



# ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN Z FIRMY PARAMO, A.S. NA TECHNOLOGII VRTÁNÍ A JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ SLITINY HLINÍKU

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály  
*Autor práce:* **Bc. Josef Hurský**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Akademický rok: 2014/2015**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Hurský**  
Osobní číslo: **S14000662**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**  
Název tématu: **Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s. na technologii vrtání a jakost obrobeného povrchu při vrtání slitiny hliníku**  
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

### **Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

1. Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.
2. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na obrábění slitin hliníku.
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu posuzovaných procesních kapalin na proces vrtání slitin hliníku.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení vlivu různých druhů procesních kapalin.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

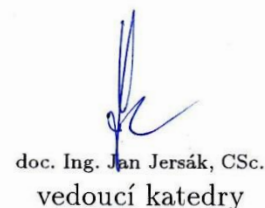
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 - 60 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- [1] **MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění.** In: *Ekologie obrábění - Strojírenská technologie knihovnička*. 1.vyd. 2000. s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
- [2] **LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel.** *Manufacturing Engineering. Rec. M. Havrila* aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.
- [3] **HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje.** Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] **SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů.** 2005. 601 s.
- [5] **HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. Terminologie obrábění a montáže.** 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTŘV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.
- [6] **ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.** 1999. Praha: Český normalizační institut.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.**  
Katedra obrábění a montáže  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Andrey Dugin**  
Katedra obrábění a montáže  
Datum zadání diplomové práce: **5. března 2015**  
Termín odevzdání diplomové práce: **5. června 2016**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 5. března 2015

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

**Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s. na technologii vrtání a jakost obrobeného povrchu při vrtání slitiny hliníku**

## ANOTACE:

Diplomová práce se zabývá vlivem procesních kapalin na proces vrtání. Cílem práce bylo zjištění, která procesní kapalina má nejlepší vliv na parametry drsnosti povrchu a tvar třísky při vrtání slitiny hliníku. Teoretická část práce se zabývá problematikou procesních kapalin použitých ke chlazení při procesu obrábění. Práce se dále zabývá obecnou charakteristikou parametrů měření drsnosti obráběného materiálu. Praktická část analyzuje vliv různých druhů procesních kapalin na trvanlivost nástroje a tvar třísky při obrábění slitin hliníku.

Klíčová slova: procesní kapaliny, drsnost povrchu, tříska, vrtání

**The analysis of the influence of process fluids produced by the PARAMO company on the technology of drilling and the quality of the machined surface by the drilling of a certain aluminium alloy**

## ANNOTATION:

The diploma thesis is focused on the influence of process fluids on the drilling process. The aim of this thesis is to find out which process fluid has the best influence on the parameters of surface roughness and the shape of a splinter by the drilling of a certain aluminium alloy. The theoretical part of this thesis is focused on process fluids used during the cooling of machining processes. The thesis also deals with the general description of the parameters describing the surface roughness of machined material. The practical part of this thesis analyses the influence of various process fluids on the useful life of the instrument and the shape of a splinter by the drilling of a certain aluminium alloy.

Key words: process fluid, surface roughness, splinter, drilling

Zpracovatel:	TU v Liberci, KOM
Dokončeno:	2015
Archivní označ. zprávy:	1264
Počet stran:	85
Počet příloh:	6
Počet obrázků:	51
Počet tabulek:	15

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval především vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za poskytnutí cenných rad a důležitých informací, za ochotu a trpělivost při tvorbě této diplomové práce.

Dále děkuji Ing. Andreyi Duginovi za konzultace během tvorby celé práce, též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie TUL a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za pomoc při řešení případných nejasností, za jejich strávený čas a poskytnutí důležitých informací.

Také bych chtěl poděkovat hlavně svým rodičům, celé rodině za podporu a trpělivost v průběhu celého mého studia na vysoké škole.

Josef Hurský

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1264**

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Hurský**

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant: Ing. Andrey Dugin

Počet stran: 85

Počet příloh: 6

Počet tabulek: 15

Počet obrázků: 51

## OBSAH

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
Úvod.....	11
<b>1. Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.....</b>	<b>13</b>
1.1 Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění.....	13
1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění .....	15
1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin .....	19
1.4 Metody přívodu procesní kapaliny do místa řezu .....	23
1.5 Jakost obrobeného povrchu .....	32
1.6 Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.....	37
<b>2. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na obrábění slitin hliníku .....</b>	<b>38</b>
2.1 Shrnutí teoretické části a cíle praktické části diplomové práce.....	41
<b>3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu posuzovaných procesních kapalin na proces vrtání slitin hliníku .....</b>	<b>43</b>
<b>4. Realizace experimentu .....</b>	<b>50</b>
4.1 Měření parametrů drsnosti povrchu obrobených otvorů .....	52
4.2 Vliv procesních kapalin na tvar třísky.....	55
<b>5. Hodnocení vlivu různých druhů procesních kapalin.....</b>	<b>56</b>
5.1 Zjištění vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na parametry drsnosti povrchu při vrtání slitiny hliníku .....	56
5.2 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Ra .....	56
5.3 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Rz .....	59
5.4 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu $C_{TP50}$ .....	62
5.5 Výsledky vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění slitiny hliníku	65
<b>6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů .....</b>	<b>67</b>
Seznam použité literatury .....	69
Seznam příloh .....	71



## Seznam použitých zkratek a symbolů

$a_p$	[mm]	hloubka řezu
$C_T$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$C_V$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
Ž	[-]	životnost nástroje
$n_p$	[min]	počet přeastření
$f$	[mm/min]	posuv stolu
$f_n$	[mm]	posuv na otáčku
$l$	[mm]	měřená délka obrábění
$l_n$	[mm]	vyhodnocovaná délka
$k$	[%]	koncentrace PK
$m_T$	[-]	exponent Taylorova vztahu
$m$	[-]	exponent řezného nástroje
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky nástroje
$R_a$	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
$R_p$	[μm]	největší výška výstupku
$R_q$	[μm]	průměrná kvadratická úchylka profilu
$R_v$	[μm]	největší hloubka prohlubně profilu
$R_z$	[μm]	největší výška profilu
$T$	[min]	trvanlivost bříty
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$C_{tp50}$	[μm]	hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
ISO	[-]	International Organization for Standardization (mezinárodní značení norem)
DIN	[-]	Deutsche Industrie-Norm (německá národní norma)
DP	[-]	diplomová práce
PK	[-]	procesní kapalina
hmot.	[-]	hmotnost

mm	[-]	milimetr
∅	[-]	průměr
kg	[-]	kilogram
%	[-]	procento
μm	[-]	mikrometr
°C	[-]	stupeň Celsia
min	[-]	minuta

## Úvod

V dnešní době jsou procesní kapaliny pro technologie obrábění důležitou složkou. Všechny podniky zabývající se obráběním mají vysoké nároky na hospodárnost a efektivnost procesu. Na trhu je široké spektrum procesních kapalin od různých výrobců. Vhodně zvolenými procesními kapalinami lze ovlivnit celý průběh obráběcího procesu. Procesní kapaliny zajišťují potřebnou trvanlivost nástrojů a jakost obrobené plochy tím, že odvádějí teplo z místa řezu, odvádějí třísky a snižují tření mezi nástrojem a obrobkem.

Tato diplomová práce se zabývá analýzou vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s., na technologii vrtání a jakost povrchu při obrábění slitiny hliníku. Procesní kapaliny, použité v této diplomové práci, byly zadány firmou PARAMO, a.s. a byly porovnány s dalšími médii, tj. s vodou a vzduchem.

Tato diplomová práce zahrnuje teoretickou a experimentální část. Teoretická část obsahuje poznatky o procesních kapalinách a o integritě povrchu a jejím měření. V experimentální části práce je nejprve popsána nástrojařská frézka, laboratorní profiloměr, ruční refraktometr, vrták a obráběný materiál. Dále je zachycen postup při obrábění, měření parametrů drsnosti povrchu obrobených otvorů a vliv procesních kapalin na tvar třísky.

Cílem této práce je:

- vyhodnocení vlivu procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $C_{TP50}$ ,
- vyhodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při vrtání slitiny hliníku

prostřednictvím porovnání čtyř procesních kapalin zadaných firmou PARAMO, a.s. a dalších dvou porovnávacích médií, kterými jsou voda a vzduch, při vrtání slitiny hliníku a určení nejvhodnější procesní kapaliny na parametry drsnosti povrchu a tvar třísky.

Výzkumná práce vlivu procesních kapalin se prováděla v laboratořích KOM (katedra obrábění a montáže) Technické univerzity v Liberci. Výzkum byl realizován se slitinou hliníku AlCu4BiPb – ČSN 424254 a vrtáky z rychlořezné oceli HSS (High speed steel nebo zkráceně HSS) s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 o  $\varnothing D = 8$  mm. Závěrem práce je vyhodnocení a doporučení procesních kapalin do praxe.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# **1. Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje**

Procesní kapaliny se vyznačují chladícím a mazacím účinkem zajišťujícím trvanlivost nástroje a jakost obrobeného povrchu. Z hlediska použití procesní kapaliny hraje důležitou roli volba rezného prostředí a možnosti přívodu procesních kapalin do místa řezu.

## **1.1 Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění**

Procesní kapaliny mají velký vliv na chlazení a mazání obráběcí soustavy a představují základní hlediska ovlivňující jakost obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje. Procesní kapaliny zároveň mají vliv na utváření a odplavování třísek, tvorbu nárůstku, rezné síly, velikost minimální tloušťky odebírané vrstvy, zpevnění povrchové vrstvy obrobené plochy, energetickou spotřebu, čímž ovlivňují celý výsledek obráběcího procesu. Prostor v rezné zóně má významný vliv na kvalitativní a ekonomické parametry rezného procesu. Nejčastěji používanými reznými médii jsou kapaliny, plyny a mlhy. Díky těmto zmiňovaným výhodám zůstávají procesní kapaliny v popředí zájmu všech firem, které se zabývají obráběním. [2, 7]

Volba rezného prostředí významně ovlivňuje výsledky rezného procesu, např. trvanlivost břitu nástroje a velikost sil při obrábění i teplotu řezání. Účinky různých prostředí na rezný proces mohou být za stejných podmínek obrábění zcela odlišné, což se týká funkčních vlastností obrobku. Jedná se především o drsnost obrobeného povrchu, zpevnění obrobené plochy a zbytková napětí v její povrchové vrstvě. [3]

Mezi další klasické využívané metody chlazení rezného procesu jsou využívány v současné době i některé další technologie mazání a chlazení. V dnešní době je nejmodernější metoda MQL – Minimum Quantity Lubrication. Jedná se o technologii, kde dochází k mazání minimálním množstvím kapaliny. Další metodou je např. suché obrábění při ofuku místa řezu mraženým nebo chlazeným vzduchem. [6]

Během obráběcího procesu se téměř veškerá práce řezání transformuje v teplo. Teplota řezání hraje důležitou roli při obrábění a má významný vliv na

všechny parametry řezání (trvanlivost nástroje, přesnost obrobené plochy, kvalitu obrobené plochy). Na obrázku 1 je možné vidět odvod vzniklého tepla při obrábění. Nejvíce je teplo odváděno třískou, méně pak obrobkem a řezným nástrojem. Teplo při řezání závisí na druhu obrábění, řezných podmínkách, tepelné vodivosti materiálu nástroje i obrobku a geometrii nástroje. Chladicí účinek procesních kapalin hraje důležitou roli při obrábění, jelikož kapalina ochlazuje třísku, obrobek i nástroj v bezprostřední blízkosti místa řezu. [23]

Hlavní zdroj tepla při řezném procesu ( $Q_e$ ) se skládá z následujících složek:

$$Q_e = Q_{pd} + Q_y + Q_\alpha$$

$Q_{pd}$  teplo vzniklé v oblasti plastických deformací při tvoření třísky

$Q_y$  teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje

$Q_\alpha$  teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po obrobené ploše

V následujícím vzorci jsou obsaženy jednotlivé oblasti ( $Q_t$ ,  $Q_o$ ,  $Q_n$ ,  $Q_p$ ), kam je odváděno teplo řezného procesu:

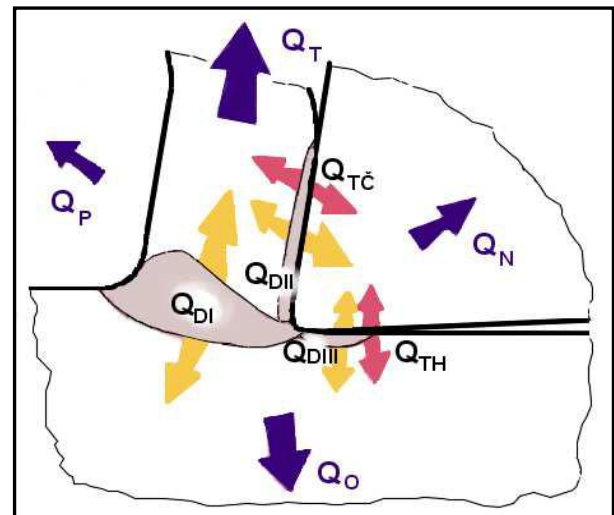
$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_p$$

$Q_t$  teplo odvedené třískou

$Q_o$  teplo odvedené obrobkem

$Q_n$  teplo odvedené nástrojem

$Q_p$  teplo odvedené řezným prostředím



*Obr. 1: Tepelná bilance při obrábění [4]*

Na velikost chladicího účinku procesní kapaliny má vliv její výparné teplo, rychlost odpařování a tepelná vodivost. Dále na schopnost kapaliny odvést určité

množství tepla z oblasti řezání mají vliv provozní podmínky, např. pěnovost. Zvětšení chladicího účinku lze také dosáhnout zvýšením tlaku kapaliny přiváděného do místa řezu. [2]

Vznik tepla při obrábění je možné snížit také zmenšením tření mezi nástrojem a obrobkem. Toho lze docílit použitím procesní kapaliny s dobrým mazacím účinkem.

Procesní kapaliny s převažujícím chladicím účinkem jsou upřednostňovány většinou při obrábění s vyššími řeznými podmínkami, tedy tam kde vzniká více tepla (soustružení, frézování, broušení a vrtání hlubokých otvorů) a tam kde jsou vysoké požadavky na rozměrovou přesnost obrobků. Procesní kapaliny s převazujícím mazacím účinkem jsou častěji používány při obrábění s velkým průřezem třísky a s malými řeznými rychlostmi (výroba závitů). Zde totiž dochází k velkým měrným tlakům mezi nástrojem a obrobkem. Dále je mazací účinek vhodný u prací, kde jsou vysoké nároky na jakost povrchu. [2]

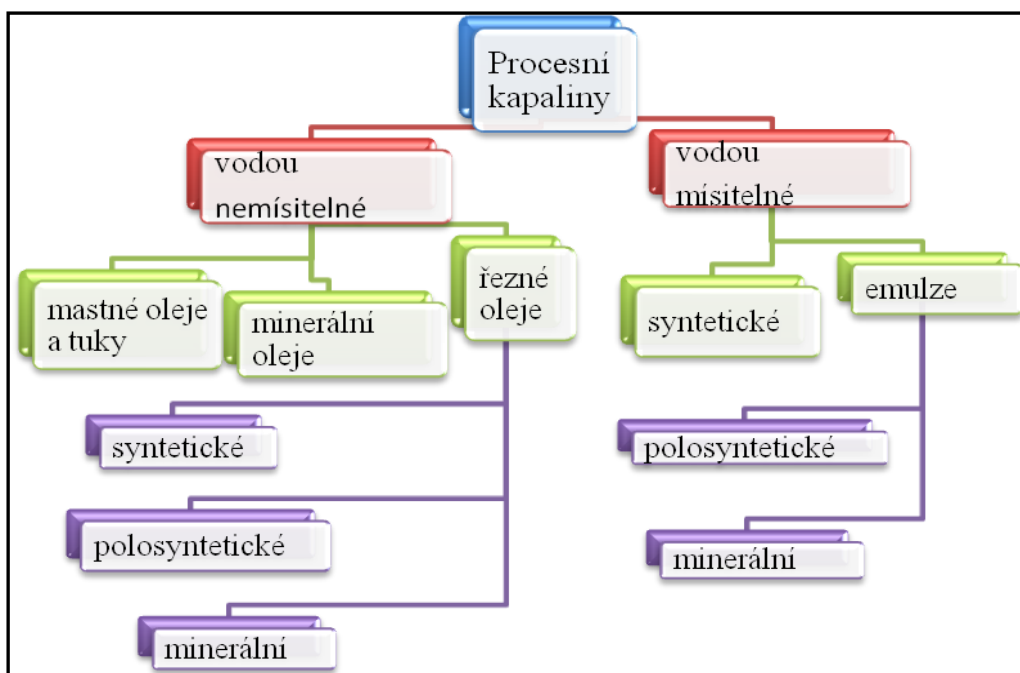
## **1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění**

Procesní kapaliny se rozdělují do dvou základních skupin a to podle účinku na proces řezání, což jsou kapaliny s převažujícím chladicím účinkem (chladicí kapaliny) a kapaliny s převažujícím účinkem mazacím (řezné oleje).

Kapaliny s převažujícím chladicím účinkem mají lepší schopnost odvádět teplo z místa řezu. Jsou to hlavně kapaliny, které na povrchu kovu smáčí. Mezi tyto procesní kapaliny patří kapaliny na vodní bázi. Kapaliny s převažujícím mazacím účinkem mají lepší schopnost vytvořit na povrchu kovu ochranou mazací vrstvu, která snižuje tření mezi obrobkem a nástrojem. Mezi procesní kapaliny s převažujícím mazacím účinkem patří především kapaliny na bázi oleje.

Toto rozdělení má v dnešní době již určité nedostatky. V současnosti výrobci procesních kapalin mají snahu zlepšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladicím účinkem a naopak. Moderní druhy procesních kapalin mají proto rozdíl mezi chladicím a mazacím účinkem minimální, až zanedbatelný. Procesní kapaliny lze rozdělit dle způsobu přípravy (viz obrázek 2). [2, 3, 7]

Rozdělení procesních kapalin dle složení:



**Obr. 2: Rozdělení procesních kapalin [6]**

### **Vodné roztoky**

Základní složkou vodných roztoků je voda, která je nejdostupnější a nejlevnější kapalinou. Voda má velmi dobrý chladič účinek, ale také má mnoho nevýhod. Velkým nedostatkem je její vysoká tvrdost, tj. obsah různých solí, které během provozu z vody vypadávají a tvoří na kovovém povrchu těžko odstranitelné usazeniny. Usazeniny zanášejí potrubí, síta a také zalepují funkční části strojů. Neupravená voda způsobuje korozi, má vysoké povrchové napětí a malou smáčivost kovů. Nedostatečné mazací vlastnosti nepřispívají ke zmenšení tření a vzhledem k nízkému bodu varu dochází k nadměrnému odpařování. Voda je také nositelem bakterií, které se v ní jednoduše rozmnožují, jsou příčinou kalu, nepříjemného zápachu a krátké trvanlivosti náplní. Z výše uvedených nedostatků vyplývá, že vodu je potřeba upravovat chemickými přísadami, aby se nedostatky odstranily. Přidávají se do ní proto změkčovadla, přísady proti korozi, pěnivosti a pro zlepšení smáčivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický. [2, 3, 7]



## **Emulzní kapaliny**

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů, přičemž chladicí účinek emulzní kapaliny je závislý na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH dané emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulze o hodnotě pH = 8 - 9 poskytuje již dostatečnou ochranu proti korozi slitin železa. V celkovém hodnocení emulzní kapaliny zahrnují asi 80 % všech používaných procesních kapalin.

U přípravy emulzních kapalin je potřeba zachovat určitý postup, což znamená použít vhodně upravenou vodu a koncentraci emulze volit podle druhu pracovní operace a podle množství ochranných látek, přičemž koncentrace se často pohybuje v rozmezí 2 - 10 %. Emulgační prostředek se přidává pozvolně za stálého míchání. [7]

## **Řezné oleje**

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Zušlechtováním se zvyšuje tlaková únosnost a zlepšení mazacích vlastností. [1]

Mezi přísady zlepšující mazací schopnost řezných olejů zařazujeme:

- mastné látky
  - organické sloučeniny
  - pevná maziva
- 
- **mastné látky**

Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu, zlepšují mazací schopnosti, zmenšují tření, toto neplatí za extrémních tlaků.
  - **organické sloučeniny**

Organické sloučeniny jsou sloučeniny určitých prvků, tj. síra, chlor, fosfor. Tyto všechny látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady, jelikož na povrchu

vytvářejí vrstvičky kovových mýdel, které usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch (snížení tření) a zabraňují kovovým svarům. [3, 7]

Sloučeniny obsahující chlor zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách nad 400 °C, proto jsou sloučeniny s fosforem účinnější, ovšem úplně nejúčinnější se prokázala kombinace sloučenin síry, chlóru a fosforu, kde účinnost klesá až od 800 °C.

- **pevná maziva**

Pevná maziva se používají jako přísady do řezných olejů a působí na povrch kovu mechanickým účinkem. Svojí afinitou ke kovu zde vytváří pevná maziva mezní vrstvu odolnou proti tlakům, čímž se také zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří např. grafit a siřník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se udržovat v rozptýleném stavu, což bývá velmi obtížné a nákladné. [3,7]

### **Syntetické a polysyntetické kapaliny**

Patří mezi nové druhy procesních kapalin ředitelných vodou, které se vyznačují velmi dobrou provozní stálostí. Tyto procesní kapaliny mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Jsou to průhledné kapaliny na bázi polyglykolů a esterů, které neobsahují olejovou složku nebo jen ve velmi malém množství. Za polosyntetické kapaliny označujeme ty, které obsahují 5 - 30 % minerálního oleje. Polosyntetické kapaliny mají proto příznivější mazací schopnosti. [3, 7]

V tabulce 1 je přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění.

