



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

**Fakulta strojní**  
**Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu při broušení vysoce výkonnými kotouči  
z materiálu Cubitron

Influence of cutting conditions on surface roughness in high-performance grinding wheels  
of material Cubitron

## **Bakalářská práce**

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství  
Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. František Holešovský

Martin Bartoš

---

Praha 2016

Vysoká škola: ČVUT v Praze  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Fakulta: strojní  
Akademický rok: 2015/2016

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Martin Bartoš**

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu při broušení vysoce výkonnými kotouči

Název anglicky: Influence of cutting conditions on surface roughness in high-performance grinding

## Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše.
2. Seznámení s problematikou ve výrobě.
3. Vytvoření teoretické části práce a návrh experimentů.
4. Návrh postupu a experimentální ověření.
5. Konzultace návrhu ve výrobě.
6. Úprava a ověření navrhovaných závěrů ve výrobě.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Dr. Ing. František Holešovský

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 1. 7. 2016

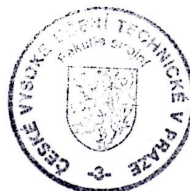
Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.


*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.*

Zadání bakalářské práce převzal dne: 25. 4.

  
.....  
Diplomant

  
.....  
Vedoucí ústavu



  
.....  
Děkan

V Praze

dne 25. 4. 2016

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Dne 27. 6. 2016

Podpis ...

Poděkování

Děkuji tímto prof. Dr. Ing. Františku Holešovskému za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Františku Bud'árkovi Ph.D. za pomoc při realizaci navržených řešení a konzultace v podniku Argo-Hytos ve Vrchlabí.

1. ÚVOD	8
1.1 O společnosti Argo-Hytos.....	8
2. TEORIE BROUŠENÍ	9
2.1 Proces broušení .....	9
2.2 Způsoby broušení .....	10
2.3 Tvarové zapichovací broušení.....	11
2.4 Broušící nástroj .....	12
2.4.1 Pojivo broušících kotoučů.....	13
2.4.2. Charakteristika broušícího kotouče z firmy Argo-Hytos .....	13
2.4.3 Opotřebení broušícího kotouče .....	14
2.4.4 Orovnání broušícího kotouče .....	14
2.4.5 Orovnávače .....	17
2.5. Broušící stroj .....	17
2.6 Procesní kapaliny .....	18
2.6.1 Procesní kapaliny v Argo-Hytos .....	18
3 BROUSICÍ PROCES	19
3.1 Popis broušícího procesu .....	19
3.2 Parametry broušícího procesu .....	20
3.3 Vyjiskření (vyjiskřování).....	20
4 POLOTOVAR	21
5 VÝROBEK	22
6 INTEGRITA POVRCHU	23
6.1 Složky integrity povrchu .....	23
6.2 Faktory ovlivňující integritu povrchu.....	23
6.3 Drsnost povrchu .....	24
6.4 Základní pojmy .....	24
6.5 Filtrace .....	24
6.6 Parametry popisující jakost povrchu .....	26
6.6.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometrem.....	27
6.6.2 Princip měření dotykovým profilometrem .....	28
6.6.3 Měřicí stroj Hommel TESTER W 55.....	28
6.7 Zbytková napětí.....	29
6.9 Tvrdost na povrchu a v povrchové vrstvě, zpevnění povrchu .....	30
6.8 Geometrická přesnost .....	31
7 PRAKTICKÁ ČÁST	32
7.1 Členění proměnných a konstantních hodnot .....	32

7.2 Plán experimentu a proměnné parametry.....	32
7.3 Způsob měření a výstupní protokol z měření.....	33
7.4 Výsledky experimentu.....	35
8 ZÁVĚR	41
ZDROJE	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

## **Anotace**

Má bakalářská práce je zaměřena na optimalizace parametrů brousicího procesu vysoce výkonnými brousicími koutouči Cubitron II. V první části se zabývám teoretickou přípravou. V praktické části jsem díky poznatkům z teorie upravil podmínky procesu, pro dosažení lepší drsnosti broušeného dílce než Ra 0,4  $\mu\text{m}$ . V závěru jsem porovnal výsledky experimentu s původním nastavením brousicího procesu.

## **Annotation**

My bachelor thesis is focused on the optimization of parameters of the grinding process using high performance grinding wheel Cubitron II. The first part deals with theoretical preparation. The practical part is based on knowledge taken from the previous theory. Conditions of the grinding process were adjusted to achieve better roughness (Ra) than 0,4 $\mu\text{m}$  on the grinding product. In conclusion, I compared the results of the experiment with the original settings of the grinding process.

# 1. ÚVOD

Broušení patří mezi nejstarší procesy obrábění. Již v dávných dobách člověk používal broušení k naostření pracovních nástrojů. Mohutný vývoj nastal v druhé polovině 19. století, kdy byl vynalezen umělý brousicí kotouč a sestrojeny první univerzální brusky. Neustálé zlepšování posunulo broušení na velmi produktivní metodu přesného obrábění různorodých materiálů. [1]

Téma bakalářské práce:

## **Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu při broušení vysoce výkonnými kotouči z materiálu Cubitron II.**

Řezný materiál typu SG s označením Cubitron II uvedla firma 3M (USA) na trh relativně nedávno. V podniku Argo-Hytos Vrchlabí již byly kotouče z tohoto materiálu testovány při broušení na kulato, do plného materiálu a to na dílci s požadavkem drsnosti Ra 0,4. V Argo-Hytos Vrchlabí je však na většině dílců požadavek na Ra 0,2. Brousicí materiál typu SG je považován za problematický z hlediska dosahování Ra 0,2 a nižší, na druhou stranu má však Cubitron II částečně definovanou geometrii. Na základě tohoto faktu a dílčích poznatků z realizovaných zkoušek vidí firma potenciál pro dosahování drsnosti lepší než Ra 0,4, kterou nyní dosahuje.

## 1.1 O společnosti Argo-Hytos

Podnik, se kterým spolupracuji na mé bakalářské práci se jmenuje Argo-Hytos, se závodem ve Vrchlabí. Argo-Hytos je středně velká firma s více než 1300 zaměstnanci, která se zaměřuje na řídicí techniku v oblasti průmyslové hydrauliky. S již šedesátiletou zkušeností se profiluje jako jeden z tvůrců inovací v oblasti mobilní hydrauliky. Argo-Hytos je mezinárodní podnik, který společně se zákazníkem realizuje inovativní a zákaznický orientovaná systémová řešení. Základem tohoto je rozsáhlý modulový výrobní program, který může být flexibilně rozšiřován o zákaznická řešení. Skupina ARGO-HYTOS je zastupována výrobními společnostmi v Německu, Čechách, Indii a v Číně. Cílem skupiny ARGO-HYTOS je podstatným dílem přispívat ke zlepšení produktů zákazníků a tím trvale zajistit jejich prospěch. [12]



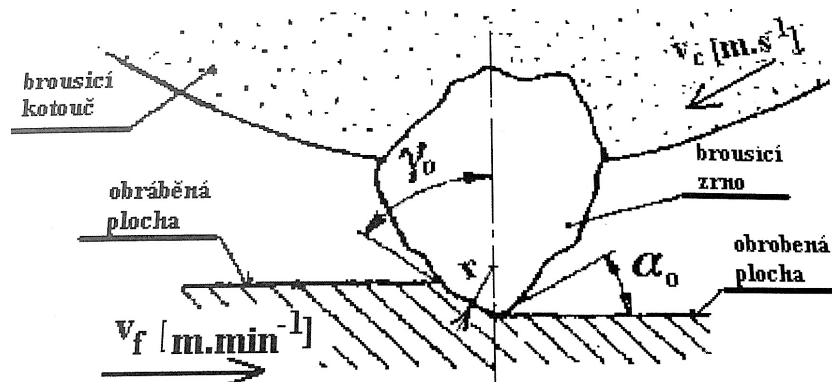
## 2. TEORIE BROUŠENÍ

### 2.1 Proces broušení

Proces broušení je ve své podstatě velmi blízký frézování. Při broušení dochází k hromadnému mikrořezání povrchové vrstvy obrobku velmi malými zrny brusiva zafixovanými pojivem v nástroji. Zrna mají nepravidelnou geometrii břitu. Broušení se využívá zejména při obrábění, na které jsou kladeny vyšší požadavky na přesnost rozměrů, tvarů a jakost povrchu.

Odlišnosti technologie s obtížně definovatelnou geometrií ostří (broušení) oproti klasickým technologiím jako je soustružení nebo frézování:

- desítky pracovních břítů, velikost plochy třísky se pohybuje v rozsahu mikrometrů
- řezná rychlost je mnohonásobně větší a udává se v jednotkách  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- geometrie je obtížně definovatelná
- na povrchu obrobku zůstávají nepravidelné stopy
- opotřebení břitu je způsobeno především lomem, či vylomením celého zrna z pojiva
- rychlost deformace probíhá v řádu  $10^6\text{-}10^9 \text{ s}^{-1}$ .



Obr. 2.1. Princip úběru materiálu [3]

Specifikace procesu:

1. vysoká produktivita
  2. vysoká přesnost obrobených rozměrů
  3. velká geometrická přesnost obrobených ploch
  4. vysoká specifická jakost povrchu
  5. možnost použití pro široké spektrum obráběných materiálů včetně velmi tvrdých
- [1][2][3]

## 2.2 Způsoby broušení

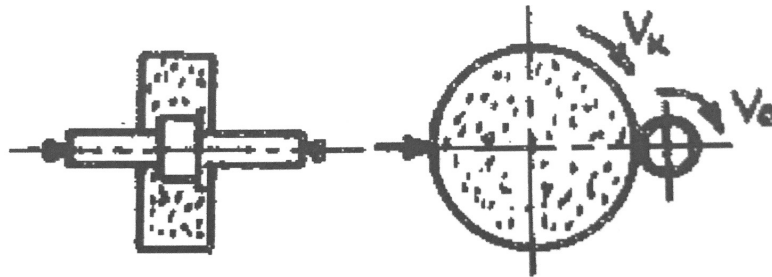
Dlouhá éra vývoje procesu s sebou nese i více možností způsobů broušení.

Tabulka zobrazuje základní rozdělení způsobů broušení.[3]

Tab. 1. Způsoby broušení [1]

Broušení vnějších válcových ploch	S podélným posuvem	Zapichovací	Tvarové zapichovací	Bezhruté
Broušení vnitřních válcových ploch	S podélným posuvem	Zapichovací	Planetové	Bezhruté
Rovinné broušení	Obvodem kotouče s posuvným pohybem obrobku	Obvodem kotouče s otáčivým pohybem obrobku	Čelem kotouče s posuvným pohybem obrobku	Čelem kotouče s otáčivým pohybem obrobku
	Pásově	Superfinašování	Honování	Elektrochemické
	Speciální broušení			

## 2.3 Tvarové zapichovací broušení



Obr. 2.3.1 Zapichovací broušení [1]

Tvarové zapichovací broušení se provádí obvodem brousícího kotouče. Obrobek je upnut mezi hroty a koná rotační pohyb  $v_o$ . Brousící kotouč koná přísmový pohyb  $f$  a také vlastní řeznou rychlost  $v_k$ . Brousící kotouč má negativní tvar výsledného obrobku.

Vztahy pro výpočet rychlostí

### **Výpočet řezné rychlosti**

$$v_k = \frac{\pi d_s n_s}{6 \cdot 10^4} [m \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

$d_s$  - průměr brousícího kotouče [mm]

$n_s$  - počet otáček brousícího kotouče [ $\text{min}^{-1}$ ]

Velikost řezné rychlosti se obvykle pohybuje od 15 do 50  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , ve speciálních případech i více.

