



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

HODNOCENÍ TECHNOLOGIE BEZHROTÉHO

BROUŠENÍ

Diplomová práce

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. BcA. Podaný Jan, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Podlipný Jiří

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Hodnocení technologie bezhrotého broušení“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. BcA. Podaný Jan, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Bc. Podlipný Jiří

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D za vedení mé diplomové práce, za vstřícnost a trpělivost při konzultacích a za neocenitelné rady při řešení.

Dále děkuji Ing. Petru Hamplovi, Ph.D za ochotu a pomoc v rámci konzultací a spolupráce s firmou KYB Manufacturing Czech s.r.o. Stejně tak děkuji panu Jakubu Blažkovi za vstřícnost a pomoc při měření a následném vyhodnocování.

V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a trpělivost po celou dobu tvorby této diplomové práce.

Anotační list

Jméno autora: **Jiří PODLIPNÝ**
Název BP: Hodnocení technologie bezhrotého broušení.
Anglický název: Evaluation of centerless grinding technology

Rok: 2018
Studijní program: N 2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Obor studia: 3911T035 VÝROBNÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ
Ústav: Ú 12134 Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí BP: Ing. BcA. Podaný Jan, Ph.D.
Konzultant: Ing. Hampl Petr, Ph.D.

Bibliografické údaje

počet stran: 65
počet obrázků: 71
počet tabulek: 10
počet příloh: 2
Klíčová slova: Bezhroté broušení, pístní tyč, zadní tlumič
Keywords: Centreless grinding, piston rod, rear silencer

Anotace: Diplomová práce se zabývá rešerší bezhrotého broušení. Návrhem technologie z pohledu výroby a nastavení jejich optimálních podmínek. Předmětem diplomové práce je pístní tyč zadního tlumiče, kterou vyrábí firma KYB Manufacturing Czech s.r.o

Annotation:: The diploma thesis deals with the researches of Centreless grinding. Designing technology from a production standpoint and setting optimal conditions. The subject of the diploma thesis is the piston rod of the rear silencers produced by the company KYB Manufacturing Czech s.r.o

Abstrakt

První část diplomové práce popisuje základní princip funkce bezhrotého broušení a jeho využití pro zkoumanou technologii pístní tyče zadního tlumiče osobního automobilu. Následuje rešerše současných technologických postupů a standardu firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Druhá část práce se zabývá návrhem technologie z pohledu výrobku a stanovení volby bezhrotého broušení vzhledem k charakteristice výrobku. Dále pak rozsahem technologických podmínek, výkresovou dokumentací, charakteristikou požadovaných parametrů a v závěru vyhodnocením těchto charakteristik a hodnocením technologií.

Abstract

First part of my diploma describes basic functions of unpointed grinding and its use for technology which has been examined of piston rod of rear shock absorber. It continues with research of current technological processes and standard of KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Second part deals with technological proposal from the view of product and determination the choice of unpointed grinding due to the product. It also deals with the range of technological conditions, drawing documentation, characteristics of required parameters and evaluation of these characteristics and technologies in the end.

OBSAH

Úvod:	8
1. Podstata broušení a brousící nástroj	9
1.1 Příznačné znaky procesu broušení	9
1.1.1 Kinematika broušení.....	10
1.1.2 Ekvivalentní tloušťka broušení.....	11
1.1.3 Síla řezání při broušení.....	12
1.1.4 Jednotkový strojní čas.....	13
1.2 Brousící nástroje	13
1.3 Přístup k broušení	18
2. Bezhruté broušení	18
2.1 Rozdělení	20
2.2 Bezhruté broušení průchozí (průběžné)	20
2.3 Bezhruté broušení zapichovací	22
2.4 Bezhruté broušení vnitřních válcových otvorů	22
2.5 Planetové broušení	23
2.6 Podpěrná a vodicí pravítka pro bezhruté broušení	23
2.6.1 Materiál pravítek.....	24
2.7 Přesnost bezhrutého broušení	24
2.8 Vkládání obrobku	25
2.9 Polohy obrobku	25
2.10 Výhody bezhrutého obrábění	25
2.11 Nevýhody bezhrutého obrábění	25
3. Cíle bezhrutého broušení a broušení v KMCZ	26
3.1 Současná výroba	26
3.1.1 Příklady výrobců bezhrutých brusek.....	26
3.1.1.1 Příklad firmy mimo EU Micron USA.....	26
3.1.1.2 Junker.....	27
HODNOCENÍ TECHNOLOGIE BEZHROTÉHO BROUŠENÍ	3

3.1.1.3 Junker ve firmě KYB Manufacturing Czech, s.r.o.	27
3.1.2 Kroky výrobního procesu v KMCZ	28
3.2 Požadované tolerance drsnosti při výrobě.....	30
3.3 Strojní vybavení v KMCZ	31
4. Volba bezhrotého broušení.....	32
4.1 Rozsah technologických podmínek	33
5. Bezhroté broušení- pístní tyč	34
5.1 Pístní tyč- zadní tlumič (materiál, polotovary).....	34
5.2 Technologické podmínky	35
5.3 Celkové vyhodnocení jednotlivých sérií.....	54
6. Závěr.....	56
Výkres pístní tyče z KMCZ	57
Seznam použité literatury	58
Seznam obrázků.....	61
Seznam tabulek.....	64
Seznam příloh	65

Seznam zkratk a symbolů

KMCZ	KYB Manufacturing Czech, s.r.o.	[-]
Rz	Výška nerovnosti profilu	[μm]
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
HK	Zkouška tvrdosti	[N /mm ²]
CBN	Kubický nitrid bóru	[-]
DP	Diplomová práce	[-]

Seznam použitých veličin

v, v_c	[m.s ⁻¹]	Řezná rychlost
d_S	[mm]	Průměr broušícího kotouče
n_S	[min ⁻¹]	Frekvence otáčení broušícího kotouče
v_w	[m.min ⁻¹]	Obvodová rychlost (obrobku)
π	[-]	Konstanta pí
d_w	[mm]	Průměr obrobku, průměr broušené součásti
n_w	[min ⁻¹]	Frekvence otáčení
h_{eq}	[mm]	Ekvivalent tloušky
f_r	[mm]	Radiální posuv stolu brusky
f_a	[mm]	Axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku
v_{fs}	[m.min ⁻¹]	Axiální rychlost posuvu stolu brusky
a_e	[mm]	Pracovní záběr
F_c	[N]	Síla hlavní (leží ve směru řezné rychlosti)
F_p	[N]	Síla pasivní (je kolmá k broušené ploše)
F_f	[N]	Síla posuvová (působí ve směru podélného posuvu (kolmo na rovinu otáčení kotouče)
A_D	[mm ²]	Průřez třísky
k_c	[MPa]	Měrná řezná síla
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
l_a	[mm]	Dráha prohybu stolu brusky v axiálním směru
l_{na}	[mm]	Délka náběhu v axiálním směru
l_w	[mm]	Délka obrobku
l_{pa}	[mm]	Délka přeběhu v axiálním směru
p	[mm]	Přídavek na broušení
l_t	[mm]	Dráha prohybu stolu brusky v tangenciálním směru

$l_{at}, l_{pt},$	[mm]	Délka přeběhu v tangenciálním směru
b_w	[mm]	Šířka broušené plochy
a_e	[mm]	Pracovní záběr
F_i	[N]	Vyvažovací síla
v_{pk}	[m.s ⁻¹]	Obvodová rychlost
v_{fa}	[m.s ⁻¹]	Vodorovná rychlost
v_w	[m.s ⁻¹]	Svislá rychlost
α	[°]	Úhel sklonu podávacího kotouče
V_o	[m.s ⁻¹]	Průchozí rychlost

Úvod

Broušení spadá do velmi starých způsobů obrábění materiálů. Již v minulosti používal člověk přírodních brusiv k tomu, aby upravil potřebné nástroje (hroty kopí, nože, sekery, apod.). Následný vývoj v sektoru broušení byl urychlen vynálezem umělého broušícího kotouče (r. 1859) a vytvořením prvních prototypů univerzálních broušících strojů (r. 1860). Následné zdokonalování broušících kotoučů zejména jejich vlastností a zlepšování broušících strojů umožnilo, že se broušení stalo jedním z velmi využívaných a produktivních způsobů přesného obrábění, a to různých materiálů. Na tato fakta a skutečnosti navazuje téma diplomové práce. Je vysvětlena základní teorie bezhrotého broušení. Mezi hlavní odvětví tohoto procesu patří: technologie broušení, návrh technologie z pohledu výrobku, broušící nástroj, druhy přírodních a umělých broušících materiálů, opotřebení, trvanlivost, řezné prostředky při broušení a kvalita povrchové vrstvy broušených obrobků včetně rozsahu technologických podmínek. Další kapitola rozebírá bezhroté broušení pístní tyče, a sice z hlediska vhodnosti obrábění tvarových ploch součástí. Dále jsou uvedeny parametry pístní tyče s technologickými podmínkami. V neposlední řadě je v této diplomové práci zahrnuto vyhodnocení požadovaných parametrů se skutečným výsledkem. [1]



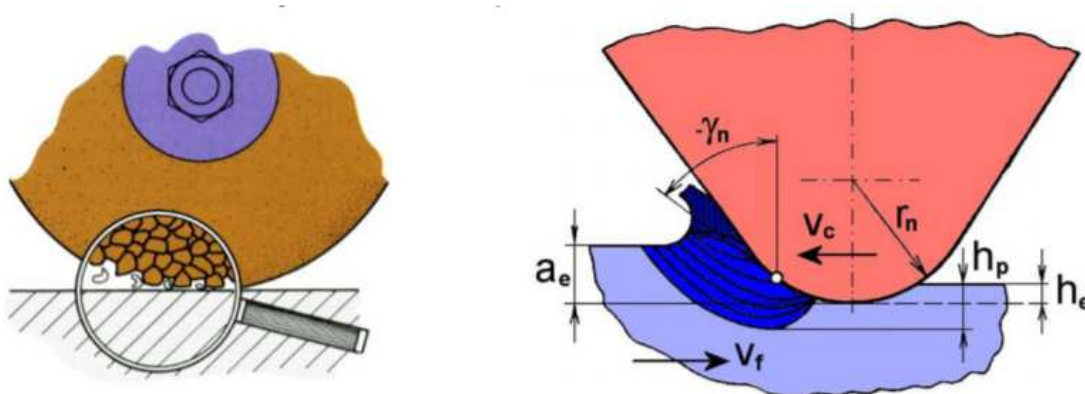
Obr. 1 Ukázka broušícího procesu [1]

1. Podstata broušení a brousicí nástroj

Broušení je rychlostní odírání povrchových vrstev tělesa, a to zejména velmi jemnými zrny brusiva, které jsou umístěné na brusném kotouči. Brusný kotouč se skládá z pojiva a brusiva stmeleny v nástroji. Proces probíhá při působení velkých měrných řezných sil, a to řádově do několika desítek tisíc MPa, dále pak při vysoké řezné rychlosti nejčastěji $30 \div 100 \text{ m.s}^{-1}$ a z toho vyplývající krátká doba záběru jednotlivých zrn. Broušením se dosahuje velké přesnosti obrábění. Broušení je používáno i při předběžném obrábění polotovarů (čištění odlitků, výkovků). Základním způsobem broušení je broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku. V tomto případě je řeznou dráhou zrna šroubovitá hypocykloidní křivka a řeznou plochu tvoří soubor hypocykloidních šroubovic. [17]

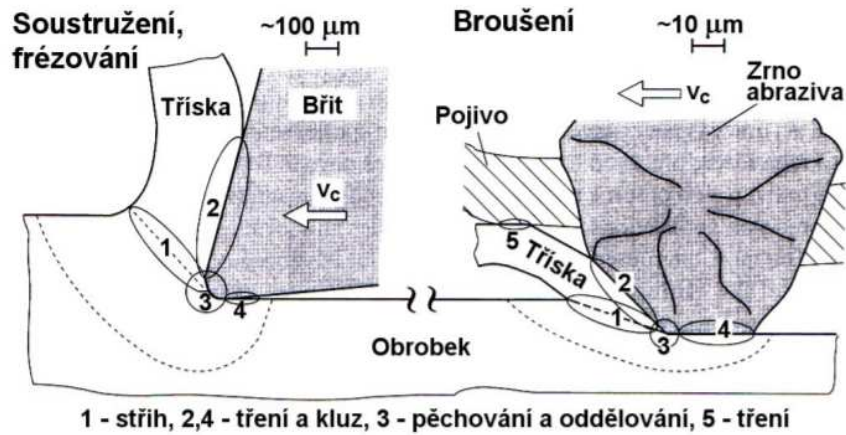
1.1 Příznačné znaky procesu broušení

- Z důvodu různého geometrického formátu zrn a nepravidelnosti rozmístění v brousicím nástroji bude odebrána tříska nepravidelného tvaru.



Obr. 2 Popis úhlů a délek jednotlivých zrn [2]

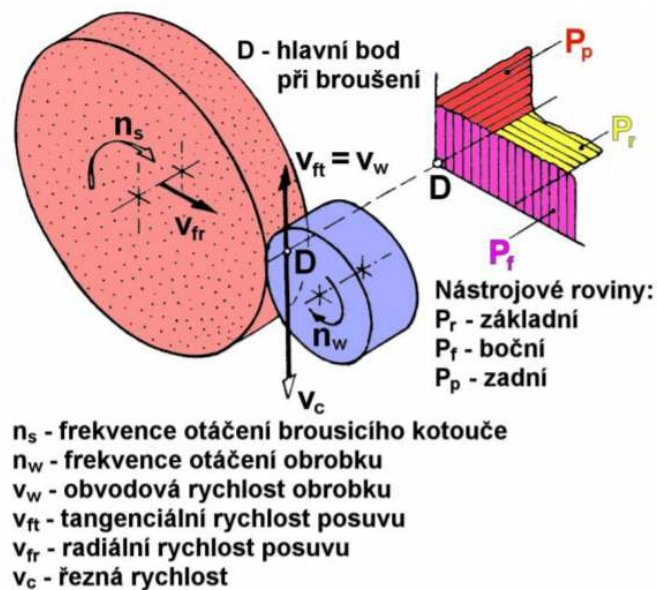
- Úlomek chceme-li třísku má průřez menších rozměrů ($10\text{-}3 \text{ mm}^2$), řez je při samotném broušení přerušovaný. Takto tvořené třísky mají variabilní průřez. Při broušení nastává v implikaci značných plastických deformací ke tření, při kterých vzniká vysoká teplota a to okolo $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. Vysokou zmiňovanou teplotou vzniká tkz. jiskření. Tento jev je důsledkem shoření či roztavení třísek.
- Z důvodu vzniklého tepla při broušení je nezbytné zajistit chlazení jak samotného obrobku, tak i řezného kotouče. Teplo, které vznikne při takovém broušení, nám způsobí oduhličení povrchu. Oduhličování daného povrchu způsobí vznik trhlin a má za následek měnění struktury. V neposlední řadě je způsobeno napětí a to v povrchové vrstvě obrobené plochy. [6]



Obr. 3 Porovnání produkované třísky při procesu broušení a frézování [2]

1.1.1 Kinematika broušení

Jako je tomu u frézování či jiných způsobů obrábění, určuje kinematika broušení posuvné pohyby, které můžeme pojmenovat jako hlavní posuvný pohyb a vedlejší posuvný pohyb. Obráběný výrobek (obrobek) tedy vykonává rotační vedlejší pohyb či pohyb přímočarý. Nástroj vykonává též otáčivý chod, ale oproti obrobku se jedná o pohyb pracovní. Pohyb nástroje tedy definujeme jako řezný (hlavní) chod. Při stanovení výsledného pohybu ve většině případů využijeme výslednic pohybu obrobku a brusného kotouče. Výsledná řezná rychlost je závislá na průměru kotouče a frekvenci rotačního pohybu brusného kotouče. Tato závislost je patrná ze vzorce. [2]