**Tab. 1: Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění [7]**

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	D 3	D 5	D 10	-	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vystružování	E, D 10	F	J	D 5	E	B	B	B	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	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	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E	F	J	D 5	-	B	-	-	-
Protahování	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C

A – minerální oleje

B – mastné oleje

C – mastné oleje s přísadami

D – emulze (koncentrace v %)

E – minerální oleje s přísadami

F – lehké minerální oleje s přísadami

H – oleje aktivované

J – maštěný olej s přísadami [7]

### 1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

Hlavním úkolem procesních kapalin je umožnit obrábět při největší hospodárnosti. To znamená především zajistit potřebnou trvanlivost nástrojů a jakost obráběného povrchu při malé spotřebě energie, na což má největší vliv už výše zmíněný chladicí a mazací účinek použité kapaliny. Tyto účinky nejsou ale jediným požadavky, které jsou kladeny na procesní kapaliny. [2]

Z technologického a provozního hlediska jsou na procesní kapaliny další požadavky, k nimž patří především:

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



*Obr. 3: Požadavky na procesní média při různých technologiích obrábění [5]*

### **Chladicí účinek**

Chladícím účinkem se rozumí schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé prostředí, které smáčí povrch kovů a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a prostředím. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné prostředí obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. [1]

Chladicí účinek řezného prostředí závisí na smáčecí schopnosti, na rychlosti vypařování, na výparném teple, na měrném teple a na tepelné vodivosti. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude vyšší chladicí účinek řezného prostředí. Dalším faktorem zvětšující chladicí účinek je průtokové množství řezného média (viz obr. 1). Tepelná bilance při obrábění. [4]

### **Mazací účinek**

Mazací účinek je vyjádřen schopností kapaliny vytvořit na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem, ale i mezi nástrojem a třískou. [1]

Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné prostředí silnou afinitu

ke kovu nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. [1]

Mazací schopnost procesní kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Se vzrůstající viskozitou se zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Více viskózní kapaliny ulpívají také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání. [1]

### **Čistící účinek**

Čistící účinek procesní kapaliny znamená, že jeho přívod odstraňuje vznikající třísky, piliny a veškeré nežádoucí nečistoty z místa řezání a zlepšuje vlastnosti, např. vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry, které se s prachem z ovzduší se slepují a jsou důvodem zhoršení řezné schopnosti nástrojů a poškození funkčních ploch obráběcích strojů. Kapalina o dobrém čistícím účinku nesmí lepit a musí dovolit snadné a rychlé uvolňování nečistot. Čistící účinek kapalin ovlivňuje také její viskozita. Kapaliny s menší viskozitou bez aktivních přísad jsou pro tento účel vhodnější. Kvalita čištění závisí i na čistotě kapaliny. Během obrábění je důležité, aby dopravovaná kapalina do místa řezu, byla řádně vyčištěna (pomocí filtračního zařízení). Větší nečistoty se usazují v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání. Špatně vyčištěná kapalina může mít za následek zhoršení kvality obrobené plochy. [1, 2,7]

Velký význam má čistící účinek pro broušení a u obráběcích operací, kdy procesní kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [1]

### **Provozní stálost**

Provozní stálost procesních kapalin je doba, po kterou je kapalina schopna udržet si své kladné vlastnosti. Při dlouhodobém používání kapaliny během obrábění dochází vždy k postupnému znehodnocování procesní kapaliny. Čím jsou delší lhůty výměn, tím jsou nižší náklady na procesní kapaliny. [2, 7]

Stárnutí procesních kapalin olejového typu se projevuje vytvářením pryskyřičných usazenin, které svou lepivostí způsobují poruchy stroje. Produkty

stárnutí mají dále za následek zmenšení chladicího účinku, korozi, zvětšení pěnovosti kapaliny. Projevem stárnutí procesních kapalin vodného typu je rozpad na složky, kde dochází k urychlenému stárnutí olejové složky a s častým napadením vody bakteriemi. Rozložení a nestabilita kapaliny je příčinou nižšího mazacího účinku, dochází ke ztrátě ochranných schopností, ke korozi. [2, 7]

Provozní stálost procesní kapaliny závisí na její mechanické i chemické čistotě, na teplotě, kdy se kapalina začíná odpařovat, na odolnosti proti chemickému a mechanickému namáhání a na sklonu k pěnovosti. Větší sklon k nestabilitě má kapalina, která je složena z většího počtu nestejnorodých složek. [2, 7]

Základními předpoklady provozní stálosti jsou dostatečně velké nádrže, stálost kapaliny při uskladnění, opatření proti pěnění, odstraňování nečistot vniklých do oběhu, odstraňování usazených kalů a pravidelná výměna náplně v přiměřených lhůtách.

### **Ochranný účinek**

Ochranný účinek procesní kapaliny se projevuje tím, že chrání obrobek a nástroj a nezpůsobuje korozi. Toto je velmi důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat a aby se také stroje chránily před korozi. Při nepřítomnosti antikorozi vrstvy by se musel výrobek konzervovat, což by způsobovalo další náklady. Pro vytvoření dokonalého antikorozi účinku jsou do procesní kapaliny přidávány přísady (inhibitory koroze), které obalují povrch kovu proti nežádoucím účinkům.

Dalším požadavkem je to, aby procesní kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním. [1,2,7]

### **Zdravotní nezávadnost**

Zdravotní nezávadnost procesní kapaliny je důležitá hlavně z pohledu obsluhy stroje, která během pracovního procesu přijde vždy do kontaktu s řeznou kapalinou. Tento kontakt nelze nikdy stoprocentně zamezit ani použitím ochranných pomůcek na pracovišti (kryty na stroji, rukavice, brýle, pracovní oděv), protože rozprášená či odpařená kapalina pronikne téměř všude.

Procesní kapaliny nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici, dráždit pokožku, vyvolávat kašel a nesmí být jedovaté, nesmí ani zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.

Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na její čistotě a stálosti. Zestárlé, znečištěné, bakteriemi napadené kapaliny mohou způsobovat zdravotní potíže, proto je velmi důležité dodržovat základní hygienická opatření např. omývání, větrání, preventivní ochrana pokožky. Každá procesní kapalina musí být schválena hlavním hygienikem. [1, 2, 7]

### **Přiměřené náklady**

Přiměřené náklady na procesní kapaliny souvisí hlavně s jejich spotřebou. Při rozboru nákladů je důležité nejdříve posoudit vliv konkrétní kapaliny na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a v neposlední řadě spotřeba energie. Následně se musí po tomto rozboru hodnotit procesní kapaliny s hledem na jejich stálost, spotřebu, výměnu i náklady spojené s likvidací procesní kapaliny.

Při rozboru nákladů je proto potřeba postupovat velmi opatrně a neřídít se pouze poměrnou cenou kapalin, poněvadž procesní kapaliny ovlivňují parametry rozhodující o ekonomii obrábění často ve větším rozsahu, než je samotná hodnota její ceny. Procesní kapalina je jedním z prostředků, jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění.

Mezi základní a nejčastější chyby vyskytující se v provozu je návrh jedné procesní kapaliny a tu považovat za vyhovující pro všechny operace. Výběr procesní kapaliny je případ od případu, dále také její způsob přívodu do místa řezu a koncentrace, aby byly splněny požadavky hospodárnosti obrábění. [1, 2, 7]

## **1.4 Metody přívodu procesní kapaliny do místa řezu**

Praktické zkušenosti ukazují, že použití procesních kapalin při obrábění výrazně zvětšují trvanlivost břitu nástroje a zlepšují jakost obrobené plochy. Tyto schopnosti procesních kapalin je dále možné ovlivnit způsobem přívodu kapalin do místa řezu. [3]

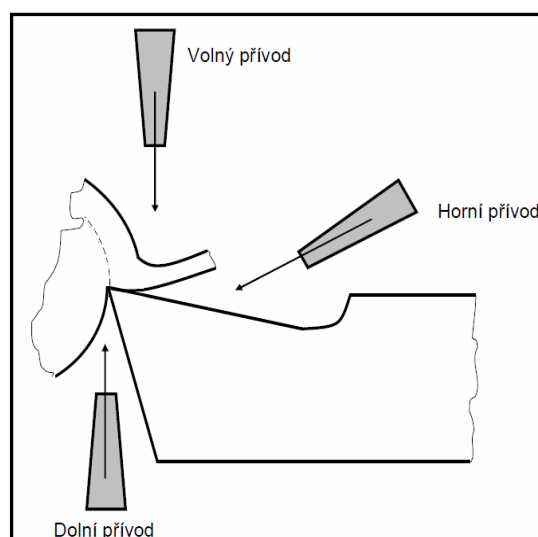
V posledních letech se na trhu objevilo několik nových způsobů přívodu procesních kapalin do místa řezu. Nové způsoby přívodu chlazení umožňují zvětšovat výkon obrábění a hospodárnost nástrojů.

### Standardní chlazení

Jedná se o nejjednodušší a nejčastěji používaný způsob přívodu procesní kapaliny. Tento způsob nevyžaduje žádné speciální úpravy přívodního potrubí. Procesní kapalina nejdříve zasahuje svým účinkem odcházející třísku, obrobek a potom nástroj. Množství dodávané procesní kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku kohoutem, který ovládá průtok a je umístěn na výstupu (viz obr. 4, 5<sup>1</sup>).



*Obr. 4: Přívod procesní kapaliny do místa řezu v praxi*



*Obr. 5: Varianty přívodu procesní kapaliny do místa řezu [8]*

### Tlakové chlazení

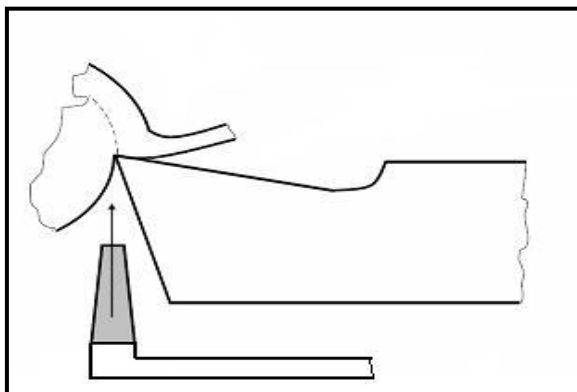
Při tlakovém chlazení je procesní kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem pomocí výkonného čerpadla (obr. 6). Průměr výstupní trysky bývá 0,2 - 0,5 mm nebo až 1mm a tlak 0,3 - 3 MPa. Řezná kapalina je přiváděna zesponu

<sup>1</sup> **Volný přívod** – procesní kapalina je přiváděna na odcházející třísku. **Horní přívod** – procesní kapalina je přiváděna mezi odcházející třísku a čelo nástroje. **Dolní přívod** – procesní kapalina je přiváděna mezi obrobek a hřbet nástroje.



na břit nástroje, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelně špatný vliv na trvanlivost nástroje. [1]

Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí  $0,5 - 2 \text{ l} \times \text{min}^{-1}$ . Jedním z nedostatků tohoto způsobu je, že se procesní kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu. Z tohoto důvodu je třeba řešit vhodné krytování pracovního prostoru stroje, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí. [1]



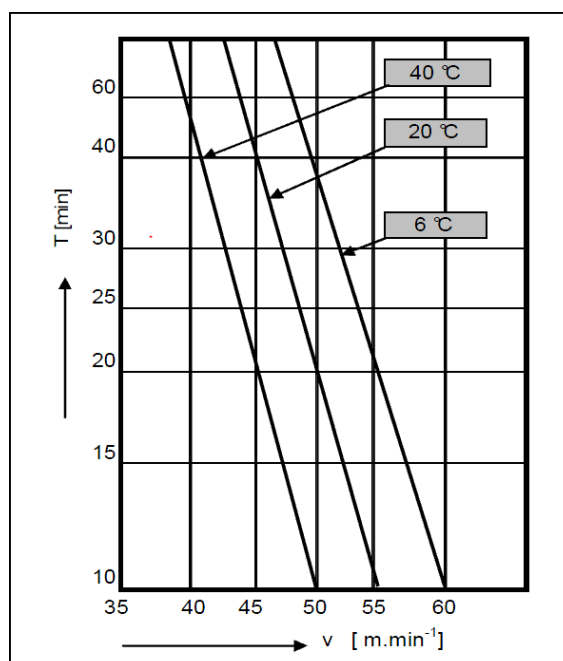
**Obr. 6: Přívod procesní kapaliny do místa řezu pod tlakem [8]**

### **Podchlazování procesní kapaliny**

Podchlazování procesní kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí, přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy procesních kapalin (emulzí) mohou být při zachování mazacích vlastností podchlazeny na  $5 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , oleje potom na  $15 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Podchlazení na nižší teploty (na  $2 - 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) je omezeno stálostí procesní kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. [1]

Snížení teploty procesní kapaliny na teploty pod bodem mrazu znamená, že je nutné použít jiné složení kapaliny, pomocí této úpravy může dojít ke zvýšení výkonu při obrábění. [1]

Výsledky zkoušek některých autorů (obr. 7) ukazují, že snížení teploty ze  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $5 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$  zvětšuje trvanlivost břitu nástroje při hrubování o 200 % při polohrubování o 130 %. [2]



**Obr. 7: Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti pro různé teploty procesní kapaliny [2]**

### Chlazení řeznou mlhou

K tlakovému chlazení je možné přiřadit i chlazení řeznou mlhou, kterou bývá zpravidla olejová emulze, která je rozptýlená tlakem vzduchu vytékající z trysky rychlostí až  $300 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ . Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky (mlhu) procesní kapaliny a tím má větší schopnost přejímat vzniklé teplo. [1]

Pro tuto metodu je důležité, aby se zabránilo v co největší míře úniku proudu řezné mlhy. Je tedy nutné zabezpečit kvalitní zakrytování, těsnění stroje a speciální zařízení pro znovu zkapalnění aerosolových částic z pracovního prostoru stroje.

Využití tohoto způsobu chlazení nacházíme tam, kde je klasické chlazení nevhodné, což je např. při broušení velmi tenkých součástí, aby nedocházelo k jejich prohýbání nebo chlazení nástrojů s destičkami ze slinutých karbidů. [1, 2, 7]

### Vnitřní chlazení

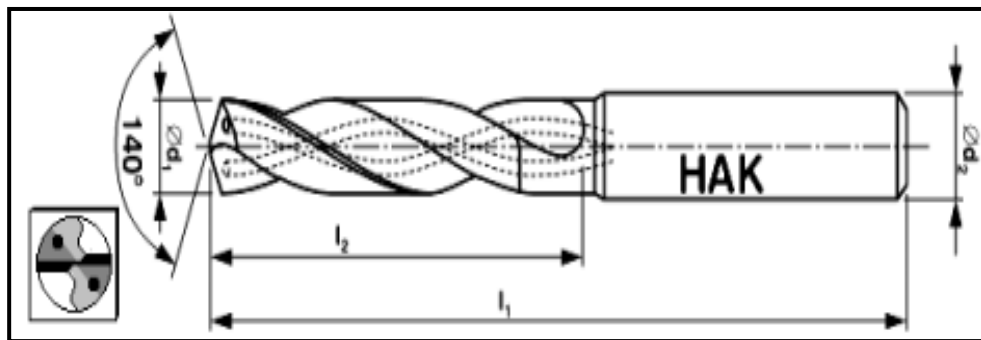
- vnitřní chlazení nástrojů
- vnitřní chlazení nástroji

### Vnitřní chlazení nástrojů

Jedná se o metodu, kdy se procesní kapalina nedostává do místa řezu, ale pouze cirkuluje vnitřkem upraveného nástroje, až pod řeznou destičku např. ze slinutých karbidů, kterou ochlazuje. Výhodou vnitřního chlazení je, že se procesní kapalina neznečistí působením řezu a tím není zapotřebí její častá výměna a pečlivá filtrace.

### Vnitřní chlazení nástroji

Tato metoda vnitřního chlazení přináší výrazné zvýšení výkonu u obrábění. Procesní kapalina se přivádí vnitřkem nástroje až do místa řezu na břit nástroje. Tento způsob chlazení se využívá především při vrtání hlubokých děr a při vrtání těžkoobrobitelných materiálů (obr. 8, 9).



Obr. 8: Schéma vrtáku s vnitřním přívodem chlazením do místa řezu [9]



Obr. 9: Ukázka vrtáku Chamdrill FF s vnitřním přívodem chlazení [9]

## **Chlazení plynem**

Chlazení plynem se v dnešní době používá velmi zřídka, poněvadž plynné látky mají mnohem nižší chladicí účinek, než mají procesní kapaliny. V některých případech, kdy je zapotřebí chladit nástroj bez přívodu procesních kapalin se používá jako chladicí medium vzduch. [2,7]

Mezi nejúčinnější a v praxi ověřené způsoby chlazení plynem patří chlazení stlačeným kysličníkem uhličitým (CO<sub>2</sub>). Oxid uhličitý má totiž velmi dobrý chladicí účinek. Tenký paprsek plynného CO<sub>2</sub> je přiváděn tryskou do místa řezu. Používá se s přetlakem 0,25 - 0,3 MPa. Pro získání nižší teploty plynu se používají tlaky 6 - 7 MPa.

Tato metoda, i když přináší zvýšení výkonu obrábění, má řadu nevýhod, k nimž patří především vysoká pořizovací cena plynů (argon, CO<sub>2</sub>), proto se používá chlazení plynem vzduchem, který musí být zbaven v kompresorovně obsahu vody. Další nevýhodou jsou náklady spojené s nutným odsáváním a odvětráváním pracoviště. [2,7]

## **Trvanlivost bříty nástroje**

Všechny bříty rezných nástrojů podléhají při obrábění určitému opotřebení, kterému jsou vystaveny až do okamžiku dosažení konce doby trvanlivosti. Trvanlivost jednoho bříty se počítá v minutách, přitom v současné době zvolené hodnoty trvanlivosti jsou kratší, než dříve uváděné, jejich délka byla 15 minut, ale v mnoha případech i delší. Jedná se o produktivní upotřebitelnost, při níž jeden břit obrábí kov a v mezích stanovených parametry jakosti uděluje tvar a rozměry obrobku. [10]

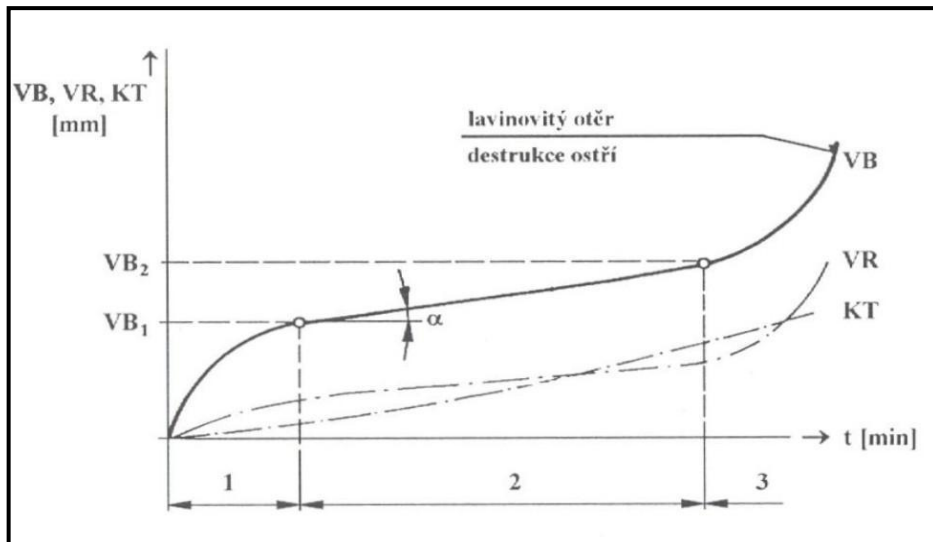
V dřívějších dobách často existoval jen jediný parametr trvanlivosti. Tento parametr určoval hranici, při jejímž dosažení nástroj už nebyl schopen dále obrábět.

V současnosti jsou nejsledovanějšími parametry:

- stav povrchu obrobku
- přesnost rozměrů
- způsob opotřebení břitu nástroje
- způsob utváření třísky
- stanovená doba trvanlivosti
- řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka záběru),
- vlastnosti procesního prostředí (chlazení, mazání),
- tuhosti soustavy (stroj – nástroj – obrobek – přípravek),
- způsobu namáhání nástroje (plynulost řezu, vibrace atd.).

Pro dosažení nejvyšší možné produktivity obrábění je rozhodující volba správného řezného nástroje. Volba materiálu a geometrie břitu hraje přitom zvláštní roli. Procesní kapaliny mají významný vliv na trvanlivost nástroje (viz kapitola 1.1, 1.2). Přesto se však může v praxi stát, že i při správné volbě podmínek při obrábění nelze docílit uspokojivé doby trvanlivosti. Vibrace vznikající v průběhu procesu obrábění, vyvolané například nedostatečnou tuhostí držáku nástroje nebo chybným upnutím obrobku, způsobují vždy předčasné ukončení trvanlivosti břitu. [10]

Časový průběh opotřebení břitu nástroje lze popsat třemi oblastmi: počáteční opotřebení, rovnoměrně narůstající opotřebení, zrychlené opotřebení (obr. 10).



**Obr. 10: Závislost opotřebení nástroje na čase**

1. Oblast rychlého počátečního otupování nástroje – zde dochází k vyrovnávání mikro-nerovností řezných ploch nástroje a ke zvětšování třecích ploch.
2. Oblast rovnoměrného otupování – v této oblasti jsou mikro-nerovnosti srovnány, intenzita opotřebení je konstantní a tato oblast je označována jako pracovní.
3. Oblast zrychleného otupování před destrukcí nástroje – tato oblast je způsobena tzv. lavinovým otěrem, tj. rychlým nárůstem opotřebení.