### **Výpočet obvodové rychlosti obrobku**

$$v_o = \frac{\pi d_o n_o}{10^3} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

$d_o$  - průměr obrobku [mm]

$n_o$  - počet otáček obrobku [ $\text{min}^{-1}$ ]

[3]

Tab. 2. Řezné podmínky v závislosti na metodě broušení [3]

Tvar povrchu	Broušení	Materiál	V <sub>c</sub> (m/s)	V <sub>w</sub> (m/min)		f <sub>a</sub> (mm/ot)		f <sub>p</sub> (mm/ot)
				Na hrubo	Na čisto	Na hrubo	Na čisto	
Rotační plochy	Podélné broušení	ocel	25-80	15-20	8-15	0,6-0,8 b <sub>s</sub>	0,2-0,4 b <sub>s</sub>	
		litina		15-22	12-16	0,75-0,85 b <sub>s</sub>	0,3-0,5 b <sub>s</sub>	
		hliník		20-30				
Rovinné plochy	Zapichovací broušení	ocel	25-80	20-40	15-30			0,001-0,05
	Obvodem	ocel	25-60	8-25	15-20			
	Čelem	ocel	25-50	4-12	2-5			

## 2.4 Broušící nástroj

Broušící nástroj je těleso, které má tvar kotouče, kamenu či segmentu. Obsažená zrna jsou zafixována pojivem a tvoří celek. Zrna se mohou nanášet i na papírové a textilní nosiče. Největší objem broušících nástrojů tvoří broušící kotouče. Abrazivní zrna jsou rozdělena do tří základních tříd.

- Klasické abrazivní materiály

Umělý korund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), největší skupina, značená **A**

Karbid křemíku (SiC), **C**

- Supertvrdé materiály

Syntetický diamant (C), **D**

Kubický nitrid bóru (BN), **BN**

- Inovované abrazivní materiály

Mikrokrystalický korund, **SG, TG**

[3]

## 2.4.1 Pojivo brousicích kotoučů

Pojivo krom fixování abrazivního materiálu má i funkci vytváření požadované hustoty zrn a vytvoření od pórovité k hutné struktuře.

Fixování může být:

- A. Inertní : zrna jsou zaklíněna
- B. Adhézní : dochází k difúzi prvků pojiva a zrna

Duhy pojiva:

### I. Anorganická

- a) **Keramické pojivo [V]:** pojivo pro všechny typy zrn, obsahují v různém poměru keramické suroviny, živec, kaolin, mastek...
- b) **Magnezitové pojivo [Mg]:** směs uhličitanu hořečnatého + chloridu hořečnatého, při nižších teplotách, pro ostření nástrojů z nelegované oceli
- c) **Silikátové pojivo [S]**
- d) **Kovové pojivo:** pro zrna diamantu a CBN, galvanicky nanášené niklové či bronzové pojivo

### II. Organická

- a) **Umělá pryskyřice[B]:** vysoká pevnost pojiva, pro řezací kotouče
- b) **Pryžová pojiva [R]:** vyrábí se z kaučuku, síry a urychlovače k vytvrzování, používají se na drážkovací, leštící a podávací kotouče bezhrotých brusek [3]

## 2.4.2. Charakteristika brousicího kotouče z firmy Argo-Hytos

V podniku Argo-Hytos se pro zkoumaný proces používá brousicí kotouč s nově vytvořeným abrazivem Cubitron II 3M. Technické označení je 93DA80/80 H8V601- 50m/s. Rozměry: šířka 23mm, průměr 500mm upínací průměr: 203,2mm Zvláštností brousicího kotouče je, že má částečně definovanou geometrii a to díky tvarově podobným brousicím zrnům. Zrna mají tvar jehlanu. Brousicí kotouč má normalizovaný tvar dle ČSN 22 4510. [3] [13]

- Druh brousicího materiálu: umělý korund
- Zrnitost: střední
- Tvrdost: měkká
- Struktura: pórovitá
- Pojivo: keramické V601
- Maximální obvodová rychlost: 50 m/s
- Tvar: brousicí kotouč plochý



Obr. 2.4.2.1. Cubitron II. [13]

### 2.4.3 Opotřebení brousicího kotouče

Během obrábění dochází na základě vlastností brousicího kotouče a zvolených řezných podmínek buď k otupení, či samoostření kotouče. Otupení vzniká vylamováním abrazivních zrn, nebo jejich štěpením a zaoblováním. Tyto jevy snižují řeznou schopnost nástroje. Na počátku procesu se na špičkách abrazivních zrn zafixovaných pojivem vytvoří opotřebené plošky. S růstem těchto ploch dochází i ke zvýšení řezných sil, díky nimž se zrno a pojivo rozrušují. Pokud jsou zrna silně zavazbena v pojivu, nabývají opotřebené plochy velkých rozměrů. Tím stoupá práce vynaložená na broušení a dochází ke zvyšování teploty v místě styčných ploch kotouče a obrobku. Teplota může dosáhnout takové hodnoty, že dochází k pálení povrchu obrobku. Musíme brát v úvahu, že během opotřebení se mění i profil řezné plochy brousicího kotouče.

#### Druhy opotřebení

- otěr řezných částí (vrcholů) zrna - dochází k uhlazení plošek
- štěpení zrna - oddělují se malé části
- štěpení velkých kusů zrna
- kompletní vylomení zrna
- porušení struktury kotouče vlivem chemických jevů

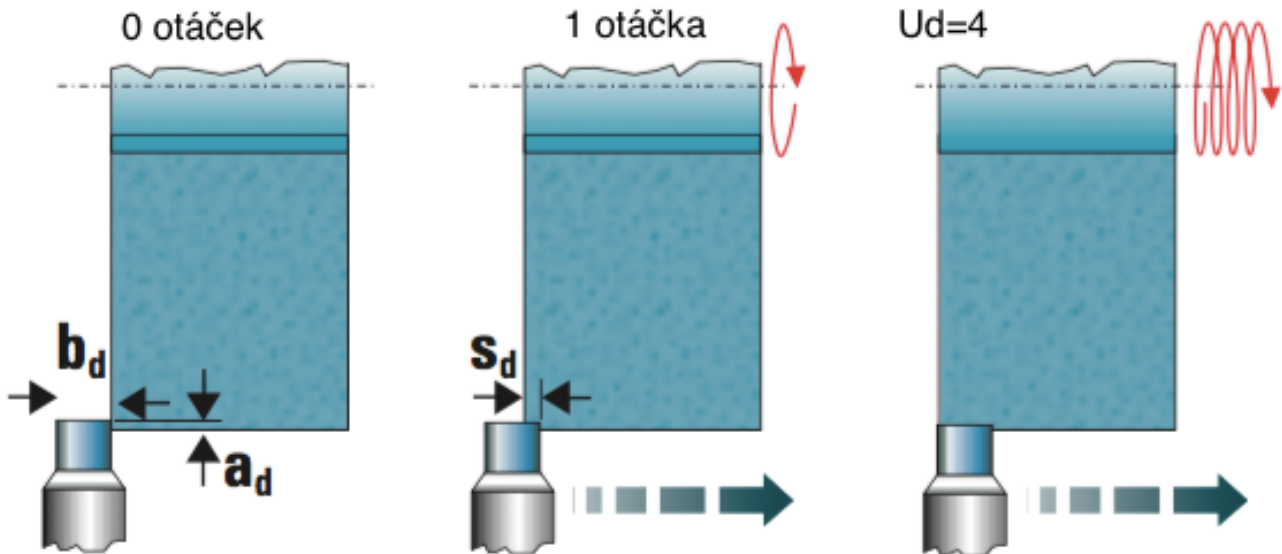
Existují brousicí kotouče, které jsou schopné se samy ostřit. Schopnost samoostření spočívá ve vylamování částic abrazivního materiálu po otupení a přetížení zrn před tím, než kotouč ztratí svoji řezivost. Samoostřící kotouče jsou neefektivní z důvodu vysokého opotřebení. [1][8]

### 2.4.4 Orovnání brousicího kotouče

Proces orovnění brousicího kotouče má výrazný vliv na finální obrobek, neboť zajišťuje kotouči požadovanou řezivost, čistí jej a zachovává požadovaný geometrický tvar pro další broušení. Má nezanedbatelný vliv na kvalitu budoucího obrobku! Orovnávání může být prováděno ručně či strojně a to nejčastěji diamantovým orovnávačem. Pro ostření kotoučů s kovovou vazbou se užívá tzv. galvanické oživení, při němž se odleptá vrstva kovového pojiva mezi abrazivními zrny.

**Při procesu orovnávaní sledujeme následující parametry:**

- $a_d$  - hloubka přísuvu orovnávače [mm] (0,005 až 0,02 mm)
- $b_d$  - efektivní šířka orovnávače [mm]
- $n_s$  - počet otáček brousícího kotouče za minutu [ot/min]
- $s_d$  - příčná šířka orovnávaní během jedné otáčky brousícího kotouče [mm/ot]
- $U_d$  - stupeň překrytí [1]
- $v_d$  - příčná rychlost orovnávaní [mm/min]



Obr. 2.4.4.1 Princip stupně orovnávaní [7]

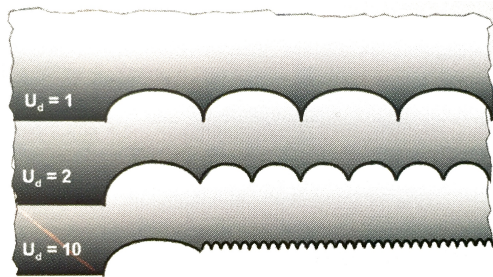
Stupeň překrytí znamená, jak často jeden bod brousícího kotouče je překryt efektivní šířkou  $[b_d]$  orovnávače. Čím je stupeň překrytí vyšší, tím má brousící kotouč nižší aktivní drsnost povrchu.

**Výpočet stupně překrytí**

$$U_d = \frac{b_d}{s_d} = \frac{b_d * n_s}{v_d} [1] \quad (3)$$

Tab. 3. Orientační hodnoty  $U_d$  [7]

Hrubovací broušení	2-3
Běžné broušení	3-4
Broušení na čisto	6-8
Super-finish broušení	8-20

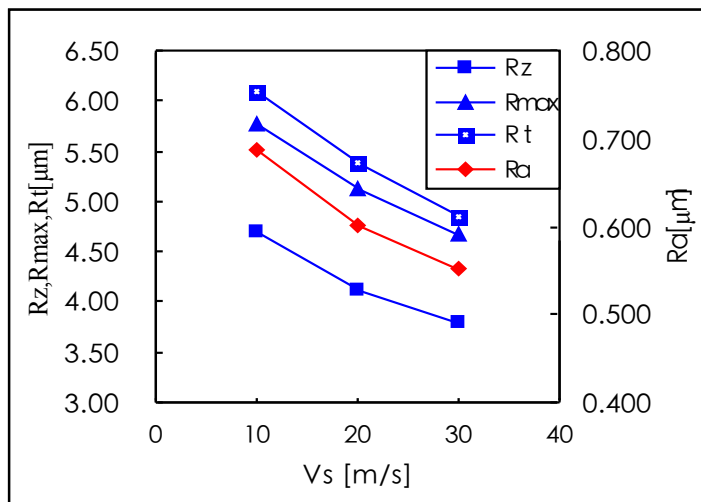


Obr. 2.4.4.2 Povrch po orvnání [7]

### Výpočet rychlosti orvnání

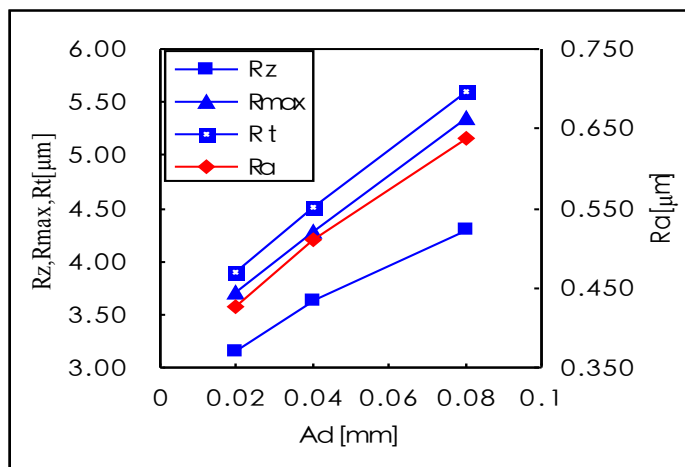
$$v_d = \frac{n_s * b_d}{4(U_d)} [mm / min] \quad (4)$$

Vliv orvnávací rychlosti broušícího kotouče na drsnost broušeného povrchu (vícekamenový orvnávač)



Obr. 2.4.4.3 Vliv orvnávací rychlosti [15]

Vliv hloubky orvnání broušícího kotouče na drsnost broušeného povrchu (vícekamenový orvnávač)



Obr. 2.4.4.3 Vliv hloubky orvnání [15]

[8] [7] [10] [15]



## 2.4.5 Orovnávače

Orovnávače brousících kotoučů můžeme rozdělit do následujících skupin.