Obr. 4 Obvodové vnější broušení „dokulata“ radiálním způsobem [2]

Vyjádření řezné rychlosti

$$v = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad (1)$$

d_s – průměr broušicího kotouče [mm]

n_s – frekvence otáčení broušicího kotouče [min⁻¹]

Vyjádření obvodové rychlosti v_w při broušení „dokulata“:

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \quad (2)$$

d_w – průměr obrobku [mm]

n_w – frekvence otáčení [min⁻¹]

1.1.2 Ekvivalentní tloušťka broušení

Složitost operace broušení lze vnímat i při výpočtu tloušťky třísky odebrané při samotném procesu broušení (tloušťka třísky ubíraná jednotlivými zrny). Tento problém vyplývá z nerovnoměrností a odlišnosti ve velikosti zrn a zejména pak v uspořádání jednotlivých zrn na brusném kotouči, posléze pak i jejich rozdílná tvrdost. Při výpočtu se tedy přistupuje k určení teoretické hodnoty známé jako ekvivalentní tloušťka h_{eq} . Tato hodnota následně pomáhá stanovovat síly a odpory, ale například i výkon či měrnou práci. Pro komplexnost teoretické části jsou uvedeny i vztahy pro výpočet. [2]

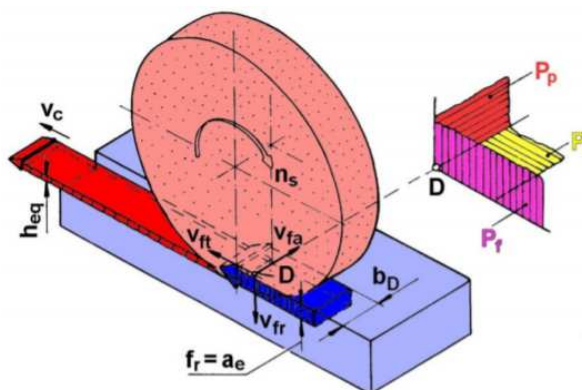
$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot f_r \quad [mm] \quad (3)$$

Pro vnější obvodové axiální broušení „dokulata“ má vztah tvar:

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot f_a = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot \frac{1000 \cdot v_{fa}}{n_w} \quad [mm] \quad (4)$$

Hodnota ekvivalentní tloušťky broušení se pro rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem stolu vyjádří podle vztahu:

$$h_{eq} = \frac{v_{ft}}{60 \cdot v_c} \cdot a_e \quad [mm] \quad (5)$$



Obr. 5 Rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem [2]

1.1.3 Síla řezání při broušení

Při operaci broušení vzniknou zákonitě dynamické jevy, které se mění společně s časem. V působišti kontaktu brusných zrn s obráběným povrchem vzniká plocha, na kterou působí složky sil. Tyto síly se dále rozkládají do vzájemně kolmých směrů ve třech rovinách a vytváří po sečtení výslednou sílu (F). Jednotlivé již zmiňované složky dělíme následovně:

- Hlavní F_c
- Pasivní F_p
- Posuvová F_f

Velikost výsledné síly je podmíněna řadou faktorů. Těmito faktory mohou být například výsledná tvrdost obráběného materiálu, způsob obrábění, použitý brusný kotouč, způsob mazání (chlazení). Adekvátně k přirůstající výsledné síle bude zvyšující se opotřebení brusného kotouče. Žádoucí je tedy optimalizovat sílu tak, aby jakost povrchu, výsledná síla a úbytek brusného kotouče byly v jakési rovnováze. [2]

Výpočet hlavní síly F_c :

$$F_c = 25 \cdot v_w^{0,6} \cdot f_a^{0,6} \cdot a_e^{0,5} \quad (6)$$

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad k_c = 4000 \text{ až } 12000 \text{ MPa, vyšší hodnoty platí pro broušení na čisto a jemné broušení} \quad (7)$$

$$A_D = f_a \cdot h_{eq} = \frac{10^3 \cdot v_{fa} \cdot h_{eq}}{n_w} \quad (8)$$

$$A_D = b_D \cdot h_{eq} \quad (9)$$

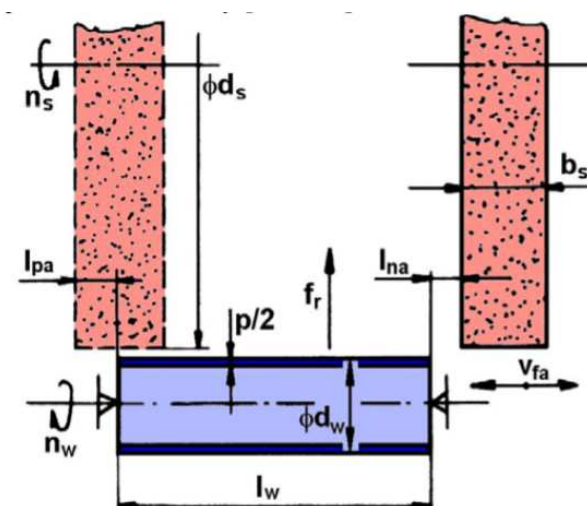
1.1.4 Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas je jako předchozí výpočet do vysoké míry ovlivněn způsobem broušení a nastavením podmínek broušení. Uvedený výpočet je pro axiální broušení (do kulata), a to s radiálním posuvem stolu. Zanedbá-li se vyjiskřování, výsledný tvar vztahu bude: [2]

$$t_{AS} = \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \cdot \frac{p}{2 \cdot f_r} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot 10^3 \cdot v_{fa} \cdot f_r} \quad (10)$$

$$l_a = l_{na} + l_w + l_{pa} \quad (11)$$

$$l_{pa} = l_{na} + \frac{b_s}{2} \quad (12)$$



Obr. 6 Schéma pro výpočet jednotkového strojního času pro obvodové axiální broušení [2]

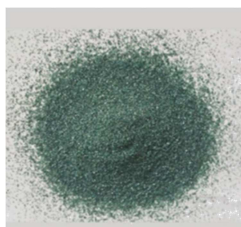
1.2 Broušící nástroje

Broušící nástroje (v našem případě se jedná o kotouče) jsou tvořeny zrnky brusiva (používají se zde zrna o velikosti několika μm v podobě jemných prášků), které jsou spojeny pojivem, a to v tuhé těleso vhodného tvaru, tvrdosti a struktury. Vhodného tvaru se dosahuje lisováním za velkých tlaků nebo litím příslušné směsi brusiva a pojiva do forem požadovaných tvarů s následným vypalováním, a to při teplotách přesahujících $1200\text{ }^\circ\text{C}$ do teploty $1400\text{ }^\circ\text{C}$. Jako nejčastější se používá keramické pojivo. Toto pojivo se vyrábí ze směsi kaolínu, ohnivzdorných hlín, živce apod. Pro broušení děr, tvarových dutin se využívají tzv. brusná tělíska. Existují také segmentové broušící kotouče, které jsou tvořeny dělenými broušícími segmenty. Tyto segmenty jsou následně připevňovány na ocelovou desku.[21]

1.2.1. Nejpoužívanější druhy brusiv

Karbid křemíku (SiC, Karborundum):

Z pohledu tvrdosti se jedná o tvrdší brusivo, nežli je tomu u umělého korundu. Jde o sloučeninu uhlíku a křemíku. Oproti korundu má větší houževnatost a výslednou odolnost proti opotřebení. Vlastnosti se vyznačují spíše podobností k diamantu nežli křemíku. Nejčastěji se využívá k obrábění (broušení) litiny a slinutých karbidů. Oproti křemíku má dvakrát vyšší tepelnou vodivost, která má pozitivní vliv na nároky chlazení a dochází tedy k rychlejšímu odvodu tepla. Označení dle normy: C 50, jedná se o karbid křemíku s obsahem 50 % C, barva zelená. [18]



Obr. 7 Zelený karbid křemíku [7]

Karbid boru (B₄C)

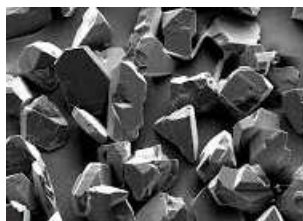
Jedná se o tvrdší druh brusiva oproti karbidu křemíku a používá se při broušení průvleků, broušení hran drahokamů a do lapovacích past na slinuté karbidy. [18]



Obr. 8 Karbid boru [7]

Kubický nitrid boru (BN)

Předností je větší tvrdost nežli předchozí vypsaná brusiva a používá se pro broušení těžkoobrobitelných ocelí a nástrojů. [18]



Obr. 9 Kubický nitrid boru [7]

Syntetický diamant (DT)

Ze zmiňovaných druhů brusiva má největší tvrdost, používá se k ostření nástrojů ze SK (slnutých karbidů), orovnávací BK (brusných kotoučů) a v lapovacích pastách. [18]



Obr. 10 Syntetický diamant [7]

Umělý korund (Al₂O₃, Elektrit, Elektrokorund)

Jedná se o nejrozšířenější, a tedy nejpoužívanější druh brusiva. Využitelnost je v běžné praxi častější oproti ostatním druhům brusiva. Použitelnost je možná pro odlitky z ocelí či temperované litiny. [18]



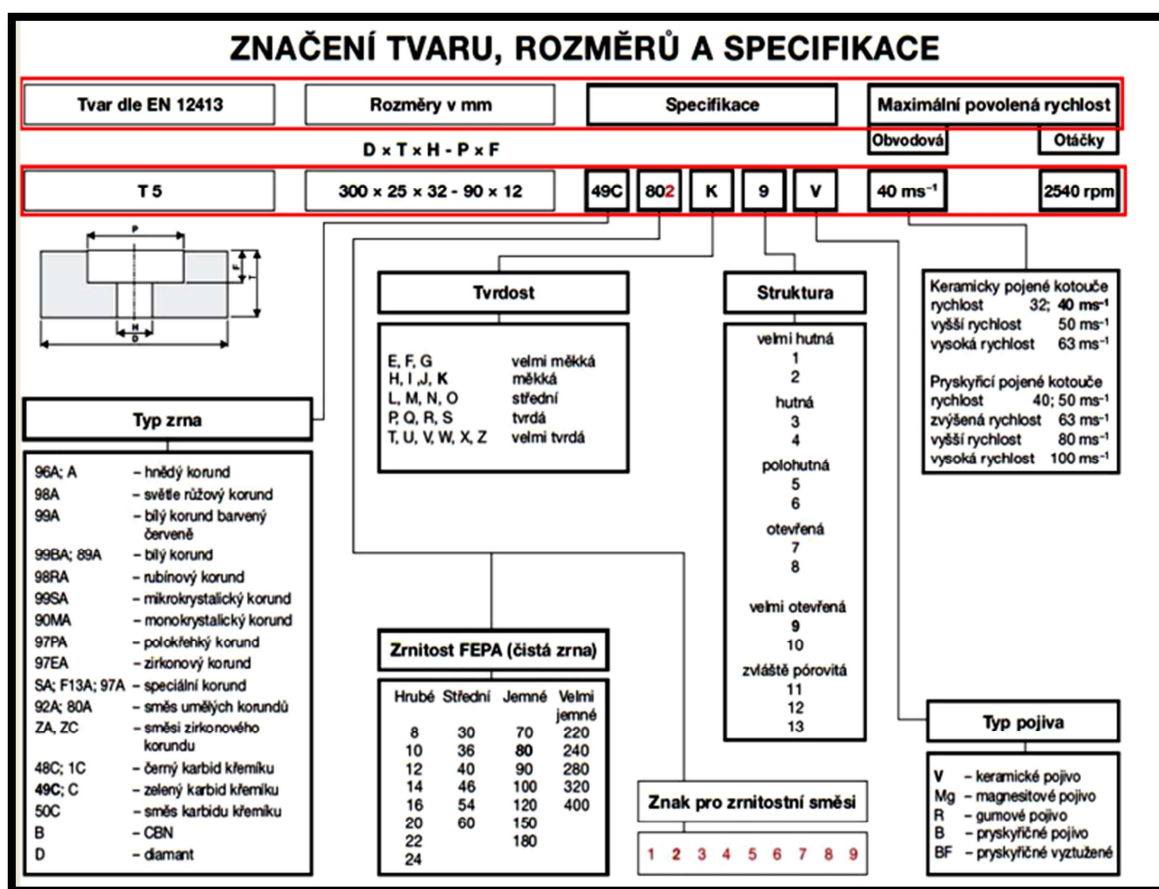
Obr. 11 Umělý korund [7]

Tabulka 1. Druhy brusiva

Ozn.	Druh brusiva	HK [N/mm ²]	Mezní teplota	Oblasti použití
A	Korund směsný Korund legovaný	16 350 20 800	2 000°C	Středně houževnaté až tvrdé materiály do 60 HRC jako nekalená ocel a temperovaná litina
	Čistý korund	21 000		Houževnaté tvrdé oceli nad 60 HRC jako nástrojová ocel, leštění skla
C	Karbid křemíku	24 800	1 370°C	Rovinné broušení SK, litiny, keramiky
B	Nitrid boru	47 000	1 200°C	Přesné broušení houževnatých tvrdých ocelí jako HSS ocelí a tepelně zušlechtěných ocelí
D	Diamant	70 000	800°C	Přesné broušení houževnatých tvrdých materiálu jako SK, litiny, keram. a slit. Niklu

* HK zkouška tvrdosti podle Knoop se provádí vtačováním diamantového jehlanu s vrcholovým úhly 172,5° a 130°

Tabulka 2. Příklad označení brusného kotouče [11]



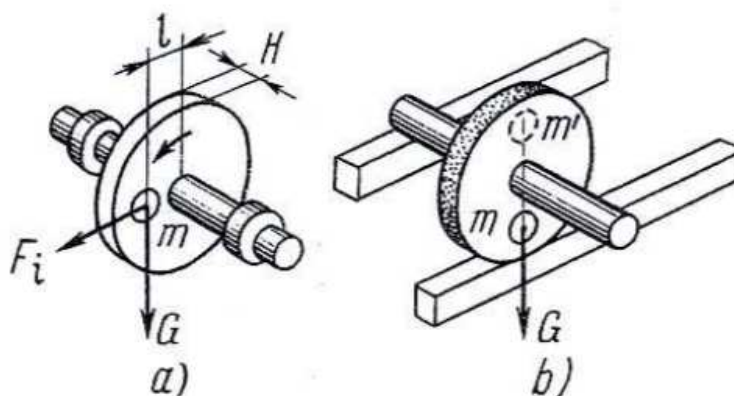
Firma KMCZ v procesu hrubování používá brusný kotouč od firmy Abrasivos Manhattan. Brusný kotouč nese firemní označení **AA70 O8 R3-P**. Pokud tedy budeme kotouč označovat dle normy, pak následně: **T1 600x300x305 AA 70 O 8 R3-P 45ms⁻¹ 1322 ot / min**. Jedná se tedy o hnědý korund se zrnitostí jemnou, střední tvrdostí, otevřenou strukturou a gumovým pojivem. Tyto informace je možné najít i v tabulce 2. [22]



Obr. 12 Příklad brusného kotouče v KMCZ

1.2.2. Vyvažování brousicích kotoučů

Vyvažování brousicích kotoučů je velkým tématem, především spojovaným s výslednou kvalitou povrchu a v této diplomové práci bude rozebráno jako okrajová záležitost, která nám může dopomoci optimalizovat řezné podmínky. U nevyváženého kotouče vzniká při vysokých rychlostech vyvážená síla F_i . Tato síla následně působí na ložisko vřetena (obr. 14a). Z poznatku zákona harmonického kmitání je známo, že výsledná síla F_i nám na vřeteno působí střídavým zatížením. Výsledkem při práci s nevyváženým kotoučem je tedy vznik vibrací. Vibrace mají za následek hned několik negativních vlivů. Jedním ze základních problémů je již zmíněná nepřesnost broušení, ale i funkce brusky. Je možné tento problém přirovnat k jízdě na osobním automobilu, který má nevyvážený disk kola a kolo nám "šmajdá". Výsledný problém je odstraněn pomocí olověného závaží. U brusných kotoučů postupujeme uspořádáním hmoty tak, aby jeho těžiště bylo totožné s geometrickým středem (osou otáčení). Toto vyvážení má za následek plynulý chod i při vysokých otáčkách, což je nezbytným faktorem pro vysokou přesnost a kvalitu povrchu, a také k předejití častých výměn ložisek brousicího vřetena. Vyvažování lze dělit na základě působení nevyvážených sil, a to na statickou a dynamickou. Obě metody mají svůj způsob (metodu) vyvažování. U moderních strojů pro vyvážení jsou poloautomaticky stroje vybaveny elektronickým zařízením. Toto zařízení na základě impulzu (jeho velikosti) určuje velikost odebírané hmoty. Po následné korekci se kotouč společně s trnem otočí, a to o 180° a následně provádí vyvážení druhé čelní plochy brousicího kotouče. Výsledná povolená nevyváženost je závislá na celkové hmotě kotouče. Např. u diamantových kotoučů (nosná část ocelová) je povolená nevyváženost 3,8 g. cm pro běžné a 1,9 g. cm pro přesné broušení.

