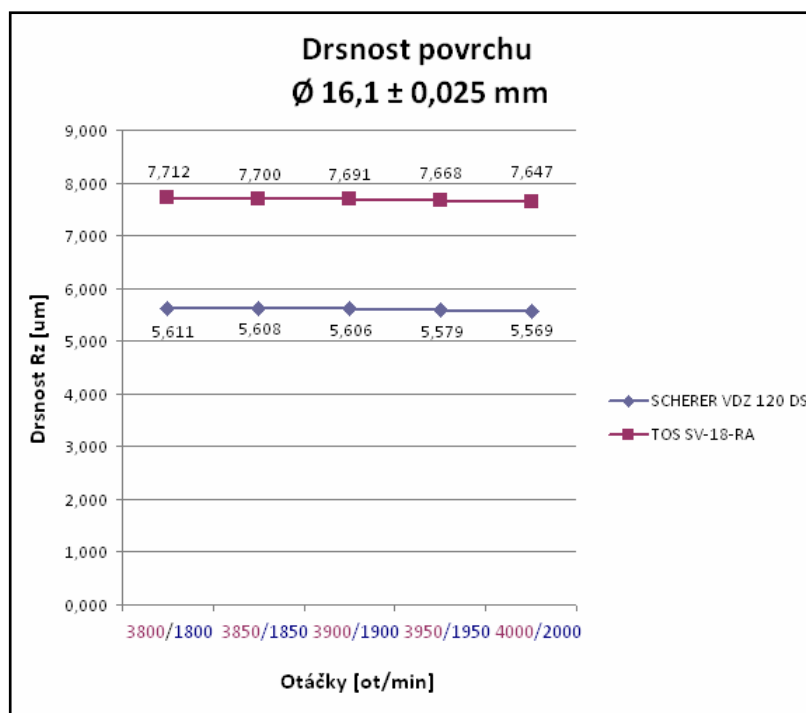


Obr. 48. Průměr 16,1 ± 0,025 mm

Jakost povrchu na Ø 16,1 ± 0,025 byla měřena na drsnoměru ZEISS SURFCOM 130A a to 20x za sebou, vždy na jiném místě daného průměru. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 13. Všechny tyto naměřené hodnoty jsou v toleranci podle výkresové dokumentace (Obr. 56).

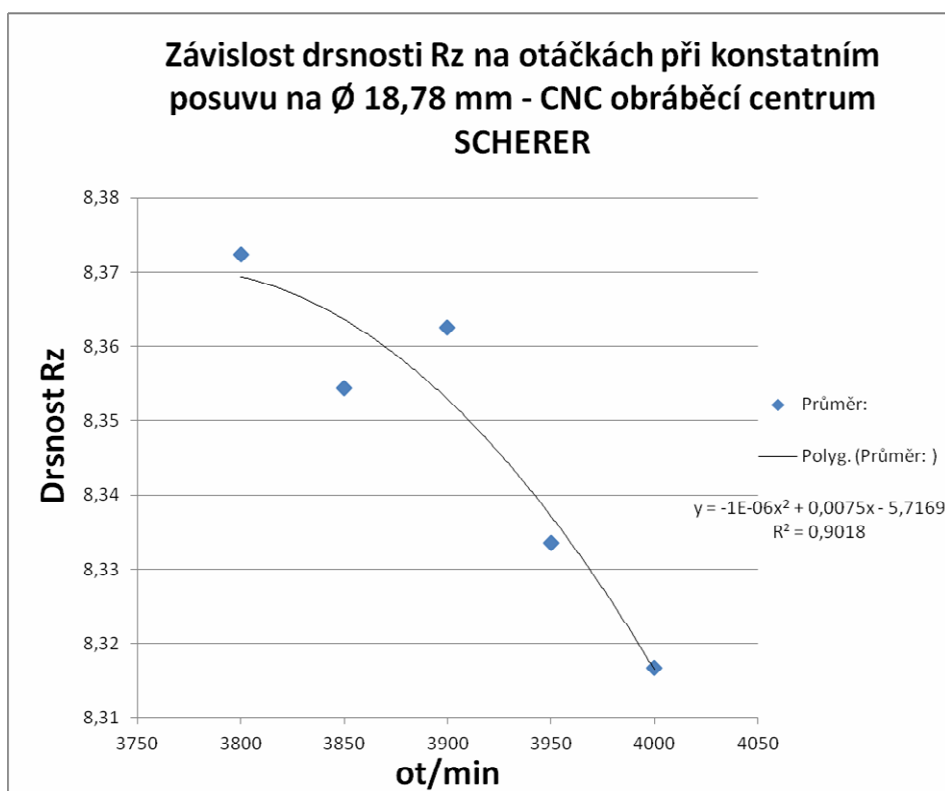
Tab. 13. Drsnost povrchu na  $\varnothing 16,1$  mm

Drsnost povrchu										
Průměr $\varnothing 16,1 \pm 0,025$ mm										
Číslo měření	CNC Scherer - posuv: 0,15 mm/ot					Hrotový soustruh - posuv: 0,15 mm/ot				
	3800 ot/min	3850 ot/min	3900 ot/min	3950 ot/min	4000 ot/min	1800 ot/min	1850 ot/min	1900 ot/min	1950 ot/min	2000 ot/min
1	5,596	5,621	5,625	5,561	5,562	7,707	7,688	7,691	7,682	7,664
2	5,629	5,605	5,611	5,574	5,588	7,726	7,708	7,701	7,677	7,658
3	5,587	5,618	5,608	5,591	5,559	7,726	7,705	7,686	7,682	7,634
4	5,593	5,599	5,594	5,587	5,552	7,706	7,698	7,706	7,65	7,647
5	5,617	5,592	5,589	5,582	5,571	7,698	7,713	7,677	7,649	7,664
6	5,617	5,618	5,599	5,589	5,576	7,699	7,694	7,699	7,675	7,639
7	5,607	5,612	5,622	5,582	5,563	7,717	7,712	7,705	7,649	7,641
8	5,618	5,609	5,618	5,576	5,588	7,723	7,694	7,68	7,656	7,639
9	5,597	5,616	5,591	5,582	5,561	7,707	7,697	7,703	7,677	7,642
10	5,614	5,615	5,61	5,59	5,572	7,723	7,703	7,686	7,672	7,641
11	5,623	5,602	5,621	5,566	5,584	7,709	7,689	7,699	7,666	7,66
12	5,592	5,61	5,591	5,566	5,552	7,722	7,689	7,682	7,677	7,635
13	5,625	5,611	5,614	5,59	5,563	7,703	7,705	7,704	7,671	7,638
14	5,61	5,601	5,589	5,563	5,557	7,701	7,711	7,69	7,655	7,649
15	5,608	5,609	5,606	5,59	5,574	7,703	7,691	7,681	7,68	7,66
16	5,609	5,614	5,61	5,589	5,57	7,704	7,705	7,681	7,663	7,636
17	5,607	5,603	5,624	5,562	5,568	7,718	7,711	7,677	7,662	7,66
18	5,628	5,606	5,601	5,585	5,587	7,722	7,697	7,691	7,673	7,641
19	5,628	5,607	5,593	5,561	5,561	7,708	7,694	7,689	7,664	7,635
20	5,621	5,592	5,594	5,59	5,569	7,72	7,698	7,69	7,678	7,649
Průměr:	5,611	5,608	5,606	5,579	5,569	7,712	7,700	7,691	7,668	7,647