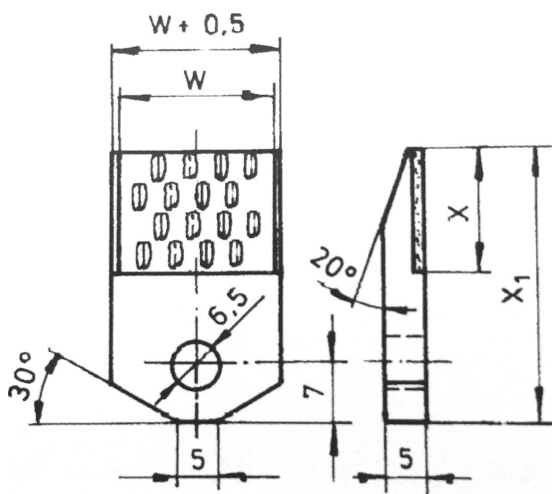
### A. Bezdiamantové

1. soustružnický SK nůž
2. orovnávací kolečka
3. keramické orovnávače
4. zamačkávací kladky

### B. Diamantové

1. jednokamenové
2. vícekamenové
3. prachové

V podniku Argo-Hytos se pro orovnění brousícího kotouče používá statický diamantový vícekamenový orovnávač od firmy Winter. [8][7][10]



Obr. 2.4.5.1. Orovnáč z firmy Winter [10]

Parametry

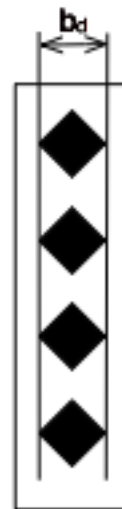
Typ: FB 180

W= 10 mm

X = 15 mm

X<sub>1</sub>= 33 mm

b<sub>d</sub> ÷ 1,4 mm



Obr. 2.4.5.2 Účinná šířka orovnávacích zrn [vlastní]

## 2.5. Brousící stroj

Pro broušení dílce, jehož řešením se zabývám, se v Argo-Hytos užívá hrotová bruska KEL-VISION URS 125/430. [14]

Technické údaje

- max. upínací délka: 760 mm
- max délka broušení: 430 mm
- max průměr obrobku: 249 mm
- příkon : 9,2 kW
- obvodová rychlost kotouče: 45ms<sup>-1</sup>
- otáčky vřetene: 8-800 min<sup>-1</sup>
- rok výroby : 1999 (Švýcarsko)



Obr. 2.5.1. Brousící stroj KEL-VISION [14]

## 2.6 Procesní kapaliny

Řezné prostředí má významný vliv na přesnost a integritu obrodku. Užívá se právě při operacích, kde jsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu. Ovlivňuje přechod tepla do obrodku, nástroje i třísky, zejména působí na velikost tření a vznikající množství tepla. Řezné prostředí je vytvářeno procesní kapalinou na bázi vodních roztoků, emulzí, či chemických látek, nebo minerálních olejů. Dnes je snaha vyvíjet co nejekologičtější kapaliny. Jsou to polysyntetické a syntetické kapaliny, které bývají transparentní.

### **Funkce procesních kapalin při broušení**

1. odvod tepla z místa plastické deformace a vzniku třísky
2. snížení množství vznikajícího tepla snížením tření mezi brousícím zrnem a povrchem broušené plochy
3. odvod třísky a zamezení ucpávání pórů brousících kotoučů
4. podpora tvorby třísky
5. zamezení koroze.

Při broušení, by se mělo odvádět až 60% tepla procesní kapalinou.

### **Druhy používaných procesních kapalin**

- A. vodné roztoky
- B. emulzní roztoky
- C. oleje
- D. syntetické a polysyntetické kapaliny [5]

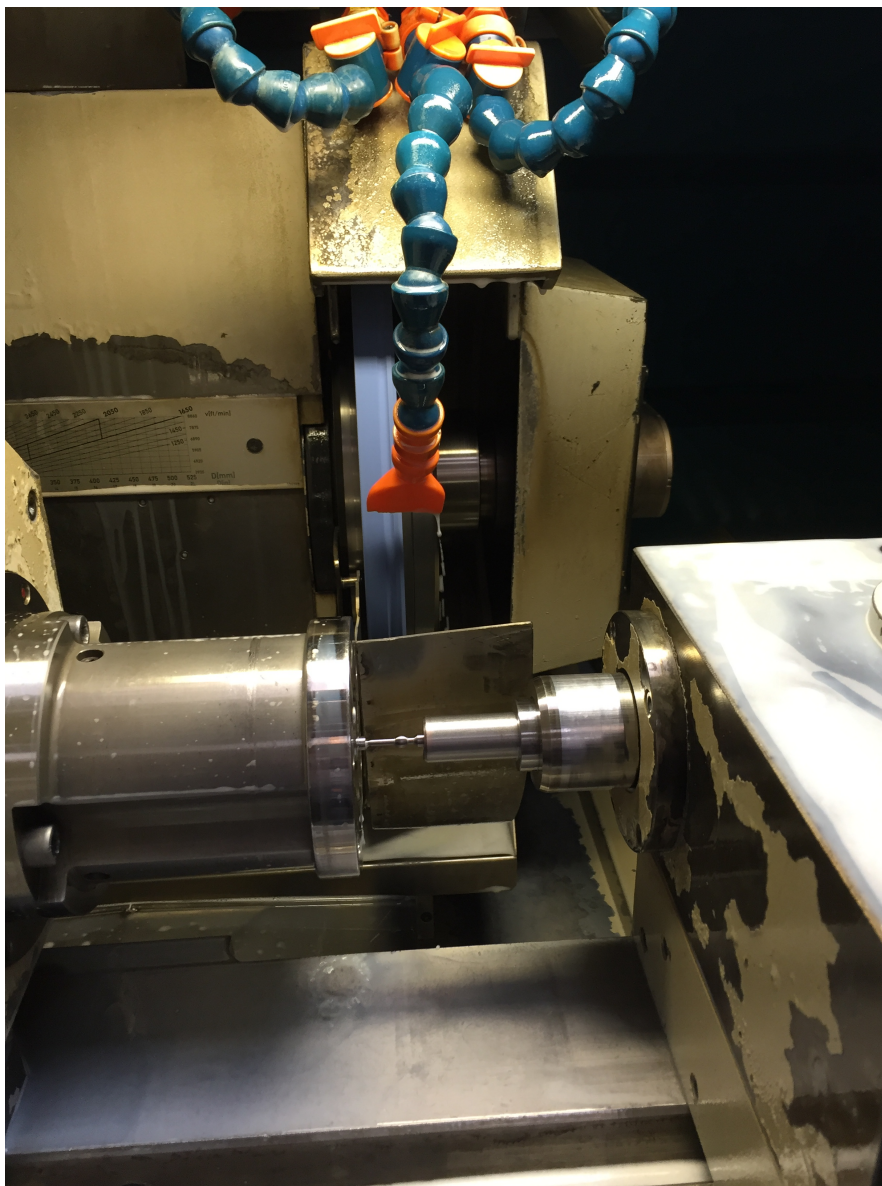
### **2.6.1 Procesní kapaliny v Argo-Hytos**

V podniku Argo-Hytos se při broušení dílce používá řezná kapalina CIMSTAR 501-02. Výrobce je Cimcool. Kapalina se ředí vodou v poměru 1:20, má tedy koncentraci 3-5%. Jedná se o polysyntetickou kapalinu s malým množstvím minerálního oleje. Kapalina má mazací a protikorozi vlastnosti.

## 3 BROUSICÍ PROCES

### 3.1 Popis brousicího procesu

Operátor upevní polotovar v brusce pomocí sklíčidla a negativního vnitřního 60° hrotu. Před každou dávkou, která obsahuje 4 kusy se brousicí kotouč nejprve orovná. Následuje vpuštění procesní kapaliny do místa zapichovacího broušení. Brousicí kotouč koná pouze příusvný pohyb. Pohyb vyvolá silové zatížení na dílec. Příusvný pohyb brousicího kotouče je rozdělen na 2 části. Nejprve hrubovací posuv a následně posuv na čisto. Po dosažení příslušných rozměrů na dílci je posuv vypnut a nastává fáze tzv. vyjiskřování. Vyjiskřování je popsáno níže. Po fázi vyjiskřování následuje vyjmutí obrobene součásti z brusky a kontrola.



Obr. 3.1.1 Hotový výrobek v brusce [vlastní]

## 3.2 Parametry broušícího procesu

Parametry jsou zaznamenány v tabulce

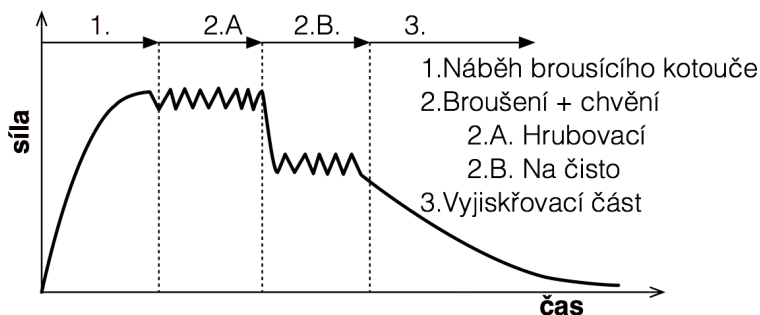
Tab. 5. Parametry orovnění

Rychlost orovnění [ $v_d$ ]	Rychlost broušícího k. [ $v$ ]	Efektivní šířka orovnění [ $b_d$ ]	Stupeň překrytí [ $U_D$ ]	Hloubka přísluvu orovnávače [ $a_D$ ]
200 mm/min	45 m/s	1,4mm	75,6	0,02 mm

Tab. 4. Parametry broušícího procesu

Obvodová rychlost broušícího kotouče [ $v_c$ ]	Otáčky obrobku [ $v_w$ ]	Hrubovací posuv [ $f_1$ ]	Posuv na čisto [ $f_2$ ]	Vyjiskření	Doba procesu
45 m/s	800 ot/min	5 mm/min	2,7 mm/min	2s	43s