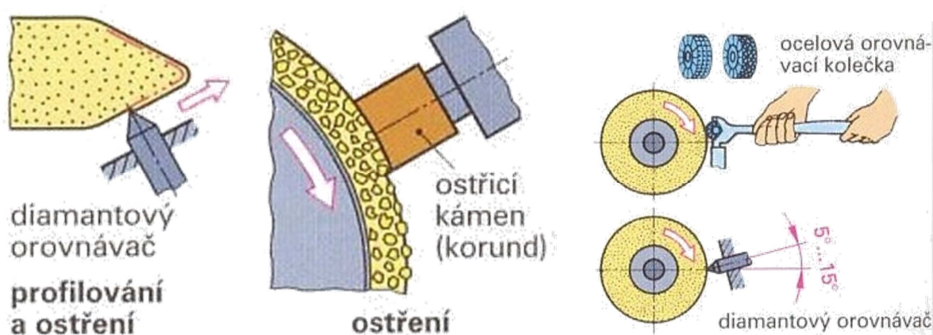


Obr. 13 Schéma nevyváženého brousicího kotouče

a – nevyvážená hmota m , b – vyvážení hmoty m hmotou m' [2]

1.2.3. Orovnávání brousicích kotoučů

Pro odstranění opotřebených zrn a nerovností kotouče je nezbytné provést operaci orovnění. Orovnání navrátí požadovaný tvar a obnoví se jeho řezivost. Ve většině případů se při operaci orovnění spotřebuje od 50 do 75 % objemu pracovní vrstvy. Tato operace je prováděna v optimálním poměru úběrů vrstvy odebraného brusiva a požadovaného tvaru tak, aby byla odebíraná vrstva co možná nejmenší. Obvykle se úběr vrstvy pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,15 mm na jednu operaci orovnění. Jestliže při této operaci vznikají zrna s otupenými vrcholky, zvětšuje se opěrná plocha zrn brusiva. Mezi hlavní způsoby orovnění patří: diamantová zrna upevněná ve speciálních držácích, diamantový jednokamenový nástroj, tužkový diamantový urovnávač, nástroje které jsou vyrobeny z diamantového prášku, orovnávací kolečka, brusky, elektrojiskrový způsob pro kotouče s kovovými pojivy a orovnění, kde není použit diamant. [10] [2]



Obr. 14 Orovnání diamantovým orovnávačem a orovnávač[10]

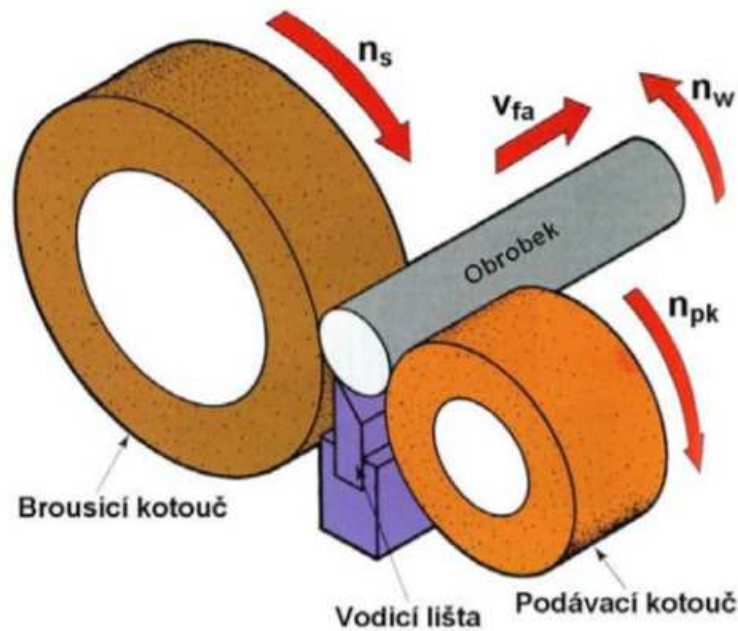
1.3 Přístup k broušení

V dnešní době jsou přístupy k broušení stále zavaleny požadavky na co nejvyšší přesnost, která je přímo spojovaná s výslednou drsností broušeného výrobku. Tyto parametry (drsnost povrchu, přesnost) jsou nejvýznamnějšími požadavky. Tato kombinace musí být ale provedena za co nejkratší možný čas. Tohoto požadavku je možné dosáhnout speciálním příslušenstvím, optimalizací a neustálým investováním do nových technologií a strojů. Ve stavu, ve kterém se již dnes nacházíme, se výsledek ovlivňuje i omezením lidského faktoru, a to například implementací bezobslužného provozu. [1] [23]

2. Bezhraté broušení

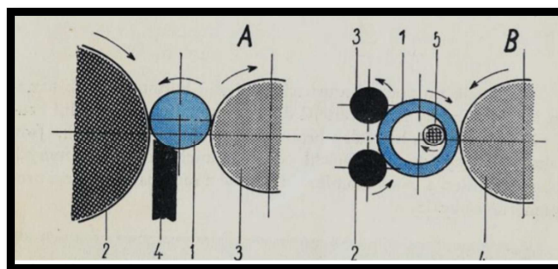
Bezhraté broušení se podobá axiálnímu broušení – všechny základní pohyby brousicího kotouče a obrobku jsou zachovány. Jedná se o proces odstraňování materiálu z vnějšího

obrobku pomocí brusného kotouče. Ve své nejjednodušší formě se bezhrotová bruska skládá ze základny stroje, brusného kotouče, regulačního kola a pracovního nože. Při bezhrotovém broušení není obrobek mechanicky držen, ale je vložen mezi 2 kotouče, z kterých jeden je brusný a druhý podávající (obr. 16). Obrobek je umístěn na jeho vnějším průměru a je nesen pracovní čepelí, která je mezi nastavovacím kolem a brusným kotoučem. Střed obrobku podpírá vodící lišta. Osa obrobku je nad osami obou kotoučů. Jedná se o velmi produktivní způsob broušení a využívá se v hromadné i velkosériové výrobě.[1]



Obr. 15 Bezhroté průběžné broušení [2]

Bezhroté broušení je vhodné pro broušení vnějších i vnitřních rotačních ploch v sériové a hromadné výrobě ale i pro broušení součástí např. valivých ložisek. Podávací kotouč je možné natáčet, přičemž důsledkem otočení dochází k rozložení jeho obvodová rychlost v_{pk} na tyto dvě složky: vodorovnou v_{fa} (zajišťuje axiální posuvový pohyb) – svislou v_w (otáčí obrobek příslušnou obvodovou rychlostí), (obr. 17). V této diplomové práci má však velký význam zvětšování nebo zmenšování úhlu α . Tímto úhlem se řídí posuvná rychlost. Geometrické úchytky vnějšího povrchu součásti (kruhovitost, válcovitost) vyvolávají nepřesnosti při otáčení, protože se součást ustavuje od vnějšího povrchu. Bezhroté vnitřní broušení zabezpečuje větší přesnost v porovnání s axiálním vnitřním broušením, protože při tomto způsobu řezné síly nedeformují broušenou součást.



Obr. 16 Bezhruté průběžné broušení 2

A – vnější 1- obrobek, 2 - brusný kotouč, 3- unášecí kotouč, 4 - podpěrné pravítko

B – vnitřní 1- obrobek, 2 - podpěrná kladka, 3 - přídržná kladka, 4 - unášecí kotouč 5 - brusný kotouč
[7]

2.1 Rozdělení

Dle způsobů práce a účelu je možné brusky rozdělit na hrotové, bezhruté, brusky na díry, rovinné a speciální. Bezhruté brusky nadále dělíme do několika skupin. Do hlavní skupiny patří bezhruté broušení průběžné, broušení planetové, zapichovací a broušení profilovým kotoučem. Dalším dělením může být manuální ovládání, ovládání dialogové (servopohony) a také CNC brusky, které jsou řízeny až v šesti osách. CNC brusky se nejčastěji využívají pro zapichovací způsob bezhroutého broušení (tvarově složité obrobky), kde je potřebné dvousosé orovnávaní brusného i unášejícího kotouče. [23]

2.2 Bezhruté broušení průchozí (průběžné)

Tyto typy strojů jsou určeny pro broušení přesných válcových geometrií. Při průchozím broušení obrobek kontinuálně prochází po brousícím pravítku mezi brousícím kotoučem a podávacím kotoučem. Jeden je brousící a druhý podávací (brousící kotouč má obvykle větší průměr než podávací, v některých případech až dvojnásobný). Podávací kotouč je zásadně nakloněn o 1,5 až 3,5°, vytváří na obrobci axiální pohybovou sílu, a ty jsou posouvány na konec brousícího pásma. Na těchto strojích nelze měnit broušený průměr během obráběcího procesu. Brusný proces lze umožnit za pomoci kotouče nebo brusného pásu. Brusný pás je možné použít i k leštění povrchu, např. trubek. Ve spojení s automatizovaným nakládáním a vykládáním procházejí obrobky kontinuálně strojem bez přerušení. Tento způsob broušení se používá při broušení válcových obrobků bez stupňů a nákrůžků. Natočením kotouče (podávací) se obvodová rychlost (v_{pk}) rozkládá na dvě složky. Vodorovná (v_{fa}) uděluje obrobku axiální posuvový pohyb a svislá (v_w) jím otáčí příslušnou obvodovou rychlostí. Posuvnou rychlost je možné řídit zvětšováním nebo zmenšováním úhlu α . [23]

Podmínky pro bezhroté broušení průchozí:

- Rychlost podélného posuvu závisí na rychlosti unášecího kotouče a na naklonění jeho osy pod úhlem α (u krátkých od 1° do $2,5^\circ$, u dlouhých od $1,5^\circ$ do $3,5^\circ$). U tyčového materiálu (3° až 5°), popřípadě větší.
- Přídavek na broušení závisí na geometrické přesnosti polotovaru a nemá přesahovat 0,3 mm
- Obvodová rychlost unášecího kotouče se volí podle průměru obrobku, geometrické přesnosti polotovaru a podle velikosti přídavku
- Výpočet otáček unášecího kotouče

$$n_u = \frac{n_o \cdot d_o}{d_u} \quad (13)$$

○

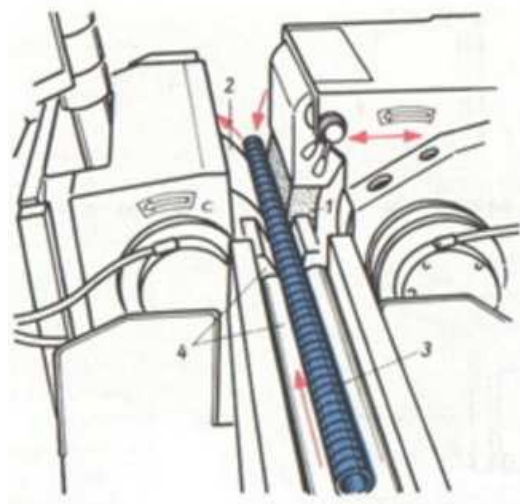
d_o – průměr obrobku [mm], d_u – průměr unášecího kotouče [mm] n_o – otáčky obrobku [ot/min]

- Podélný posuv obrobku

$$\pi \cdot d_u \cdot n_u \cdot \sin \alpha \quad [\text{mm/min}] \quad (14)$$

○

d_u – průměr unášecího kotouče [mm] n_u – otáčky unášecího kotouče [1/min] α - úhel sklonu unášecího kotouče [$^\circ$]

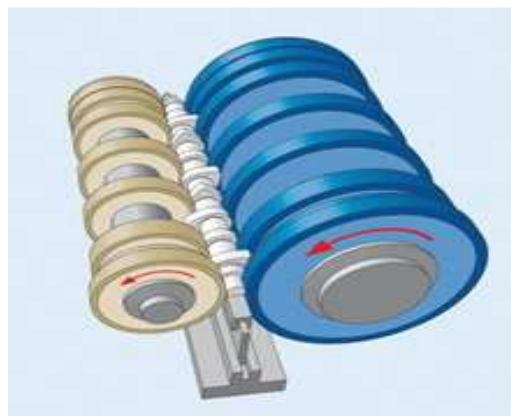


Obr. 17 Bezhroté broušení průchozí

(1 – brousící kotouč, 2 – podávací kotouč, 3 – zásobník obrobků, 4 – vodící lišty) [12]

2.3 Bezhraté broušení zapichovací

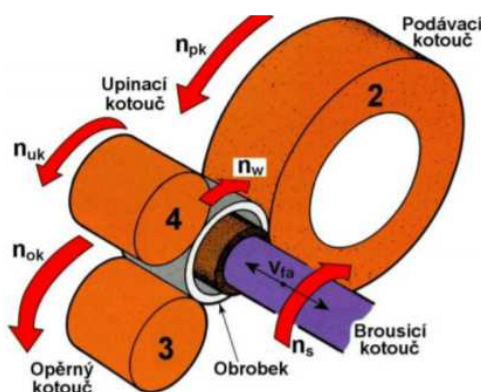
Bezhraté broušení zapichovací se používá k broušení geometricky složitých součástí, které mají např. nákrůžek, kuželové nebo tvarové plochy, případně více souosých válcových ploch a nemají středící důlky. Využívá se k dosažení přesné geometrie a na součásti, kde je kladen důraz na přesnost. Oproti metodě bezhratého broušení průběžného lze brousit několik průměrů dohromady. Obrobek je uložen mezi podávající a brusný válec. Obrobky se v pracovním prostoru otáčejí, ale neposouvají. Součásti se vkládají axiálně shora k dorazu mezi brousící a podávací kotouč, jejichž osy jsou rovnoběžné. Zpravidla se brousí na dva úběry. Tedy přídavek pro druhý úběr činí 0,03 až 0,05 mm [23] [2]