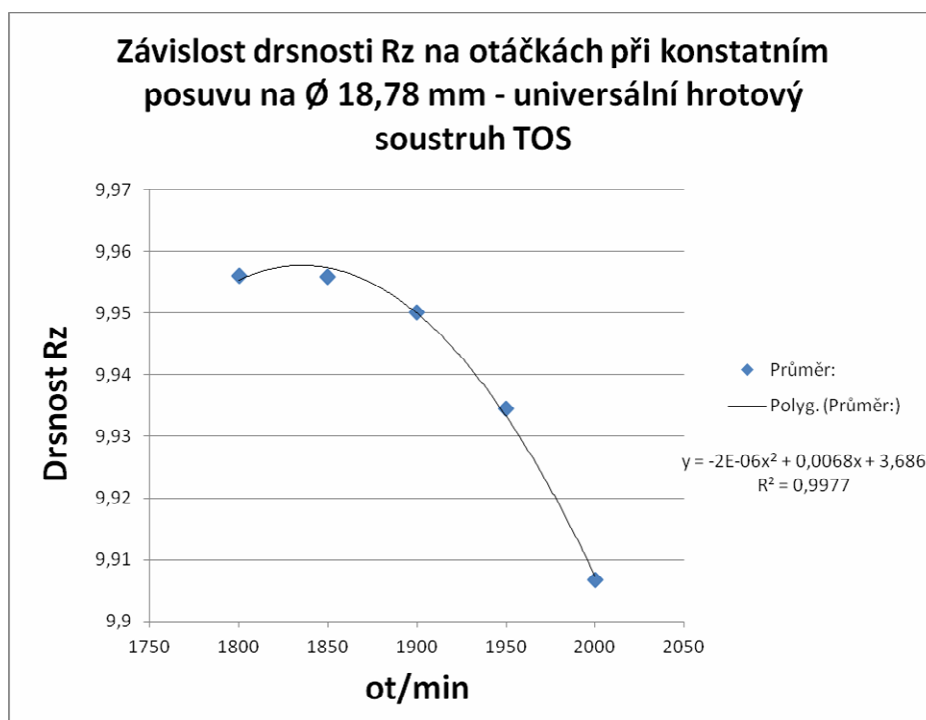
Obr. 56. Graf naměřených hodnot drsnosti na  $\varnothing 16,1$  mm

Po proměření jakosti povrchu u všech zkoumaných průměrů, jsem pro jednotlivé průměry vytvořil závislost parametru drsnosti Rz na otáčkách jednotlivých výrobních zařízení při konstantním posuvu. Podle vygenerované rovnice z grafu modelu závislosti parametru drsnosti Rz na otáčkách při konstantním posuvu jsem zkoumal pravděpodobnou změnu jakosti povrchu při změně otáček u obou výrobních zařízení.

- Model závislosti parametru drsnosti Rz na otáčkách při konstantním posuvu u  $\varnothing$  18,78 ± 0,05 mm.