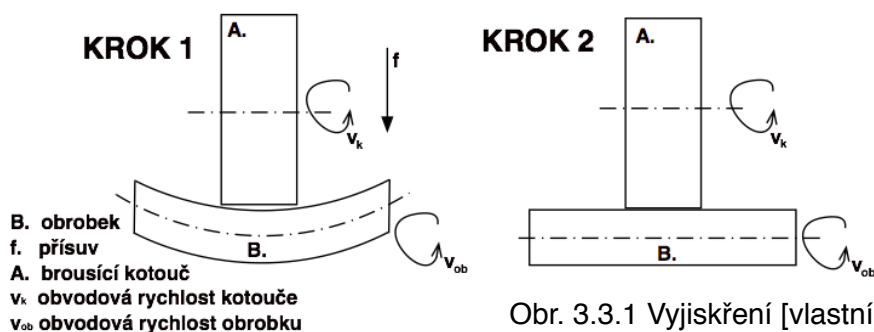
Silové zatížení dílce během broušení



Obr. 3.2.1 Silový průběh při broušení [vlastní]

## 3.3 Vyjiskření (vyjiskřování)

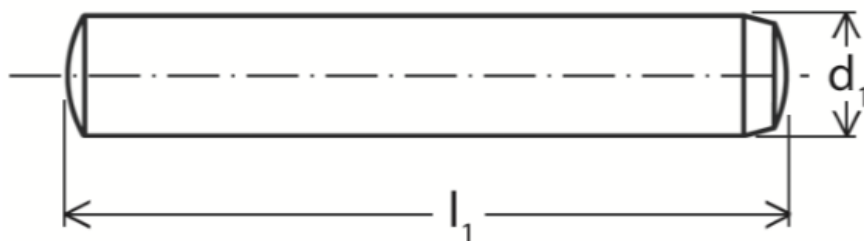
Vyjiskření probíhá při finální části broušícího procesu. Během této operace nekoná broušící kotouč přísluv  $f$ . Kotouč setrvává ve stejné poloze, ale dochází k minimálnímu úběru materiálu. Během vyjiskření dochází ke zpřesnění tvaru broušeného dílce a zlepšuje se drsnost povrchu. [9]



Obr. 3.3.1 Vyjiskření [vlastní]

## 4 POLOTOVAR

K výrobě dílce se používá kolík dle ČSN 02 2152 (DIN 6325). Jedná se o válcovanou ložiskovou ocel, která je zakalena na tvrdost 220 HB. Materiál. W.Nr.:1.3505.



Obr. 4.1 Polotovár [9]

Rozměry: [mm]

- $d_1=6$  m6
- $l_1= 36$

Tab 7. Ekvivalenty

PN	W.nr	EN	AISI	Russia (GOST)	ČSN
ŁH 1	1.3505	100Cr6	6400K	SCh15	14 109

Tab 6. Chemické složení [%]

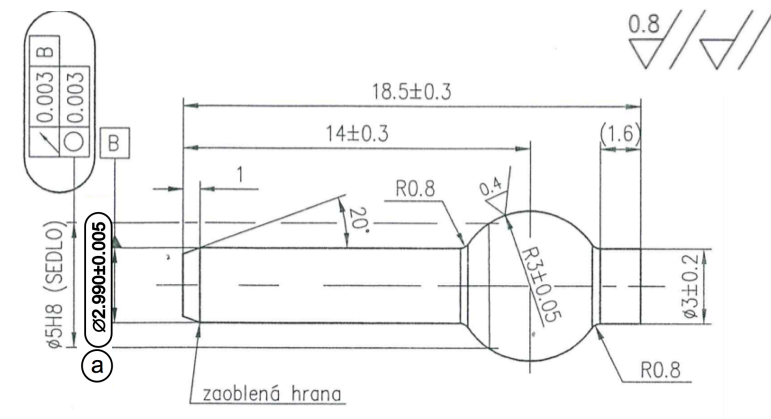
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,95-1,1	0,25-0,45	0,15-0,35	max 0,025	max 0,025	1,3-1,65	max 0,3	max 0,3

Ocel je obecně určená pro výrobu valivých ložisek, kroužků, hřídelů, kuliček, které nepracují za vysokých teplot v agresivním (korozivním) prostředí. Kalení probíhá za teplot 830-870 °C, následné popouštění pak za 150-170 °C. Tvrdost 65 HRC. [9]

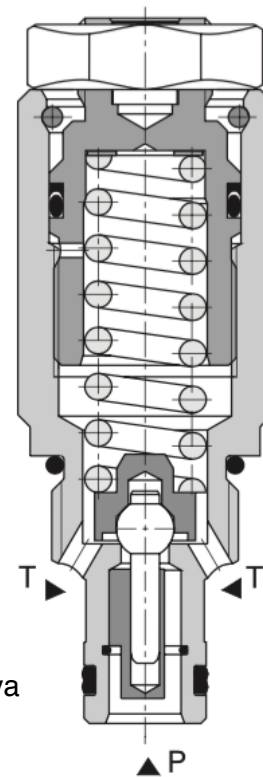
## 5 VÝROBEK

Broušený dílec je tzv. kuželka a spolu s protikusem tzv. sedlem tvoří základní část rozvaděče sedlového typu. Jedním z rozvaděčů, které se v podniku Argo-Hytos vyrábějí je vestavěný přepouštěcí ventil, přímo řízený. Obchodní označení SR1A-A2.

*“Tento ventil je určen k nastavení maximálního tlaku v obvodu a ochraně běžných hydraulických obvodů proti přetížení. Kalená kuželka je tlačena k těsnící hraně sedla silou pružiny. V základní poloze je ventil uzavřen. Překročí-li tlak v obvodu hodnotu otvíracího tlaku, nastavenou stlačením pružiny, kuželka se tlakem kapaliny vysune ze sedla a kapalina může odtékat zpět do nádrže. Po poklesu tlaku se ventil opět uzavře.”<sup>11</sup>*



Obr. 5.1 Výkres výrobku [vlastní]



Obr. 5.2 Sestava [11]



Obr. 5,3 Dílec po vyjmutí z brusky [vlastní]

## 6 INTEGRITA POVRCHU

Integrita povrchu je celkový souhrn charakteristik popisující vlastnosti povrchu materiálu. Všechny technologie obrábění mění vlastnosti materiálu jak na povrchu (topografie) tak i pod ním, čímž výrazně ovlivňují životnost součástí, tudíž i celého konstrukčního systému. [5]

### 6.1 Složky integrity povrchu

Pro komplexní kontrolu jakosti povrchu používáme následující parametry:

- drsnost povrchu a jeho profil
- geometrická přesnost
- tvrdost na povrchu a v povrchové vrstvě
- zbytková napětí
- změny struktury
- tepelné změny
- trhliny [5]

### 6.2 Faktory ovlivňují integritu povrchu

- **materiál nástroje** (materiál zrn, pojivo, ostřívo, tepelná vodivost)
  - broušící nástroj má vliv na mechanické i tepelné zatížení povrchu, např: povrch po broušení bílým korundem má vyšší teplotu, než broušení povrchu CBN
- **řezná rychlost**
  - s vyšší řeznou rychlostí při použití dostatečného množství procesní kapaliny nastává zlepšení drsnosti povrchu
- **přísuv**
  - s nižším přísuvem drsnost povrchu obrobku klesá
- **řezné prostředí**
  - vytváří příznivější podmínky pro činnost zrna, očišťuje obrobek
- **kinematické a dynamické účinky sil a momentů**
- **tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek-přípravek (SNOP)**
  - tuhost se projevuje chvěním soustavy při broušení, absolutně tuhá soustava zvětší poměr odřezávaného množství materiálu na úkor plasticky deformovaného, zanechá ostrý profil dle morfologie abrazivních zrn
- **materiál obrobku, jeho předchozí zpracování**
  - působí na vznik zbytkových napětí, materiálovými vlastnostmi: zpevňovací schopnosti, strukturou, chemické složení, atd.
- **typ obrábění**

Všechny tyto položky spolu tvoří jeden systém, který má zásadní význam na integritu, proto jej musíme optimálně volit. Optimální volba musí splňovat jak technologické, tak i ekonomické, popřípadě ekologické požadavky. [1][5][15]

## 6.3 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu patří mezi základní ukazatele jakosti povrchu a povrchové vrstvy. Je popsán normou ČSN EN ISO 4287. Každý povrch je charakterizován množstvím prohlubní a výstupků, který se měří a porovnává s požadavky. Dnes je více jak 250 různých parametrů.

Nejčastěji se používá:

- průměrná aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ )
- největší výška profilu ( $R_z$ )
- průměrná kvadratická úchylka profilu ( $R_q$ )
- celková výška profilu ( $R_t$ )
- křivka materiálového (nosného) podílu

Měření drsnosti je založeno na snímání plochy a převodu do 2D nebo 3D obrazu s vyhodnocením. [5]

## 6.4 Základní pojmy

Struktura povrchu je dělena na jednotlivé složky, které jsou charakterizovány délkami roztečí pro příslušnou nerovnost. Nejmenší rozteč tvoří drsnost povrchu. Následuje druhá složka, nazývaná vlnitost. Největší rozteč má základní profil. Dle normy ČSN EN ISO 4287 rozlišujeme následující geometrické parametry. [6]

- R - drsnost povrchu
- W - vlnitost povrchu
- P - základní profil

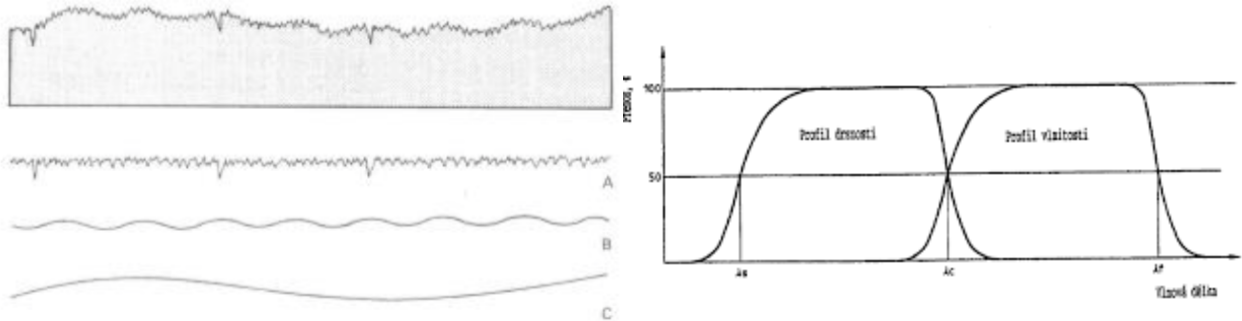
## 6.5 Filtrace

Procesem filtrace rozumíme odstranění nežádoucí složky profilu. Hodnota, která odděluje dlouhovlnné složky od krátkovlnných se označuje jako mezní vlnová délka filtru - cut-off (ČSN EN ISO11562:1996)

- **Základní profil (P-profil):** úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru  $\lambda_s$ . Je základem pro hodnocení parametrů základního profilu.
- **Profil drsnosti (R-profil):** profil je odvozený ze základního povrchu. Získáme jej tak, že potlačíme dlouhovlnné složky s použitím filtru  $\lambda_s$ . Profil je základem pro měření drsnosti.