Obr. 18 Bezhraté broušení zapichovací 1,2 [13]

2.4 Bezhraté broušení vnitřních válcových otvorů

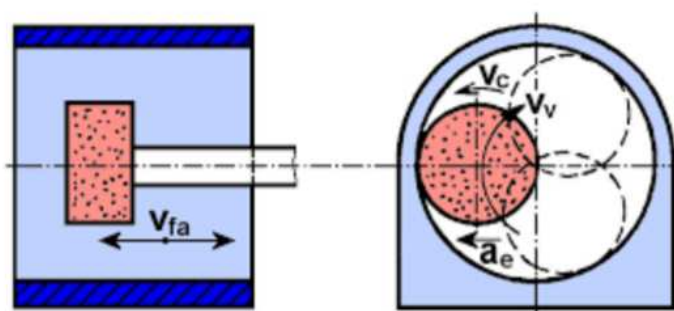
Bezhraté broušení vnitřních válcových otvorů. Stroje pro broušení vnitřních otvorů jsou speciální stroje. Obrobek válcového tvaru rotuje mezi dvěma opěrnými válci a pohonným válcem. Nástroj koná hlavní pohyb. [23] [2]



Obr. 19 Bezhraté broušení vnitřních válcových otvorů [2]

2.5 Planetové broušení

Tento způsob broušení se dá zařadit do neobvyklého způsobu bezhrotého broušení a využívá se ve výjimečných případech. Jeho využití je tedy převážně v situacích, pokud je složité upnutí, které není možné na běžném stroji zajistit a nezbyvá nám tak jiné. Využívá se většinou pouze k dokončovacím operacím profilů s různou geometrií. Všechny pracovní pohyby jsou zajišťovány brousícím vřeteníkem. U této metody je problematická délka vysunutí hřídele s kotoučem, za následek tohoto problému je fakt nemožnosti zabránit jejímu prohnutí. Tento fakt nám následně vede ke zhoršení přesnosti broušení. [23] [2]



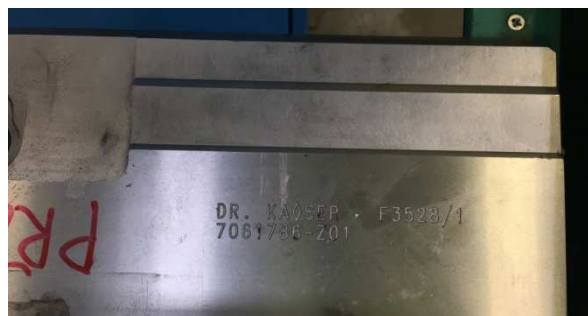
Obr. 20 Bezhroté broušení planetové [2]

2.6 Podpěrná a vodící pravítka pro bezhroté broušení

Podpěrná pravítka nám pomáhají nést obrobek. Mají různou délku a šířku, která je volena dle průměru a délky broušeného obrobku. Sklon funkčních ploch se nejčastěji pohybuje v okolí 30°, zatímco délka podpěrných pravítek se musí rovnat nejméně součtu šířky brusného kotouče a délky obrobku. Zvláště je tomu při zapichovacím způsobu bezhrotého broušení, kde délka bude rovna šířce brusného kotouče. [24]

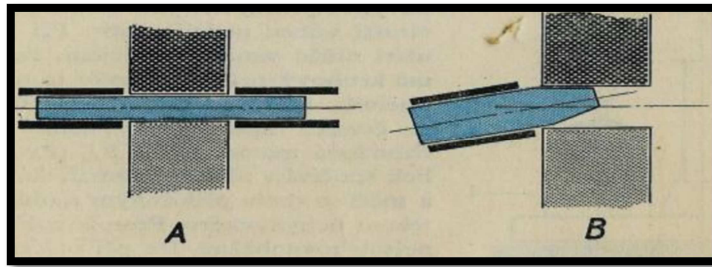


Obr. 21 Pravítka firma LEISTRITZ [6]



Obr. 22 Pravítka firma Dr. Kaiser KMCZ

Vodící pravítko je upnuté na vstupní i výstupní straně pracovního prostoru stoje. Pro dosažení správného tvaru obrobku je nezbytnou součástí. Jeho nastavení je prováděno pomocí kontrolního trnu. Tento kontrolní trn má shodný průměr s obrobkem a jeho délka je nejméně o 160 mm větší, nežli šířka brusného kotouče. Problém nastává při vychýlení tohoto pravítka na vstupní straně, a to směrem k unášecímu kotouči. Dopadem tohoto vychýlení je vybroušený konec přední části do tvaru kuželu. [24]



Obr. 23 Vodící pravítko

A- správně upevnění B- vychýlení a následná tvorba kuželu[7]



Obr. 24 Vodící pravítko firma DR. Kaiser[14]

2.6.1 Materiál pravítek

Chromová ocel, bronz, litina, slinuté karbidy a kalená ocel

2.7 Přesnost bezhrotého broušení

Při broušení průchozím způsobem je možné dosáhnout rozměrové přesnosti $\pm 0,005$ mm, u dlouhých tyčí pak přesnosti $\pm 0,002$ mm. U krátkých obrobků je možné brousit i průměry 0,25 mm o délce 3 000 mm, a to s přesností 0,002 mm. Úchyly kruhovitosti jsou v mezích 0,001 až 0,002 mm. Souososti u tvarově složitých obrobků se pohybují v rozmezí 0,001 - 0,002 mm.

2.8 Vkládání obrobku

Oproti ostatním druhům se při bezhrotém broušení vnějších válcových ploch obrobek neupíná do hrotů či sklíčidla. Obrobek je vložen volně do mezery mezi podávajícím a brusným kotoučem, a to na opěrné pravítko (vodicí). Obrobek je unášen a broušen brusným kotoučem. Podávající kotouč má funkci brzdící a obrobku je snížena rychlost otáčení na žádanou. Otáčky brusného kotouče jsou řádově vyšší (1200 až 2000 ot/min), oproti tomu podávající, též znám jako unášející, kotouč má otáčky nižší (6 až 350 ot/min). Obvodová rychlost kotouče při broušení mezi hroty je stejná.

2.9 Polohy obrobku

Při bezhrotém broušení pro vnitřní válcové plochy se obrobek se svým vnějším povrchem opře, a to o podpěrnou kladku, unášecí kotouč a přídržnou kladku. Toto upnutí umožní brousit vnitřní povrch. Obrobek se nachází v prizmatickém vedení mezi opěrným pravítkem a kotoučem (podávajícím). Při broušení dosedá ve třech přejímkách na podávající a brusném kotouči a na opěrném pravítku. Dodržením tohoto postupu se docílí kruhovitost obráběného obrobku. [8]

2.10 Výhody bezhrotého obrábění

Mezi základní výhody patří vysoká produktivita s krátkými časy taktů, a to díky bezhrotému průchozímu broušení. Podstatnou výhodou je nenáročná obsluha, snadná automatizace, vysoká kruhovitost docílena vysokou tuhostí strojů a broušících kotoučů z CBN, plynulost a také hospodárnost. Nepotřebnost upínání obrobku a vkládání nových obrobků již při broušení předcházejícího. Mezi další výhody bezhrotého broušení patří broušení na hrubo a konečné broušení v jedné broušící operaci. Jedná se tedy o velký úběr za krátké časy a není potřeba velkých přídavek. Nízké náklady na údržbu brusek. Možnost broušení i malých průměrů. [17]

2.11 Nevýhody bezhrotého obrábění

Nevýhodu je možné demonstrovat na příkladu, kdy máme již obrobenou plochu a poté je prováděno bezhroté obrábění. Při takovém sledu operací je nemožné zajistit souosost bezhrotě obrobené plochy s již obrobenou. Jako další nevýhodou může být brán fakt, že není možné

brousit přerušované plochy (drážky pro pero), protože vodící kotouč by to neunášel. Seřizování bezhroté brusky je náročné na čas. Z tohoto důvodu je prakticky nemožné využívat bezhroté brusky v malosériové výrobě. [17]

3. Cíle bezhrotého broušení a broušení v KMCZ

Technologie bezhrotého broušení má za cíl povrchové opracování válcového profilu, a to s výtečnou jakostí obrobeného dílu, zejména velmi přesně průběžným nebo zapichovacím způsobem. Dnes je bezhroté broušení používáno s vysokou produktivitou a přesností např. při broušení součástí ložisek nebo vstřikovacích trysek spalovacích motorů. Zapichovacím způsobem je možné obrábět (odebírat) součásti kratšího charakteru, a to s osazením nebo členitou geometrií. Při průběžném obrábění lze postupně brousit válcovitý profil libovolné délky. Stroje můžeme rozdělit podle způsobu obrábění. Brusný válec rovnoměrně obrábí povrch obrobku a je až 2x větší než válec posuvu. Tento rozdíl má za následek zvýšení brusné rychlosti. Základní technologie bezhrotého broušení je založena na rotujícím obrobku mezi brusným a podávacím válcem, který se opírá o opěrnou lištu. Podávací válec je otáčen při nízkých otáčkách a vykonává pouze osový posuv broušené součásti. [19]

3.1 Současná výroba

Dnes jako ve většině strojínského odvětví jsou po světě desítky firem, které se zabývají výrobou brusných strojů nebo jsou s jejich výrobou spojeny. Je zde řada firem, které zastupují úzký okruh specializující se na výrobu bezhrotých brusek a jejich výroba je tak zaměřena pouze na pár modelů, které mají vysoké standardy a lze s nimi brousit až do přesnosti 0,001mm. Tyto bezhroté brusky naleznou především uplatnění v automobilovém průmyslu a u výrobců ložisek, kde přesnost a jakost povrchu jsou nezbytnými parametry. [19]

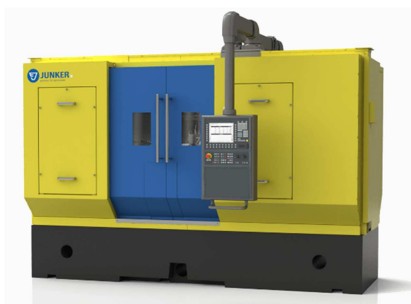
3.1.1 Příklady výrobců bezhrotých brusek

3.1.1.1 Příklad firmy mimo EU Micron USA

Výrobce přesných bezhrotých a vnitřních brusek pro broušení součástí o průměru 0,3 až 200 mm. Všechny stroje jsou řízeny pomocí počítače a jsou určeny pro velkosériovou a velice přesnou výrobu např. v automobilovém průmyslu [15].

3.1.1.2 Junker

Firma Junker vyvíjí, vyrábí a prodává velice přesné broušící stroje pro kovoobráběcí průmysl. Od roku 1960 je v oblasti broušení prakticky bezkonkurenční. Firma Junker má více než 80 patentů, z nichž jsou mnohé průkopnické. V katalogu produktů nalezneme pro broušení bez středu dva produkty, a to JUPITER a TITAN. Tyto dva produkty se liší pouze technickými daty. Jmenovitě je to průměr brusného kotouče, který je u JUPITERU do 125 a u TITANU do 500, rozměry a hmotností, která u produktu TITAN dosahuje 18000 kg. [16].



Obr. 25 Bruska bez středu TITAN firma JUNKER [16]

3.1.1.3 Junker ve firmě KYB Manufacturing Czech, s.r.o.

Firma KYB Manufacturing Czech, s.r.o. disponuje velice přesným broušícím strojem od již zmiňované firmy Junker. Z nabízených produktů si KMCZ vybralo stroj Jupiter obr. 28. Technickými parametry viz obr. 29. Tento stroj se ověřil jako vhodný a plně vyhovující nastaveným požadavkům. Předmětem diplomové práce bude okrajově i posouzení, zda daná bruska je pro proces broušení vhodná. Tato diskuze bude provedena v samotném závěru.



Obr. 26 Bezhrotá bruska Junker- Jupiter250 v KMCZ

Typ	JUPITER 250
Maschinen Nr.	5319
Baujahr	2013
Leistung	48 kVA
Nennspannung	400 V
Steuerspannung	24 V
Frequenz	50 Hz
Absicherung	3x 80 A
Gewicht	13.700 kg

Obr. 27 Technické parametry stroje
JUPITER 250

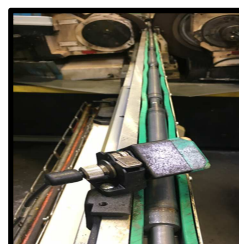
3.1.2 Kroky výrobního procesu v KMCZ

Pro kompletnost práce je v této podkapitole uveden krokově výrobní proces. Jednotlivé procesy jsou stroze okomentovány, tak aby si bylo možné představit tok broušené tyče napříč firmou KMCZ. Tučným textem je vyznačeno hrubé broušení řešené v diplomové práci.

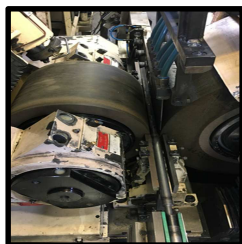


Mezisklad

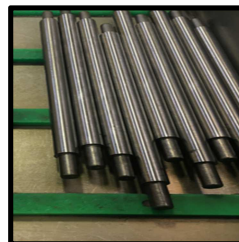
Dráha podavače tyčí do bezhroté brusky JUNKER JUPITER 250



Proces hrubého broušení



Mezioperační prostor před operací kalení



Proces indukčního kalení a popuštění



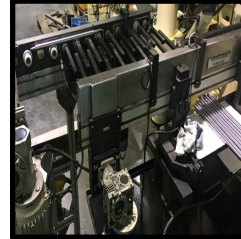
Mezioperační prosto pro zakalené a popouštěné polotovary





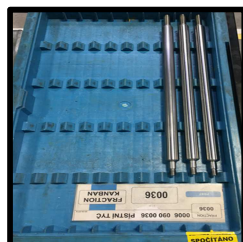
Operace broušení na třech bruskách
(První bruska).

Přechod mezi první a druhou bruskou.



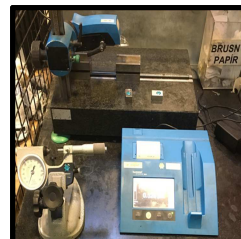
Laserová kontrola tvaru po prvním
broušení. V případě chybného dílu je
zmetek odstraněn z pasu na určenou
plochu.

Dokončovací (hladicí) bruska. Při
minimálním uběru a za velkých otáček
se dosahuje co možná nejlepších
výsledků.



Umístění polotovarů do skladovacích
kazet.

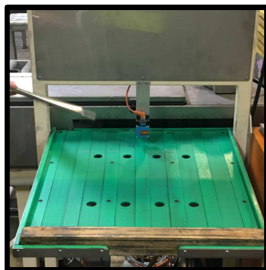
Finální kontrola.





Umístění pístních tyčí . Příprava na chromování.

Kontrola skrytých povrchových vad.

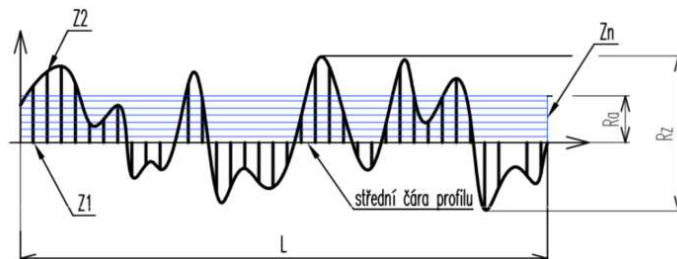


Pult pro odběr hotových výrobku pístních tyčí. Následné umístění do skladovacích kazet.