Na začátku 20. století objevil F. W. Taylor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin.

$$T = f(v_c) = c_T \cdot v_c^{-m} \quad [\text{min}]$$

$$C_T = T \cdot v^m = T_1 \cdot v_1^m = T_2 \cdot v_2^m = T_3 \cdot v_3^m = T_4 \cdot v_4^m$$

z toho dále

$$T_2 = T_1 \cdot (v_1/v_2)^m$$

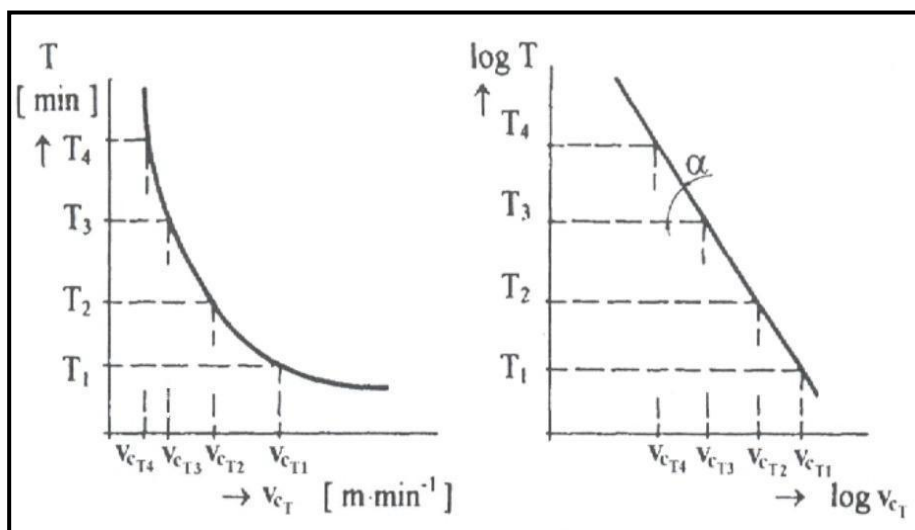
$C_T$  konstanta Taylorova vztahu [-]       $v$  řezná rychlost [m/min]

$T$  trvanlivost nástroje [min]       $m$  exponent Taylorova vztahu [-] [1]

Konstanta  $C_T$  závisí především na materiálu obrobku a nástroje, nabývá hodnot  $10^8$  až  $10^{12}$ . Velikost exponentu  $m$  charakterizuje především vlastnosti řezného nástroje:

nástroje oceli	$m = 10 - 8$ (až 6)
rychlořezné oceli	$m = 8 - 5$ (až 3)
slinuté karbidy	$m = 5 - 2,5$ (až 2)
řezná keramika	$m = 2,5 - 1,5$ (až 1,2) [1]

Na obrázku 11 je znázorněn průběh závislosti  $T = f(v_c) = c_T \cdot v_c^{-m}$  v lineárních i v logaritmických souřadnicích.



a) lineární souřadnice b) logaritmické souřadnice

**Obr. 11: Průběh závislosti  $T = f(v_c) = c_T \cdot v_c^{-m}$  [1]**

Životnost nástroje je dána součtem trvanlivostí ostří při přestřování až do jeho úplného vyřazení z provozu. Životnost nástroje lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$\check{Z} = (n_p + 1) \cdot T$$

$\check{Z}$  životnost nástroje [min]

$n_p$  počet přestřování [-]

$T$  trvanlivost nástroje [min] [1]

## 1.5 Jakost obrobeného povrchu

Jakost neboli integrita obrobeného povrchu na sebe váže řadu složek, resp. parametry, které kvalitativně popisují obrobený povrch a posuzují tak jeho vhodnost pro plnění požadovaných cílů, které jsou na obrobený povrch kladeny. [11]

Faktory ovlivňující integritu povrchu:

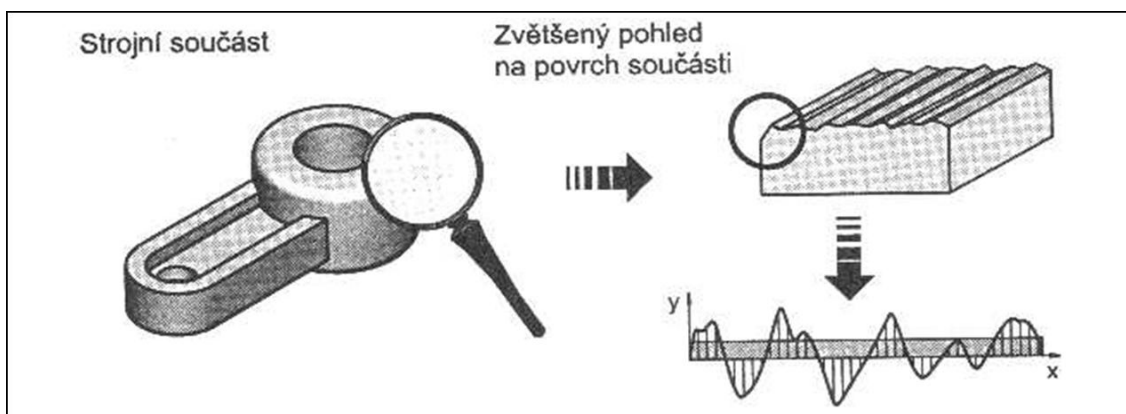
- drsnost povrchu,
- geometrická přesnost,
- změny tvrdosti v povrchové vrstvě,
- změny struktury v povrchové vrstvě,
- teplené změny – opaly,
- trhliny.

### Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je důležitým činitelem zejména pro dynamicky namáhané součásti, které se začínají porušovat zpravidla od povrchu. Větší drsnost tedy nepříznivě působí na únavovou pevnost součásti, popřípadě i na jejich odolnost proti otěru. [12]

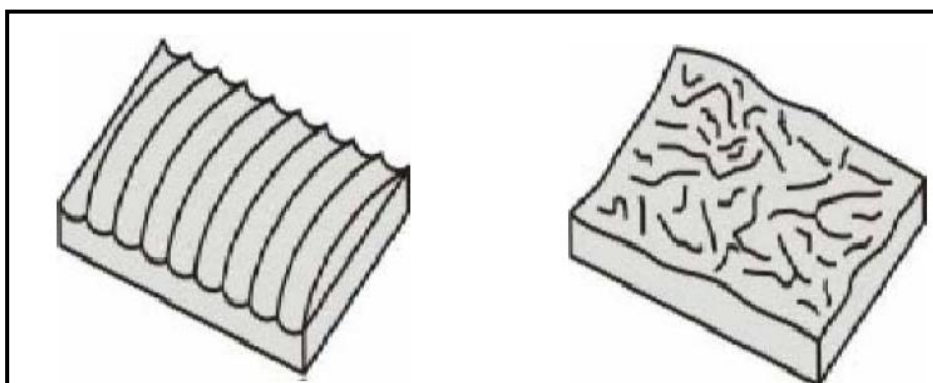
Na každé obrobené ploše zůstávají stopy zejména po nástroji, které jsou vzájemně uspořádány. Obrobená plocha není v žádném případě ideálně hladká. Vykazuje vždy určitý stupeň drsnosti, který je určen mikro-nerovnostmi vzniklými při obrábění (obr. 12). Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Drsnost povrchu dosahovaná při obrábění může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj – nástroj – obrobek, způsobem upínání obrobků, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, opotřebením nástroje. [12]





**Obr. 12: Komplexní pohled na drsnost povrchu strojní součásti [14]**

Směr nerovností na povrchu může být buď výrazný (periodický) nebo nevýrazný (aperiodický). *Periodický povrch* (na obr. 13 vlevo) vzniká při soustružení, frézování, vrtání, broušení, tedy v případě, kdy nástroj vytváří na povrchu součásti rýhy v určitém směru. *Aperiodický povrch* (na obr. 13 vpravo) vzniká při odlévání, kování.



**Obr. 13: Periodický povrch [14]**

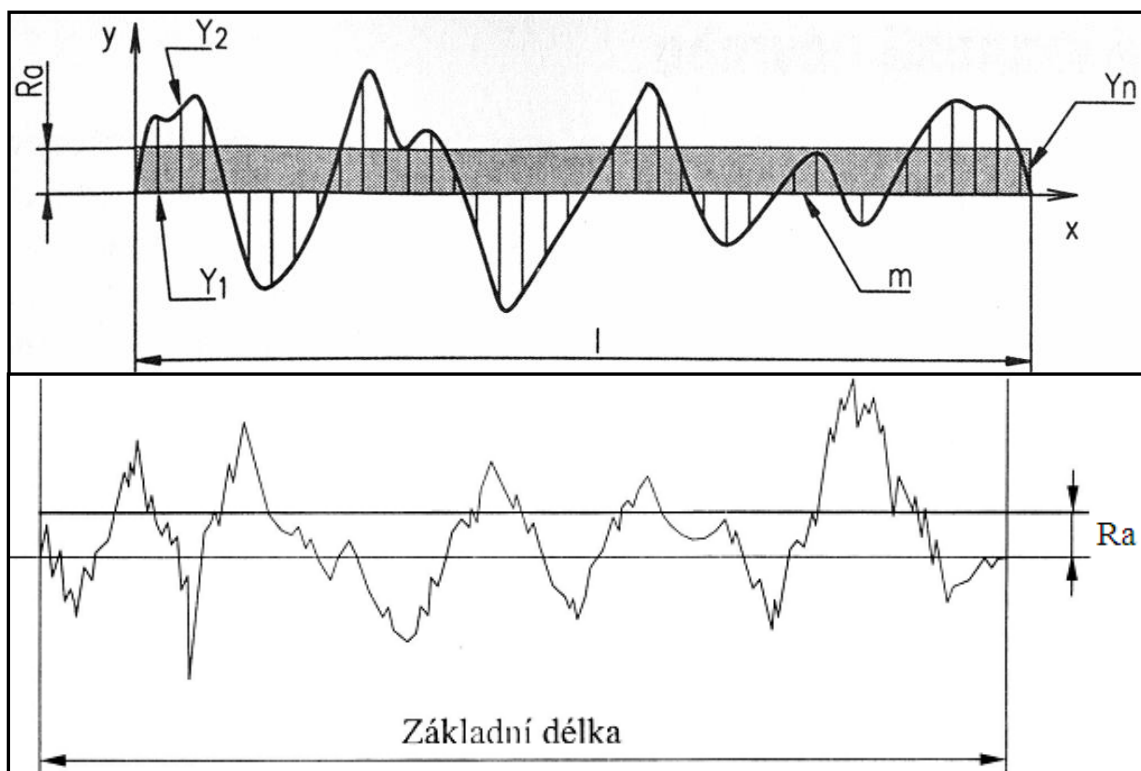
Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristickou drsností povrchu podle ČSN 014451, což znamená číselnou hodnotou příslušné veličiny a základní délkou, na které se veličina určuje. [12]

Mezi základní normalizované veličiny drsnosti povrchu patří  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $C_{TP}$ .

- $R_a$  – střední aritmetická úchylka profilu,
- $R_z$  – výška nerovností profilu,
- $C_{TP}$  – nosný podíl.

## **Střední aritmetická úchylka profilu $R_a$**

Jedná se o střední aritmetickou hodnotu absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky a je dána normou ČSN EN ISO 4287. Jedná se o nejběžnější metodu pro hodnocení drsnosti povrchu střední aritmetická úchylka, která je určena pomocí střední aritmetické hodnoty absolutních hodnot úchylek  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  profilu v rozsahu základní délky  $l$  (viz obr. 14). Absolutní hodnoty úchylek se odečítají ke střední aritmetické čáře profilu  $m$ , která rozděluje skutečnou profil tak, že v rozsahu základní délky jsou součty ploch obou jejích stran stejné.



*Obr. 14: Určení aritmetické úchylky profilu  $R_a$  [14]*

Pro výpočet Ra používáme integrální počet, popřípadě statistické metody, nerovnosti jsou pokaždé charakterizovány v rozsahu základní délky l. [14]

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} \quad [\mu\text{m}]$$

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad [\mu\text{m}]$$

Tabulka 2 zachycuje praktickou řadu hodnot parametru Ra a tabulka 3 obsahuje doporučené hodnoty základní délky l.

**Tab. 2: Praktická řada hodnot parametru Ra [14]**

Parametr	Praktická řada hodnot											
Ra	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025

**Tab. 3: Doporučené hodnoty základní délky l [14]**

Doporučená základní délka l [mm]						
Základní délka	0,08	0,25	0,8	2,5	8	25

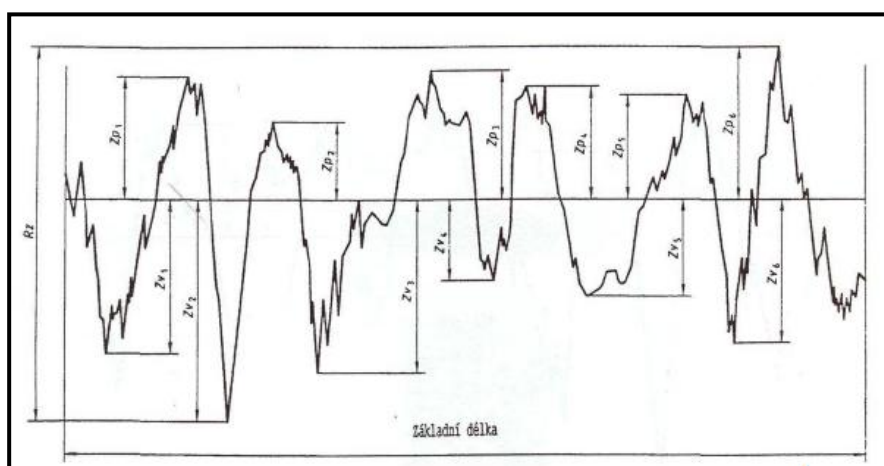
Hodnoty drsnosti povrchu jsou závislé především na jednotlivých metodách obrábění povrchu materiálu (tab. 4, 5). Volba vysoce kvalitních povrchů může u strojních součástí výrazně zvýšit jejich konečnou cenu. Proto volíme drsnosti povrchu součástí vždy optimálně s ohledem na jejich funkci. [14]

**Tab. 4, 5: Hodnoty drsnosti dosažení jednotlivými druhy výroby [14]**

Ruční pilování jemné	1,6	Hoblování	3,2 až 1,6
Soustružení	16 až 0,2	Protahování jemné	0,8
<b>Vrtání, vyvrtávání</b>	1,6 až 0,2	Vystružování	0,8
Broušení do kulata	0,04 až 0,025	Frézování	3,2 až 0,8
Broušení vnitřní	0,04 až 0,025	Lapování	0,1 až 0,05
Broušení na plocho	0,4	Hoblování a superfinišování	3.2 až 0,025

### Výška nerovností profilu Rz

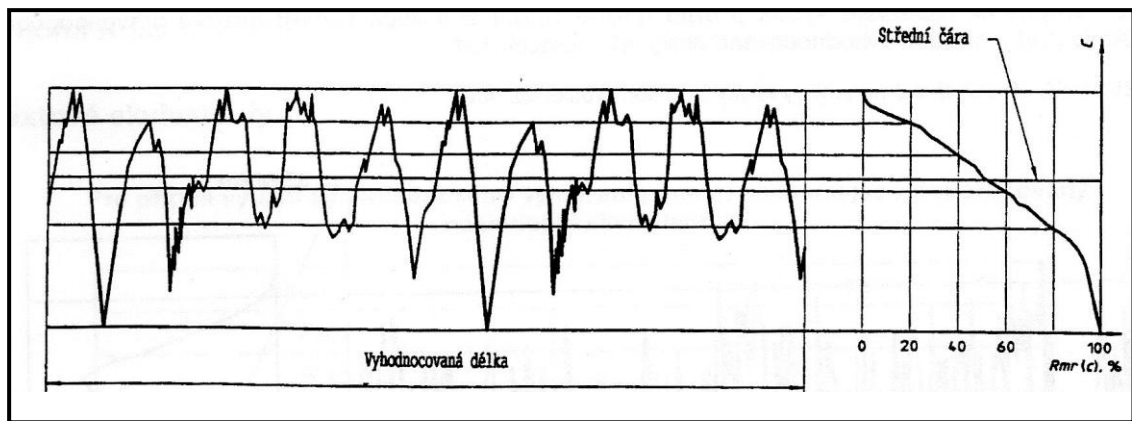
Tento profil je definován jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilů a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky. Výška nerovností profilu Rz (obr. 15). [13]



**Obr. 15: Výška nerovností profilu Rz [13]**

### Nosný podíl $C_{TP}$

Jedná se o tvarovou charakteristiku profilu povrchu, která je definována jako poměr nosné délky profilu k základní délce. Nosný podíl je graficky vyjádřen jako poměr materiálu a vzduchu v oblasti nerovností měřeného povrchu (Abbotova křivka, obr. 16). Nejčastěji se nosný podíl udává číselnou hodnotou  $C_{TP50}$ , která znamená podíl materiálu a vzduchu 1:1. [13]



*Obr. 16: Nosný podíl  $C_{TP}$  [13]*

## 1.6 Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje

Procesní kapaliny se vyznačují svým chladicím a mazacím účinkem, ale i ostatními účinky (viz kapitola 1.1), které významně ovlivňují řezný proces. Dále můžeme z praktických experimentů dokázat, že řezné prostředí má vliv především na trvanlivost obráběcího nástroje a jakost obrobené plochy. Při použití vhodné procesní kapaliny, lze dosáhnout zlepšení v obou případech, jak je již podrobněji rozepsáno v předchozích kapitolách (viz kapitoly 1.2, 1.3, 1.4).

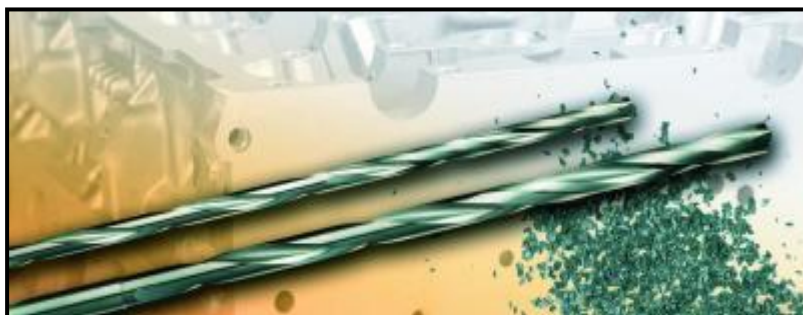
Trvanlivost bříty nástroje je závislá na vlastnostech obráběcího procesu i na řezném prostředí (viz kapitola 1.5). Na tyto vlastnosti ovlivňující trvanlivost bříty nástroje má zároveň vliv i řezné prostředí. Lze mluvit hlavně o velikosti řezných sil a teplotě řezání. Snahou procesních kapalin je dosáhnout co nejlepších výsledků ve všech ohledech, i z hlediska kvalitativního a ekonomického. Procesní kapalina svým chladicím účinkem snižuje teplotu řezání odvodem tepla z nástroje, obrobku a odcházející třísky. Dále procesní kapalina svým mazacím účinkem snižuje velikost třecích sil, tím dojde též ke snížení teploty řezání a menšímu mechanickému namáhání bříty nástroje. Je nutné uvést důležitost čisticího účinku procesních kapalin, který napomáhá k lepšímu vyplavování třísky z místa řezu. Nedochozí pak tedy k hromadění třísky v okolí řezu, je minimalizováno tření a tím je dosaženo menšího namáhání nástroje. Všechny tyto účinky procesních kapalin v závislosti na ostatních parametrech obráběcího procesu mají vliv na výslednou trvanlivost nástroje. [2, 4, 7, 13]

## 2. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na obrábění slitin hliníku

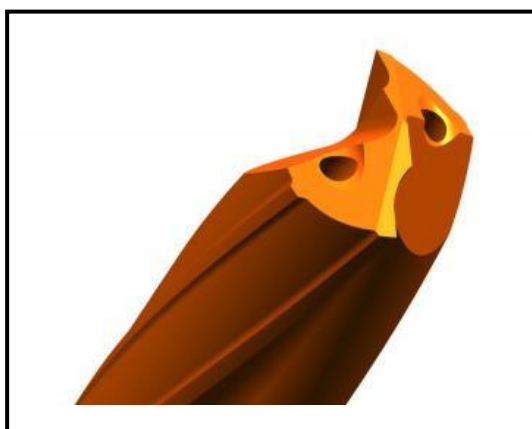
V poslední době rostou požadavky výrobců na zvyšování produktivity i u dílů z hliníku a hliníkových slitin. Tomuto trendu je věnována mimořádná pozornost. Pro obrábění hliníku byly v poslední době speciálně vyvinuty například monolitní spirálový vrták pro vrtání hlubokých otvorů a vysoce výkonné výstružníky. [9]

### Vrtání hlubokých otvorů v hliníku

Vrták řady RT100T pro vrtání ocelí byl již před určitou dobou úspěšně uveden na trh a jeho výkon je dnes všeobecně známý. Pro hluboké vrtání hliníku a jeho slitin byl však tento progresivní nástroj optimalizován pod typovým označením RT 100T ALU (obr. 17, 18). U tohoto nového typu byl zvolen vhodný druh slinutého karbidu a byla provedena optimalizace geometrie. Optimalizovaný výbrus špičky byl zaměřen na to, aby třísky měly co nejlepší tvar z hlediska jejich pohybu ve šroubovité drážce. [9, 22]

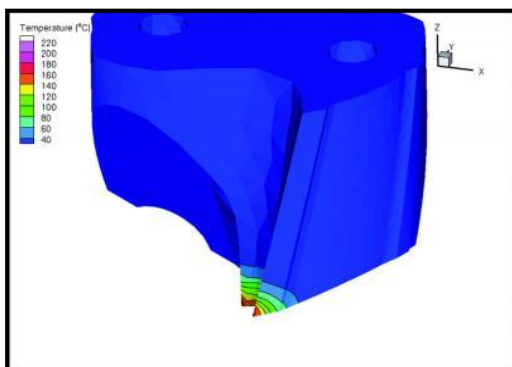


*Obr. 17: Vrták RT 100T ALU pro hluboké vrtání hliníku [9]*

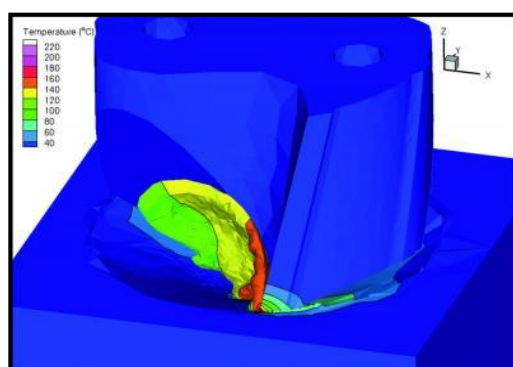


*Obr. 18: Vrták RT 100T ALU ukázka přívodu procesní kapaliny [9]*

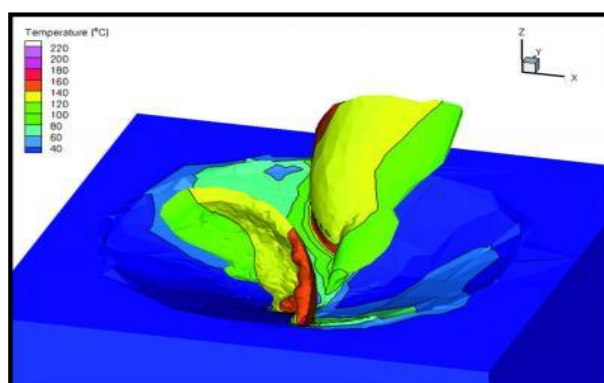
Profilové drážky jsou vyrobeny s  $15^\circ$  úhlem čela a s vynikající drsností povrchu. Provedení drážek s  $15^\circ$  úhlem čela zaručuje velmi krátkou dráhu pro odvod třísek z místa řezu. Vysoká kvalita povrchu profilových drážek pak představuje nízký koeficient tření pro kontakt s odplavovanými třískami. Díky těmto opatřením jsou třísky optimalizovaného tvaru rychle a bezproblémově odváděny i při vrtání velkých hloubek (obr. 19, 20, 21). [9, 22]



**Obr. 19: Začátek tvorby třísky [9]**



**Obr. 20: Tvorba třísky [9]**



**Obr. 21: Odvod třísky z místa řezu [9]**

### **Příklad aplikace vrtání hlavy válců**

Zde se jedná o typické nasazení v hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu, zvláště ve výrobě motorů (obr. 22). Mezi hlavní parametry obrábění u této aplikace patří operace, průměr vrtáku, hloubka záběru, otáčky vrtáku, posuv, vnitřní chlazení a trvanlivost břitu [9]:

- operace: vrtání hlavních olejových kanálů,
- průměr vrtáku: 6,95 [mm],
- hloubka  $a_p$ : 2x 210 [mm] (vrtání proti sobě),

- parametry:  $v_c= 110 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ ,  $v_f= 1500 \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}$ ,
- vnitřní chlazení:  $p= 4 \text{ MPa}$  (emulze),
- trvanlivost břitu:  $500 \text{ [m]}$ .