- **Profil vlnitosti (W-profil):** profil je odvození postupným aplikováním filtru  $\lambda_f$  a  $\lambda_c$  na základní profil. Potlačení dlouhovlnné složky filtrem  $\lambda_f$  a krátkovlnným filtrem  $\lambda_c$ . Profil slouží k vyhodnocování parametrů vlnitosti



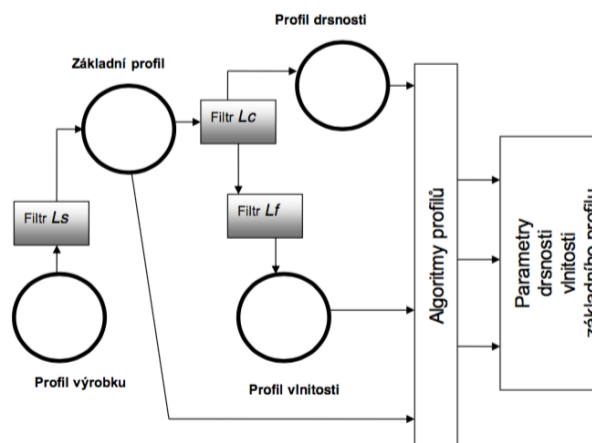
**Rozložení základního profilu**  
A - drsnost B- vlnitost C- úchylnka tvaru

Obr. 6.5.2 Závislost profilu na vlnové délce [6]

Obr. 6.5.1 Rozdělení základního profilu [6]

**Základní délka [lr]** - chápáme jako délku ve směru vyhodnocované plochy pro definování nerovnosti popisující daný profil. Základní délka pro drsnost  $l_r$  odpovídá hodnotě filtru  $\lambda_c$ , neboť hodnota filtru rozděluje profil mezi složky drsnosti a vlnitosti

**Vyhodnocovaná délka [ln]** - délka ve směru vyhodnocované plochy (např: osa x), která se používá pro zkoumání profilu, je to tedy přesně ta vzdálenost, po které probíhá měření. Vyhodnocovaná délka může obsahovat i více základních délek [6]



Obr. 6.5.3 Schéma filtrace [6]

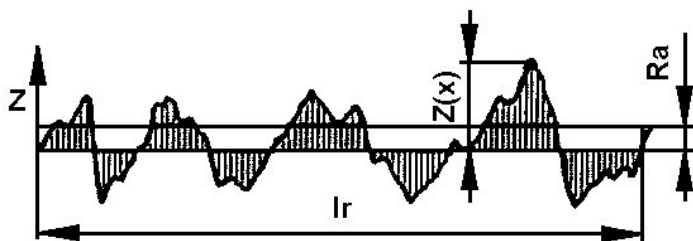
## 6.6 Parametry popisující jakost povrchu

Existuje celá škála parametrů popisujících integritu povrchu.

1. Výškové parametry
  - 1.1. výstupků a prohlubní - např: největší výška profilu  $R_z$
  - 1.2. průměrné hodnoty - např: střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$
2. Délkové parametry
3. Hybridní parametry
4. Křivky a příbuzné parametry - např: materiálový nosný podíl profilu  $R_{mr}$  (c)

### Průměrná aritmetická úchylka profilu $R_a$

V České republice je nejpoužívanější parametr. Je to aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Vypovídající schopnost parametru je nízká. Nepřesnost je značná při měření extrémní výšky a hloubky, protože bere jejich průměr.

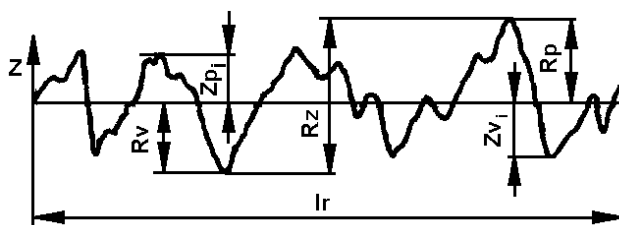


$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (5)$$

Obr. 6.6.1 Parametr  $R_a$  [6]

### Největší výška profilu $R_z$

Chápeme jej jako součet výšky největšího výstupku  $Z_p$  a hloubky nejnižší prohlubně  $Z_v$  v rozsahu základní délky  $l_r$

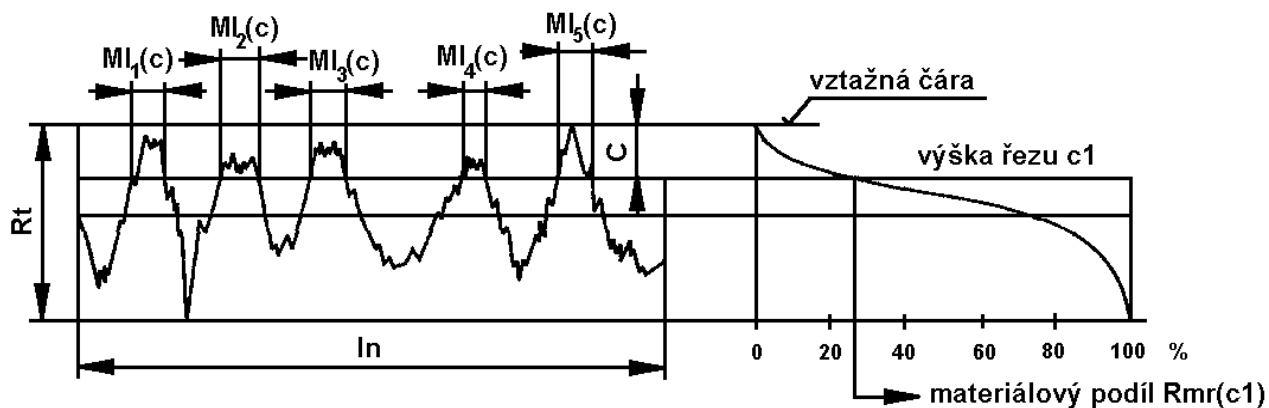


Obr. 6.6.2 Parametr  $R_z$  [6]

## Materiálový podíl profilu (nosný podíl) $P_{mr}(c)$ $W_{mr}(c)$ $R_{mr}(c)$

Značí procentuální podíl materiálu profilu  $MI(c)$  v příslušné hloubce  $c$  na vyhodnocované délce  $l_n$ . [5]

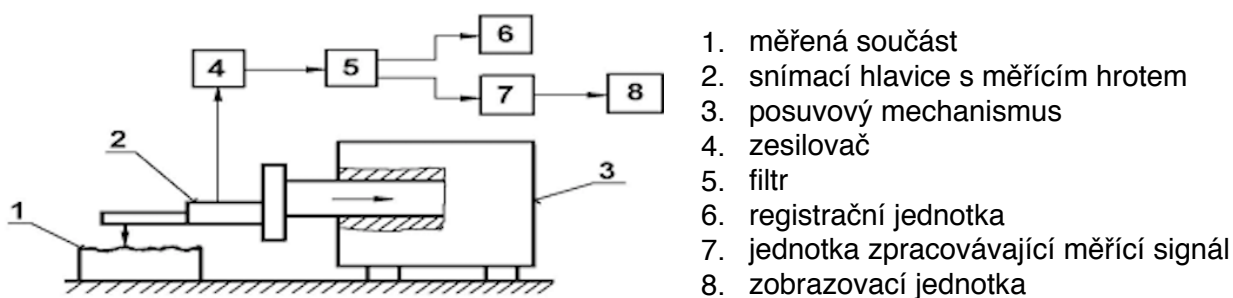
$$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n MI_i(c) = \frac{100 * MI(c)}{l_n} [\%] \quad (6)$$



Obr. 6.6.3 Parametr  $R_m(c)$  [6]

### 6.6.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometrem

Norma PN-ISO 3274: 1996 popisuje vlastnosti měřících strojů pro zjištění parametrů drsnosti. Metoda umožňuje získat kvantitativní data z měření, která slouží jako podklad pro následnou analýzu integrity povrchu. [5]



Obr. 6.6.1 Schema dotykového profilometru [6]

## 6.6.2 Princip měření dotykovým profilometrem

Měřidlo se skládá ze dvou částí:

- **Mechanická část**

Na stolek se umístí měřený dílec, po kterém se pohybuje danou konstantní rychlostí snímací hrot, který analyzuje nerovnosti povrchu. O pohyb snímacího hrotu se stará elektromotorek, nebo je pohyb zajištěn pneumaticky.

- **Elektronická část**

Elektronická část transformuje mechanický signál přijímaný od snímacího hrotu na elektrický signál. Ten je analyzován a vykazuje hodnoty příslušného parametru drsnosti, či grafický obrazec.

Měřicí základnou je přesně definovaná dráha snímače, řídící se dle ČSN EN ISO 4278. Pohyb hrotu analyzující zkoumaný povrch je velmi přesný co do přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost je volena s ohledem na možnosti měřícího stroje z důvodu kvalitního popisu jakosti povrchu.

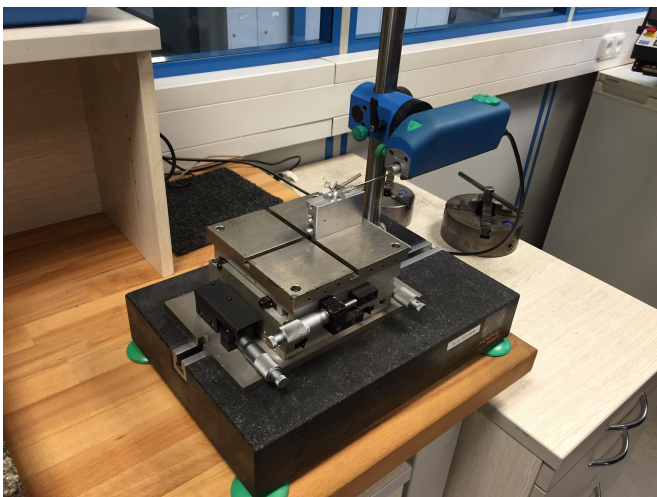
Měření je ovlivňováno:

- poloměrem zaoblení snímacího hrotu
- vrcholovým úhlem snímacího hrotu
- měřicí (přítlačnou) silou
- rychlostí změny měřicí síly
- celkovým geometrickým uspořádáním systému snímače

[5]

## 6.6.3 Měřicí stroj Hommel TESTER W 55

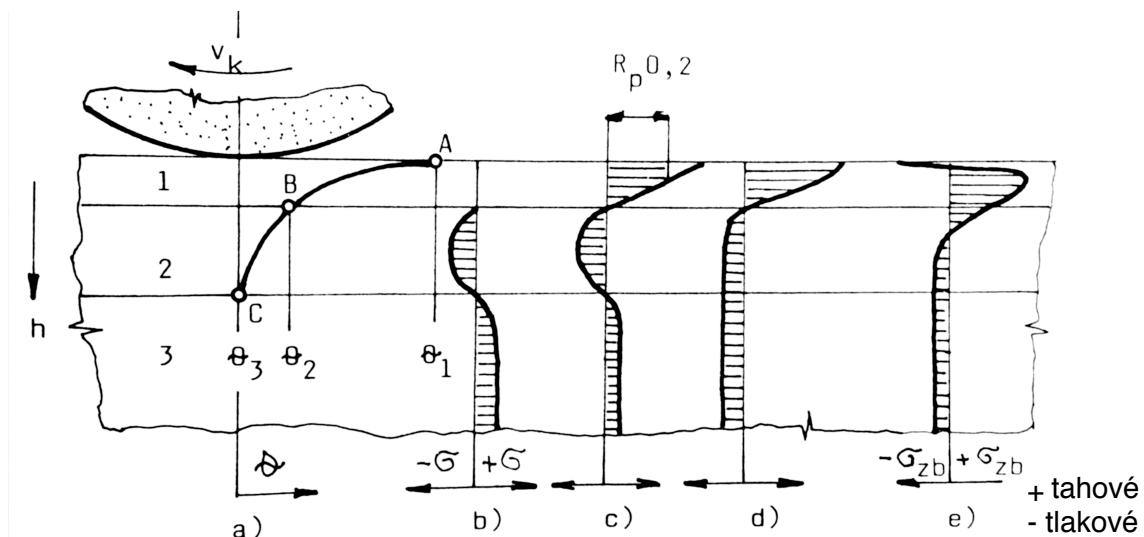
V podniku Argo-Hytos se pro kontrolu jakosti povrchu užívá dotykový měřicí stroj Hommel TESTER W55. Měření je prováděno metodou Tastschnitt.