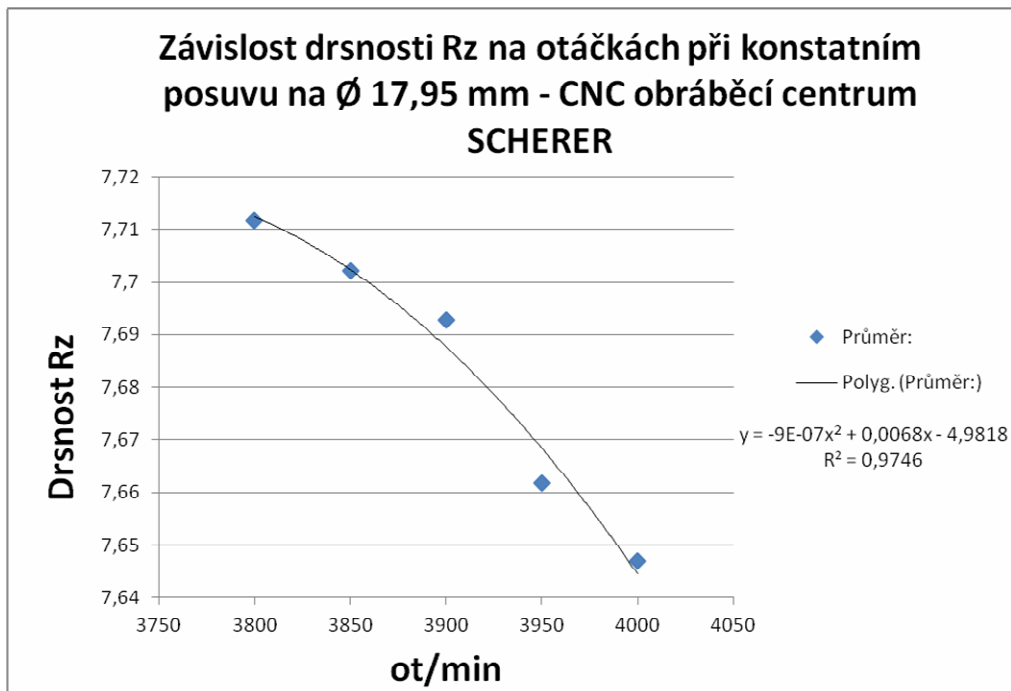


Obr. 57. Závislost drsnosti CNC SCHERER na  $\varnothing$  18,78 mm

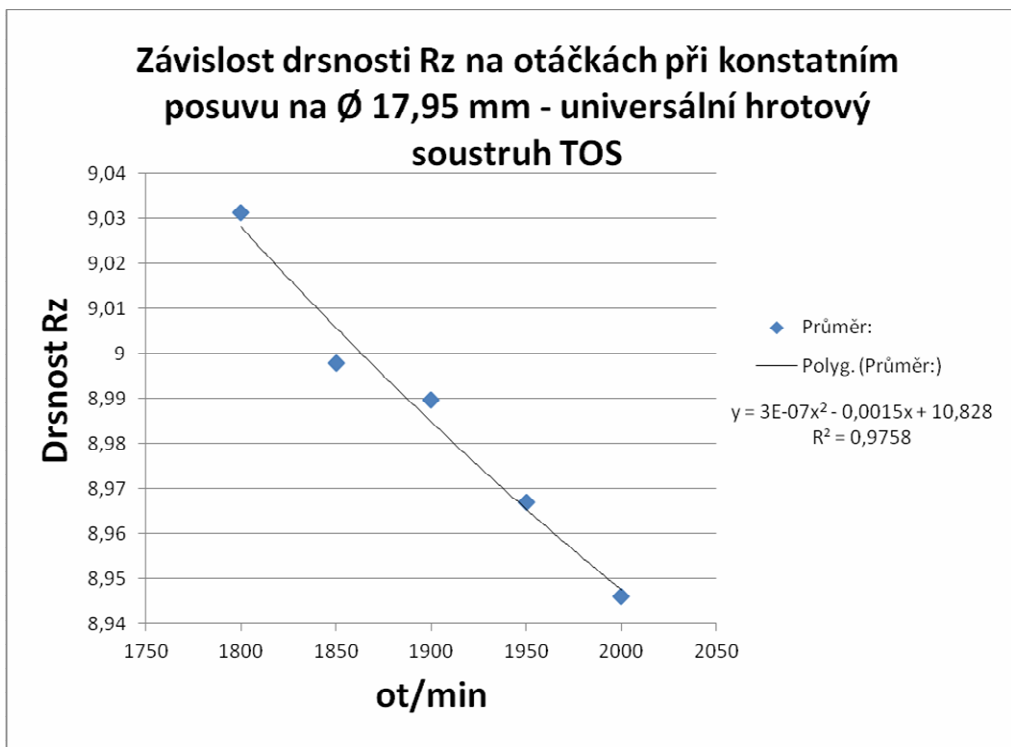


Obr. 58. Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na  $\varnothing$  18,78 mm

- Model závislosti parametru drsnosti Rz na otáčkách při konstantním posuvu u  $\varnothing$  17,95 ± 0,05 mm.