**Obr. 22: Příklad obrobku: vrtání olejových kanálů v hlavě válců [9]**

Dále jsou na trhu nové vrtáky HSS extra dlouhé k vyvrtání velmi hlubokých otvorů nebo k vrtání do místa, které je nepřístupné pro kratší vrtáky, popř. vrtání přes vrtací pouzdra nebo přípravky. Označení těchto vrtáků: Vrtáky HSS extra dlouhé DIN 1869.

Tyto vrtáky jsou vhodné pro vrtání běžných ocelí, litin, neželezných kovů, barevných kovů, slitin hliníku, ale i plastů s pevností v tahu do 900 MPa.

Vrtat je možné na CNC obráběcích strojích, horizontálních vrtačkách, sloupových vrtačkách, ale je možno je použít i pro vrtání pomocí ručních vrtaček a AKU vrtaček. Vrtáky jsou vyráběny vybrušováním, takže jsou přesné (obr. 23, 24). [22]





*Obr. 23: Vrták HSS extra dlouhý DIN 1869 [22]*



*Obr. 24: Vrták HSS 8mm extra dlouhý DIN 1869 [22]*

## **2.1 Shrnutí teoretické části a cíle praktické části diplomové práce**

V teoretické části diplomové práce byly obecně charakterizovány tyto oblasti:

- procesní kapaliny,
- trvanlivost břítu nástroje,
- integrita povrchu,
- drsnost povrchu.

Praktická část diplomové práce se zabývá těmito oblastmi:

- použité stroje a přístroje,
- navržení metodiky zkoumání drsnosti povrchu,
- měření jakosti povrchu,
- analýza výsledků.

Cílem diplomové práce je určit vliv procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. při vrtání slitiny hliníku. Především zjištění vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu, konkrétně parametry  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $C_{TP}$  (nosný podíl) a vliv těchto kapalin na tvorbu vznikající třísky.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### **3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu posuzovaných procesních kapalin na proces vrtání slitin hliníku**

Tato diplomová práce se zaměřuje na sledování vlivu vybraných procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na drsnost povrchu při vrtání otvorů do slitiny hliníku a také na vliv těchto kapalin na tvorbu vznikající třísky. K získání výsledků měření byly zhotoveny praktické zkoušky a realizace těchto zkoušek byla prováděna v laboratoři katedry Obrábění a montáže fakulty Strojní na Technické univerzitě v Liberci.

#### **Příprava procesních kapalin**

Pro tento výzkum byly použity procesní kapaliny, které jsou mísitelné vodou. Pro přípravu těchto kapalin je základ voda, u které je velmi důležitá její kvalita. V tomto případě byla použita standardní pitná voda z vodovodního řádu, která má neutrální hodnotu pH 7.

Míchání procesních kapalin se provádělo v čistém plastovém kanystru. Celá příprava obráběcí kapaliny byla provedena tak, že se za stálého míchání přilévala procesní kapalina do kanystru naplněného užitkovou vodou, přičemž koncentrace u všech vzorků procesních kapalin byla vždy 5 %.

K dodržení přesné koncentrace 5 % byl použitý ruční refraktometr. Toto měření koncentrace se provádělo opakovaně, než jsme vytvořili správný míšící poměr. Nesmí se opomenout korekční faktor, který je pro každou procesní kapalinu odlišný a je uveden od dodavatele.

Po docílení správné koncentrace procesní kapaliny je možné nalít procesní kapalinu do připravené nádrže na stroji a začít se samotným vyvrtáváním děr na připraveném zkušebním vzorku (obr. 25). Po vyvrtání děr byl zbytek nepoužité kapaliny z nádoby vypuštěn a zlikvidován. Do vyčištěné nádoby byla následně nalita další procesní kapalina.



*Obr. 25: Přívod chladicí kapaliny z nádrže*

### **Použité procesní kapaliny**

Pro praktickou část této diplomové práce byly zadány 4 procesní kapaliny firmou PARAMO, a.s. a další dvě porovnávací média, což je užitková voda a vzduch, neboli obrábění (vrtání) bez procesní kapaliny. Procesní kapaliny použité pro měření:

- PARAMO ESOK 1.0D,
- PARAMO ESOK 1.0E,
- PARAMO ESOK 1.1B,
- PARAMO ESOK 1.1F,
- užitková voda,
- vzduch (bez PK).

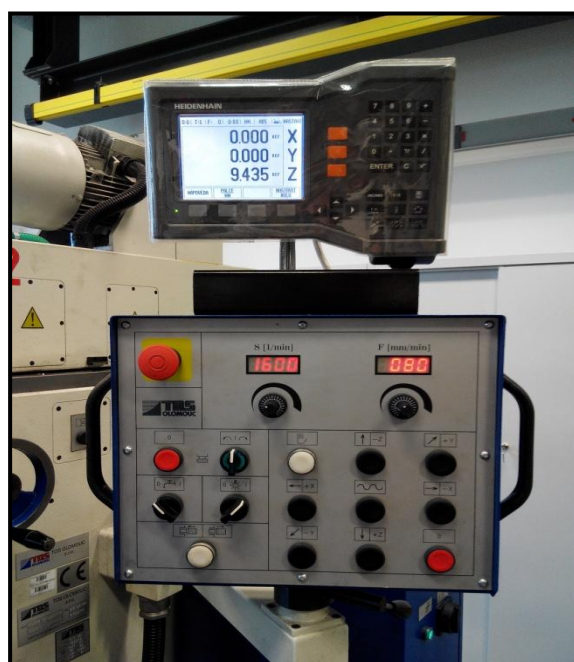
### **Použitý stroj**

Vrtání děr bylo uskutečňováno na nástrojařské frézce FNG 32 od společnosti TOS Olomouc s.r.o. (obr. 26) která je součástí strojního vybavení laboratoře KOM fakulty strojní Technické Univerzity v Liberci.

Tato obráběcí frézka je vybavena číslíkovou indikací polohy od firmy HEIDENHAIN s.r.o. (obr. 27). Frézka FNG 32 je určena pro frézovací, vyvrtávací, vrtací a závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě. Technické parametry frézky jsou uvedeny v (tab. 6) a v příloze č. 5.



*Obr. 26: Frézka FNG 32*



*Obr. 27: Digitální ovládací panel*

Tab. 6: Technické údaje frézky FNG 32 [18]

TECHNICKÉ ÚDAJE				FNG 32
<b>STŮL</b>				
Rozměr pracovní plochy	mm			800 x 400
Upínací drážky – počet				7
– šířka a rozteč	mm			14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg			350
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm			600
– příčný (Y)	mm			400
– svislý (Z)	mm			400
Posuvy – počet stupňů				plynule
– rozsah X, Y	mm/min.			15–1 000
– rozsah Z	mm/min.			6–400
Rychloposuv X, Y	mm/min.			2 000
Z	mm/min.			800
<b>HORIZONTÁLNÍ VŘETENO</b>				ISO40
Vzdálenost osy vřetene od plochy pevného stolu	mm			148–548
Rozsah otáček – plynule	ot/min			50–4 000
Počet rychlostních stupňů				2
Řazení otáček				plynulé
<b>VERTIKÁLNÍ VŘETENO</b>				ISO40
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm			250–650
Rozsah otáček – plynule	ot/min			50–4 000
Počet rychlostních stupňů				2
Řazení otáček				plynulé
Natočení vřetena				± 90°
Výsuv pinoly	mm			80
Upínání nástroje				pneu-hydraulické
<b>STROJ</b>				
Výkon hlavního motoru	kW			4,0
Výkon posuvového motoru	kW			1,1
Celkový příkon	kVA			22
Hmotnost	kg			2 500
Zastavěná plocha	mm			2 070 x 2 120
Výška	mm			2 115

### Použitý nástroj

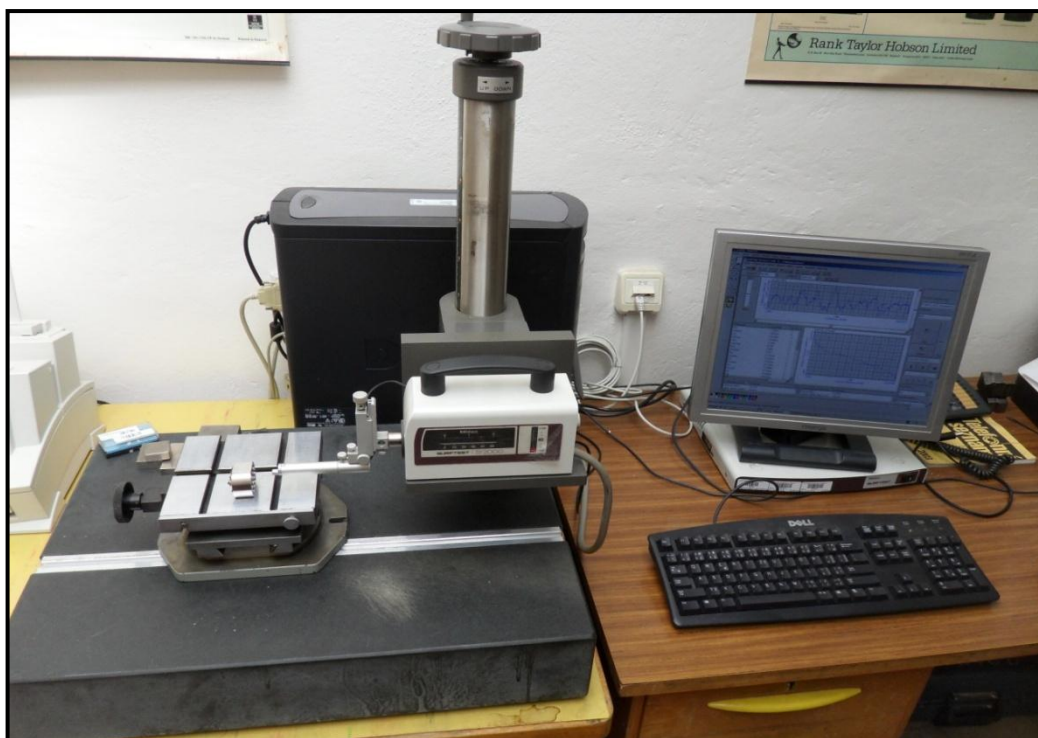
Vrták HSS o  $\varnothing$  8 mm z rychlořezné oceli. Rychlořezná ocel (High speed steel nebo zkráceně HSS) je druh oceli určený pro výrobu vysoce namáhaných řezných nástrojů určených pro obrábění kovových součástí v tepelně nezpevněném stavu a na rychlé obrábění. Mezi její významné vlastnosti patří vysoká tvrdost a žárupevnost (zůstává tvrdá i po zahřátí). Používá se k výrobě nástrojů jako například pil, pilových pásů, pilových listů, soustružnických nebo hoblovacích nožů, fréz, vrtáků a dalších. Ocel HSS vydrží v místě řezu až 600 °C. Pro výrobu se používá ocel třídy 19. která se dále kalí a popouští. Nevýhodou HSS je nízká

životnost, rychlé opotřebení a v neposlední řadě i fakt, že při velkém zahřátí v místě řezu se změní struktura kovu, ocel se začne drolit a je dále nepoužitelná. [21]

### **Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surfes SV-2000 N2**

Jakost obrobené plochy se měřila laboratorním profiloměrem Mitutoyo SV-2000 N2 za pomoci stolního počítače Dell s nainstalovaným programem Surfpack (obr. 28). Informace o profiloměru Mitutoyo Surfes SV-2000 N2 jsou v příloze č. 6.

Program Surfpack verze 1.100 je navržen pro zpracování vstupních dat a ovládání vstupního profiloměru. Ovládání je prováděno pomocí grafického rozhraní ve Windows a jeho výstupy mají grafickou, tak i textovou formu. [15]



*Obr. 28: Profiloměr Mitutoyo Surfes SV-2000 N2*

### **Ruční refraktometr**

Pro měření koncentrace procesních kapalin byl použitý ruční refraktometr RLC ATC K71901, (obr. 29), který je schopen měřit koncentrace v rozsahu 0 až 18 % Brix. Stupnice refraktometru je ve stupních Brix, což vyjadřuje celkovou koncentraci všech látek rozpuštěných ve vodě a uváděny jsou v procentech. Tento refraktometr určuje koncentrace s přesností  $\pm 0,15$  %. [16]



**Obr. 29: Refraktometr Optech Brix [16]**

Refraktometr je vybaven ATC (automatická teplotní kompenzace) gumovou rukojetí zabraňující přenosu tepla z obsluhy na přístroj.

Refraktometr lze použít při teplotách 10 až 30 °C. Přístroj je schopen měřit koncentraci v rozsahu 0 – 18 %, jeden dílek na stupnici znamená 0,2 %. Pipeta pro nanášení tekutiny na sklíčko refraktometru je součástí příslušenství. [16]

### **Obráběný materiál**

Použitým materiálem pro praktickou část byla slitina hliníku s označením: AlCu4BiPb. Označení materiálu podle norem ČSN se jedná o materiál ČSN 424254. Tento materiál se vyznačuje střední pevností a je vhodný především pro zpracování na automatech, vyznačuje se tvorbou krátkých třísek, kterou získává díky tepelnému zpracování. Další informace o vlastnostech slitiny hliníku AlCu4BiPb- ČSN 422454 jsou v příloze č. 1. Přehled chemického složení slitinových a doprovodných prvků v hmot. [%] je uveden v tab. 7, 8. Základní fyzikální vlastnosti této slitiny jsou uvedeny v tab. 9. [18]

**Tab. 7: Přehled chemického složení slitinových prvků v hmot. [%] [18]**

<b>Materiál</b>		<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>	<b>Pb + Bi</b>	<b>AL</b>
AlCu4BiPb	min	3.0	0.30	0.40	0,5	zbytek
AlCu4BiPb	max	5.0	1.5	1.5	1,5	



**Tab. 8: Přehled doprovodných prvků v hmot. [%] [18]**

Materiál		Fe	Zn	Ni	Sn + Cd	Si
AlCu4BiPb	max	1	0,7	0,3	0,4	1

**Tab. 9: Základní fyzikální vlastnosti slitiny AlCu4BiPb [18]**

Měrná hmotnost [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,8
Bod tavení	650
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$ [1/K]	20-100 °C 22,9 20-200 °C 23,4
Tepelná vodivost $\lambda$ [W/K·m]	147
Elektrický měrný odpor $\rho \cdot 10^9$ [ $\Omega \cdot m$ W/K·m]	Vytvrzený 43-55
Modul pružnosti v tahu $E \cdot 10^{-3}$ [MPa]	
Struktura	Základní mřížka $\alpha$ kubická, plošně centrovaná Pb kubická plošně centrovaná
Vhodnost pro svařování	nevhodný
Nejnižší tvrdost podle Brinella	(95)
Nejnižší pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	370
Nejnižší mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	250

## 4. Realizace experimentu

### Postup při obrábění

Samotná realizace experimentů probíhala následovně: na pracovní desku stolu byl upnut svěrák, do kterého se upnul předem připravený obrobek mezi čelisti, byla připravená emulze a také nastavené řezné podmínky.

Při vrtání byly nastaveny následující parametry a řezné podmínky:

- Nástroj: Vrták HSS
- Průměr otvoru (d): 8 [mm]
- Délka otvoru (l): 4xd [mm]
- Řezná rychlost ( $v_c$ ): 40,2 [m/min]
- Otáčky (n): 1600 [ot/ min]
- Posuv na otáčku ( $f_{ot}$ ): 0,05 [mm/ ot]
- Posuv minutový ( $f_{min}$ ): 80 [mm/ min]

Vrtání jednotlivých průchozích otvorů probíhalo za neustálého přívodu chladicí kapaliny. Od každé kapaliny se vyvrtaly dva zkušební otvory a to skrze celý obrobek, tj. průchozí otvory. Posuv materiálu do obrobku byl strojní a byl po celou dobu vrtání konstantní, stejně tak otáčky nástroje. Pro první kapalinu se vyvrtaly první dva otvory, které byly označeny čísly a každé další byly pak přiřazeny jednotlivým kapalinám, jak šly po sobě (obr. 30).

Po vyvrtání otvorů od jedné procesní kapaliny byla nádrž vyčištěna čistou vodou, nalila se do nádrže další připravená procesní kapalina. Bylo nutné očistit pracovní prostor od třísek vzniklých od předchozí kapaliny a cyklus se opakoval. Po každém vyvrtaném otvoru byly odebrány a pečlivě uloženy vzniklé třísky jako vzorky pro další hodnocení. Celkem tedy bylo vyvrtáno 26 otvorů, což představuje 11 procesních kapalin a dvě porovnávací média, tj. užitková voda a vzduch (obr. 31). Pouze 12 otvorů bylo zhotoveno pro tuto práci, jelikož současně na tomto obrobku probíhalo měření dalších procesních kapalin, které sloužily pro jinou diplomovou práci.



*Obr. 30: Nástroj nad obrobkem připravený k vrtání*



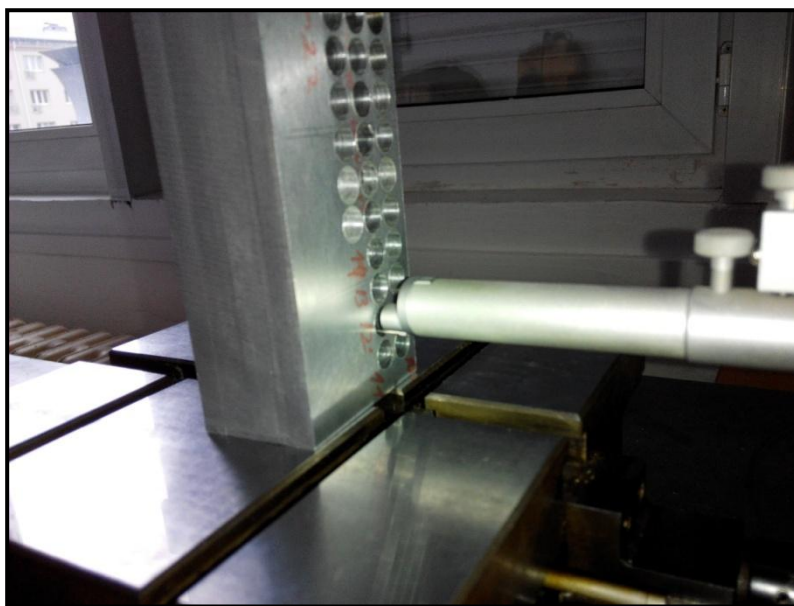
*Obr. 31: Třísky vzniklé při vrtání*

## 4.1 Měření parametrů drsnosti povrchu obrobených otvorů

Po dokončení obrábění následovalo měření zkušebního vzorku v laboratoři KOM, která je určena pro měření jakosti povrchu.