Obr. 6.6.3.1 Hommel Tester W 55 [vlastní]

## 6.7 Zbytková napětí

Při broušení vnikají abrazivní zrna brousicího kotouče do obráběného materiálu. Během této operace dochází v místě styku k elastické a následně plastické deformaci. Tyto jevy s sebou přináší velké množství tepla a vysoké tlaky, které jsou důvodem vzniku zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobku. Zbytkové napětí patří mezi nejdůležitější složky integrity povrchu dílce, neboť výrazně ovlivňují životnost. V praxi jsou žádány tlakové síly, neboť zacelují vruby v materiálu. V případě tahových sil se vrub rozšiřuje a vznikají trhliny v materiálu. Zbytkové napětí mají také vliv na korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, či rozměrovou stálost. Zbytková napětí se vyskytují do hloubky 0,03-0,04mm pod povrchovou plochou. Mají výrazný vliv na dynamickou pevnost součástí, menší na statickou. Současně působí zbytková napětí po předcházejících operacích.



Obr. 6.9.1 Schema vzniku zbytkových pnutí při broušení [4]

### Princip vzniku zbytkových napětí při broušení

Práce, jenž je nutná k oddělení třísky od povrchu, se téměř celá přemění na teplo, které v místě styku nástroje a obrobku přechází do povrchové vrstvy.

*“Předpokládejme, že v povrchové vrstvě je teplota rozložena podle obr. 6.9.1 a. Při teplotě větší než  $\theta_2$  nechť je vrstva 1 v dokonale plastickém stavu. Její odpor proti deformaci je tedy malý, takže nepůsobí na vrstvu 2. Vrstva 2 má teplotu  $\theta_2$  až  $\theta_3$  a v důsledku teplotních rozměrových změn se deformuje pouze pružně. Vrstva 3 se broušením již neohřeje.*

*Průběh okamžitých napětí při tomto rozložení teplot je na obr. 6.9.1 b. Dokonale plastická vrstva 1 je bez napětí, vrstva 2 se snaží roztáhnout (tlakové pnutí), čemuž brání vrstva 3 (výrovnávací tahové pnutí).*

*Po přejetí kotouče nastává chladnutí, v určitém okamžiku bude teplota ve vrstvě 1 nižší než  $\theta_2$ , takže tato vrstva má snahu se zkrátit, čemuž klade odpor vrstva 2 a 3. Protože vrstva 1 již při teplotě  $\theta_2$  přešla z dokonale plastického v pružně-plastický stav, vzniknou v ní okamžitá pnutí tahová, ve vrstvě 2 a 3 vyrovnávací okamžitá pnutí tlaková.”<sup>4</sup>*

Na obr. 6.9.1 e. je vyznačen reálný průběh. Rozdíl mezi teoretickým a skutečným průběhem je zřejmě dán superpozicí pnutí tepelných se strukturními, či špatnými zrny s velkým poloměrem ostří, které materiál pouze odírala a plasticky deformovala. [4]

## **Měření zbytkových napětí**

### **Destruktivní metody**

- odleptávání povrchu - vlivem chemického narušení povrchu se sleduje vzniklá deformace uvolněné vrstvy
- vrtání povrchové vrstvy - sledování změn napětí při uvolňování materiálu v oblasti vrtaného otvoru
- rozpouštění povrchu - důsledkem chemického rozpouštění povrchu se tahová napětí projeví trhlinkami

### **Nedestruktivní metody**

- rentgenová tenzometrie - použití gamma paprsků pro zjištění velikosti zbytkových napětí v několika mikronové hloubce povrchu
- Barhaussenův šum - měření pomocí magnetu, kdy je v reproduktoru slyšet praskání. Ze vzniklé hysterezní křivky a orientace bodů posuzujeme zbytkové pnutí

[5] [4]

## **6.9 Tvrdost na povrchu a v povrchové vrstvě, zpevnění povrchu**

Tvrdost je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Odolnost se měří tam, kde dochází k mechanickému opotřebení. [5]

## 6.8 Geometrická přesnost

Potřeba kontroly vychází již z podstaty konstrukce a součástí. Geometrická nepřesnost při broušení je vyvolána zejména opotřebením nástroje, nedostatečnou tuhostí SNOP a chybně zvolenými reznými podmínkami. [5]

### **Geometrická přesnost**

#### **pro rotační součásti jsou**

- kruhovitost
- válcovitost
- souosost a soustřednost
- čelní, obvodové a celkové házení

### **Geometrická přesnost**

#### **pro rovinné plochy součásti**

- rovinnost
- kolmost
- rovnoběžnost

# 7 PRAKTICKÁ ČÁST

## 7.1 Členění proměnných a konstantních hodnot

Po konzultacích v podniku s panem Ing. Františkem Budárkem Ph.D. a vedoucím mé práce panem Prof. Dr. Ing. Františkem Holešovským jsem roztřídil parametry brousicího procesu, které mohou měnit a které zůstanou oproti původnímu brousicímu procesu konstantní. Vzhledem ke staří stroje a způsobu broušení jsem změnil parametry posuvu brousicího kotouče, doby vyjiskření a orovnávací rychlost brousicího kotouče Cubitron II. Ostatní parametry procesu zůstaly stejné.

Tab. 9. Konstantní parametry orovnění

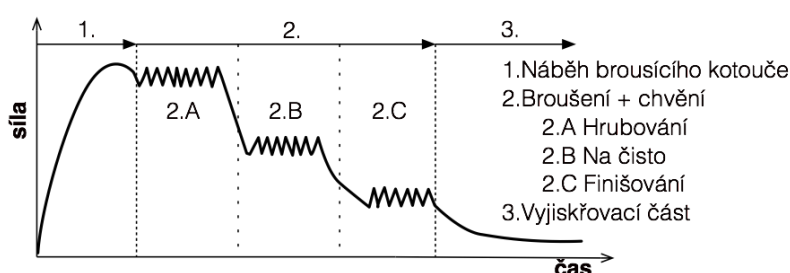
Rychlost brousicího kotouče [v]	Efektivní šířka orovnění [b <sub>d</sub> ]	Hloubka přísluvu orovnávače [a <sub>D</sub> ]
45 m/s	1,4mm	0,02 mm

Tab 8. Konstantní parametry brousicího procesu

Obvodová rychlost brousicího kotouče [v <sub>c</sub> ]	Otáčky obrobku [v <sub>w</sub> ]
45 m/s	800 ot/min

## 7.2 Plán experimentu a proměnné parametry

Plán experimentu jsem rozdělil do tří částí, každá část měla stejný posuv se změnami orovnění a doby vyjiskření. Pro srovnání má 4. část experimentu stejné parametry jako původní výrobní proces. Oproti původnímu procesu jsem pohyb brousicího kotouče rozdělil do tří pohybů: na hrubovací, na pohyb čisto a pohyb finišovací. Rozmělnění pohybu by mělo přinést zlepšení kvality povrchu z důvodu lepšího rozdělení zatížení na dílec.



Obr. 7.2.1 silové zatížení dílce [vlastní]



Zadanými parametry bylo broušeno vždy 5 dílců.

Tab. 10 Plán experimentu

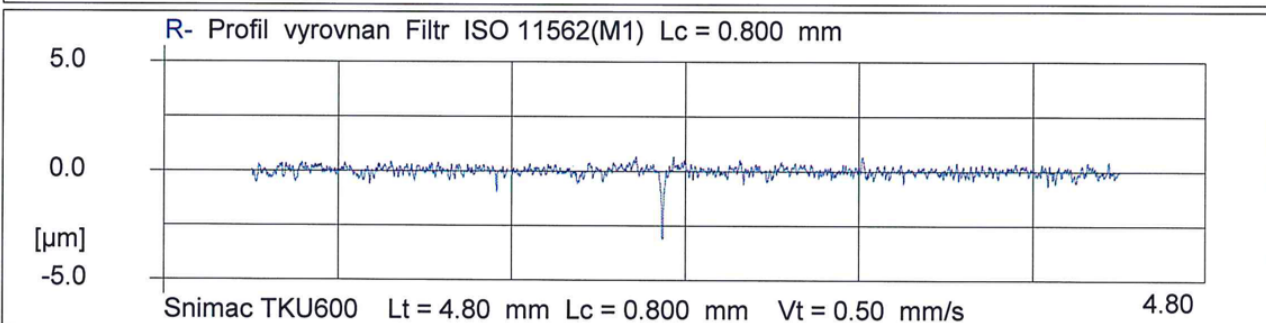
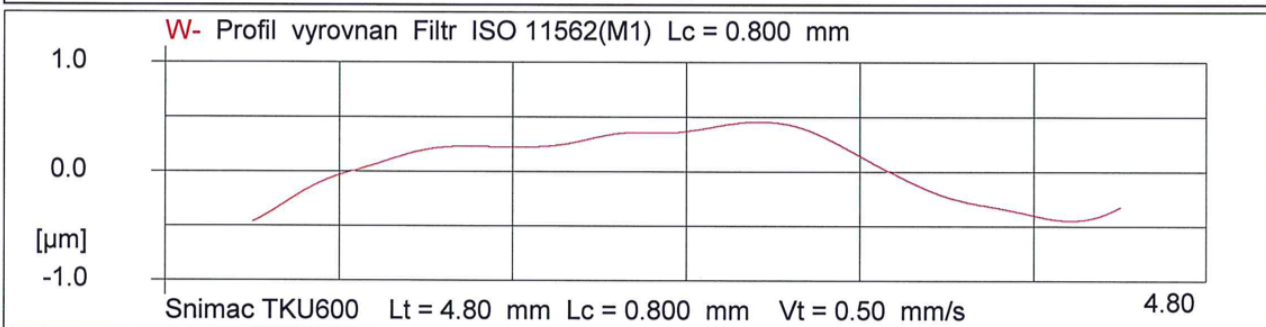
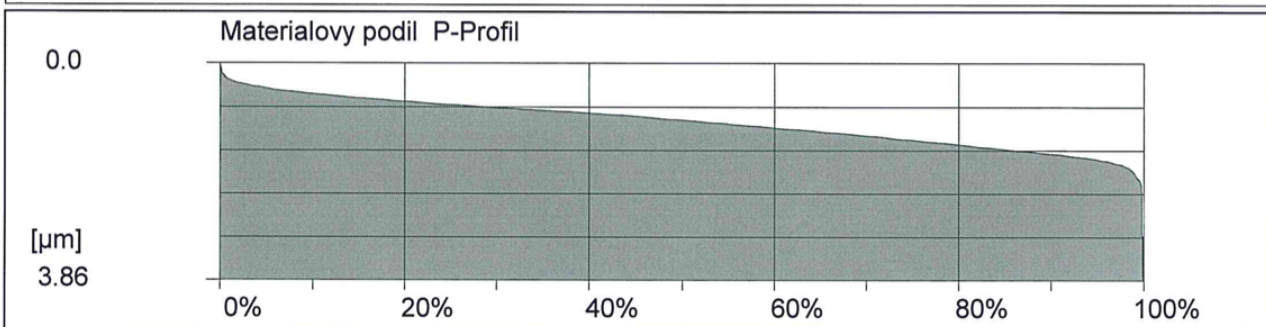
Posuvy	rychlost orovnění	hodnota	dobu vyjiskření	hodnota	Označení
6/3,5/2,5 [mm/min]	Vd [mm/min]	50	t [s]	4	1A
	Vd [mm/min]	100	t [s]	6	1B
	Vd [mm/min]	150	t [s]	7	1C
6,5/3/2,5 [mm/min]	Vd [mm/min]	50	t [s]	4	2A
	Vd [mm/min]	100	t [s]	6	2B
	Vd [mm/min]	150	t [s]	7	2C
6,7/2,8/1,5 [mm/min]	Vd [mm/min]	50	t [s]	4	3A
	Vd [mm/min]	100	t [s]	6	3B
	Vd [mm/min]	150	t [s]	7	3C
5/2,7 [mm/min]	Vd [mm/min]	200	t [s]	2	4

### 7.3 Způsob měření a výstupní protokol z měření

Měření dílců bylo prováděno na stroji Hommel TESTER W 50. Ke každému broušenému dílci byl vytvořen vlastní měřicí protokol. V každém protokolu byly naměřeny následující parametry: průměrná aritmetická úchylka profilu Ra, největší výška profilu Rz, R max, materiálový nosný podíl Pmr (c), W- profil, a profil Ra. Pro můj další výzkum jsem se zajímal o parametry Ra, Rz a Rmax. Měření času bylo odečítáno na ovládacím panelu CNC brusky. Čas slouží pro přibližné určení doby trvání samotného broušicího procesu. Není do něho započítáno orovnění broušicího kotouče.