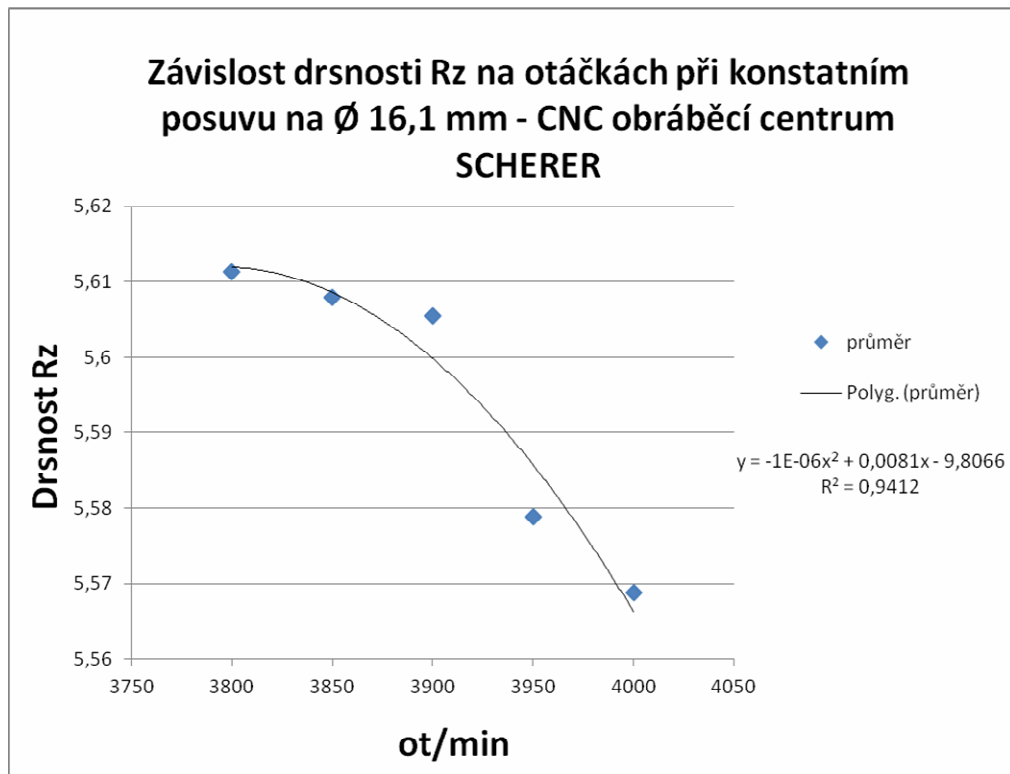


Obr. 59. Závislost drsnosti CNC SCHERER na  $\varnothing$  17,95 mm

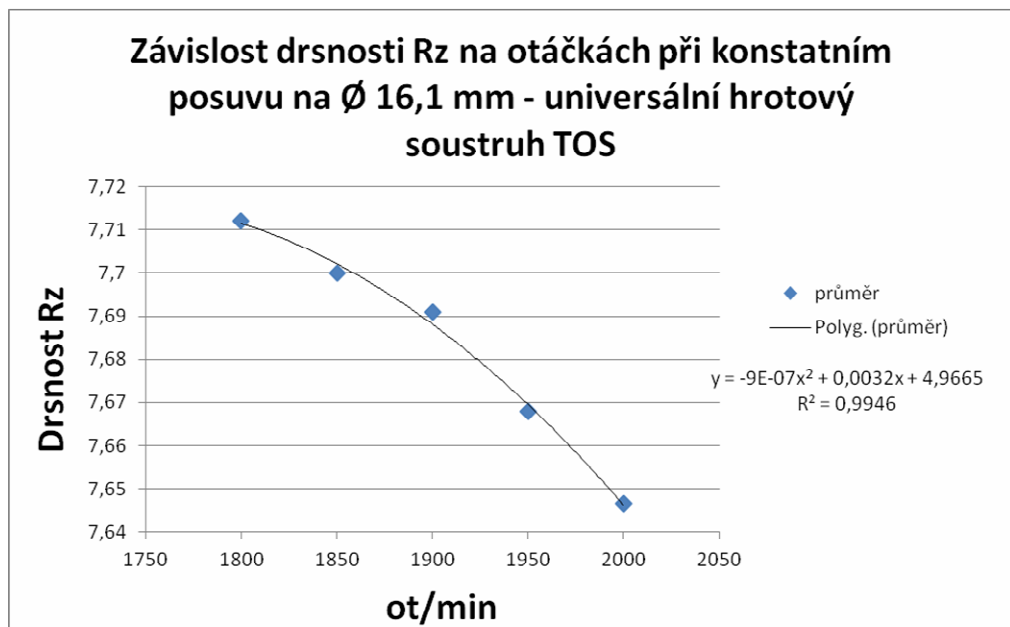


Obr. 60. Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na  $\varnothing$  17,95 mm

- Model závislosti parametru drsnosti Rz na otáčkách při konstantním posuvu u  $\varnothing$  16,1 ± 0,05 mm.



Obr. 61. Závislost drsnosti CNC SCHERER na  $\varnothing$  16,1 mm



Obr. 62. Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na  $\varnothing$  16,1 mm

### 5.3.5 Vyhodnocení jakosti povrchu

V předchozí kapitole 5.3.4 bylo naměřeno 600 hodnot drsnosti povrchu pro potřeby zkoumání a vyhodnocování drsnosti Rz. Byla zde vyhodnocována jakost povrchu u již zmíněných průměru na tělese ventilu, který byl vyroben na dvou různých výrobních zařízeních při konstantním posuvu, ale rozlišných otáčkách vřetene daného stroje.

Díky těmto získaným a vyhodnoceným hodnotám drsnosti zkoumaného povrchu bylo zjištěno, že všechny zkoumané povrchy jsou v toleranci podle výkresové dokumentace a nepřesahují předepsanou drsnost povrchu Rz 16. Jak je patrné z grafu z předchozí kapitoly 5.3.4 při vyhodnocování jakosti povrchu, vede zvyšování otáček vřetene při výrobě dílu u obou výrobních zařízení ke zlepšení kvality jakosti povrchu a drsnost Rz tedy v závislosti na zvyšování otáček vřetene klesá. Bylo tedy prokázáno, že výroba tělesa ventilu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS a universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA vede k požadované jakosti povrchu výrobku.

V závěrečné části předcházející kapitoly 5.3.4 byl zhotoven model závislosti parametru drsnosti Rz na otáčkách jednotlivých výrobních zařízení při konstantním posuvu. Tento model byl vyhotoven pro zkoumané průměry tělesa ventilu jak na dílech vyrobených na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS tak i na universálním hrotovém soustruhu TOS SV-18-RA. Na základě porovnání těchto vytvořených modelů bylo zjištěno, že obě výrobní zařízení produkují při různých otáčkách odlišnou jakost zkoumaného povrchu. Bylo zde prokázáno, že se zvyšujícími otáčky vřetene při výrobě tělesa ventilu klesá drsnost a tím se zvyšuje kvalita povrchu vyrobeného dílu.

## 5.4 Technologický postup výroby tělesa ventilu

### 5.4.1 Vytvoření technologického postupu pro CNC obráběcí centrum SCHERER

Na základě získaných informací z předchozích kapitol, v kterých byla zkoumána geometrická přesnost a jakost povrchu vyráběného dílu, jsem zvolil pro výrobu tělesa ventilu CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS. Jako optimální řezné podmínky pro výrobu tělesa ventilu jsem zvolil dle poznatků a výsledků měření geometrické přesnosti a jakosti povrchu z předcházejících kapitol posuv 0,15 mm za otáčku a otáčky vřetene byly zvoleny 3900 otáček za minutu.

Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA není vhodné pro výrobu tělesa ventilu použít z důvodu dlouhého času cyklu výroby, zjištěných nevyhovujících geometrických parametrech, které díl vykazuje a dále i nemožnosti CNC automatické výměny nástroje při výrobě tělesa ventilu.

Pro tyto zvolené řezné podmínky, jsem začal vytvářet technologický postup pro výrobu dílu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS.

1. Nástrojem T1 (vrták Ø 7,95 mm – Wnt 117 34 080) otáčky vřetene 3900 ot/min, posuv nástroje 0,08 mm/ot. Je vyvrtán otvor do hloubky 13,35 mm (Obr. 63).

```
T1 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X0 ;VRTANI DM=7.95
Z2 M8
G1 F0.08 Z-13.35
G0 Z20 G95 S5000 M3
M9
```

Obr. 63. Technologický postup – krok č. 1

2. Pomocí nástroje T2 (výměnný plátek Ceratizit CTC 1435) při stejných otáčkách 3900 ot/min a posuvu nástroje 0,15 mm/ot je hrubován Ø 16,1 mm (Obr. 64)

```
T2 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X16 ;HRUBOVANI DM=16.1
Z2 M8
G1 F0.15 Z-5.9
G4 S0.5
G1 X15.6
G0 Z20
M9
```

Obr. 64. Technologický postup – krok č.2

3. Dalším krokem při výrobě dílu je soustružení Ø 16,1 mm na přesný rozměr. Tento krok je prováděn nástrojem T3 (výměnný plátek Mitsubishi NX 303) při otáčkách vřetene 3900 ot/min a posuvu nástroje 0,15 mm/ot (Obr. 65).

```
T3 D1 M6 G95 S3900 M3 X19 ;SLICHTOVANI DM=16.1
Z1.5 M8
G1 X18 Z0.1 F0.15
G1 X16.1 F0.15
G1 Z-6.0 F0.15
X7.6 F0.15
G0 Z20
M9
```