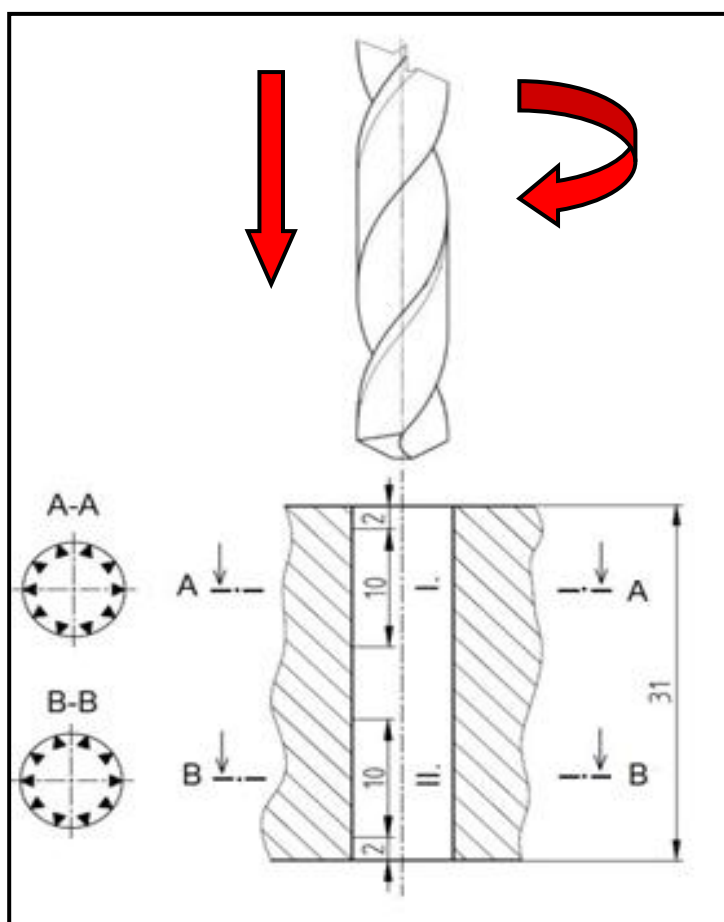
K měření drsnosti povrchu obrobeného vzorku byl použit profiloměr Mitutoyo Surfptest SV-2000, který je podporovaný softwarem Surfpak. Měřenými parametry pro tento experiment jsou hodnoty Ra, Rz a nosný podíl ( $C_{TP}$ ) profilu. Střední aritmetická odchylka Ra se nejčastěji využívá k hodnocení povrchu. Jedná se o průměrnou aritmetickou hodnotu absolutních odchylek profilu v rozsahu základní délky. Parametr Rz je výškovou charakteristikou drsnosti určenou vzdáleností mezi nejvyšší výškou profilu a hloubkou nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky. Nosný podíl profilu zkušebních vzorků byl vyhodnocen programem Surfpak a je graficky vyjádřen Abbottovou křivkou. Pomocí polohy křivky a její průběh jsou hlavními hodnotícími parametry, přičemž křivka položená výše s nižším sklonem udává profil s větším podílem kovového materiálu těsně pod povrchem a naopak (viz kapitola 1.4).

Protože se měřila drsnost po operaci vrtání a  $\varnothing$  díry byl 8 mm musel se využít speciální diamantový snímač pod označením 12AAB404 (obr. 32). Tento speciální diamantový hrot musí přejet vzdálenost 4,8 mm, aby mohl systém vyhodnotit výsledky drsnosti, přičemž se pohybuje rychlostí 0,5 mm/s. Další základní nastavení měření bylo  $l_n = 4$  mm a rozsah měření 800  $\mu\text{m}$ . [15]

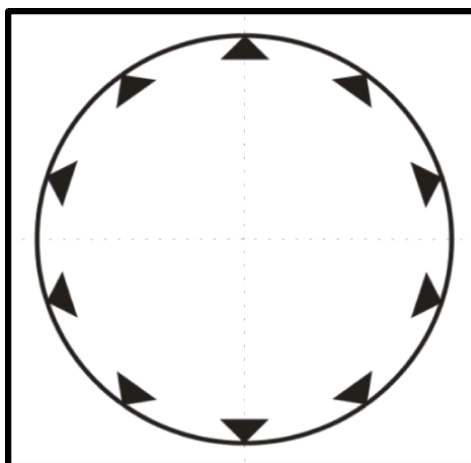


*Obr. 32: Snímání drsnosti povrchu diamantovým snímačem*

Pro každý vyvrtaný otvor bylo provedeno 20 měření a to tak, že bylo provedeno 10 měření na začátku vrtaného otvoru (obr. 33, řez A) a též 10 měření na konci vrtaného otvoru – na výstupu vrtáku (obr. 33, řez B). Obrobek se po každém měření pootočil, aby byla zajištěna jiná dráha měřícího zařízení kvalitní výsledky (obr. 34). Obrázky (33, 34) na následující straně jsou velice důležité pro názornost i pro pochopení, jak pro oblast vrtání, tak měření. Celkem bylo tedy provedeno 240 měření, tj. 40 měření pro každou procesní kapalinu.

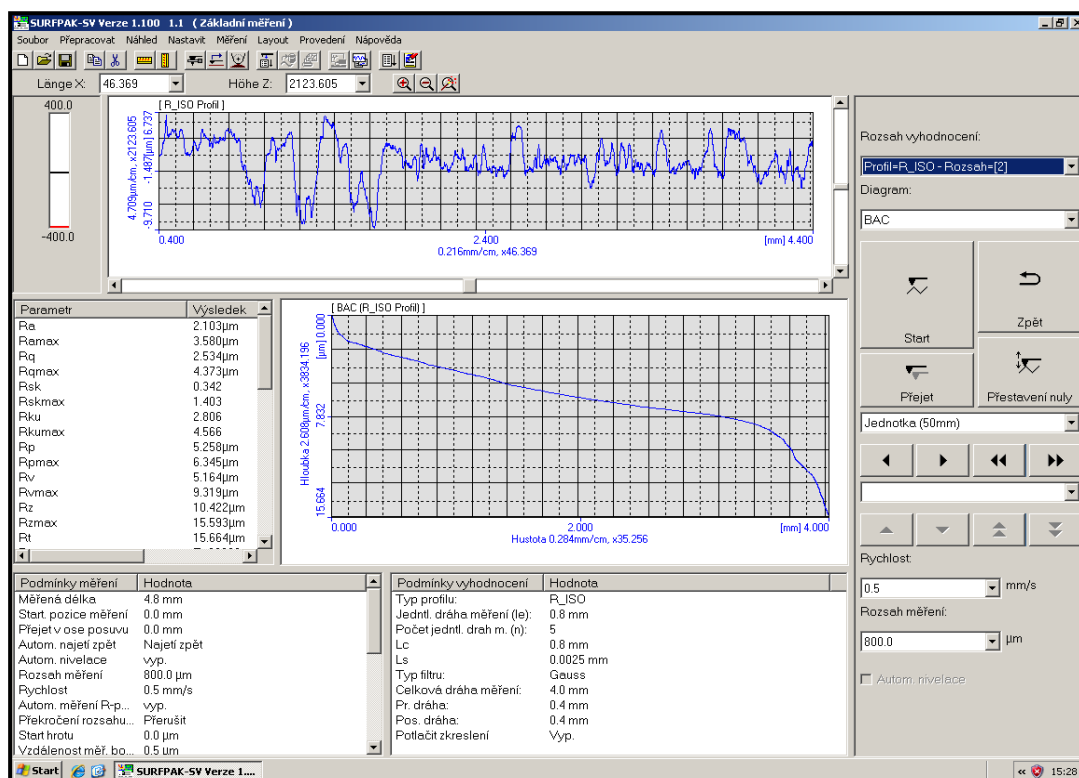


**Obr. 33: Měření parametrů drsnost povrchu řezy A-A, B-B**



Obr. 34: Měřicí body na vzorku

Program Surfpack vyhodnotil výsledky v grafické i datové podobě, ze kterých se získali průměrné hodnoty (viz obr. 35). Tyto získané údaje jsou zpracovány do podoby tabulek a grafů, ze kterých jsou dále vyvozeny patřičné závěry o vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu.



Obr. 35: Vyhodnocení programu Surfpack

## **4.2 Vliv procesních kapalin na tvar třísky**

Při vrtání slitiny hliníku byla u každého vrtaného otvoru odebrána a zaznamenána vzniklá tříska, u které se poté vyhodnocoval její tvar. Třísky se zaznamenávali pomocí přístroje Evolveo Strong Phone Q4. Vliv procesních kapalin na tvar třísky při obrábění slitiny hliníku je nepatrný. U všech procesních kapalin vznikají třísky krátké a šroubovité. Vyhodnocení tvaru třísky dle normy ISO 3685 je na obrázku 45 v kapitole 5.5 i s porovnáním tvaru odebraných třísek vzniklých při procesu vrtání.

## 5. Hodnocení vlivu různých druhů procesních kapalin

Tato kapitola popisuje zjištění vlivu procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu Ra, Rz,  $C_{TP50}$  a výsledky vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění slitiny hliníku.

### 5.1 Zjištění vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na parametry drsnosti povrchu při vrtání slitiny hliníku

Vyhodnocení drsnosti povrchu při použití různých kapalin od firmy PARAMO, a.s. je v následujících tabulkách a grafech. Hodnocení je provedeno pomocí střední aritmetické odchylky Ra, výškovou charakteristikou Rz a nosného podílu profilu  $C_{TP}$ . Všechny výše vypsane parametry jsou naměřeny v jednotkách mikrometrů [ $\mu\text{m}$ ].

Formuláře hodnocení procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska drsnosti povrchu obrobku jsou v přílohách č. 2, 3.

### 5.2 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Ra

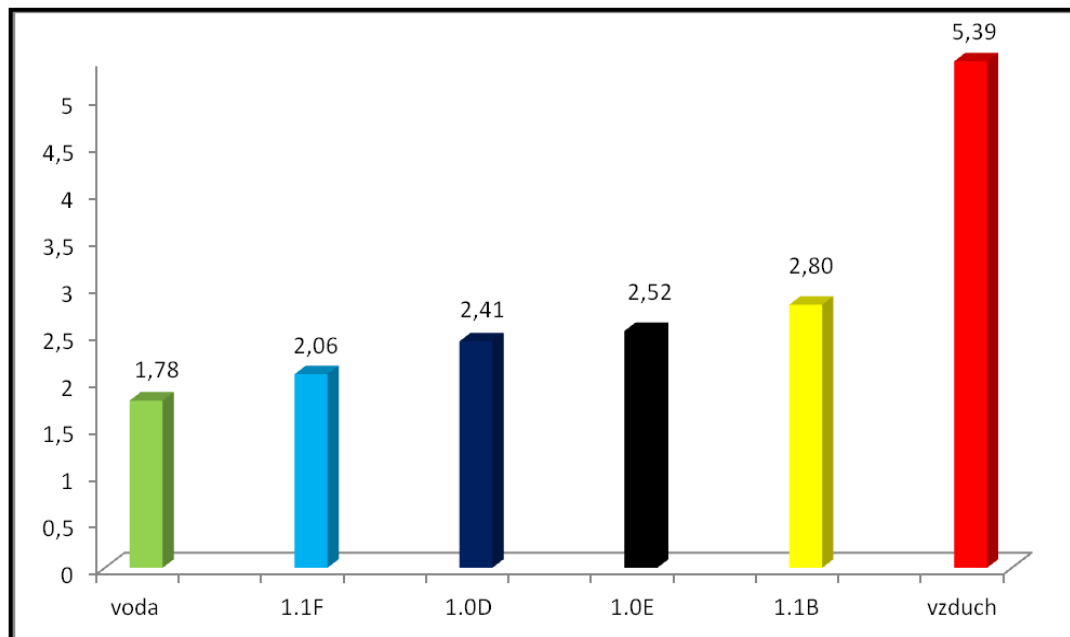
Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ] na počátku otvoru je zobrazen v tabulce 10. Na obrázku 36 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

*Tab. 10: Počátek vrtaného otvoru – Ra*

Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+;-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	2,10	1,78	1,97	1,83	2,34	1,85	1,67	1,34	1,12	1,68	<b>1,77</b>	<b>0,27</b>
1.0E	2,03	1,82	1,80	2,14	2,53	1,87	1,99	1,84	1,77	2,09	<b>1,99</b>	<b>0,17</b>
1.1B	1,11	0,79	1,47	0,94	0,99	1,09	1,03	1,08	1,08	1,35	<b>1,09</b>	<b>0,15</b>
1.1F	1,52	1,91	1,73	1,29	1,57	1,90	1,20	1,71	1,81	1,49	<b>1,61</b>	<b>0,18</b>
Voda	1,52	1,35	1,58	1,82	2,01	1,75	1,82	1,30	1,92	1,31	<b>1,64</b>	<b>0,20</b>
Vzduch	5,64	4,60	1,39	4,13	1,21	5,58	7,13	1,03	5,20	1,32	<b>3,72</b>	<b>1,72</b>



## Počátek vrtaného otvoru – Ra



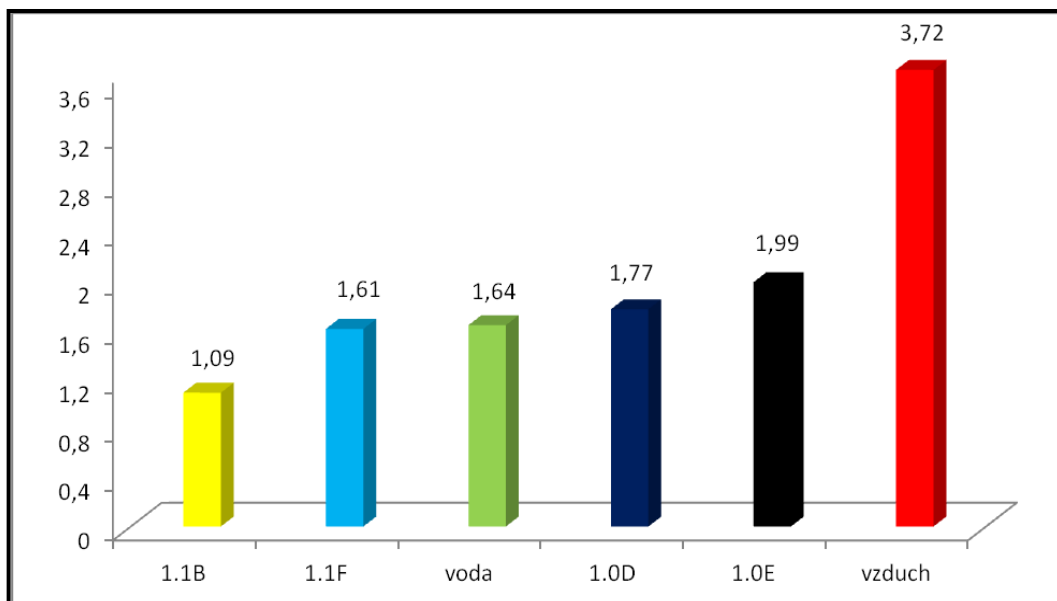
**Obr. 36: Průměrné hodnoty drsnosti Ra v jednotlivých prostředích – začátek**

Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu Ra [µm] na konci otvoru je zobrazen v tab. 11. Na obrázku 37 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

**Tab. 11: Konec vrtaného otvoru – Ra**

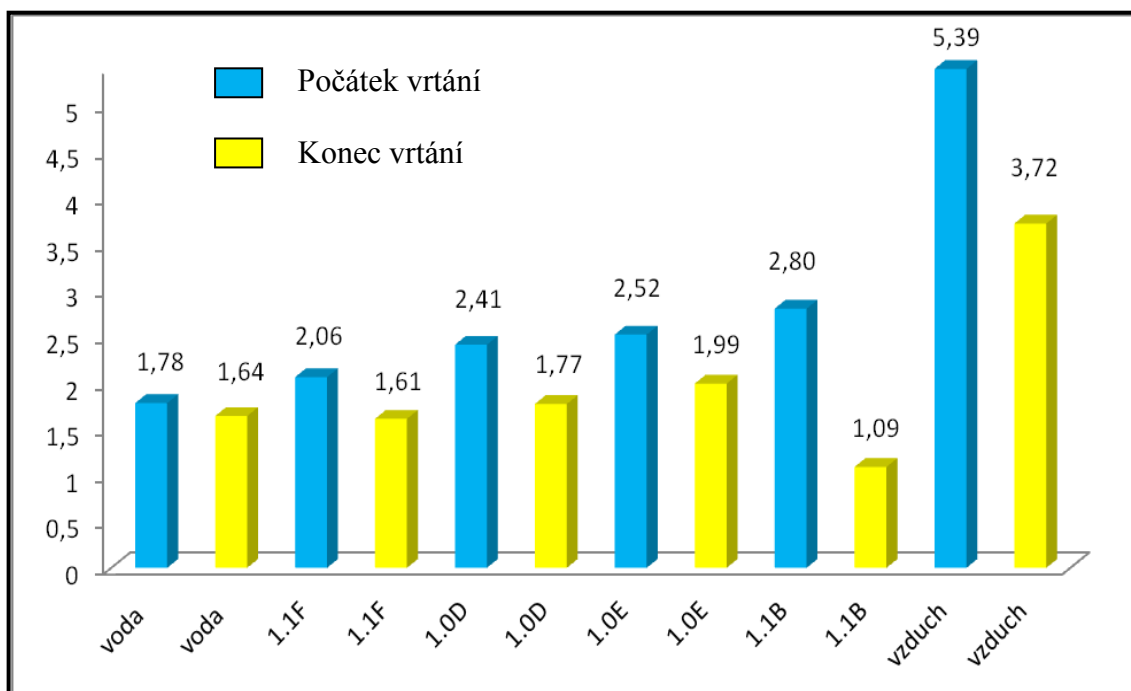
Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+: -)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	1,60	0,88	0,89	1,51	0,75	3,80	3,37	4,74	3,18	3,37	<b>2,41</b>	<b>1,09</b>
1.0E	4,81	3,05	2,93	2,93	3,07	1,75	1,43	1,49	1,57	2,18	<b>2,52</b>	<b>0,80</b>
1.1B	4,05	3,40	2,20	3,01	2,47	2,63	3,15	1,89	3,05	2,15	<b>2,80</b>	<b>0,50</b>
1.1F	2,63	2,08	2,49	2,13	1,47	2,38	1,71	2,13	1,84	1,72	<b>2,06</b>	<b>0,00</b>
Voda	1,93	1,76	1,73	1,97	1,86	2,11	1,69	1,38	1,63	1,75	<b>1,78</b>	<b>0,15</b>
Vzduch	5,18	4,21	4,66	3,70	5,01	6,04	7,18	5,46	6,70	5,73	<b>5,39</b>	<b>0,81</b>

## Konec vrтанého otvoru – Ra



Obr. 37: Průměrné hodnoty drsnosti  $R_a$  v jednotlivých prostředích – konec

## Vzájemné porovnání parametru – Ra



Obr. 38: Porovnání parametru  $R_a$

Měřením bylo zjištěno, že parametr drsnosti povrchu Ra obrobených děr je na počátku vrtaných otvorů cca 1x vyšší, než na konci otvoru. Rozdíly v parametrech drsnosti povrchu mezi začátkem a koncem jsou u Ra= 28–157 %.

Vliv procesní kapaliny na parametr drsnosti povrchu Ra na počátku vyvrtaného otvoru je nepatrný. Na koncích vrtaných otvorů je vliv procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu výrazný. Největší rozdíly mezi výslednou nejlepší a nejhorší zkoušenou kapalinou je Ra= 48–83 %.