3.2 Požadované tolerance drsnosti při výrobě

Na základě výkresové dokumentace jsou požadovány na pístní tyč geometrické tolerance. Tyto tolerance je nezbytné v průběhu výroby dodržet a snažit se o jejich stabilizaci v rámci dovolených mezí. Mezi kontrolované tolerance patří přímost a kruhové házení na dvou odlišných místech. Velikosti těchto tolerancí jsou předepsány: přímost ($\varnothing 0,07/300$), kruhové házení v místě za závitem (0,2), tolerance v místě závitu (0,4).

Drsnost, skrze kterou je zkoumána mikronerovnost je hodnocena pomocí parametru R_z . Tento parametr je na rozdíl od svého kolegy parametru R_a přísnější (obr. 31) a je schopen posoudit danou drsnost povrchu objektivněji.



Obr. 28 Hodnocení parametru R_z

3.3 Strojní vybavení v KMCZ

Technologie ve firmě KYB Manufacturing Czech, s.r.o. obsahuje třískové obrábění, lakování, chromování, montáž jednoúčelových strojů s různou velikostí automatizace a mechanizace, které následně firma využívá pouze interně. Firma využívá nejmodernějších technologií. Pro výrobu tlumičů (pístních tyčí do nich vložených) závod využívá stroje typu bezhroté brusky JUNKER JUPITER 250, JUNKER BBE 1A, CINCINNATI 3-300, CINCINNATI 3-500. Prvním strojem, který hrubý polotovár (tyčová ocel $\text{ØD}=30\text{mm}$) zpracovává je již zmiňovaná bezhrotá bruska Junker – Jupiter 250. Po hrubém obrábění je materiál přiveden na stroj kalení, kde je ve stanovených úsecích kalen, popouštěn. Následuje přesun na další fázi, kterou je obrobení konců již zakalené tyče. Jako další operací je finální broušení a následná kontrola.



Obr. 29 Bruska BBE1A



Obr. 30 Bruska BBE1A – technické parametry

4. Volba bezhrotého broušení

Volbou bezhrotého broušení jsou myšleny technologické podmínky, které je možné na stroji Junker nastavit a tím ovlivnit samotný proces hrubého broušení. Úpravou těchto parametrů jsme schopni ovlivňovat rychlost celkového broušení, ale i jakost výsledného povrchu.

Jelikož firma KMCZ proces broušení provádí po operaci svařování a následuje zmiňovaný proces kalení, není výsledná kvalita povrchu klíčovým parametrem. Tento fakt nám umožňuje značně zrychlit výsledný čas bezhrotého broušení. Jelikož firma KMCZ je omezena rychlostí indukčního kalení a následného popouštění, zrychlování v případě hrubého obrábění není možné. Jedním a zásadním z omezujících parametrů je tedy výsledný čas hrubě obroušené písní tyče tlumiče osobního automobilu. Z tohoto důvodu se v diplomové práci řeší dva pohledy teoretických měření a jejich následné výsledné hodnocení.

V prvním bloku teoretických měření bude opomenuto již zmiňované omezení (časové) a technologické parametry budou voleny tak, aby výsledná písní tyč byla hrubována co možná v nejkratším možném časovém intervalu. V praxi to znamená dvě možnosti. První přístup je maximalizovat posuvnou rychlost a ve druhém zvětšit úběr v hrubovacím procesu, a tak celkový čas potřebný na broušení zmenšit. Omezením zde bude teplota, která vzniká na povrchu broušeného materiálu, a to důsledkem většího úběru materiálu nebo vyšších otáček brusného kotouče. Aktuální teplota při chlazení, kterou KMCZ naměřilo při hrubování, je okolo 3 °C. Dalším omezením je samotná konstrukce brusného kotouče a jeho předepsaná maximální nastavení a maximální možné nastavení na dané brusce. Je tedy patrné, že lze výrazně zvýšit otáčky nebo úběr materiálu. V případě, že nebude polotovar dostatečně chlazen, naskytuje se možnost změny, a to výběrem jiného druhu chladiva či upravit jeho dosavadní aplikace.

Ve druhé teoretické části bude čas brán jako omezení a budou měněny parametry, které tento výsledný čas výrazně neprodlouží nebo nezkrátí tak, aby linku v KMCZ bylo možné obsluhovat stejným způsobem, jako je tomu nyní. Bude zde tedy snaha dosáhnout lepší jakosti povrchu. Toto zlepšení by mělo mít úsporný časový charakter a tím možný vliv na dalším stupni broušení. V tabulce 3 je dán výpis nejběžnějších (obecných) technologických parametrů, které je možné volit při procesu bezhrotého broušení. V tomto případě nás zajímá sekce hrubování, stejně jako je tomu v prvním bloku teoretické části. Nejdůležitější parametr,

který v této části bude měněn, je uhel nakloní α . Stejně jako v předcházejícím bloku bude provedeno 5 měření a jejich následné vyhodnocení.

Společné pro obě části jsou pracovní podmínky (prostředí) včetně použitého brusného kotouče a chladicího media. Jelikož je firma klimatizována, parametry výsledných měření by teplotou okolí neměly být ovlivněny. U obou částí bude ihned po provedení zkoušky provedena kontrola rovinnosti včetně drsnosti a tvrdosti materiálu. Přístroje, kterými budou prováděny kontroly, jsou využívány k nahodilé kontrole při běžném provozu operátorem linky.

Tabulka 3. Nejběžnější technologické podmínky

Druh práce	dw [mm]	$p=2a_e$ [mm]	α [°]	v_{pk} [m min ⁻¹]
Hrubování	do 10	0,04 ÷ 0,06	3 ÷ 4	150 ÷ 80
	10 ÷ 25	0,06 ÷ 0,10	2,5 ÷ 3,5	120 ÷ 50
	25 ÷ 75	0,1 ÷ 0,3	2,0 ÷ 3,5	50 ÷ 10
	75 ÷ 150	0,2 ÷ 0,4	1,0 ÷ 2,5	25 ÷ 8
Broušení na čisto		0,005 ÷ 0,020	1,5 ÷ 2,0	120 ÷ 50

dw - průměr broušené součásti, **p** - přídavek na průměr, **a_e** - pracovní (radiální) záběr, **α** - úhel sklonu podávacího kotouče, **v_{pk}** - obvodová rychlost podávacího kotouče

4.1 Rozsah technologických podmínek

V KMCZ se před uvedením stroje Junker kontroluje řada parametrů. Jmenovitě je tomu tlak vzduchu, který by se měl pohybovat v určitém intervalu a tento parametr je kontrolován na tlakoměru. Obvodová rychlost (oznámena alarmem) a dále hladina mazacího oleje. Tato kontrola probíhá vizuálně pomocí ukazatele min/max. V případě, že hladina klesne pod zadané minimum, je spuštěn alarm. Tato kontrola se provádí totožně i u hladiny oleje podávacího kotouče, ale i u hladiny oleje brousícího kotouče. Následuje tlak chladiva udáván v jednotkách bar (na tlakoměru). Rychlost regulačního kotouče je volena v určitém rozmezí a je ověřena na ovládacím panelu. Kontrola je prováděna každý den. Kontroly dle potřeby jsou: kontrola výměny brusného kotouče, diamant orovnávače, vodící pravítko. Kontrola výšky středu obrobku je prováděna měřícím přípravkem. Úhel naklonění (R_w) je prováděn vizuálně.

Úhel naklonění orovnávače prováděn také vizuálně. Diamant v offsetu opět vizuální kontrolou a jako poslední bod kontroly je rychlost posuvu (P_T), ověřována pomocí stopek.

Výčet výše zmíněný je brán jednak jako kontrola před uvedením do provozu a jednak jako možná regulace startovacích nastavení. Je možné tyto parametry pozměnit a tím ovlivnit brusný proces. Rozsah technologických podmínek se bude lišit na základě dvou odlišných přístupů, které jsou již zmiňovány.

5. Bezhraté broušení- písní tyč

5.1 Písní tyč- zadní tlumič (materiál, polotovar)

Písní tyč tlumiče osobního automobilu se skládá ze tří částí (levé zakončení, trubka, pravé zakončení). Tento fakt se projevuje na soupisu použitého materiálu, a to následovně. Materiál levého a pravého zakončení je z oceli **19MnB4 (EN 10269, 1.5523)**, zatímco střední část trubky z materiálu **E355 (ČSN EN 10305-2, 1.0580)**. Jedná se tedy o rozdílné materiály svařené k sobě. V tab. č. 4, č. 5 je uvedeno chemické složení společně s parametry ocelí. Již na první pohled je patrné, že lepší (mez pevnosti v tahu, tažnost) materiál je na obou koncích, kde bude v průběhu výroby soustružen závitem s vnitřním šestihranem. Písní tyče jsou vyráběny v průměrech 18, 20, 22 mm a v délkách od 350 do 450. Řešená písní tyč v DP je o průměru 22 a délce 350 před operací hrubého broušení. [20]

Tabulka 4. Materiál 1

Označení oceli		Hmotnostní podíl v %					
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P	S	Al celk. b)
		Max	Max	Max	Max	Max	Min
E355	1.0580	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025	0,02
		+C					
		Rm [Mpa]	A[%]				
		640	4				

b) Tato podmínka neplatí za předpokladu, že ocel obsahuje dostatek jiných prvků, které váží dusík, jako Ti, Nb nebo V. Při použití titanu musí výrobce doložit že $(Al + Ti/2) \geq 0,020$. Příklad Nb, Ti a V je dovolená a je na úvaze výrobce. Obsah těchto prvků musí být oznámen.

Tabulka 5. Materiál 2

Označení oceli		Hmotnostní podíl v %					
Značka	Číselné označení	C	Si	Mn	P	S	Al celk. b)
		Max	Max	Max	Max	Max	Min
19MnB4	1.5523	0,17- 0,24±0,1	0,40±0,0 3	0,80- 1,15±0,04	0,03+ 0,005	0,035+ 0,005	0,02±0,05
		Rm [Mpa]	A[%]				
		800-950	14				

5.2 Technologické podmínky

Měření probíhalo dne 2. 6. 2018 na brusce Jupiter Junker 250. V následujících tabulkách jsou zaznamenány měřené hodnoty včetně potřebného výpočtu. Podle těchto hodnot jsou následně vytvořeny grafy. Bylo provedeno celkově 5 sérií.

První z pěti měřených a vyhodnocovaných sérii nese označení nula. Tuto řadu nazveme pracovní standard. Jedná se o hrubé broušení podle aktuálně nastavených parametrů bez jakéhokoliv zásahu. Pro eliminaci špatného úvodního nastavení byl standard náhodně vybrán z již vyrobené série. Úhel $\alpha = 3,61^\circ$, otáčky $n=60$ ot/min, průchozí rychlost $V_o=4$ m/min-1. Vzorky byly označeny čísly a postupně měřeny. Zápis z měření nalezneme v tabulce č. 6.

Druhé měření probíhalo již za přítomnosti operátora a volené parametry byly zadány pomocí ovládacího panelu. Úhel $\alpha = 3,61^\circ$, otáčky $n=60$ ot/min, průchozí rychlost $V_o=4$ m/min-1. Jedná se o stejné zadané parametry jako u série 0, s rozdílem většího úběru, a to na $\varnothing 0,1$ mm větším. Zápis z měření nalezneme v tabulce č. 7.

Třetí měření je oproti prvnímu (standard) pozměněno v samotném úběru materiálu. Parametry nastavené jsou tedy na úhel $\alpha = 3,61^\circ$, otáčky $n=60$ ot/min, průchozí rychlost $V_o=4$ m/min-1. Úběr zde bude menší, a to na $\varnothing 0,1$ mm. Zápis z měření nalezneme v tabulce č. 8.

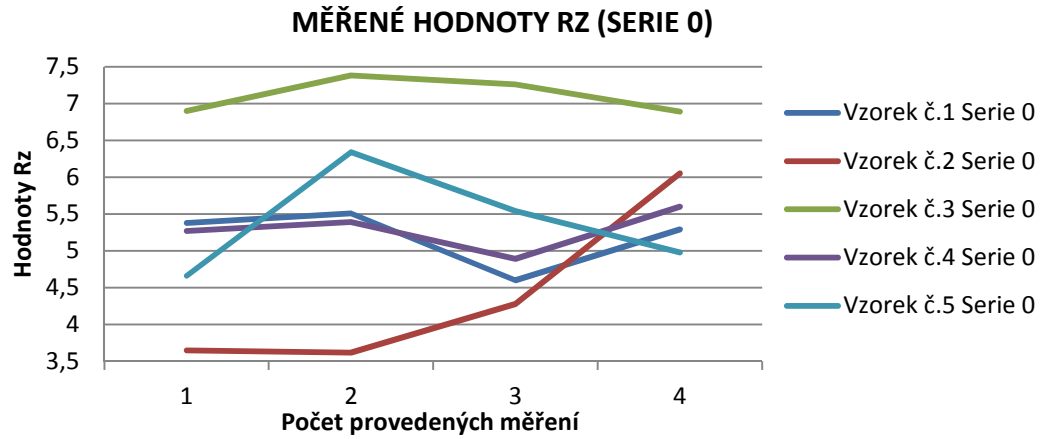
Čtvrté měření pokračuje v úpravě výchozích podmínek. Úhel $\alpha = 2,83^\circ$, otáčky $n=80$ ot/min, průchozí rychlost $V_o=4,2$ m/min-1. Úběr je zde totožný se standardem. Zápis z měření nalezneme v tabulce č. 9.

Páté měření se od měření čtvrtého liší rychlejší průchozí rychlostí, a to největší možnou,

kterou jsme schopni nastavit na brusce JUPITER 250. Úhel $\alpha = 4,3^\circ$, otáčky $n=55$ ot/min, průchozí rychlost $V_0 = 4,4$ m/min-1. Úběr je zde totožný se standardem. Dochází zde tedy k nejrychlejšímu úběru materiálu z měřených zkušebních vzorků. Zápis z měření nalezneme v tabulce č. 10.