Obr. 65. Technologický postup – krok č.3



4. Nástrojem T4 (výměnný plátek PENTA 24N157J079) při posuvu nástroje 0,15 mm/ot a otáčkami vřetene 3900 ot/min je opracován na přesný rozměr  $\varnothing 17,95$  a  $\varnothing 18,78$  mm (Obr. 66).

```
T4 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X17.95 ; DM=17.95+18.78
Z2 M8
G1 Z-8.0 F0.15
G1 X18.78
Z-31.0
G0 X19.5
G0 Z20
M9
```

*Obr. 66. Technologický postup – krok č.4*

5. Dalším krokem v technologickém postupu při výrobě tělesa ventilu, je soustružení zápichu na  $\varnothing 16,8$  a  $\varnothing 16$  mm. Zápich je vytvořen nástrojem T5 (výměnný plátek Ph Horn TF 45) při posuvu nástroje 0,15 mm/ot a otáčkami vřetene 3900 ot/min (Obr. 67).

```
T5 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X21.0 ; ZAPIH DM=16.8 + 16.0
Z-14.35 M8
G1 F2.0 X19.5
X16.8 F0.15
G4 S1
G0 X19.5
G0 Z10.9
G1 X16.0 F0.15
G4 S0.5
G1 Z-9.75 F0.15
G4 S0.5
G0 X19.5
G0 Z20
M9
```

*Obr. 67. Technologický postup – krok č.5*

6. Nástrojem T6 (vrták  $\varnothing 3,98$  mm – Wnt 10731025 HM) při otáčkách vřetene 3900 ot/min a posuvu nástroje 0,08 mm/ot je vyvrtán otvor o  $\varnothing 3,98$  mm (Obr. 68).

```
T6 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X0 ; VRTANI DM=3.98
G0 Z1 M8
G0 Z-13.0
G1 Z-32.0 F0.08
G0 Z20.0
M9
```

*Obr. 68. Technologický postup – krok č.6*

7. Posledním krokem v technologickém postupu při výrobě tělesa ventilu je zarovnání dílu na požadovanou délku 30 mm. Tento krok je proveden nástrojem T4 (výměnný

plátek PENTA 24N157J079) při posuvu nástroje 0,15 mm/ot a otáčkami vřetene 3900 ot/min (Obr. 69).

```
T4 D1 M6 G95 S3900 M3 G0 X21.0 ; UPÍCHNUTÍ
G0 Z-30.0 M8
G1 X0.0 F0.15
G0 Z20.0
M9
```

*Obr. 69. Technologický postup – krok č.7*

Popis použitých příkazových zkratk při tvorbě technologického postupu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS:

- D1 – číslo břitu
- M6 – výměna nástroje
- G95 – posuv na otáčku
- M3 – otáčky vřetene do prava
- M8 – chlazení zapnuto
- M9 – chlazení vypnuto

#### **5.4.2 Způsobilost stroje**

Z důvodu ověření správnosti technolického postupu a volby řezných podmínek jsem provedl způsobilost stroje, tak aby bylo zcela prokazatelné, že daný stroj je vhodný pro sériovou výrobu tělesa ventilu.

Výrobní stroj SCHERER VDZ 120 DS byl seřízen k výrobě dílu na střed tolerancí zkoumaných průměrů podle výkresové dokumentace. Na takto seřízeném stroji byla zahájena výroba. Pro potřeby zjištění způsobilosti stroje jsem odebral z produkce 50 za sebou jdoucích vyrobených kusů, které budou proměřeny na zkoumané průměry.

Změříme 50 kusů za sebou pomocí 3D souřadnicového stroje WENZEL LH 54. Tím že vyrobené díly měříme za sebou idealizujeme podmínky měření a minimalizujeme vliv:

- pracovníka – nezmění se podstatně jeho pozornost
- materiálu – je maximálně homogení
- metody – nestihnou se podstatně změnit otáčky, tlaky, časy atd.

- prostředí – nestihne se podstatně změnit teplota, tlak, vlhkost atd.
- měření – měří jeden člověk jedním měřidlem