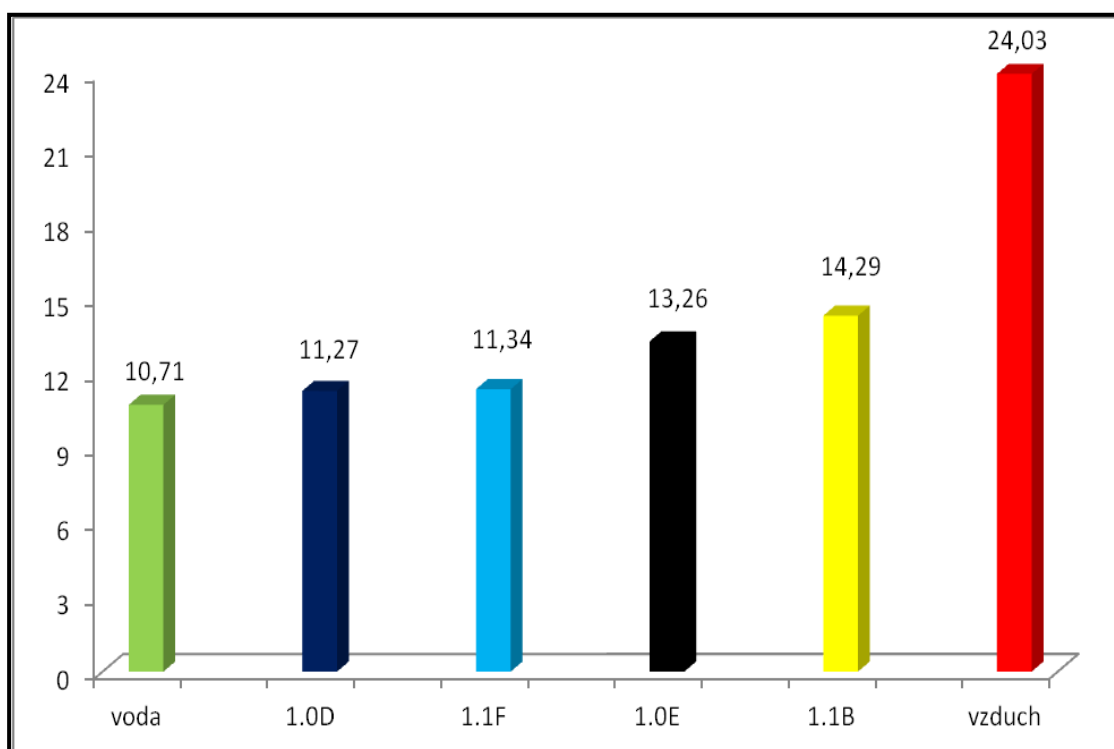
### 5.3 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Rz

Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu Rz [ $\mu\text{m}$ ] na počátku tvorby je zobrazen v tabulce 12. Na obrázku 39 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

**Tab. 12: Počátek vrtaného otvoru – Rz**

Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+: -)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	10,42	10,49	11,17	10,82	12,23	10,43	8,55	7,63	6,99	8,74	<b>9,75</b>	<b>1,27</b>
1.0E	12,05	11,52	10,67	10,86	12,55	11,02	10,40	10,69	10,72	11,26	<b>11,17</b>	<b>0,52</b>
1.1B	7,51	4,75	9,38	5,53	6,86	6,59	6,79	6,50	6,33	7,16	<b>6,74</b>	<b>0,92</b>
1.1F	9,81	11,83	9,06	7,18	8,76	10,33	8,25	9,84	10,41	8,47	<b>9,39</b>	<b>1,00</b>
Voda	8,15	8,24	8,74	11,47	10,59	10,64	10,45	7,36	11,39	8,65	<b>9,57</b>	<b>1,13</b>
Vzduch	26,46	23,33	7,06	31,34	6,33	25,61	36,69	5,78	26,05	8,68	<b>19,73</b>	<b>8,75</b>

## Počátek vrtaného otvoru – Rz



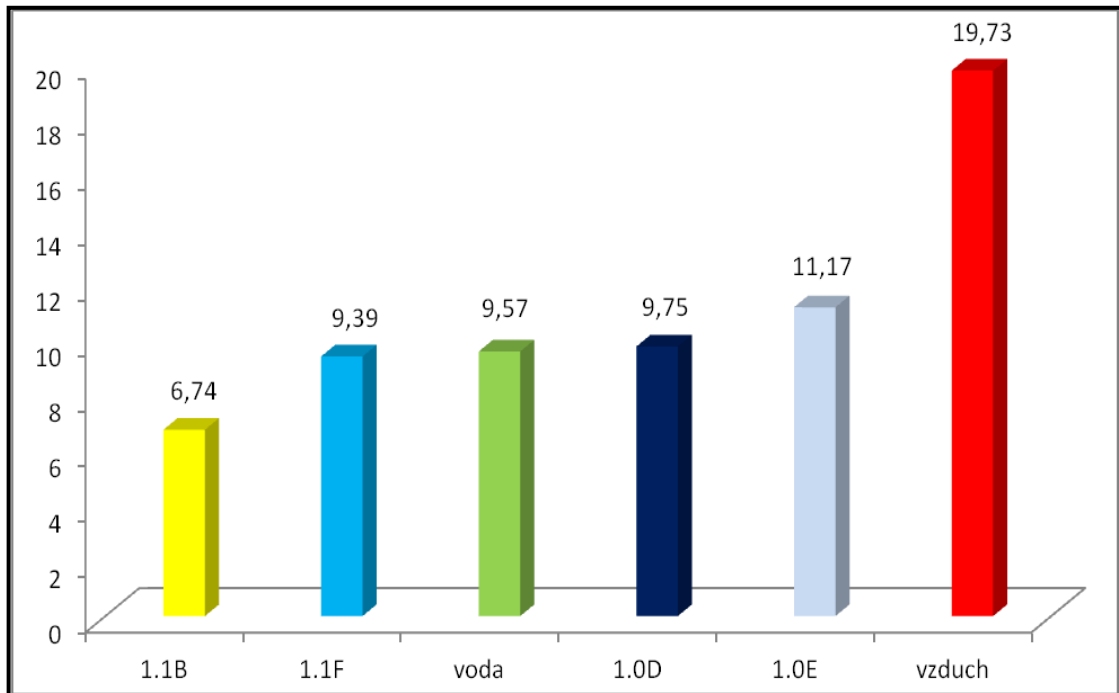
**Obr. 39: Průměrné hodnoty drsnosti Rz v jednotlivých prostředích – začátek**

Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu Rz [ $\mu\text{m}$ ] na konci otvoru je zobrazen v tabulce 13. Na obrázku 40 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

**Tab. 13: Konec vrtaného otvoru – Rz**

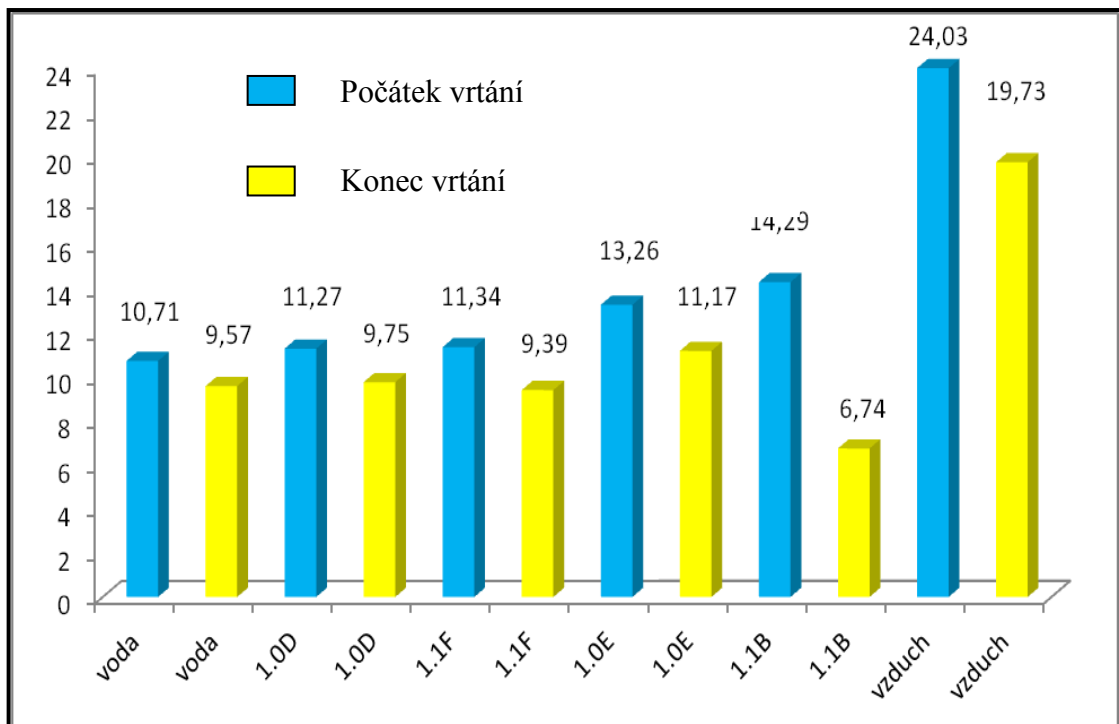
Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	9,41	5,34	5,01	8,29	4,29	17,78	15,81	19,52	11,97	15,35	<b>11,27</b>	<b>4,23</b>
1.0E	27,38	15,63	13,74	15,48	14,52	9,93	7,83	7,95	9,04	11,14	<b>13,26</b>	<b>4,37</b>
1.1B	21,40	17,15	11,72	14,97	13,07	12,17	15,47	11,24	14,65	11,08	<b>14,29</b>	<b>2,42</b>
1.1F	13,91	11,53	13,15	12,02	9,05	12,25	9,79	11,69	9,68	10,29	<b>11,34</b>	<b>1,20</b>
Voda	10,75	10,45	10,50	11,21	9,90	14,40	10,29	8,16	9,71	11,73	<b>10,71</b>	<b>1,22</b>
Vzduch	28,64	4,66	22,67	19,79	24,46	26,18	34,07	25,44	29,60	24,79	<b>24,03</b>	<b>5,92</b>

## Konec vrtaného otvoru – Rz



Obr. 40: Průměrné hodnoty drsnosti Rz v jednotlivých prostředích – konec

## Vzájemné porovnání parametru – Rz



Obr. 41: Porovnání parametru Rz

Měřením bylo zjištěno, že parametr drsnosti povrchu Rz obrobených děr je na počátku vrtaných otvorů cca 1x vyšší, než na konci otvoru. Rozdíly v parametrech drsnosti povrchu mezi začátkem a koncem jsou u Rz= 16–112 %.

Vliv procesní kapaliny na parametr drsnosti povrchu Rz na počátku vyvrtaného otvoru je nepatrný. Na koncích vrtaných otvorů je vliv procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu výrazný. Největší rozdíly mezi výslednou nejlepší a nejhorší zkoušenou kapalinou je Rz= 39–66 %.

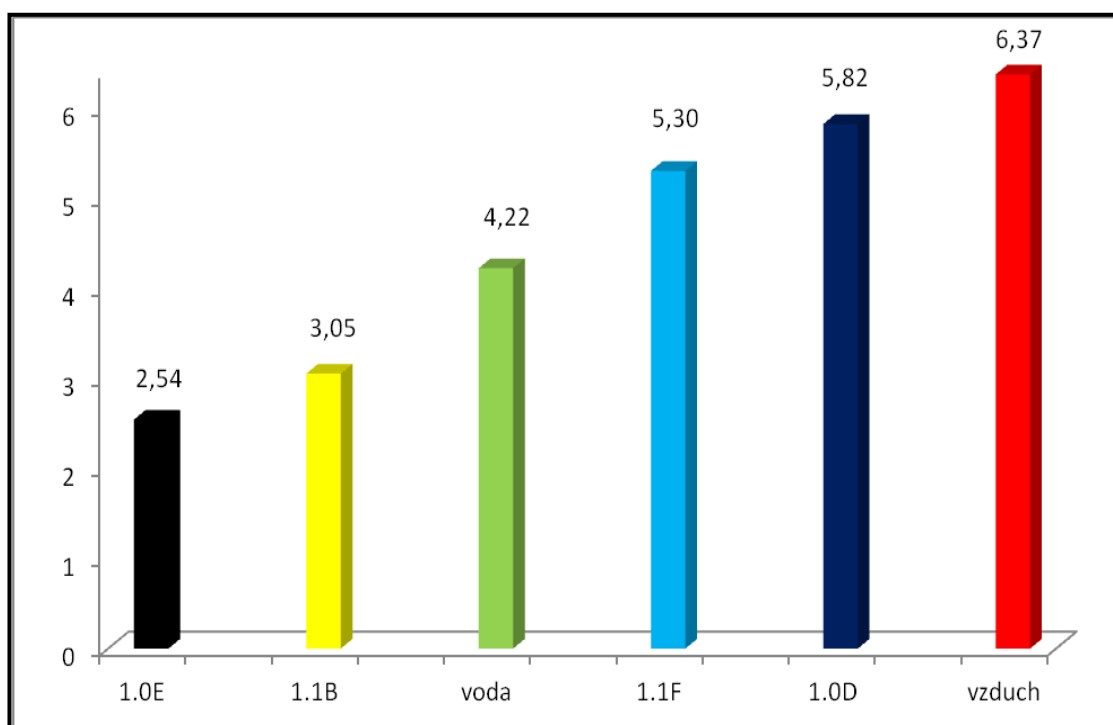
#### 5.4 Výsledky vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu $C_{TP50}$

Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu  $C_{TP50}$  [ $\mu\text{m}$ ] na počátku tvorby je zobrazen v tabulce 14. Na obrázku 42 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

**Tab. 14: Počátek vrtaného otvoru –  $C_{TP50}$**

Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+;-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	16,13	3,70	4,69	4,73	5,17	4,86	3,93	5,93	4,15	3,92	<b>5,72</b>	<b>2,80</b>
1.0E	2,39	2,00	2,56	2,68	2,88	3,87	2,40	1,57	1,81	3,02	<b>2,52</b>	<b>0,50</b>
1.1B	3,79	2,53	3,41	3,01	1,85	3,77	1,86	3,24	2,46	2,83	<b>2,88</b>	<b>0,53</b>
1.1F	4,90	2,49	3,99	6,65	6,33	6,04	2,98	5,13	8,35	4,04	<b>5,09</b>	<b>1,36</b>
Voda	3,50	3,05	2,77	2,25	3,39	4,66	4,09	6,56	6,69	4,79	<b>4,18</b>	<b>1,14</b>
Vzduch	5,44	6,47	5,75	5,76	6,32	10,13	4,51	7,36	4,42	5,91	<b>6,21</b>	<b>1,23</b>

## Počátek vrtaného otvoru – $C_{TP50}$



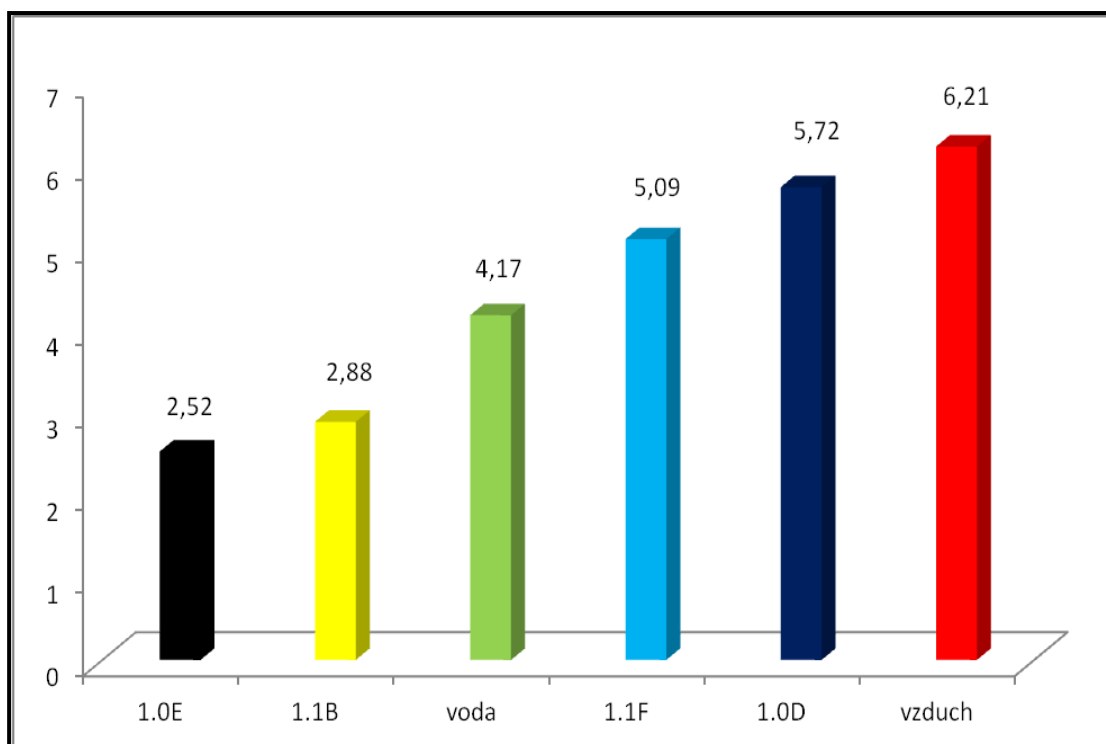
**Obr. 42: Průměrné hodnoty drsnosti  $C_{TP50}$  v jednotlivých prostředích – začátek**

Přehled naměřených hodnot parametru drsnosti povrchu  $C_{TP50}$  [ $\mu\text{m}$ ] na konci otvoru je zobrazen v tabulce 15. Na obrázku 43 jsou graficky znázorněny aritmetické průměry těchto hodnot.

**Tab. 15: Konec vrtaného otvoru –  $C_{TP50}$**

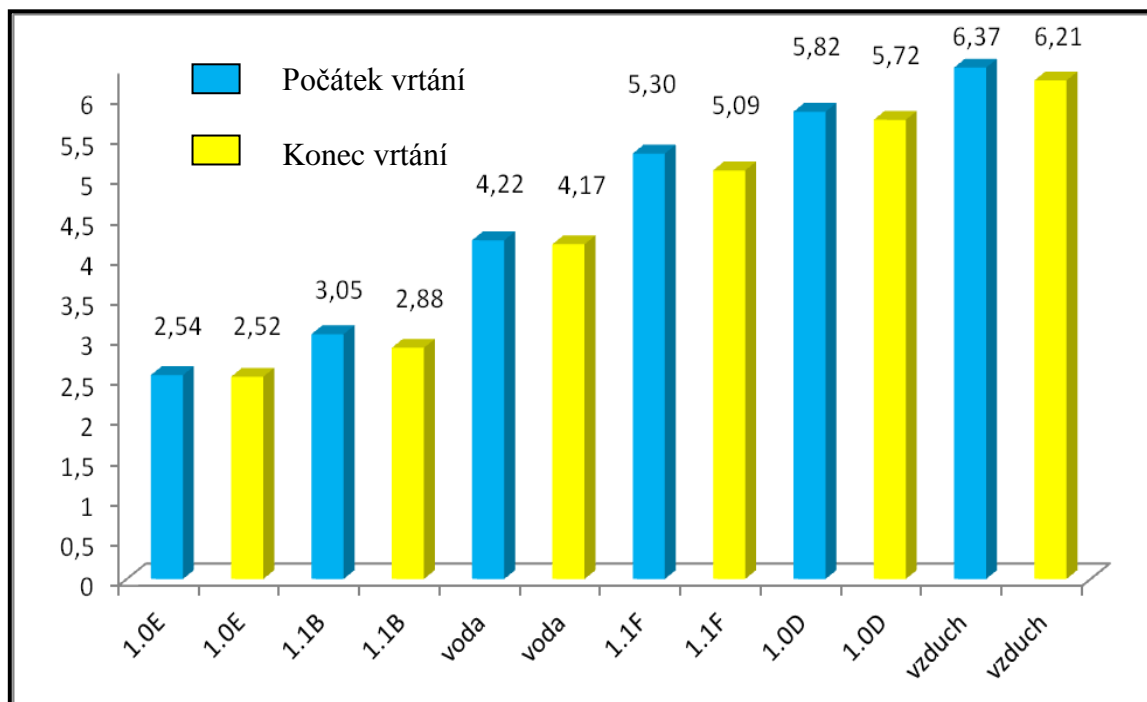
Procesní kapaliny	Číslo měření										Průměr	(+: -)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.0D	16,13	3,70	4,69	4,73	5,17	4,86	4,13	5,93	4,95	3,92	<b>5,82</b>	<b>2,77</b>
1.0E	2,39	2,00	2,56	2,68	3,00	3,99	2,40	1,59	1,81	3,02	<b>2,54</b>	<b>0,52</b>
1.1B	3,79	2,53	3,41	3,01	3,55	3,77	1,86	3,24	2,46	2,83	<b>3,05</b>	<b>0,47</b>
1.1F	4,90	4,59	3,99	6,65	6,33	6,04	2,98	5,13	8,35	4,04	<b>5,30</b>	<b>1,18</b>
Voda	3,50	3,05	2,77	2,25	3,39	4,66	4,29	6,56	6,99	4,79	<b>4,22</b>	<b>1,18</b>
Vzduch	5,44	6,47	5,75	5,76	6,32	11,23	5,03	7,36	4,42	5,91	<b>6,37</b>	<b>1,42</b>

## Konec vrтанého otvoru – $C_{TP50}$



Obr. 43: Průměrné hodnoty drsnosti  $C_{TP50}$  v jednotlivých prostředích – konec

## Vzájemné porovnání parametru – $C_{TP50}$



Obr. 44: Porovnání parametru  $C_{TP50}$



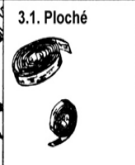
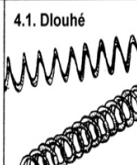

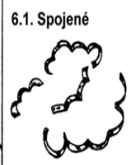



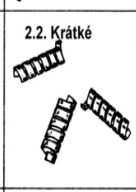

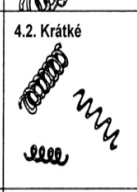

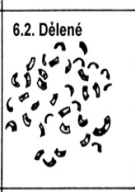






Měřením bylo zjištěno, že parametr drsnosti povrchu  $C_{TP50}$  obrobených děr je na počátku vrtaných otvorů cca 1x vyšší, než na konci otvoru. Rozdíly v parametrech drsnosti povrchu mezi začátkem a koncem jsou u  $C_{TP50}$  do 6 %.

Vliv procesní kapaliny na parametr drsnosti povrchu  $C_{TP50}$  na počátku vyvrtaného otvoru je nepatrný. Na koncích vrtaných otvorů je vliv procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu výrazný. Největší rozdíly mezi výslednou nejlepší a nejhorší zkoušenou kapalinou je  $C_{TP50}$  = 54–112 %.

## 5.5 Výsledky vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění slitiny hliníku

Třísky vzniklé při vrtání slitiny hliníku AlCu4BiPb za použití zkoušených procesních kapalin byly porovnány (viz obr. 45) dle normy ISO 3685 rozdělení tvaru třísky. Pomocí této tabulky byly snímky tříšek zařazeny do daných skupin. Formuláře hodnocení tvaru třísky jsou k nahlédnutí v příloze č. 4.

1. Stužkové * třísky	2. Vinuté * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité * šroubovitě třísky	6. Obloukovité třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

Obr. 45: Rozdělení tvaru třísek: ISO 3685

Fotografie třísek pořízené při vrtání slitiny hliníku:



*Obr. 46: ESOK 1.0D*



*Obr. 47: ESOK 1.0E*



*Obr. 48: ESOK 1.1F*



*Obr. 49: ESOK 1.1B*



*Obr. 50: Vzduch*



*Obr. 51: Užitková voda*

Po posouzení třísek dle obrázku 45 je patrné, že vliv procesních kapalin na tvar třísky při obrábění slitiny hliníku je nepatrný. U všech čtyř procesních kapalin i u dvou porovnávacích médií, kterými je užitková voda a vzduch, vznikají třísky krátké, šroubovitě a kuželovité.

## 6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů

Tato diplomová práce byla zaměřena na zjišťování procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na jakost obrobeného povrchu při obrábění slitiny hliníku. Procesní kapaliny byly zkoušeny ze dvou hledisek, vliv procesní kapaliny na parametry drsnosti povrchu a vliv procesní kapaliny na tvar třísky při vrtání slitiny hliníku.

Od firmy PARAMO, a.s. to byly tyto kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, ESOK 1.1F. Jako porovnávací média sloužila užitková voda a vzduch. Měření bylo provedeno v laboratoři KOM Technické univerzity v Liberci. Výsledky měření této práce mohou sloužit jako cenné informace pro praxi.

V první části se zjišťoval vliv procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu při vrtání slitiny hliníku a určení nejvhodnější procesní kapaliny.