Tabulka 6. Měřené hodnoty 1. měření, série 0 (Standart)

Zápis z měření v KMCZ dne 2. 6. 2018						
Parametry naměřené z brusky Jupiter Junker 250						
Číslo pokusu	Úhel α [°]	Otáčky n [ot/min]	Průchozí rychlost V_0 [m/min-1]			
1 (Série 0)	3,61	60	4			
Měřená část						
Číslo vzorku	RZ [μm]	Váha [-]	Naměřená přímost [mm]	1 / 2	Naměřené házení [mm]	Naměřená celková délka [mm]
①	5,38	1	0,035	①	0,16	333,71
	5,51	2	0,005			
	4,6	2	0,0075	②	0,058	
	5,29	1	0,025			
Vážený průměr	5,15	0,0142				
②	3,65	1	0,015	①	0,18	333,82
	3,62	2	0,0125			
	4,28	2	0,02	②	0,04	
	6,05	1	0,0175			
Vážený průměr	4,25	0,0163				
③	6,9	1	0,0325	①	0,14	333,77
	7,38	2	0,0225			
	7,26	2	0,0175	②	0,065	
	6,89	1	0,0325			
Vážený průměr	7,18	0,0242				
④	5,27	1	0,0075	①	0,2	333,91
	5,39	2	0,0135			
	4,89	2	0,0325	②	0,09	
	5,6	1	0,0225			
Vážený průměr	5,24	0,0203				
⑤	4,66	1	0,008	①	0,19	333,62
	6,34	2	0,014			
	5,54	2	0,018	②	0,05	
	4,98	1	0,021			
Vážený průměr	5,57	0,0155	Celkový průměr		5,50	

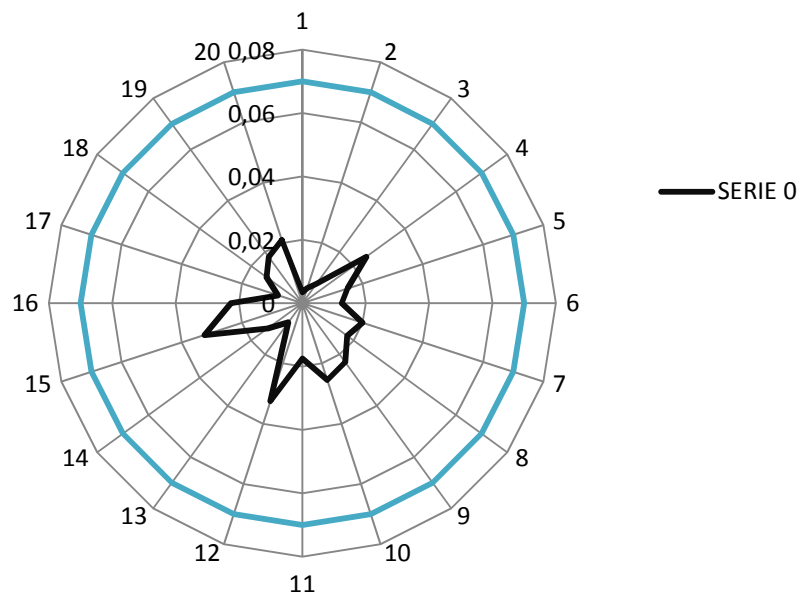


Obr. 31 Měření hodnoty RZ, série 0

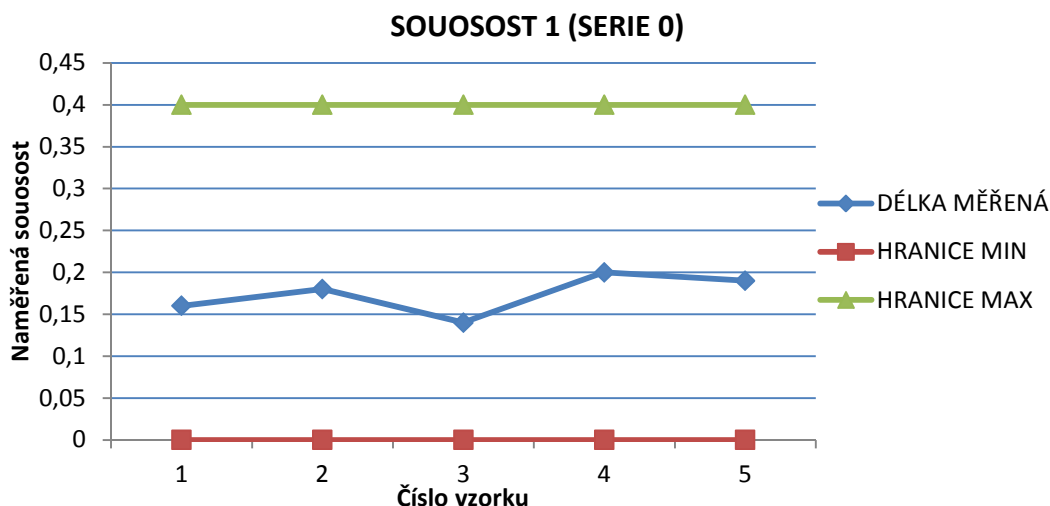


Obr. 32 Rozptyl celkové přímosti 1, série 0

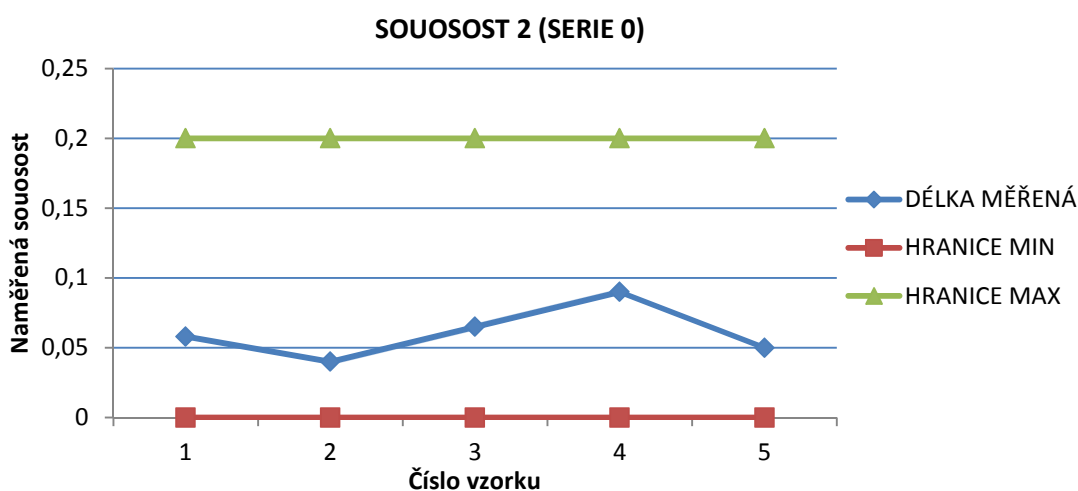
ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI PAPRSKOVÝ GRAF (SERIE 0)



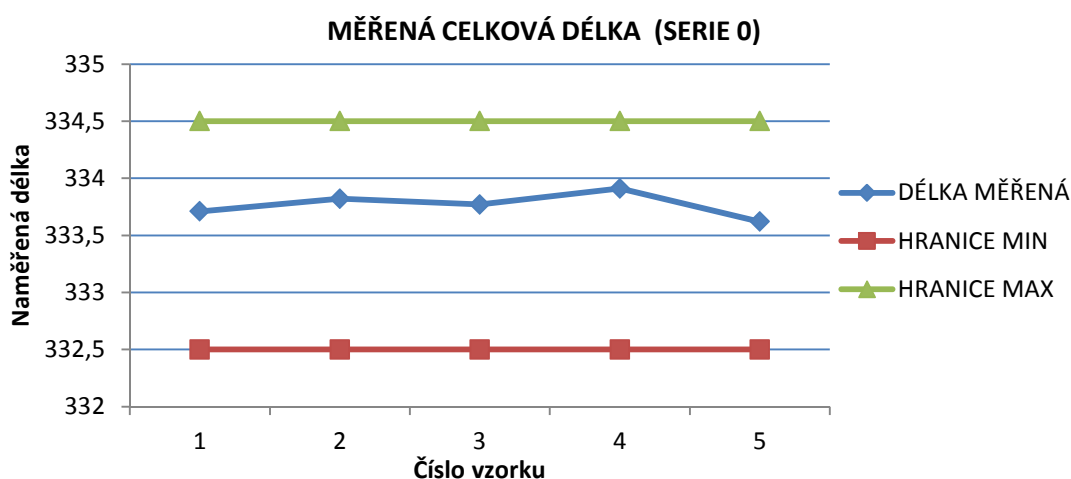
Obr. 33 Rozptyl celkové přímosti 2, série 0



Obr. 34 Souosost 1, série 0



Obr. 35 Souosost 2, série 0



Obr. 36 Měřená celková délka, série 0

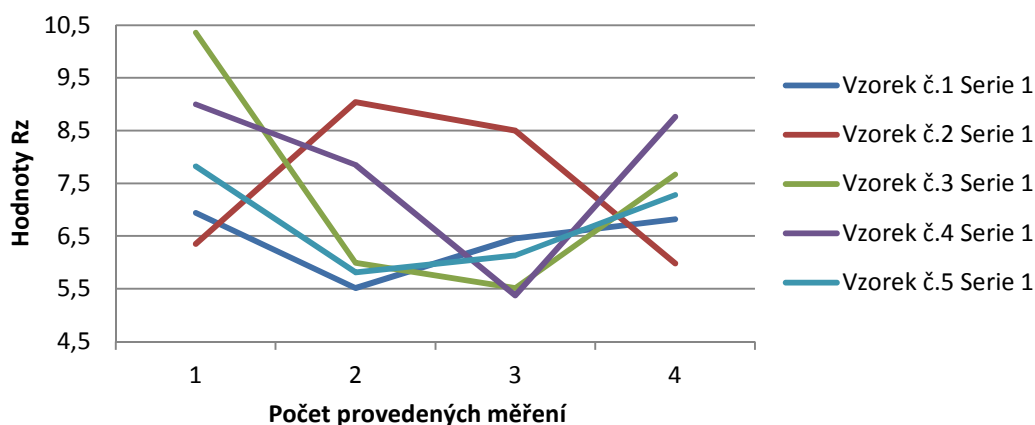
Na základě naměřených dat byly sestrojeny příslušné grafy a provedeno dílčí hodnocení. Je na první pohled patrné, že série 0 je plně vyhovující v rámci nastavených mezí (požadavků)

kladených v rámci výkresové dokumentace obr. 74. Hodnoty Rz nabývají maxima na hodnotě 7,38, avšak celkový průměr je stanoven na hodnotu 5,5. Dále byla hodnocena celková přímost, házení a v neposlední řadě naměřená celková délka. Důvodem měření celkové délky je fakt, že oba konce duté písní tyče jsou před operací hrubování navařeny.

Tabulka 7. Měřené hodnoty 2. měření, série 1 (Standart se zvětšením úběrem na $\varnothing 0,1\text{mm}$)

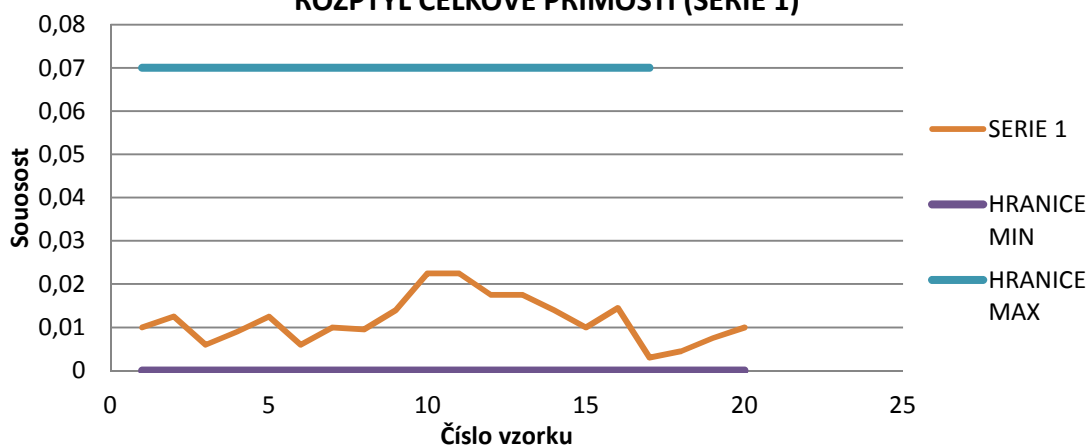
Zápis z měření v KMCZ dne 2. 6. 2018						
Parametry naměřené z brusky Jupiter Junker 250						
Číslo pokusu	Uhel α [°]	Otáčky n [ot/min]	Průchozí rychlost V_0 [m/min-1]			
2 (Série 1)	3,61	60	4			
Měřená část						
Číslo vzorku	RZ [μm]	Váha [-]	Naměřená přímost [mm]	1 / 2	Naměřené házení [mm]	Naměřená celková délka [mm]
①	6,94	1	0,01	①	0,2	333,77
	5,51	2	0,00125			
	6,45	2	0,006	②	0,039	
	6,82	1	0,009			
Vážený průměr	6,28		0,0093			
②	6,35	1	0,0125	①	0,17	333,54
	9,04	2	0,006			
	8,5	2	0,01	②	0,08	
	5,98	1	0,0095			
Vážený průměr	7,90		0,0090			
③	10,36	1	0,014	①	0,21	333,46
	5,99	2	0,0225			
	5,51	2	0,0225	②	0,035	
	7,67	1	0,0175			
Vážený průměr	6,84		0,0203			
④	9	1	0,0175	①	0,19	333,92
	7,85	2	0,014			
	5,37	2	0,01	②	0,05	
	8,76	1	0,0145			
Vážený průměr	7,37		0,0133			
⑤	7,82	1	0,003	①	0,18	333,75
	5,81	2	0,0045			
	6,13	2	0,0075	②	0,04	
	7,28	1	0,01			
Vážený průměr	6,5		0,0062	Celkový průměr		6,98

MĚŘENÉ HODNOTY RZ (SERIE 1)



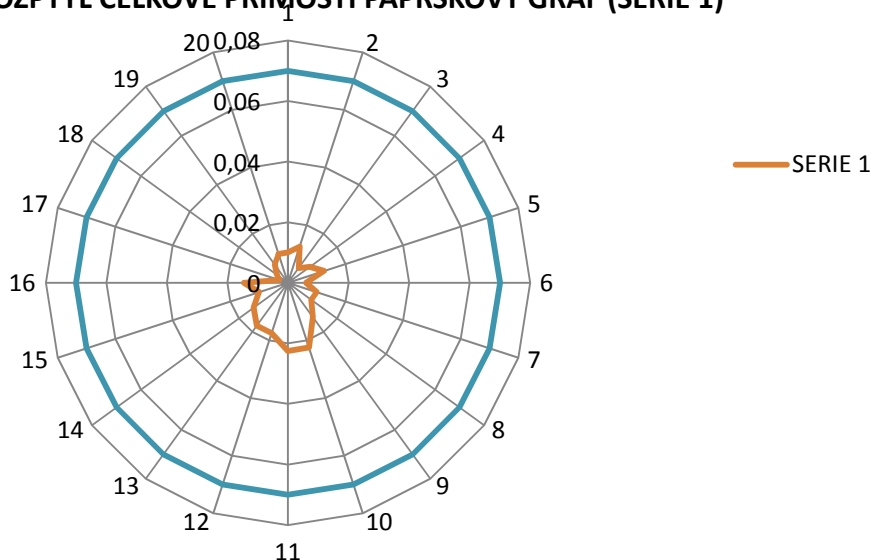
Obr. 37 Měřené hodnoty Rz, série 1

ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI (SERIE 1)