Cislo vykresu Cislo zakazky Dodavatel Kontroloval Poznamka	HOMMELWERKE W55 Version 1.1.1 Merici podminky Typ snimace: TKU600 Mer.rozsah: 160 $\mu\text{m}$ Linear.posuv.pr.: waveline 20 Merici draha (Lt) : 4.80 mm Posuvova rychlost (Vt): 0.50 mm/s Lc (Cut Off) : 0.800 mm Filtr: ISO 11562(M1) Lc / Ls: 300
02N 2A1	

	Ist	Jmen	DT	HT	<>			
Ra	0.16 $\mu\text{m}$	0.00	0.00	0.00	0.00 $\mu\text{m}$			
Rz	1.74 $\mu\text{m}$	0.00	0.00	0.00	0.00 $\mu\text{m}$			
Rmax	3.86 $\mu\text{m}$	0.00	0.00	0.00	0.00 $\mu\text{m}$			



Obr. 7.3. Výstup z měření [vlastní]

## 7.4 Výsledky experimentu

**Tab. 11. 1A - (Posuv 6/3,5/2,5 mm/min ; Vd=50 mm/min ; t= 4s)**

dílec	Ra	Rz	R max	Výrobní čas [s]
1	0,13	0,98	1,08	49
2	0,12	0,87	1	
3	0,14	1,35	2,70	
4	0,14	1,05	1,13	
5	0,15	1,16	1,53	
Průměr	0,136	1,082	1,488	
Směrodatná odchylka	0,010198	0,163878	0,633006	
Rozptyl	0,000104	0,026856	0,400696	

**Tab 12. 1B- (posuv 6/3,5/2,5 mm/min ; Vd=100 mm/min ; t= 6s)**

dílec	Ra	Rz	R max	Výrobní čas [s]
1	0,21	1,5	1,84	51
2	0,20	1,51	1,65	
3	0,21	1,65	1,95	
4	0,19	1,59	2,09	
5	0,2	1,85	2,15	
Průměr	0,202	1,62	1,936	
Směrodatná odchylka	0,007483	0,127436	0,179287	
Rozptyl	0,000056	0,016240	0,032144	

**Tab. 13. 1C- (posuv 6/3,5/2,5 mm/min ; Vd=150 mm/min ; t= 7s)**

dílec	Ra	Rz	R max	Výrobní čas [s]
1	0,21	1,56	1,90	52
2	0,23	1,75	2,16	
3	0,26	2,33	4,19	
4	0,23	1,77	2,25	
5	0,22	1,69	1,82	
Průměr	0,23	1,82	2,464	
Směrodatná odchylka	0,016733	0,265330	0,877510	
Rozptyl	0,000280	0,070400	0,770024	

**Tab. 14. 2A - (posuv 6,5/3/2,5 mm/min; Vd=50 mm/min ; t= 4s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,16	1,74	3,86	51
2	0,17	1,34	1,48	
3	0,16	1,46	1,61	
4	0,17	1,37	1,77	
5	0,16	1,30	1,58	
Průměr	0,164	1,442	2,06	
Směrodatná odchylka	0,004899	0,158038	0,904809	
Rozptyl	0,000024	0,024976	0,818680	

**Tab. 15. 2B - (posuv 6,5/3/2,5 mm/min ; Vd=100 mm/min ; t= 6s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,12	0,94	1,02	53
2	0,12	0,88	0,97	
3	0,12	1,08	1,45	
4	0,13	1,02	1,31	
5	0,13	1,12	1,81	
Průměr	0,124	1,008	1,312	
Směrodatná odchylka	0,004899	0,088182	0,306359	
Rozptyl	0,000024	0,007776	0,093856	

**Tab. 16. 2C - (posuv 6,5/3/2,5 mm/min ; Vd=150 mm/min ; t= 7s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,23	1,85	2,11	54
2	0,20	1,37	1,66	
3	0,21	1,71	2,25	
4	0,24	1,75	2,06	
5	0,23	1,78	2,08	
Průměr	0,222	1,692	2,032	
Směrodatná odchylka	0,014697	0,167380	0,197525	
Rozptyl	0,000216	0,028016	0,039016	

**Tab 17. 3A - (posuv 6,7/2,8/1,5 mm/min ; Vd=50 mm/min ; t= 4s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,15	1,28	2,12	62
2	0,14	1,09	1,22	
3	0,14	1,04	1,22	
4	0,16	1,46	2,08	
5	0,15	1,23	1,56	
Průměr	0,148	1,22	1,64	
Směrodatná odchylka	0,007483	0,148728	0,395778	
Rozptyl	0,000056	0,022120	0,156640	

**Tab 18. 3B - (posuv 6,7/2,8/1,5 mm/min ; Vd=100 mm/min ; t= 6s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,18	1,55	2,04	64
2	0,17	1,5	1,56	
3	0,17	1,36	1,77	
4	0,18	1,94	3,74	
5	0,18	1,41	1,55	
Průměr	0,176	1,552	2,132	
Směrodatná odchylka	0,004899	0,205076	0,823539	
Rozptyl	0,000024	0,042056	0,678216	

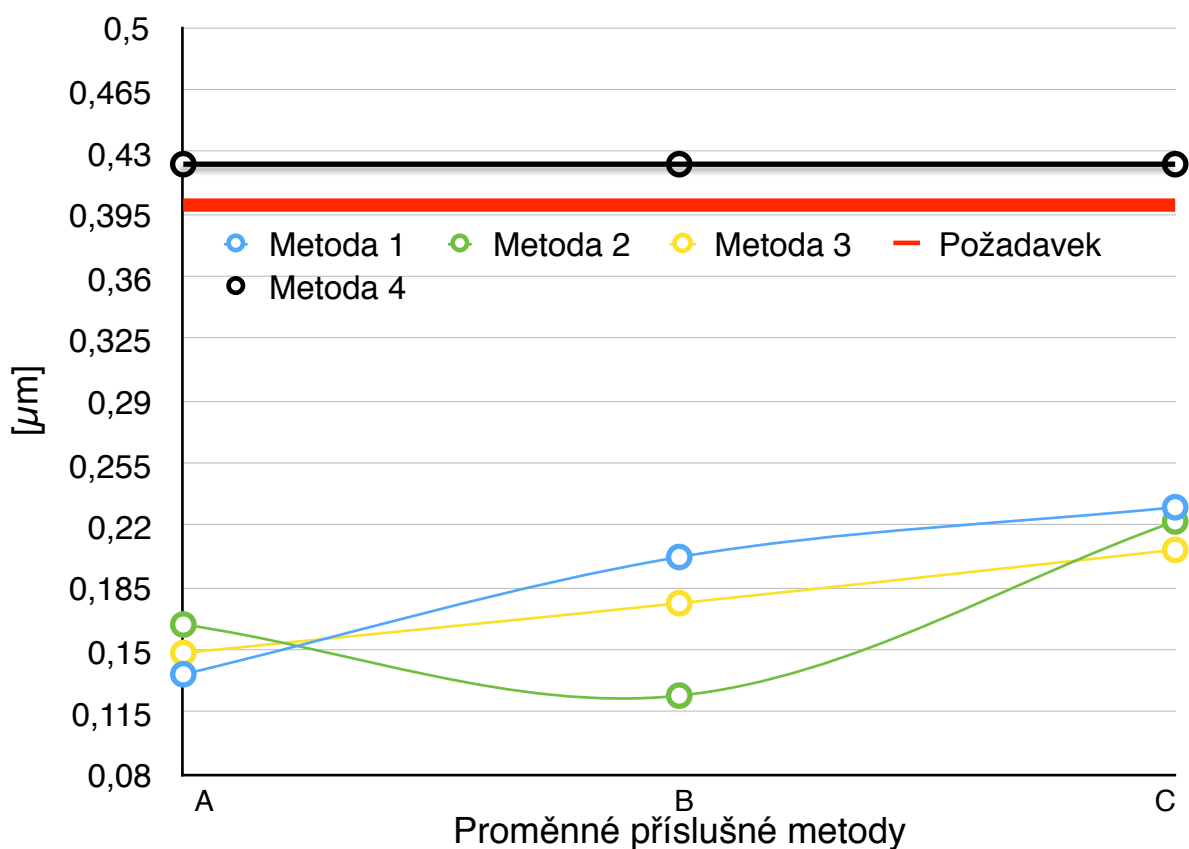
**Tab 19. 3C - (posuv 6,7/2,8/1,5 mm/min ; Vd=150 mm/min ; t= 7s)**

dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,19	1,56	1,91	65
2	0,22	1,67	2,06	
3	0,21	1,8	2,62	
4	0,20	1,55	1,95	
5	0,21	1,72	2,46	
Průměr	0,206	1,66	2,2	
Směrodatná odchylka	0,010198	0,095289	0,286426	
Rozptyl	0,000104	0,009080	0,082040	

Tab 20. 4 (posuv 5/2,7 mm/min; Vd=200 mm/min ; t= 2s)