Měření bylo zjištěno, že parametry drsnosti povrchu obrobených děr jsou na počátku otvorů cca 1x vyšší, než na konci otvorů. Předpokládáme, že tříška odcházející z místa obrábění poškozuje již obrobený povrch a zhoršuje tak jeho povrch, nezávisle na druhu použité procesní kapaliny. Rozdíly v parametrech drsnosti povrchu mezi začátkem a koncem jsou následující:  $R_a = 28\text{--}157 \%$ ,  $R_z = 16\text{--}112 \%$ ,  $C_{TP50} = \text{do } 6 \%$ .

Měření bylo zjištěno, že procesní kapaliny na počátku vrtání otvorů  $4x D$  nemají jednoznačný vliv na sledované parametry drsnosti povrchu. Například při použití kapalin 1.1F a 1.0D parametr drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  jsou nejlepší, při použití kapalin 1.0E a 1.1B parametr drsnosti  $C_{TP50}$  je nejlepší.

Na koncích vrtaných otvorů je vliv procesních kapalin na parametry drsnosti povrchu výrazný. Největší rozdíly mezi výslednou nejlepší a nejhorší zkoušenou kapalinou jsou:  $R_a = 48\text{--}83 \%$ ,  $R_z = 39\text{--}66 \%$ ,  $C_{TP50} = 54\text{--}112 \%$ . Bez procesních kapalin, tj. užitková voda, vzduch se parametry drsnosti zhoršují, pohybují se v následujících intervalech:  $R_a = 87\text{--}241 \%$ ,  $R_z = 77\text{--}192 \%$ ,  $C_{TP50} = 8\text{--}146 \%$ .

Konec vrtání otvoru není tříška schopna povrch poškodit a má zde tedy největší vliv na parametry drsnosti povrchu nárůstek, který vzniká na břitě nástroje. Nejlepší parametry drsnosti povrchu zaručuje procesní kapalina ESOK 1.1B.

V druhé části se zjišťoval vliv procesních kapalin na tvar třísky při vrtání slitiny hliníku, určení nejvhodnější procesní kapaliny a doporučení procesních kapalin do praxe.

Vliv procesních kapalin na tvar třísky je nepatrný. Při použití všech procesních kapalin i porovnávacích médií, což je užitková voda a vzduch je tvar třísky stejný – třísky krátké, šroubovitě a kuželovité.

Doporučení pro praxi je následující: při vrtání hlubokých otvorů ze slitin hliníku procesní kapaliny nemají podstatný vliv na parametry drsnosti povrchu. Pro vrtání krátkých otvorů je vhodné používat kapalinu ESOK 1.1B, která dosahuje nejlepších výsledků parametrů drsnosti povrchu.

## Seznam použité literatury

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN
- [3] MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Ekologie obrábění – Strojírenská technologie knihovnička*. 1. vyd. 2000. s. 9-18. ISBN 80-7044-232-8
- [4] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip).
- [5] LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. *Manufacturing Engineering*. Rec. M. Havrila aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.
- [6] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRŮV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
- [7] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: Obrábění*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004. 227 s.
- [8] NOVÁČEK, P. *Moderní chladicí kapaliny pro obrábění*. [Bakalářská práce]. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2012, 42 s. Dostupné na: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54919](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54919)
- [9] PLÁNIČKA, F. *Efektivní obrábění hliníku*. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-obrabeni-hliniku.html>
- [10] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting-A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4

- [11] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ, F. *Studium integrity broušeného povrchu* [online]. Výrobné inžinierstvo, ISSN 1335-7972. Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešove. 2008/5. Dostupné na: <http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf08/2-str-11-13.pdf>
- [12] DRSNOST OBROBENÉHO POVRCHU, [online]. Dostupné na: [www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/](http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/)
- [13] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ODVODY V. *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha: STNL, 1989. 340 s.
- [14] KLETEČKA, Jaroslav; FOŘT, Petr. *Technické kreslení: Učebnice pro střední průmyslové školy*. 1. vydání. Brno: Computer press, 1999. 193 s. ISBN 80-7226-192-4.
- [15] DRSNOMĚRY, Mitutoyo. *Přístroje na měření drsnosti povrchu*. Dostupné na: [http://gps.fme.vutbr.cz/stah\\_info/2609\\_Mitutoyo\\_Drsnomery.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/stah_info/2609_Mitutoyo_Drsnomery.pdf)
- [16] *Refraktometry série Brix*. [online]. Dostupné na: <http://www.refraktometr.cz/refraktometry-serie-brix>
- [17] SANDVIK Coromant, – Sandviken: *Technická příručka obrábění, soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.
- [18] TOS Olomouc s.r.o. *frézka FNG 32* [online] Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [19] ENCYKLOPEDIÉ HLINÍKU, Š. Michna, I. Lukáč, R. Kořený, J. Drápala, H. Schneider, A. Miškufová a kolektiv, Prešov 2005 ISBN 80-89041-88-4
- [20] MITUTOYO. *Přístroje na měření povrchu a tvaru*. [online]. Dostupné na: <http://www.mitutoyo-czech.cz/sk/pdf/350-369.p>
- [21] RYCHLOŘEZNÁ OCEL, článek – Wikipedie [online]. Dostupné na: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlo%C5%99ezn%C3%A1\\_ocel](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlo%C5%99ezn%C3%A1_ocel)
- [22] FALTI, V. Waloszek, vrtáky [online] Dostupné na: [www.falti.cz/vrtaky/](http://www.falti.cz/vrtaky/)

## Seznam příloh

- |              |   |
|--------------|---|
| Příloha č. 1 | Vlastnosti slitiny hliníku AlCu4BiPb- ČSN 422454  |
| Příloha č. 2 | Formulář Hodnocení PK ze spol. Paramo, a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska drsnosti povrchu obrobku (počátek otvoru) |
| Příloha č. 3 | Formulář Hodnocení PK ze spol. Paramo, a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska drsnosti povrchu obrobku (konec otvoru)   |
| Příloha č. 4 | Formulář Hodnocení PK ze spol. Paramo, a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska tvaru třísky                              |
| Příloha č. 5 | Parametry a charakteristika nástrojařské frézky FNG 32  |
| Příloha č. 6 | Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2   |

# Příloha 1

## Vlastnosti slitiny hliníku AlCu4BiPb- ČSN 422454 [19]

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

část 7, díl 6, kap. 3, AlCu4BiPb, str. 1

díl 6, hliník a jeho slitiny

část 7, díl 6, kap. 3, AlCu4BiPb, str. 2

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

díl 6, hliník a jeho slitiny

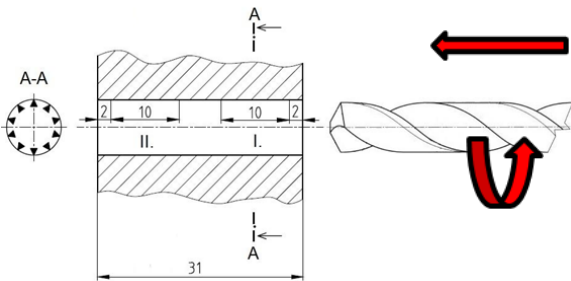
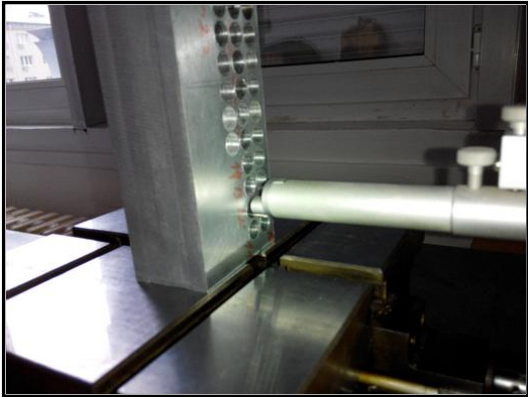
ČSN 42 4254		Slitina hliníku tvářená		SLITINA						
STN 42 4254		pro všeobecné účely		AlCu4BiPb						
<b>Chemické složení [hm. %]</b>										
Cu	Mg	Mn	Bi+Pb	Fe	Zn	Ni	Cd+Sn	Si	celkem	Al
3,0-5,0	0,4-1,5	0,3-1,5	0,5-1,5	max 1,0	max 0,7	max 0,3	max 0,4	max 1,0	max 1,5	zbytek
<b>Pořadky</b>										
[1] tyče kruhové, čtvercové, šestihhranné lisované za tepla			[3] trubky bežešvé lisované za tepla							
[2] tyče kruhové, čtvercové, šestihhranné tažené za studena			[4] trubky bežešvé tažené za studena							
<b>Mechanické vlastnosti</b>										
Pořadky	[1]	[2]	[3]	[4]						
Rozeřt. d. d [mm]	ČSN 42 7510, 20	d<100	ČSN 42 7714	ČSN 42 7715						
Stav	tvářený	vytvřený	vytvřený	vytvřený						
Mez kluzu R <sub>0,2</sub> [MPa]	-	-	-	-						
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	220-310	min 340	min 290	min 340						
Tažnost A <sub>5</sub> (%) (A <sub>10</sub> )	(min 10)	min 10	-	min 9						
Tvrdost HB	max 75	inf. 90	-	-						
<b>Fyzikální vlastnosti</b>										
Hustota ρ [kg·m <sup>-3</sup> ]	Měrná tepelná kapacita c <sub>p</sub> [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Tepelná součiniteľ roztažnosti α [K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost λ <sub>t</sub> [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Konduktivita λ <sub>e</sub> [MS·m <sup>-1</sup> ]						
2 820	865	23,4·10 <sup>-6</sup> (20-200 °C)	147	18-23 (vytvř.)						
<b>Odolnost proti degračním procesům</b>										
ODOLNOST PROTI KORÓZI										
slitina odolává atmosférické korózi, ve vytvřeném stavu je náchylná ke koroznímu praskání										
ODOLNOST PROTI UNAVĚ										
σ <sub>2,1P</sub> [MPa] 120 (vytvř. stav)										
<b>Technologické údaje</b>										
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ										
žhání na měkko	330-370 °C	2-6/vzduch								
rozpouštěcí žhání	490-510 °C	ochlazení ve vodě 20-40 °C								
umělé stárnutí	20 °C	5 dnů								
TVÁŘITELNOST										
velmi dobrá při tváření za tepla (380-450 °C)										
SVAŘITELNOST										
slitina není vhodná pro svařování										
OBROBITELNOST										
tvrdost HB max	90	130	ČSN 42 4380							
řída obrobiteľnosti	9d	8d	10d							
koef. obrobiteľnosti k <sub>p</sub>	0,80	0,63	1,00							

<b>Použití</b>					
Součásti pro jemnou mechaniku a optiku vyráběné obráběním na automatech.					
<b>Ostatní vlastnosti</b>					
Barevné značení podle ČSN 42 1407			Třída odpadu podle ČSN 42 1331		
základní - červená		vedlejší - černá		816	
<b>Porovnání se zahraničními materiály</b>					
ISO		EURO		Německo	
AlCu4PbMg	ISO 209-1	AW-AlCu4PbMgMn AW-AlCu4PbMg	EN 573-3 EN 573-3	AlCuMgPb	DIN 1725 T.1
Francie		Velká Británie		Rusko	
2030	NF A50-411	-	-	-	-
USA		Japonsko		Kanada	
-	-	-	-	-	-
Itálie		Rakousko		Švédsko	
-	-	-	-	-	-
Polsko		Maďarsko		Norsko	
-	-	-	-	AlCu4Pb2Mg1	NS 17110
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
-	-	-	-	Al-4CuPbMg	UNE 38323



## Příloha 2

**Formulář Hodnocení PK ze spol. Paramo a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska drsnosti povrchu obrobku (začátek otvoru)**

Projekt TAČR - TA02021332		FS, TU v Liberci	
Ekologické obráběcí kapaliny nové generace			
<b>Hodnocení PK ze spol. Paramo a.s. při vrtání z hlediska drsnosti povrchu obrobku (začátek otvoru) - 2014</b>			
- procesní kapalina:	<b>Vzduch, voda, 1.0D, 1.0E, 1.1B, 1.1F</b>	datum měření:	25.10.14
- obráběný materiál:	Slitina AlCu4BiPb	měření provedl:	Karásek, Hurský
<b>Podmínky obrábění</b>		<b>Podmínky měření</b>	
řezná rychlost $v_c$ :	40 [ m/min ]	Přístroj:	Mitutoyo Surftest SV-2000N2
hloubka záběru $a_p$ :	4,0 [ mm ]	Příslušenství:	dotek č. 12AAB404 - standardní dotek (rádius 5 $\mu$ m, vrcholový úhel 90°)
posuv na otačku $f_{ot}$ :	0,05 [ mm/ot ]		
<b>Místa měření</b>		<b>Fotografie vzorku</b>	
			

### Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

Vzduch	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	5,64	4,60	1,39	4,13	1,21	5,58	7,13	1,03	5,20	1,32	<b>3,72</b>	<b>1,72</b>
Rz [μm]	26,46	23,33	7,06	31,34	6,33	25,61	36,69	5,78	26,05	8,68	<b>19,73</b>	<b>8,75</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	5,44	6,47	5,75	5,76	6,32	10,13	4,51	7,36	4,42	5,91	<b>6,21</b>	<b>1,23</b>

Voda	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	1,52	1,35	1,58	1,82	2,01	1,75	1,82	1,30	1,92	1,31	<b>1,64</b>	<b>0,20</b>
Rz [μm]	8,15	8,24	8,74	11,47	10,59	10,64	10,45	7,36	11,39	8,65	<b>9,57</b>	<b>1,13</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,50	3,05	2,77	2,25	3,39	4,66	4,09	6,56	6,69	4,79	<b>4,18</b>	<b>1,14</b>

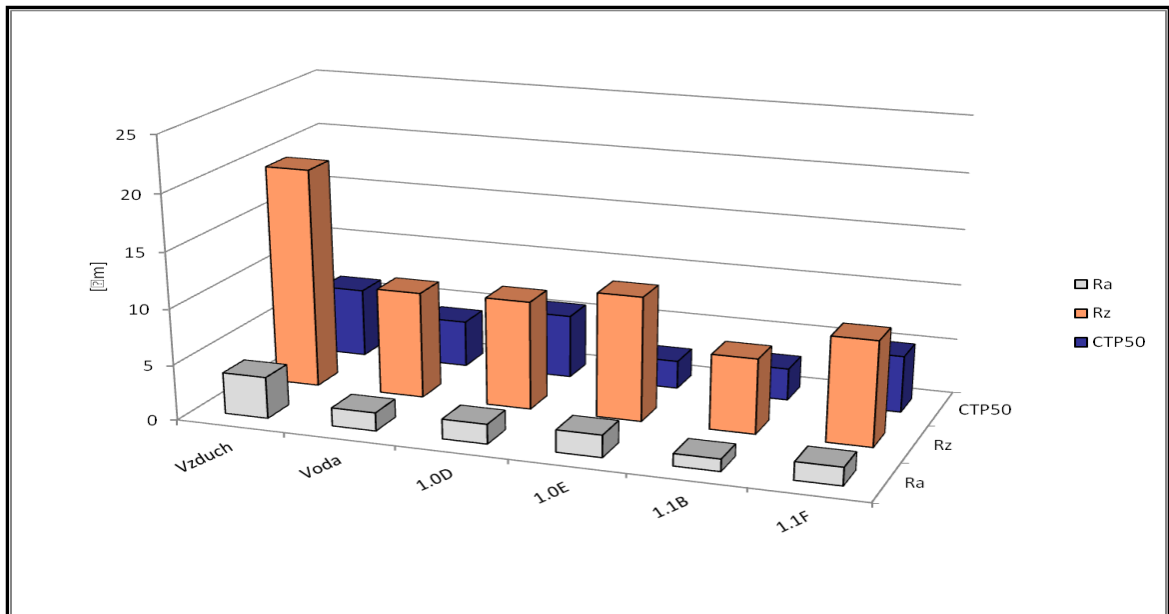
1.0D	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	2,10	1,78	1,97	1,83	2,34	1,85	1,67	1,34	1,12	1,68	<b>1,77</b>	<b>0,27</b>
Rz [μm]	10,42	10,49	11,17	10,82	12,23	10,43	8,55	7,63	6,99	8,74	<b>9,75</b>	<b>1,27</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	16,13	3,70	4,69	4,73	5,17	4,86	3,93	5,93	4,15	3,92	<b>5,72</b>	<b>2,80</b>

1.0E	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	2,03	1,82	1,80	2,14	2,53	1,87	1,99	1,84	1,77	2,09	<b>1,99</b>	<b>0,17</b>
Rz [μm]	12,05	11,52	10,67	10,86	12,55	11,02	10,40	10,69	10,72	11,26	<b>11,17</b>	<b>0,52</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,39	2,00	2,56	2,68	2,88	3,87	2,40	1,57	1,81	3,02	<b>2,52</b>	<b>0,50</b>

1.1B	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	1,11	0,79	1,47	0,94	0,99	1,09	1,03	1,08	1,08	1,35	<b>1,09</b>	<b>0,15</b>
Rz [μm]	7,51	4,75	9,38	5,53	6,86	6,59	6,79	6,50	6,33	7,16	<b>6,74</b>	<b>0,92</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,79	2,53	3,41	3,01	1,85	3,77	1,86	3,24	2,46	2,83	<b>2,88</b>	<b>0,53</b>

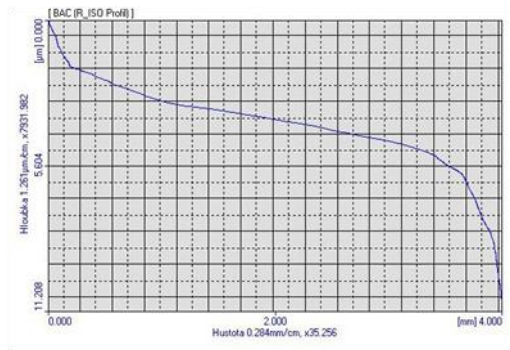
1.1F	Číslo měření										průměr (+,-)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ra [μm]	1,52	1,91	1,73	1,29	1,57	1,90	1,20	1,71	1,81	1,49	<b>1,61</b>	<b>0,18</b>
Rz [μm]	9,81	11,83	9,06	7,18	8,76	10,33	8,25	9,84	10,41	8,47	<b>9,39</b>	<b>1,00</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	4,90	2,49	3,99	6,65	6,33	6,04	2,98	5,13	8,35	4,04	<b>5,09</b>	<b>1,36</b>

## Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - graf

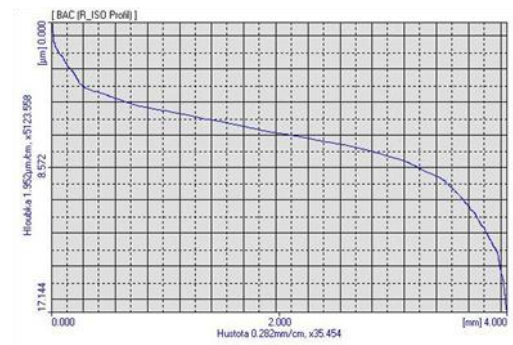


## Vzorové křivky materiálového podílu

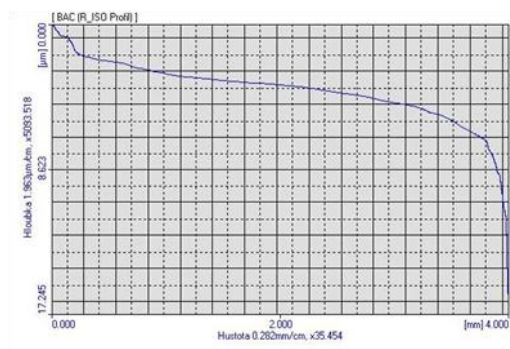
### Vzduch



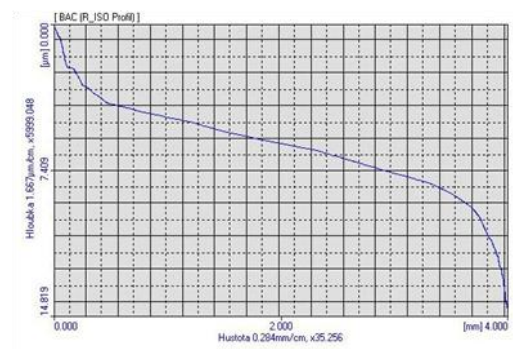
### Voda



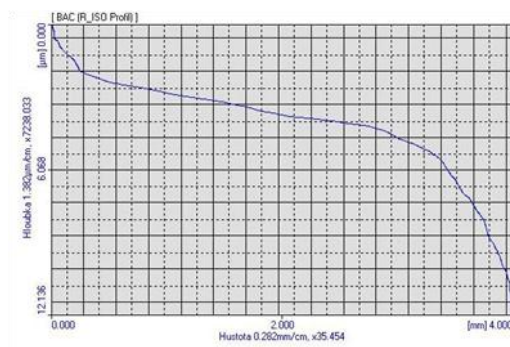
### 1.0D



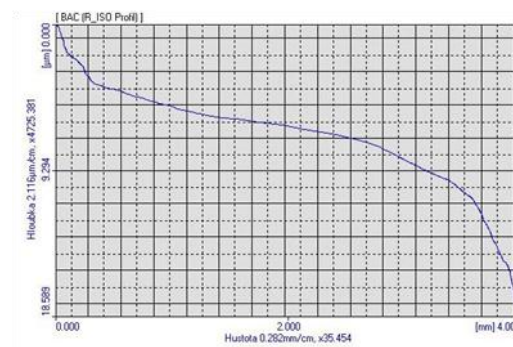
### 1.0E



### 1.1B

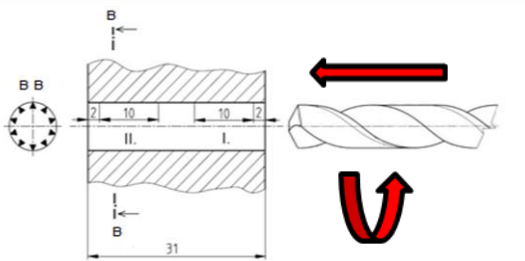
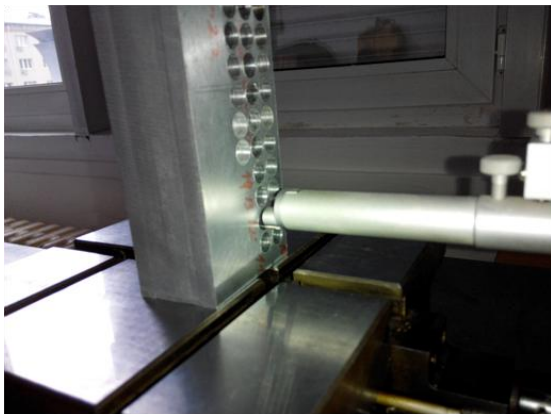