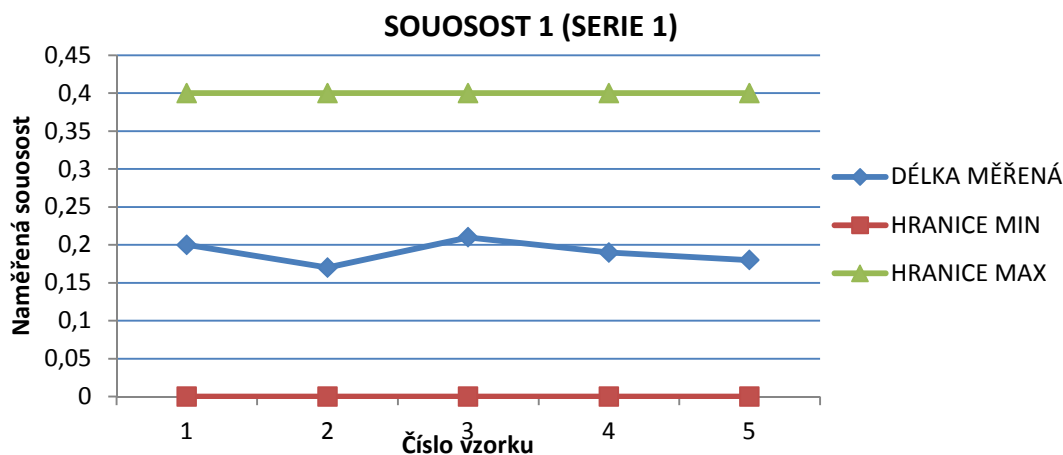


Obr. 38 Rozptyl celkové přímosti 1, série 1

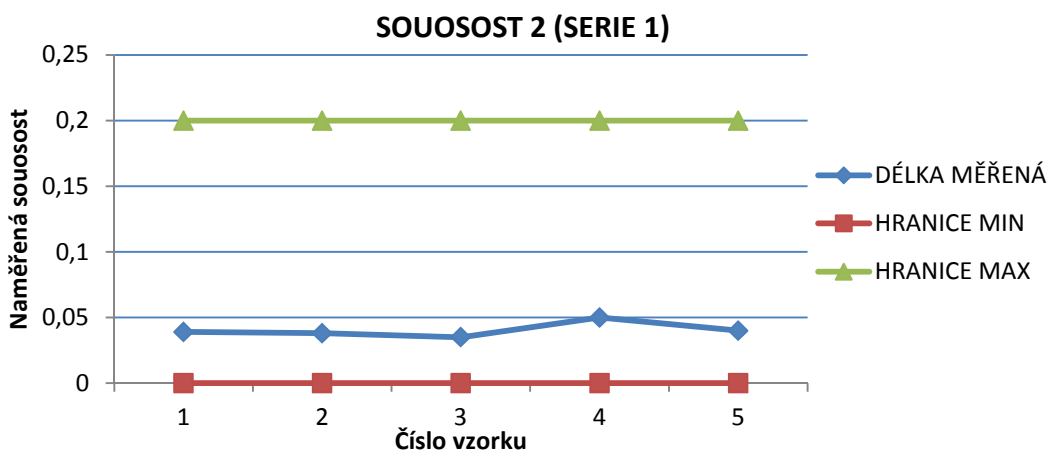
ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI PAPRSKOVÝ GRAF (SERIE 1)



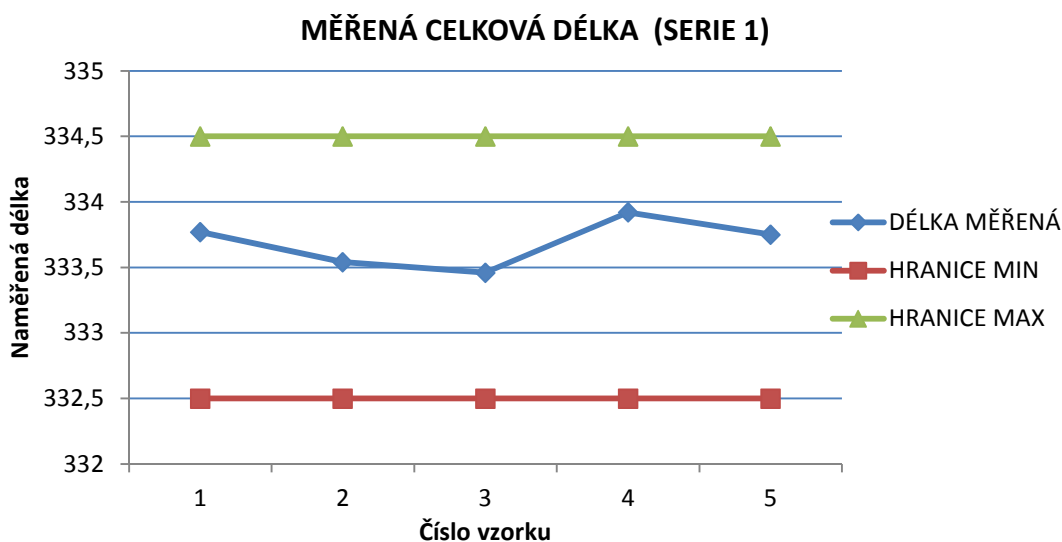
Obr. 39 Rozptyl celkové přímosti 2, série 1



Obr. 40 Souosost 1, série 1



Obr. 41 Souosost 2, série 1



Obr. 42 Měřená celková délka, série 1

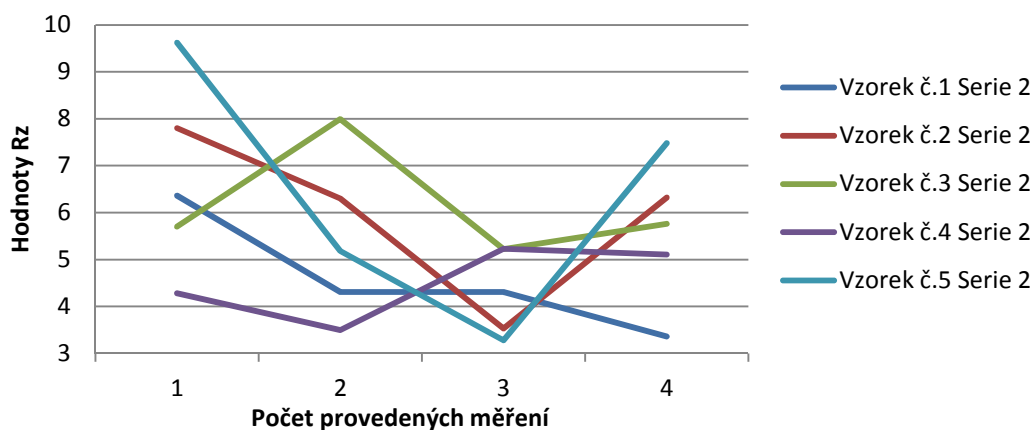
Stejně jako tomu bylo v sérii 0 i v sérii 1 byly sestrojeny příslušné grafy z naměřených hodnot. Zde jasně vidíme, že výsledné hodnoty R_z jsou oproti standardu tristní. Maximální

hodnota Rz 10,36 je vyšší a celková průměrná hodnota Rz 6,98 rovněž. Naopak přímota a souosota vychází lépe. Podrobnější výsledky budou vyhodnoceny při celkovém zhodnocení.

Tabulka 8. Měřené hodnoty 3. měření, série 2 (standart se zmenšením úběrem na $\varnothing 0,1\text{mm}$)

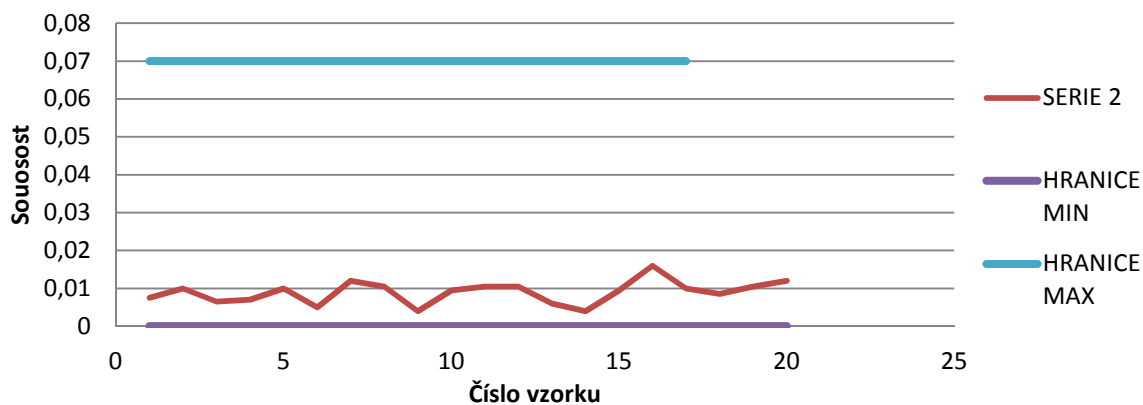
Zápis z měření v KMCZ dne 2. 6. 2018						
Parametry naměřené z brusky Jupiter Junker 250						
Číslo pokusu	Uhel α [°]	Otáčky n [ot/min]	Průchozí rychlost Vo [m/min-1]			
3 (Série 2)	3,61	60	4			
Měřená část						
Číslo vzorku	RZ [μm]	Váha [-]	Naměřená přímota [mm]	1 / 2	Naměřená souosota [mm]	Naměřená celková délka [mm]
①	6,38	1	0,0075	①	0,11	333,59
	4,31	2	0,01			
	4,31	2	0,0065	②	0,042	
	3,36	1	0,007			
Vážený průměr	4,49		0,0079			
②	7,8	1	0,01	①	0,19	333,81
	6,3	2	0,005			
	3,53	2	0,012	②	0,027	
	6,32	1	0,0105			
Vážený průměr	5,63		0,0091			
③	5,7	1	0,004	①	0,16	333,66
	7,99	2	0,0095			
	5,22	2	0,0105	②	0,038	
	5,76	1	0,0105			
Vážený průměr	6,31		0,0091			
④	4,28	1	0,006	①	0,17	333,54
	3,5	2	0,004			
	5,23	2	0,0095	②	0,043	
	5,11	1	0,016			
Vážený průměr	4,48		0,0082			
⑤	9,62	1	0,01	①	0,2	333,82
	5,18	2	0,0085			
	3,28	2	0,0105	②	0,025	
	7,48	1	0,012			
Vážený průměr	5,67		0,01	Celkový průměr		5,32

MĚŘENÉ HODNOTY Rz (SERIE 2)



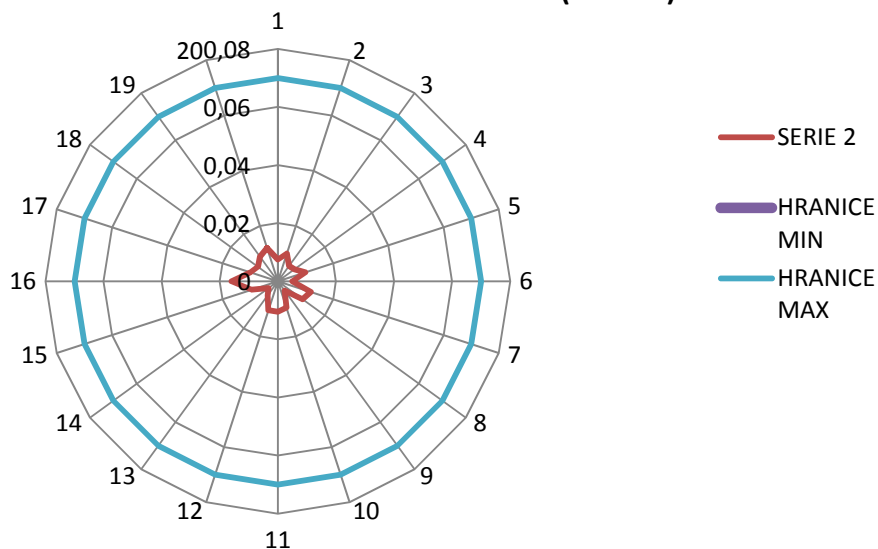
Obr. 43 Měřené hodnoty Rz, série 2

ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI (SERIE 2)

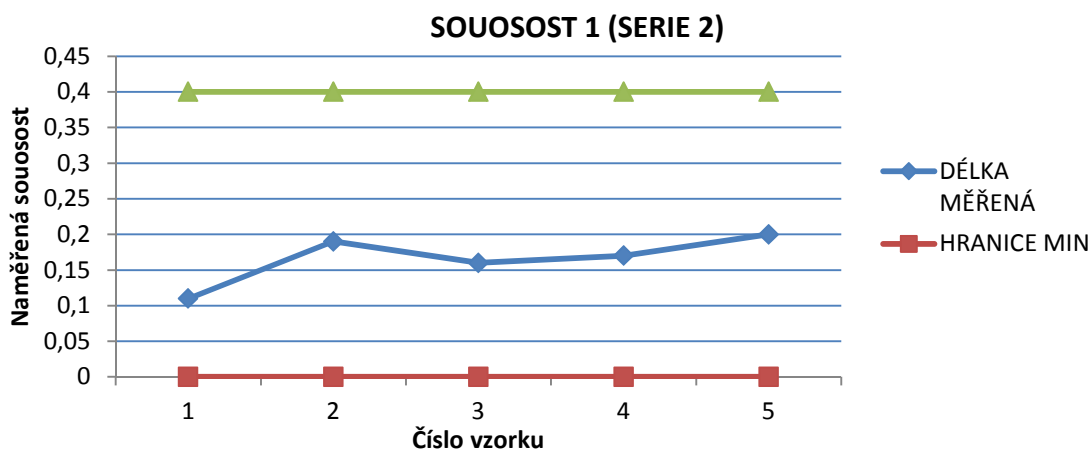


Obr. 44 Rozptyl celkové přímosti 1, série 2

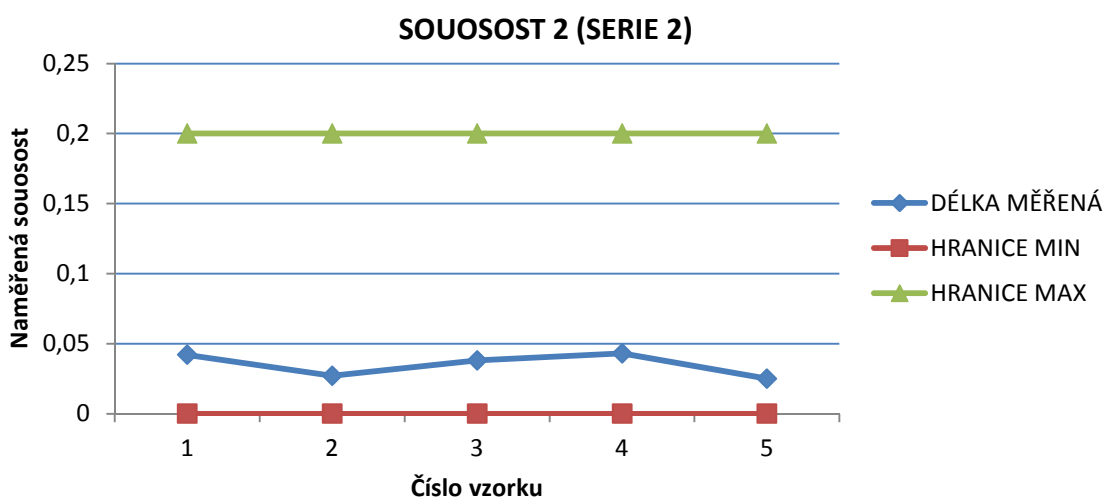
ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI PAPRSKOVÝ GRAF (SERIE 2)



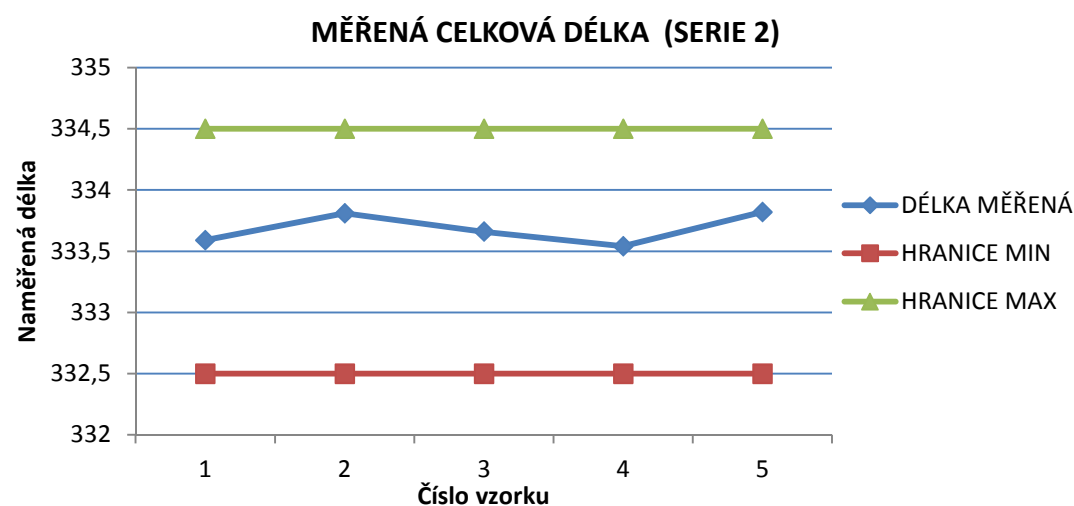
Obr. 45 Rozptyl celkové přímosti 2, série 2