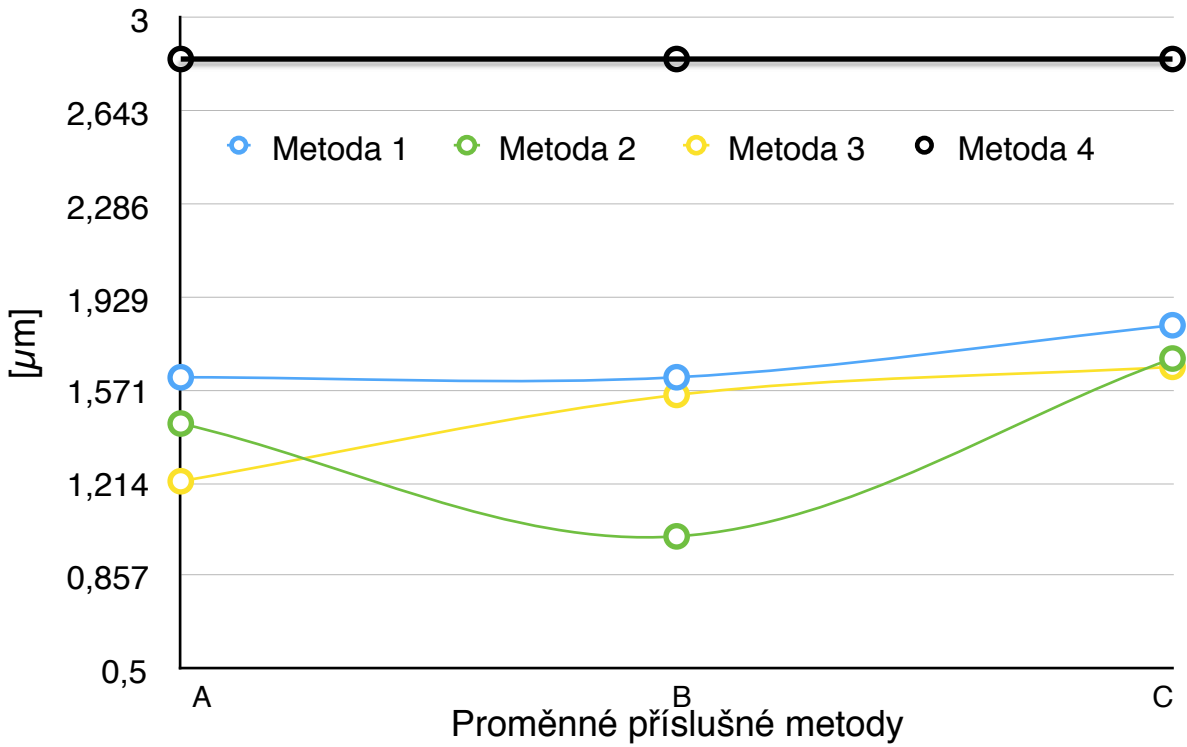
dílec	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	R max [ $\mu\text{m}$ ]	Výrobní čas [s]
1	0,38	2,55	3,29	43
2	0,34	2,56	3,45	
3	0,43	3,14	3,75	
4	0,5	2,92	3,47	
5	0,51	3,05	3,26	
Průměr	0,432	2,844	3,444	
Směrodatná odchylka	0,066151	0,246138	0,174310	
Rozptyl	0,004376	0,060584	0,030384	

Graf výsledného Ra



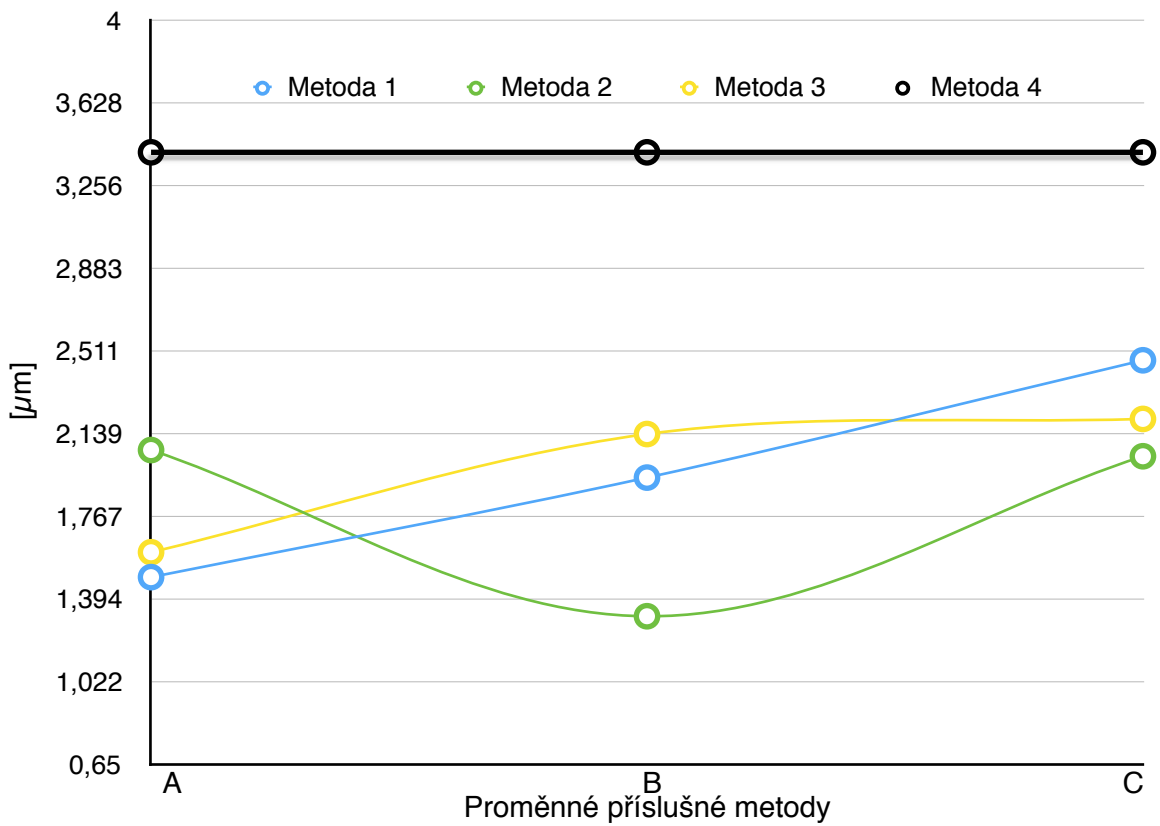
Obr. 7.3.1 Graf Ra

### Graf výsledného Rz



Obr. 7.3.2 Graf Rz

### Graf výsledného R max



Obr. 7.3.3 Graf R max

**Tab 21. Poměrné vyjádření výsledků k původnímu procesu**

	<b>Metoda 1</b>	<b>Metoda 2</b>	<b>Metoda 3</b>	<b>Metoda 4</b>
Ra A [ $\mu\text{m}$ ]	0,136	0,164	0,148	0,423
Ra B [ $\mu\text{m}$ ]	0,202	0,124	0,179	0,423
Ra C [ $\mu\text{m}$ ]	0,23	0,222	0,206	0,423
Potřebný časový fond A	114,0 %	118,6 %	144,2 %	
Potřebný časový fond B	118,6 %	123,3 %	148,8 %	100,0 %
Potřebný časový fond C	120,9 %	125,6 %	151,2 %	
Drsnosti A [%]	67,85	61,23	65,01	
Drsnosti B [%]	52,25	70,69	57,68	0,00
Drsnosti C [%]	45,63	47,52	51,30	

V této tabulce jsem uvedl poměrné vyjádření výsledků, které mé metody experimentu vykazaly. Porovnal je s původním firemním nastavením procesu. Potřebný časový fond značí, o kolik je proces delší v procentuálním vyjádření, ku původnímu procesu. Tedy metoda 3C je oproti původní metodě o 51% delší, přibližně o polovinu času metody 4. Drsnost v této tabulce značí o kolik % se zlepšila drsnost oproti původnímu procesu, metody 4. Postup obdobný jako u časového fondu.



## 8 ZÁVĚR

Požadavek firmy Argo-Hytos, tedy ověření potenciálu broušicího kotouče Cubitron II od firmy 3M, se podařilo prokázat. Broušené dílce je možné vyrobit s drsností nižší než Ra 0,4  $\mu\text{m}$  a to úpravou parametrů broušicího procesu uvedené v praktické části.

Z grafů je zřejmé, že všechny metody vedly ke zlepšení všech sledovaných parametrů Ra, Rz i Rmax a to výrazně.

Nejlepší drsnost dosahovaly dílce broušené metodou č. 2 při rychlosti orovnění  $V_d = 100 \text{ mm/min}$  a doby vyjiskření  $t=6 \text{ s}$ . Při této metodě bylo dosaženo drsnosti povrchu až Ra 0,124  $\mu\text{m}$ . Rozdíl od původního broušicího procesu činil téměř 71%. Nevýhodou této metody je nárůst výrobního času o 26%.

Z hlediska potřebného časového fondu se oproti původnímu procesu nejlépe jeví metoda č. 1 s proměnnými  $V_d = 50 \text{ mm/min}$  a doby vyjiskření  $t= 4\text{s}$ . Při této metodě se zlepšila drsnost broušených dílců o 68% a časový fond narostl o pouhých 14%.

Pro snížení výrobního času a pro začlenění technologických změn v procesu broušení bych doporučil se zaměřit na metodu č. 1. Úpravu bych vedl přes zvětšení posuvu hrubovacího a posuvu na čisto. Finišovací posuv doporučuji zanechal na stejných hodnotách. Dále je věnovat pozornost na dobu vyjiskření, kterou je možné také zkrátit, přičemž by nemělo by dojít k výraznému zhoršení kvality.

## ZDROJE

- [1] MASLOV, Je. Teorie broušení kovů. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.
- [2] JANDEČKA, Karel. Úvod k broušení tvarově složitých nástrojů. Vyd. 1. Plzeň: Fakulta výrobních technologií a managementu UJEP, 2006. ISBN 80-7044-857-1.
- [3] HOLEŠOVSKÝ, František a Martin NOVÁK. Obrábění a montáže. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012. ISBN 978-80-7414-530-8.
- [4] NECKÁŘ, Ferdinand a Ivo KVASNIČKA. Vybrané statě z úběru materiálu. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1991. ISBN 80-01-00696-4.
- [5] Mádl, J., Holešovský, F. Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností. 1. Vyd. Universita J.E. Purkyně, FVTM, Ústí nad Labem, 2008 ISBN 978-80-7414-095-2
- [6] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0671-1.
- [7] WALTER, Graf, Handbook of cylindrical grinding, Winterthur: Winterthur Schleiftechnik AG, Switzerland, 2008. 254328.00 (dostupné z: <http://doc.doculead.com/doc/Form-Products/winterthur-cylindrical-grinding/2012021701/#0> )
- [8] Orovnávání brusných keramických kotoučů. Tumlikovo.cz: Metal cutting technologies [online], 2011 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz>
- [9] BANSTEEL. BANSTEEL [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: [http://www.bansteel.cz/prilohy/Dokumenty/1/1300279195\\_material-w.nr.-1.3505-14109\\_100cr6\\_.pdf](http://www.bansteel.cz/prilohy/Dokumenty/1/1300279195_material-w.nr.-1.3505-14109_100cr6_.pdf)
- [10] WINTER Precision Grinding Solution, Catalogue No.5: Dressing tools, Winter diamond tools for dressing grinding wheels: Norderstedt, Germany, 2010
- [11] SR1A-A2: Vestavěný tlakový prepouštěcí ventil, přímo řízený. Argo-hytos: we produce fluid power solution [online]. 2016 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: [http://www.argo-hytos.com/fileadmin/user\\_upload/Katalog\\_SR1A-A2\\_hc5063\\_CZ.pdf](http://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Katalog_SR1A-A2_hc5063_CZ.pdf)
- [12] O nás. ARGO-HYTOS: we produce fluid power solution [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/cz/o-spolecnosti/o-nas.html>
- [13] Jednoprofilové brusné kotouče. 3M Science.Applied to Life: 3M Česko [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.3mpribehy.cz/cubitron2/jednoprofilove-brusne-kotouce/>
- [14] Used Kellenberger Kel Vision. Inventory: used grinding equipment [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [http://www.jspetersmach.com/Used\\_Kellenberger\\_URS\\_125\\_CNC\\_Grinder.htm](http://www.jspetersmach.com/Used_Kellenberger_URS_125_CNC_Grinder.htm)
- [15] HOLEŠOVSKÝ, František. Integrita obráběného materiálu [prezentace], 2014 [cit. 2016-4-15]. Dostupné z: <http://utopm.fsid.cvut.cz/?udaj=predmet&id=C41068>

# SEZNAM PŘÍLOH

Skupina 1A

Skupina 1B

Skupina 1C

Skupina 2A

Skupina 2B

Skupina 2C

Skupina 3A

Skupina 3B

Skupina 3C

Skupina 4