### 1.1F



## Příloha 3

### Formulář Hodnocení PK z firmy Paramo a.s. při vrtání slitiny hliníku z hlediska drsnosti povrchu obrobku (konec otvoru)

Projekt TAČR - TA02021332		FS, TU v Liberci	
Ekologické obráběcí kapaliny nové generace			
<b>Hodnocení PK ze spol. Paramo a.s. při vrtání z hlediska drsnosti povrchu obrobku (konec otvoru) - 2014</b>			
- procesní kapalina:	<b>Vzduch, voda, 1.0D, 1.0E, 1.1B, 1.1F</b>	datum měření:	25.10.14
- obráběný materiál:	Slitina AlCu4BiPb	měření provedl:	Karásek, Hurský
<b>Podmínky obrábění</b>		<b>Podmínky měření</b>	
řezná rychlost $v_c$ :	40 [ m/min ]	Přístroj:	Mitutoyo Surftest SV-2000N2
hloubka záběru $a_p$ :	4,0 [ mm ]	Příslušenství:	dotek č. 12AAB404 - standardní dotek (rádius 5 $\mu$ m, vrcholový úhel 90°)
posuv na otačku $f_{ot}$ :	0,0 [ mm/ot ]		
<b>Místa měření</b>		<b>Fotografie vzorku</b>	
			

**Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka**

Vzduch	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	5,18	4,21	4,66	3,70	5,01	6,04	7,18	5,46	6,70	5,73	<b>5,39</b>	<b>0,81</b>
Rz [μm]	28,64	4,66	22,67	19,79	24,46	26,18	34,07	25,44	29,60	24,79	<b>24,03</b>	<b>5,92</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	5,44	6,47	5,75	5,76	6,32	11,23	5,03	7,36	4,42	5,91	<b>6,37</b>	<b>1,42</b>

Voda	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,93	1,76	1,73	1,97	1,86	2,11	1,69	1,38	1,63	1,75	<b>1,78</b>	<b>0,15</b>
Rz [μm]	10,75	10,45	10,50	11,21	9,90	14,40	10,29	8,16	9,71	11,73	<b>10,71</b>	<b>1,22</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,50	3,05	2,77	2,25	3,39	4,66	4,29	6,56	6,99	4,79	<b>4,22</b>	<b>1,18</b>

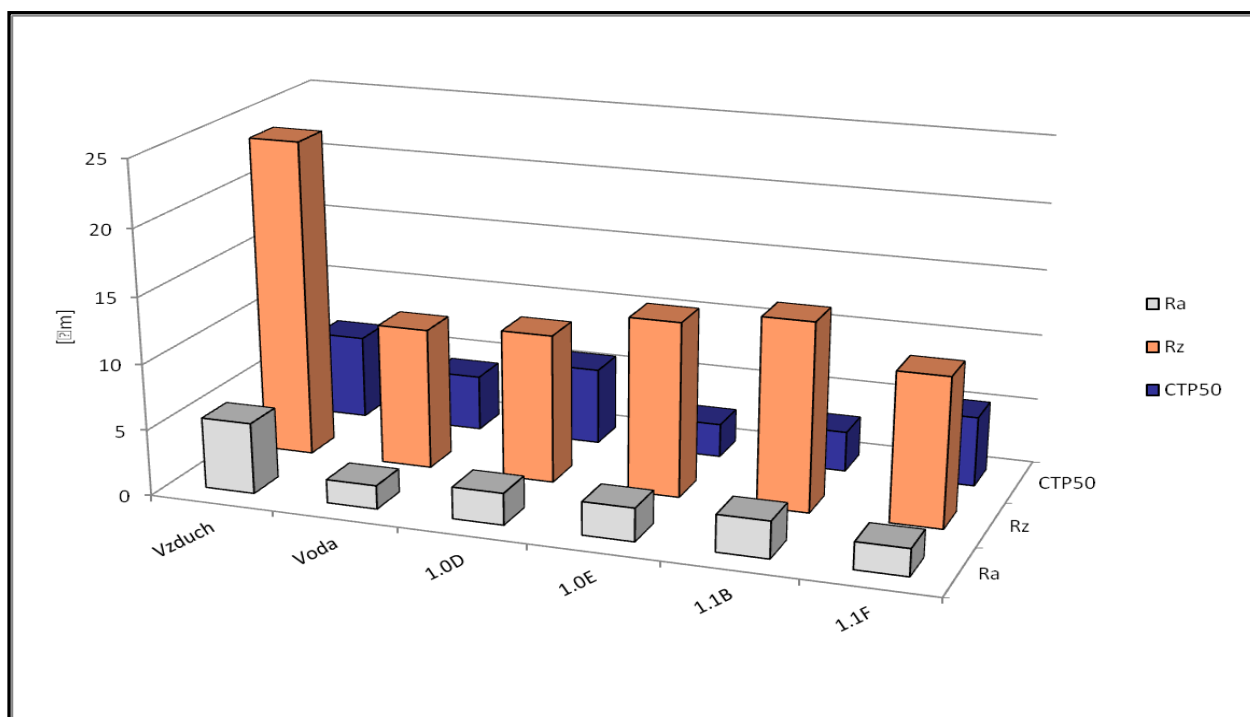
1.0D	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,60	0,88	0,89	1,51	0,75	3,80	3,37	4,74	3,18	3,37	<b>2,41</b>	<b>1,09</b>
Rz [μm]	9,41	5,34	5,01	8,29	4,29	17,78	15,81	19,52	11,97	15,35	<b>11,27</b>	<b>4,23</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	16,13	3,70	4,69	4,73	5,17	4,86	4,13	5,93	4,95	3,92	<b>5,82</b>	<b>2,77</b>

1.0E	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	4,81	3,05	2,93	2,93	3,07	1,75	1,43	1,49	1,57	2,18	<b>2,52</b>	<b>0,80</b>
Rz [μm]	27,38	15,63	13,74	15,48	14,52	9,93	7,83	7,95	9,04	11,14	<b>13,26</b>	<b>4,37</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,39	2,00	2,56	2,68	3,00	3,99	2,40	1,59	1,81	3,02	<b>2,54</b>	<b>0,52</b>

1.1B	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	4,05	3,40	2,20	3,01	2,47	2,63	3,15	1,89	3,05	2,15	<b>2,80</b>	<b>0,50</b>
Rz [μm]	21,40	17,15	11,72	14,97	13,07	12,17	15,47	11,24	14,65	11,08	<b>14,29</b>	<b>2,42</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,79	2,53	3,41	3,01	3,55	3,77	1,86	3,24	2,46	2,83	<b>3,05</b>	<b>0,47</b>

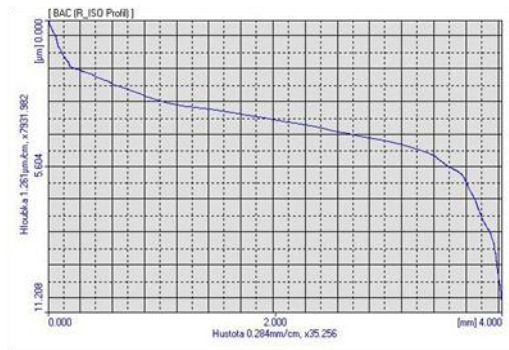
1.1F	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	2,63	2,08	2,49	2,13	1,47	2,38	1,71	2,13	1,84	1,72	<b>2,06</b>	<b>0,28</b>
Rz [μm]	13,91	11,53	13,15	12,02	9,05	12,25	9,79	11,69	9,68	10,29	<b>11,34</b>	<b>1,20</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	4,90	4,59	3,99	6,65	6,33	6,04	2,98	5,13	8,35	4,04	<b>5,30</b>	<b>1,18</b>

## Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - graf

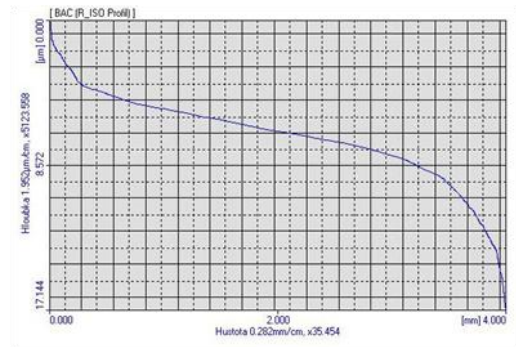


## Vzorové křivky materiálového podílu

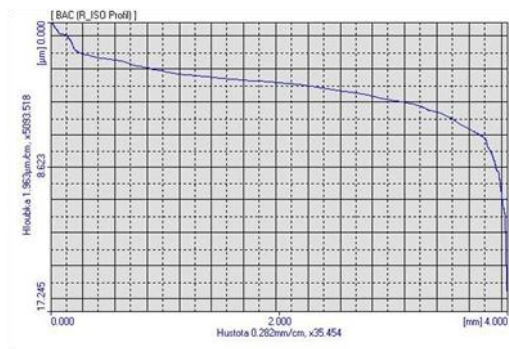
### Vzduch



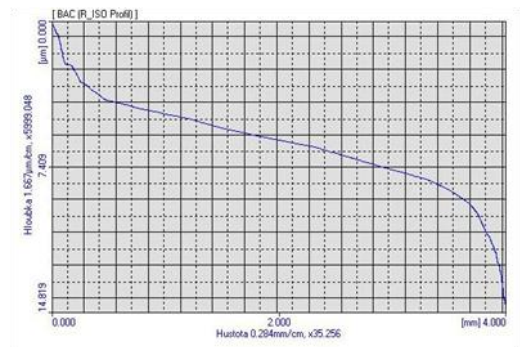
### Voda



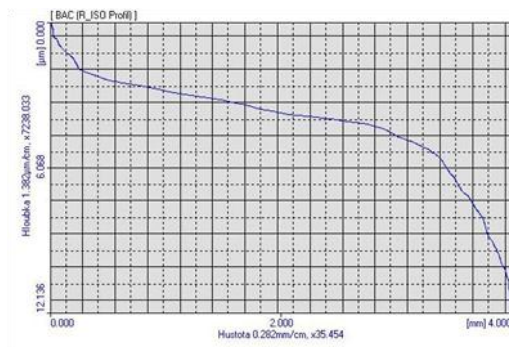
### 1.0D



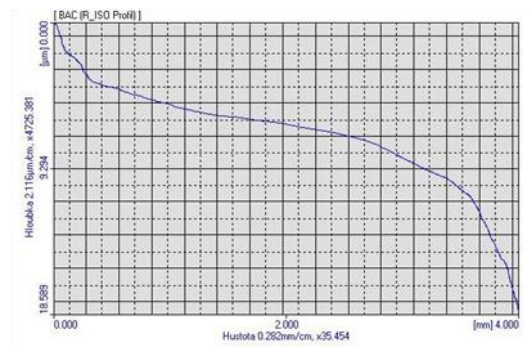
### 1.0E



### 1.1B



### 1.1F





## Příloha 4

### Formulář hodnocení PK ze spol. Paramo, a.s. při vrtání slitiny hliníku na tvar třísky

FS, TU v Liberci

Ekologické obráběcí kapaliny nové generace

#### Třísky při obrábění vrtáním

- procesní kapalina: 1.0D, 1.0E, 1.1F, datum měření: 25.10.2014  
1.1B, voda, vzduch

- obráběný materiál: **14 220.3** měření provedl: Hurský, J.

Fotografie třísky při obrábění  
s přívodem kapaliny ESOK 1.0D



Fotografie třísky při obrábění  
s přívodem kapaliny ESOK 1.0E



Fotografie třísky při obrábění  
s přívodem kapaliny ESOK 1.1.F



Fotografie třísky při obrábění  
s přívodem kapaliny ESOK 1.1B



Fotografie třísky při obrábění  
s přívodem kapaliny voda



Fotografie třísky při obrábění  
bez kapaliny – vzduch

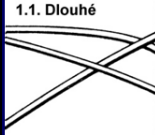
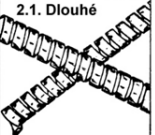
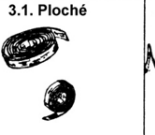
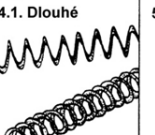
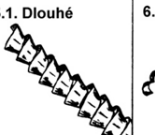

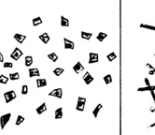

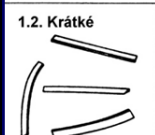
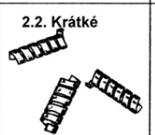


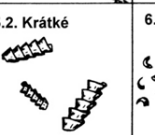
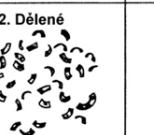
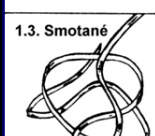
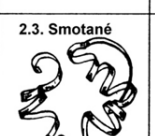
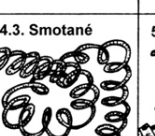
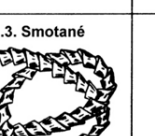


## Podmínky měření:

Fotografie třísek byly pořízeny v metrologické laboratoři KOM na pracovišti vizuální kontroly přístrojem Nokia Lumia 620 a Evolveo Strong Phone Q4.

Zjištěné údaje o druhu odebrané třísky - tabulka

Vrtání	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
ESOK 1.0D	Kuželovitá šroubovitá dlouhá
ESOK 1.0E	Kuželovitá šroubovitá krátká
ESOK 1.1F	Kuželovitá šroubovitá krátká
ESOK 1.1B	Kuželovitá šroubovitá krátká
vzduch	Spirálová kuželovitá
voda	Kuželovitá šroubovitá krátká

1. Stužkové * třísky	2. Vinuté * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovité třísky	5. Kuželovité * šroubovité třísky	6. Obloukovité♦ třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

## Příloha 5

### Parametry a charakteristika nástrojařské frézky FNG 32 [19]



## NÁSTROJAŘSKÁ FRÉZKA

## FNG 32

Stroj FNG 32 je konvenční nástrojařská frézka, určená pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě, zejména v nářadovnách.

Stroj je dodáván s horizontálním vřetenem, uloženým ve smykadlovém vřeteníku. Dále je stroj vybaven vertikální hlavou s odklápěčem a pevným úhlovým stolem. Vertikální hlava je opatřena pinolou s ručním výsuvem, vřeteno lze naklápět v rozsahu  $\pm 90^\circ$ . Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje v horizontálním i vertikálním vřetení.

Rozsah otáček vřetena je rozdělen do dvou stupňů s plynulou regulací s maximem 4000 ot/min a v kombinaci s plynulou regulací pracovních posuvů umožňuje hospodárné obrábění nejrůznějších druhů materiálů.

Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

Technologické možnosti stroje rozšiřuje použití zvláštního příslušenství.

#### PREDNOSTI:

- plynule stavitelné otáčky pomocí frekvenčního měniče ve dvou stupních
- vřeteno ve výsuvné pinole s hrubým a jemným výsuvem
- plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče
- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje v horizontálním i vertikálním vřetení
- kalené vodící plochy
- jednoduchá a komfortní obsluha, kompaktní uspořádání
- centrální mazání s dávkovači
- široké technologické možnosti
- vysoká tuhost, přesnost a spolehlivost
- snadná údržba
- moderní vzhled a dokonalá povrchová úprava speciálními olejvzdornými laky

**TECHNICKÉ ÚDAJE**
**FNG 32**
**PROVEDENÍ STROJE**
**STŮL**

Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400
Upínací drážky – počet		7
– šířka a rozteč	mm	14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg	350
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm	600
– příčný (Y)	mm	400
– svislý (Z)	mm	400
Posuvy – počet stupňů		plynule
– rozsah X, Y	mm/min.	15–1 000
– rozsah Z	mm/min.	6–400
Rychloposuv X, Y	mm/min.	2 000
Z	mm/min.	800

**HORIZONTÁLNÍ VŘETENO**

Vzdálenost osy vřetene od plochy pevného stolu	mm	148–548
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Řazení otáček		plynule

**VERTIKÁLNÍ VŘETENO**

Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	250–650
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000
Počet rychlostních stupňů		2
Řazení otáček		plynule
Natožení vřetena		+ 90°
Výsuv pinoly	mm	80
Upínání nástroje		pneu-hydraulické

**STROJ**

Výkon hlavního motoru	kW	4,0
Výkon posuvového motoru	kW	1,1
Celkový příkon	kVA	22
Hmotnost	kg	2 500
Zastavěná plocha	mm	2 070 x 2 120
Výška	mm	2 115

**Standardní provedení:**

- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje
- pevný úhlový stůl o rozměrech 800 x 400 mm
- vertikální hlava s odklápečem
- frekvenční měnič v pohonu vřetene
- hrubý a jemný výsuv pinoly
- strojní posuvy X, Y, Z (plynule stavitelné posuvy)
- ruční kola na osách X, Y a Z s odměřovacími číselníky s dělením 0,01 mm
- centrální mazání s dávkovači
- chlazení nástroje
- elektrovýzbroj pro napětí 3 x 400 V/50 Hz
- nátěr stroje – modrošedá barva odstín RAL 5010 / RAL 9002
- Osvětlení pracovního prostoru
- Kryt pracovního prostoru

**Jiné provedení:**

(nutno uvést v objednávce)

- stroj se stolem otočným a sklopným TU32N, upínací plocha Ø 600 x 400 mm
- stroj s ramenem a podpěrným ložiskem LFH32N
- kuličkové šrouby v osách X a Y
- kryt svislého vedení
- provedení pro palcovou odměřovací soustavu
- elektrická výzbroj pro hodnoty napětí jiné než 3 x 400 V/50 Hz
- jiný barevný odstín
- vybavení stroje číselnicovou indikací polohy

**NORMÁLNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ:**

Nádobka na třísky

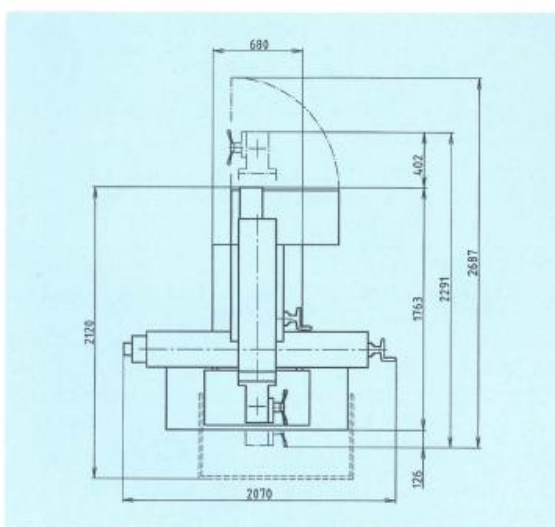
1 ks upínací koncovka 311 11 2328.00

Krátký frézovací trn 40 x 22 x 37

**ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ**

(dodává se na zvláštní objednávku za příplatek)

Obrážecí hlava	IOB 32N
Dělicí přístroj jednoduchý	DJ 250A
Otočný stůl s dělicím zařízením	320
Strojní svěrák pevný	125
Točnice	125
Strojní svěrák otočný a sklopný	125
Strojní svěrák samostředící	125
Frézovací trny krátké	40 x 16 x 29
	40 x 22 x 19
	40 x 22 x 37
	40 x 27 x 47
	40 x 32 x 60
Frézovací trn dlouhý	40 x 22 x 500
(pro rameno s podpěrným ložiskem)	40 x 27 x 500
	40 x 32 x 500
	40 x 40 x 500
Redukční pouzdra	40 x 30
	40 x 2
	40 x 3
Vrtáckové sklíčidlo tříčelistové	13-B12
Trn pro vrtáckové sklíčidlo	B12 x 2
Upínací pouzdra se sadou vložek	40 x 16
	40 x 28



**TOS Olomouc, s.r.o.**  
 Tovární 1180/30, 779 00 Olomouc-Hodolany  
 tel.: +420 587 404 309  
 fax: +420 587 404 253  
 e-mail: prodej@tos-olomouc.cz  
 http: www.tos-olomouc.cz



## Příloha 6

### Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2 [20]

#### Technické parametry

Zdvih doteku: 800  $\mu\text{m}$   
Rozlišení: 0,0001  $\mu\text{m}$   
Posuv (osa X): 50 mm  
Nejmenší Cut-Off: 0,025 mm  
Odchyłka přímosti: 0,3  $\mu\text{m}$  / 50 mm

#### 55 parametrů

Ra, Rq, Ry, Rz, R3z, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, S, Sm, Pc, mr, A1, A2, Rv, R, Rx, W, Wx, Wte, mrd, HSC, AW, AR, Vo,  $\Delta a$ ,  $\Delta q$ , Ku,  $\delta c$ , Lo, Sk, Rtj, R3zi, R3y, Rc, Rpm<sub>ax</sub>, Rpi, Rv<sub>max</sub>, plateau ratio,  $\lambda_a$ ,  $\lambda_q$ , Lr, SR, SAR, NR, NCRX, CPM, SW, SAW, NW, Vo

### Přístroj na měření drsnosti povrchu „Surftest SV-2000“

Špičková technologie s ponorem – pro náročnou kontrolu povrchu v měřicím středisku a laboratoři.

- Perfektní měření vztažných rovin při mobilním a stacionárním použití.



Surftest SV-2000

Model	Posuv	Přestavení výšky	Rozměr základní desky
SV-2000 N2	50 mm	opce	opce
SV-2000 S2	50 mm	300 mm motorické	610 x 450 mm