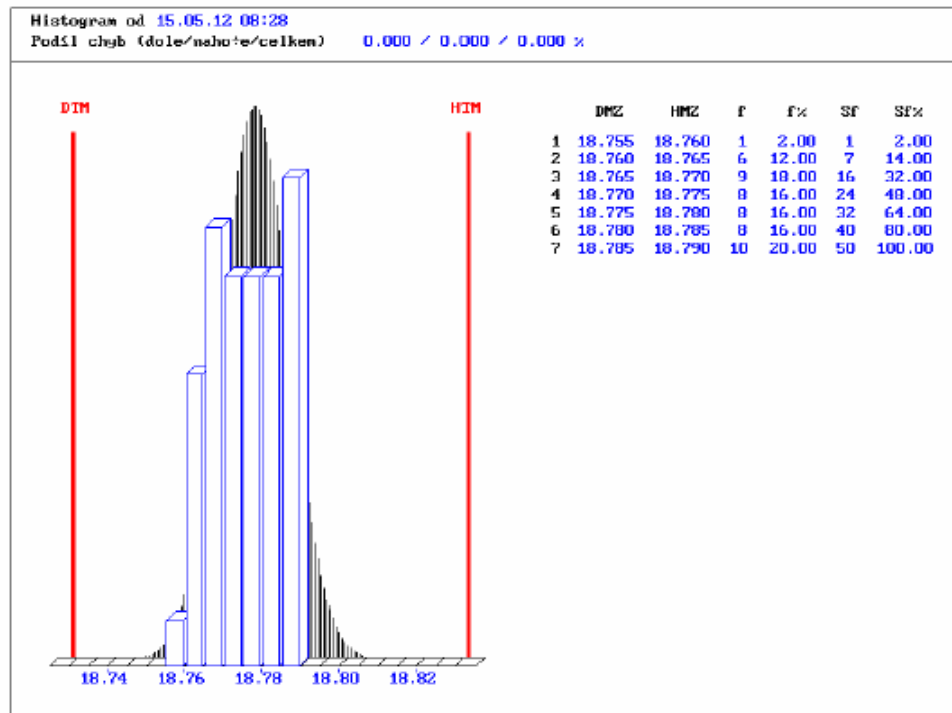
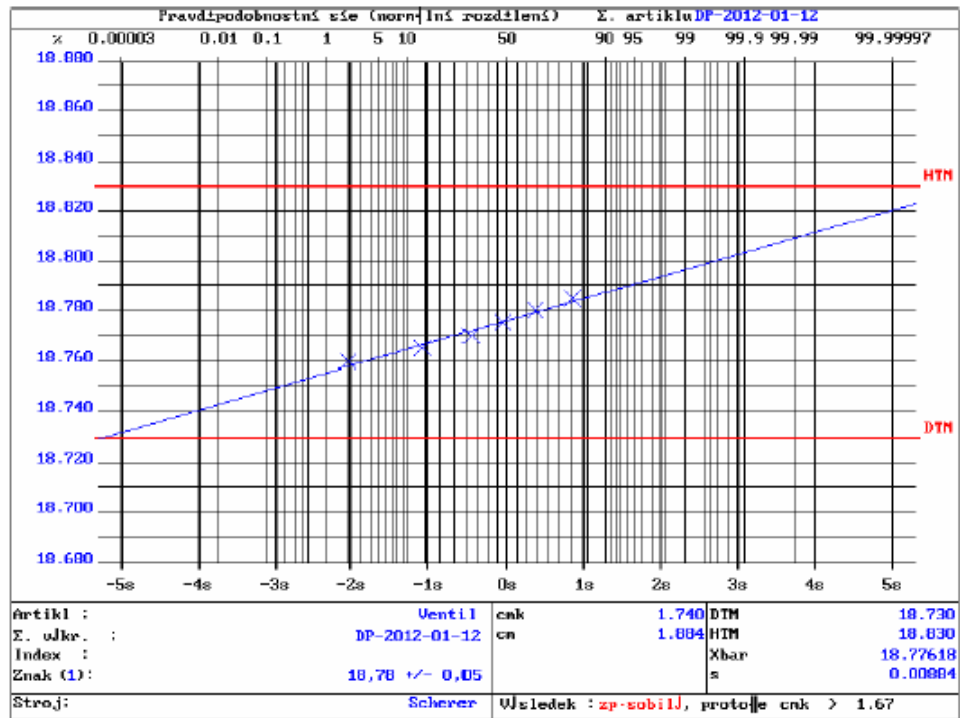
Z naměřených hodnot jsem zpracoval histogram pomocí programu Q – STUDIO, verze (Win32) CASQ-it od výrobce Böhme & Weihs Systemtechnik GmbH & CO. KG.

Tak aby se stroj stal způsobilý pro proces výrobu tělesa ventilu, je požadavek, aby hodnota  $C_{mk} > 1,67$ .

- Způsobilost stroje na  $\varnothing 18,78 \pm 0,05$  mm:

Po vyhodnocení naměřených 50 za sebou vyrobených dílů, pomocí programu Q – STUDIO, vyšla způsobilost stroje pro  $\varnothing 18,78$  mm  $C_{mk} = 1,74$  (Obr. 70). Tato hodnota 1,74 je vyšší než požadovaná hodnota  $C_{mk} 1,67$ , proto je stroj způsobilý pro výrobu tělesa ventilu.

DP-2012-01-12

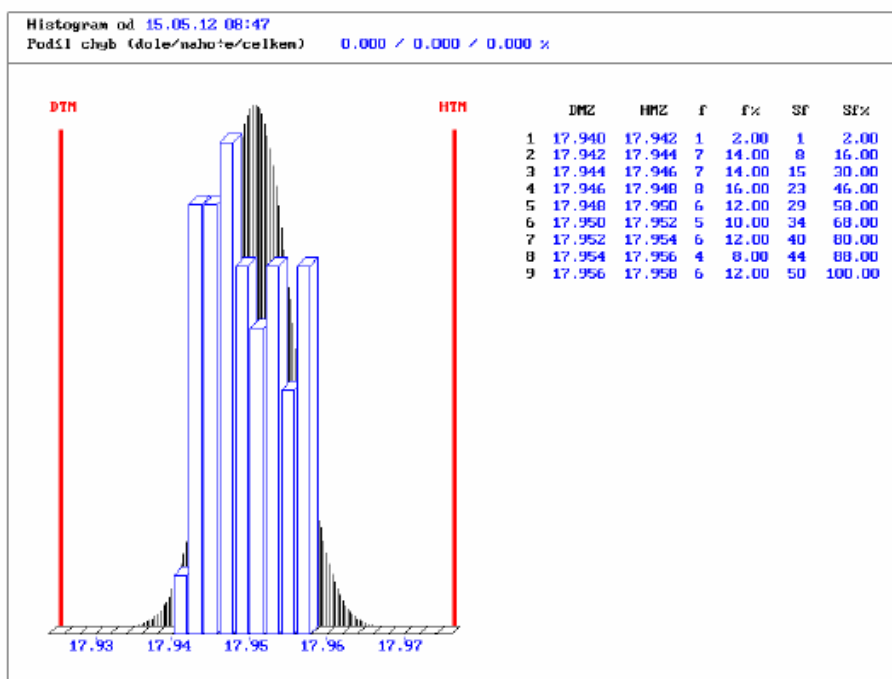
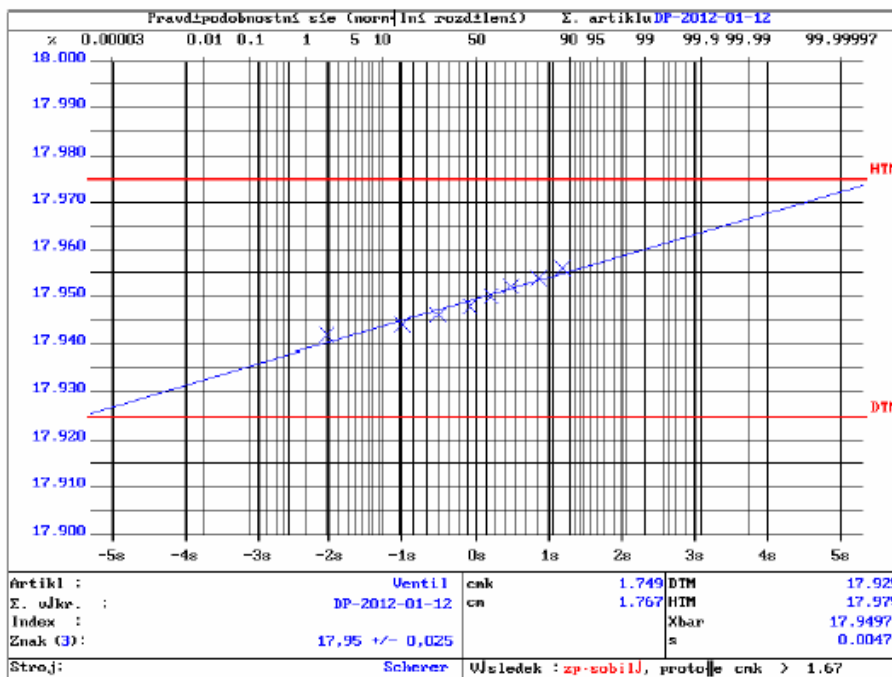


Obr. 70. Způsobilost stroje Ø 18,78 mm

➤ Způsobilost stroje na  $\varnothing 17,95 \pm 0,025$  mm:

Po vyhodnocení naměřených 50 za sebou vyrobených dílů, pomocí programu Q – STUDIO, vyšla způsobilost stroje pro  $\varnothing 17,95$  mm  $C_{mk} = 1,749$  (Obr. 71). Tato hodnota 1,749 je vyšší než požadovaná hodnota  $C_{mk}$  1,67, proto je stroj způsobilý pro výrobu tělesa ventilu.

DP-2012-01-12



Obr. 71. Způsobilost stroje  $\varnothing 17,95$  mm



## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá optimální volbou navržení technologické výroby části tělesa ventilu pro vstřikovací jednotku automobilu.

Je zde popsána technologie obrábění, v tomto případě soustružení, které bylo použito při výrobě tělesa ventilu. Výroba tělesa ventilu byla provedena na dvou různých výrobních zařízeních. Prvním výrobním zařízením na kterém byl díl vyráběn bylo CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS. Druhý stroj, který byl pro výrobu tělesa ventilu použit byl universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA.

Všechny díly vyrobené pomocí obou výrobních zařízení byly zkoumány a vzájemně porovnány. Byla vyhodnocena jejich geometrická přesnost a jakost povrchu funkčních částí ventilu podle výkresové dokumentace tělesa ventilu. Na základě získaných výsledků bylo zjištěno, že výroba tělesa ventilu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS vede k požadované geometrické přesnosti výrobku a je pro výrobu těchto dílů vhodná, oproti universálnímu soustruhu TOS SV-18-RA který za daných podmínek nebyl pro výrobu části tělesa ventilu vhodný. Požadovanou jakost povrchu podle výkresové dokumentace splnily obě výrobní zařízení jak CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS tak i universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA.

Na základě těchto získaných poznatků byl vytvořen technologický postup výroby tělesa ventilu na CNC obráběcím centru SCHERER VDZ 120 DS.

Pro kontrolu technologického postupu a výrobního zařízení byla provedena způsobilost stroje pro funkční rozměry tělesa ventilu, kde bylo prokázáno, že výrobní stroj vyhovuje a je způsobilý k výrobě tohoto dílu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I, sylabus online* <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory>
- [3] VLACH, B. kolektiv. *Technologické obrábění a montáží*. První vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, Redakce strojírenské a metalurgické literatury. 1990. L13-C3-V-31/28936.472 s.
- [4] HLUCHÝ, M., HANĚK, V., *Strojírenská technologie 2 – 2. díl*. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6.
- [5] FRISCHHERZ, A., PIEGLER, H., PRAGAČ, J. *Technologie zpracování kovů: Odborné znalosti 2*. Praha: SNTL, 2001. 279s. ISBN 80-902655-1-0.
- [6] JANDEČKA, K. *Postprocesory a programování NC strojů*.: UJEP, 2007. 244s. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [7] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B., *Drsnost povrchu*. Praha: SNTL, 1989.
- [8] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2003. 146s. ISBN 80-248-0237-6.
- [9] VASILKO, K.: *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov: Fakulta výrobních technológií TU Košice, 2007. 338s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [10] JANÍČEK, P. *Technologické, energetické a ekologické aspekty HSC obrábění*. Brno, 2004. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí diplomové práce Karel Kocman.
- [11] KOCMAN, K.: *Speciální technologie obrábění*, 1.vyd. Brno: CERM Brno s.r.o., 2004, ISBN 80-214-2562-8.
- [12] KOCMAN, K. – PROKOP, J. *Technologie obrábění*. CERM, Brno, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [13] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. První vydání, SNTL Praha 1979



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

NC	Numerical Control
CNC	Computerized Numerical Control
DNC	Direkt Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAD/CAM	Propojení systémů CAD a CAM
X,Y,Z	Pravouhlé osy souřadné soustavy CNC stroje
A,B,C	Rotační pohyby kolem os X,Y,Z
U,V,W	Sekundární, doplňkové osy CNC stroje
HSM	High Speed Machining
$a_p$	Šířka záběru ostří
$A_D$	Jmenovitý průřez třísky
$b_D$	Jmenovitá šířka třísky
$h_D$	Jmenovitá tloušťka třísky
$f$	Posuv
$v_c$	Řezná rychlost
$v_f$	Posuvová rychlost
$v_e$	Rychlost výsledného řezného pohybu
$\eta$	Úhel řezného pohybu
$P_{fe}$	Boční pracovní rovina
$\varphi$	Úhel posuvového pohybu
$\pi$	Ludolfovo číslo – konstanta
$D$	Průměr
$n$	Otáčky

---

$v$	Rychlost
$Ra$	Střední aritmetická úchylka profilu
$Rz$	Výška nerovnosti profilu z deseti bodů
$l_R$	Základní délka profilu
$R_p$	Výšky největší špičky profilu
$R_v$	Největší hloubka prohlubně povrchu
$\Delta$	Rozdíl hodnot

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Soustava stroj- nástroj – obrobek .....	13
Obr. 2: Soustružení .....	16
Obr. 3: Jmenovitý průřez třísky .....	17
Obr. 4: Plochy obrobku.....	17
Obr. 5: Soustružnický nůž.....	18
Obr. 6: Řezné pohyby.....	20
Obr. 7: Pohyby nástroj a obrobku při soustružení.....	22
Obr. 8: Roviny nástroje.....	23
Obr. 9: Úhly nástroje.....	24
Obr. 10: Oblast plastické deformace.....	25
Obr. 11: Druhy třísek.....	25
Obr. 12: Druhy třísek.....	26
Obr. 13: Druhy třísek.....	26
Obr. 14: Tvoření nárůstku.....	27
Obr. 15: Pětiosé obráběcí centrum.....	29
Obr. 16: Pravoúhlá souřadná soustava a otočné osy.....	31
Obr. 17: Přesnost CNC obráběcích strojů.....	33
Obr. 18: Přehled doporučených řezných kapalin pro různé metody obrábění.....	35
Obr. 19: Jmenovitá, obalová a skutečná plocha.....	41
Obr. 20: Obalová a skutečná plocha.....	41
Obr. 21: Průměrná aritmetická odchylka profilu Ra.....	44
Obr. 22: Největší výška profilu Rz.....	45
Obr. 23: Model součásti ventilu.....	50
Obr. 24: Výkres ventilu.....	51

Obr. 25: CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS.....	53
Obr. 26: Universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA.....	54
Obr. 27: Technické údaje universálního hrotového soustruhu TOS SV-18-RA.....	54
Obr. 28: PENTA 24N157J079.....	56
Obr. 29: Integrální nožový držák PCHR/L 16-24.....	56
Obr. 30: MaxiLock SDHCL 1616 H11.....	56
Obr. 31: MaxiLock DCGT 11T302FN.....	57
Obr. 32: 3D souřadnicový stroj Wenzel LH 54.....	58
Obr. 33: Technické údaje 3D souřadnicového stroje Wenzel LH 54.....	58
Obr. 34: Kruhoměr MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000.....	59
Obr. 35: Technické údaje kruhoměru MITUTOYO ROUNDTEST RA-2000.....	60
Obr. 36: Drsnoměr ZEISS SURFCOM 130A.....	60
Obr. 37: Technické údaje drsnoměru ZEISS SURFCOM 130A.....	60
Obr. 38: Průměr 18,78 mm.....	61
Obr. 39: Grafický měrový protokol $\varnothing$ 18,78 mm.....	61
Obr. 40: Graf naměřených geometrických hodnot na $\varnothing$ 18,78 mm.....	62
Obr. 41: Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na $\varnothing$ 18,78 mm.....	63
Obr. 42: Průměr $17,95 \pm 0,025$ mm.....	64
Obr. 43: Grafický měrový protokol $\varnothing$ 17,95 mm.....	64
Obr. 44: Graf naměřených geometrických hodnot na $\varnothing$ 17,95 mm.....	64
Obr. 45: Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na $\varnothing$ 17,95 mm.....	65
Obr. 46: Grafický měrový protokol čelního házení na $\varnothing$ 17,95 mm.....	66
Obr. 47: Graf naměřených geometrických hodnot čelního házení na $\varnothing$ 17,95 mm.....	66
Obr. 48: Průměr $16,1 \pm 0,025$ mm.....	66
Obr. 49: Grafický měrový protokol $\varnothing$ 16,1 mm.....	67
Obr. 50: Graf naměřených geometrických hodnot na $\varnothing$ 16,1 mm.....	68

---

Obr. 51: Graf naměřených geometrických hodnot kruhovitosti na Ø 16,1 mm.....	69
Obr. 52: Foto povrchu na Ø 18,78 mm.....	71
Obr. 53: Graf naměřených hodnot drsnosti na Ø 18,78 mm.....	72
Obr. 54: Foto povrchu na Ø 17,95 mm.....	73
Obr. 55: Graf naměřených hodnot drsnosti na Ø 17,95 mm.....	74
Obr. 56: Graf naměřených hodnot drsnosti na Ø 16,1 mm.....	75
Obr. 57: Závislost drsnosti CNC SCHERER na Ø 18,78 mm.....	76
Obr. 58: Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na Ø 18,78 mm.....	77
Obr. 59: Závislost drsnosti CNC SCHERER na Ø 17,95 mm.....	78
Obr. 60: Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na Ø 17,95 mm.....	77
Obr. 61: Závislost drsnosti CNC SCHERER na Ø 16,1 mm.....	78
Obr. 62: Závislost drsnosti hrotový soustruh TOS na Ø 16,1 mm.....	78
Obr. 63: Technologický postup – krok č. 1.....	80
Obr. 64: Technologický postup – krok č.2.....	80
Obr. 65: Technologický postup – krok č.3.....	80
Obr. 66: Technologický postup – krok č.4.....	81
Obr. 67: Technologický postup – krok č.5.....	81
Obr. 68: Technologický postup – krok č.6.....	81
Obr. 69: Technologický postup – krok č.7.....	82
Obr. 70: Způsobilost stroje Ø 18,78 mm.....	84
Obr. 71: Způsobilost stroje Ø 17,95 mm.....	85
Obr. 72: Způsobilost stroje Ø 16,1 mm.....	86

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Charakteristika CNC obráběcího centra SCHERER VDZ 120 DS.....	53
Tab. 2: Řezné podmínky pro CNC obráběcí centrum SCHERER VDZ 120 DS.....	54
Tab. 3: Řezné podmínky pro universální hrotový soustruh TOS SV-18-RA.....	55
Tab. 4: Naměřené geometrické hodnoty $\varnothing 18,78 \pm 0,05$ mm.....	62
Tab. 5: Kruhovitost na $\varnothing 18,78$ mm.....	62
Tab. 6: Naměřené geometrické hodnoty $\varnothing 17,95 \pm 0,025$ mm.....	64
Tab. 7: Kruhovitost na $\varnothing 17,95$ mm.....	65
Tab. 8: Čelní házení na $\varnothing 17,95$ mm.....	66
Tab. 9: Naměřené geometrické hodnoty $\varnothing 16,1 \pm 0,025$ mm.....	68
Tab. 10: Kruhovitost na $\varnothing 16,1$ mm.....	68
Tab. 11: Drsnost povrchu na $\varnothing 18,78$ mm.....	71
Tab. 12: Drsnost povrchu na $\varnothing 17,95$ mm.....	73
Tab. 13: Drsnost povrchu na $\varnothing 16,1$ mm.....	75