Obr. 46 Souosost 1, série 2



Obr. 47 Souosost 2, série 2



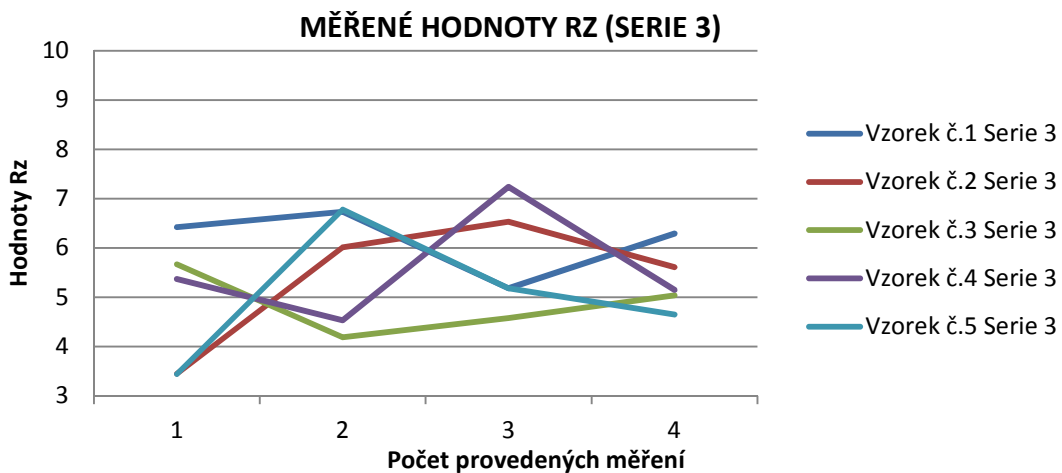
Obr. 48 Měřená celková délka, série 2

Série 2 byla zaměřena na ověření správnosti teorie. Teorie se nám na první pohled potvrzuje v lepším výsledném Rz oproti sérii 0. V souososti nám nepřinesla však výrazné

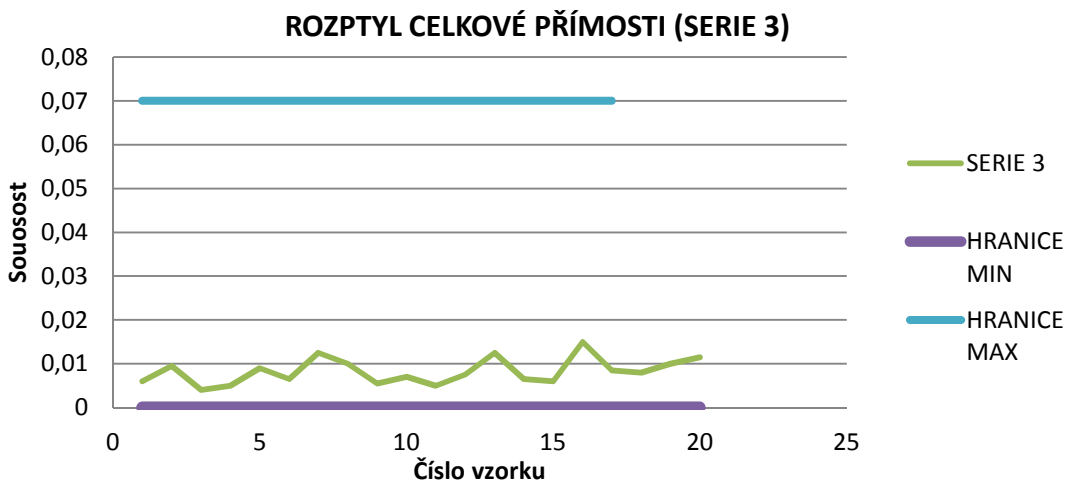
zlepšení. Rozptyl celkové přímosti však vychází lépe, nežli tomu bylo v sérii 0. Shrňeme-li výsledný přínos, není pro nás žádný důvod takto optimalizovat broušení.

Tabulka 9. Měřené hodnoty 4. měření, série 3 (vyšší průchozí rychlost, úběr stejný jako standard)

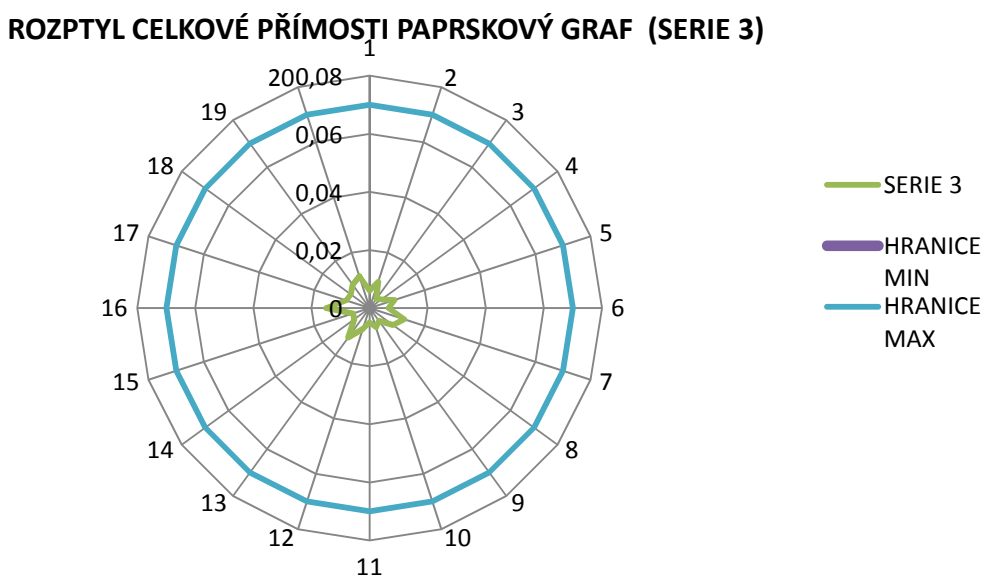
Zápis z měření v KMCZ dne 2. 6. 2018						
Parametry naměřené z brusky Jupiter Junker 250						
Číslo pokusu	Uhel α [°]	Otáčky n [ot/min]	Průchozí rychlost V_o [m/min-1]			
4 (Série 3)	2,83	80	4,2			
Měřená část						
Číslo vzorku	RZ [μm]	Váha [-]	Naměřená přímost [mm]	1 / 2	Naměřená souosost [mm]	Naměřená celková délka [mm]
①	6,42	1	0,006	①	0,19	333,52
	6,73	2	0,0095			
	5,18	2	0,004	②	0,05	
	6,29	1	0,005			
Vážený průměr	6,09					
②	3,45	1	0,009	①	0,2	333,55
	6,01	2	0,0065			
	6,53	2	0,0125	②	0,032	
	5,61	1	0,01			
Vážený průměr	5,69		0,00905			
③	5,67	1	0,0055	①	0,18	333, 74
	4,19	2	0,007			
	4,58	2	0,005	②	0,045	
	5,04	1	0,0075			
Vážený průměr	4,71		0,0062			
④	5,37	1	0,0125	①	0,18	333,59
	4,53	2	0,0065			
	7,24	2	0,006	②	0,037	
	5,15	1	0,015			
Vážený průměr	5,68		0,0088			
⑤	3,44	1	0,0085	①	0,22	333,93
	6,78	2	0,008			
	5,18	2	0,01	②	0,03	
	4,65	1	0,0115			
Vážený průměr	5,34		0,0093	Celkový průměr		5,50



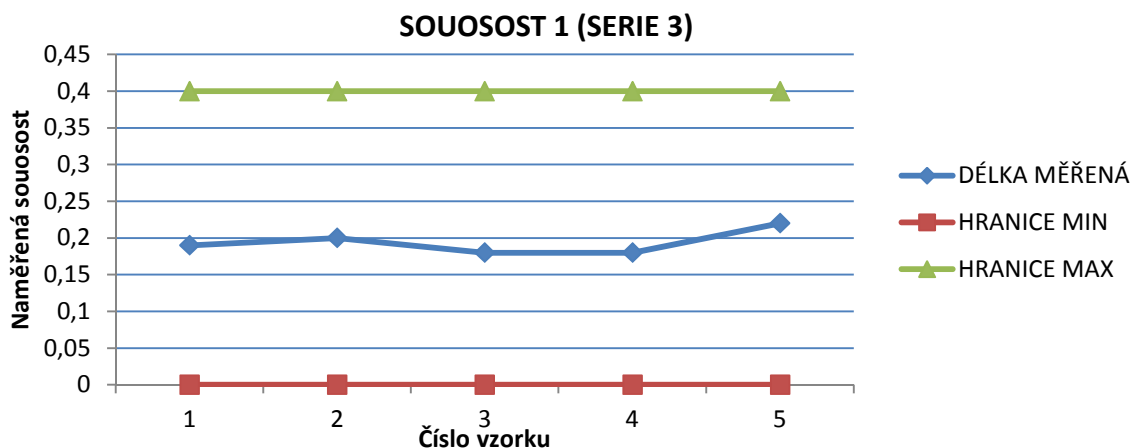
Obr. 49 Měřené hodnoty Rz, série 3



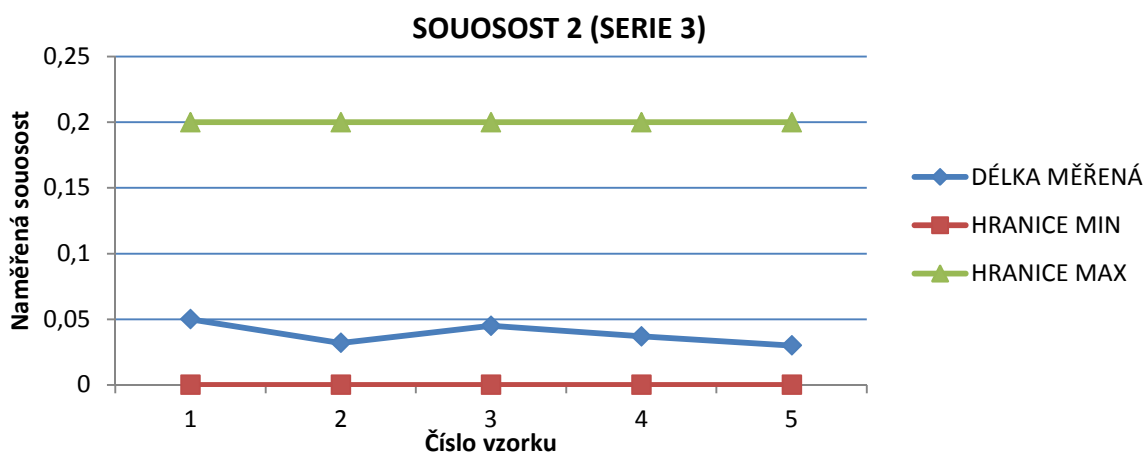
Obr. 50 Rozptyl celkové přímosti 1, série 3



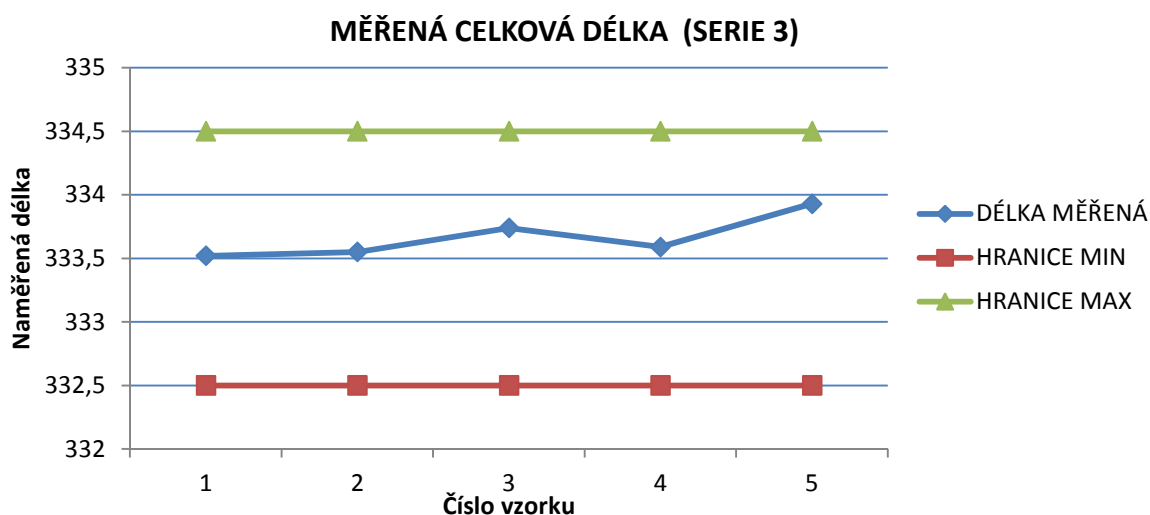
Obr. 51 Rozptyl celkové přímosti 2, série 3



Obr. 52 Souosost 1, série 3



Obr. 53 Souosost 2, série 3



Obr. 54 Měřená celková délka, série 3

Poslední dvě série byly prioritně zaměřeny na urychlení celkového procesu broušení. Byla zde tedy navýšena průchozí rychlost. V sérii 3 je možné vidět zhoršení v podobě hodnoty Rz. Maximální hodnota 6,78 není nejvyšší z celkových naměřených hodnot. Výsledná průměrná

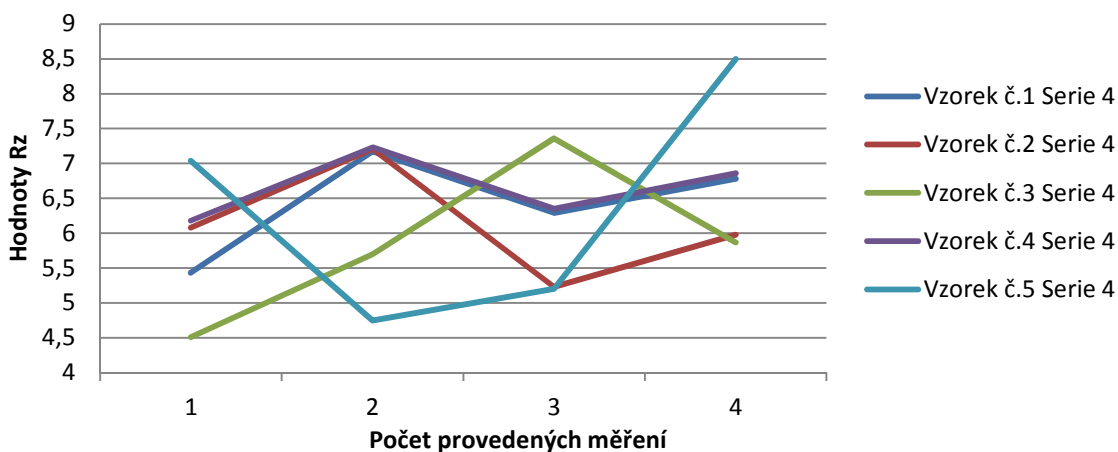
HODNOCENÍ TECHNOLOGIE BEZHROTÉHO BROUŠENÍ

hodnota Rz 5,5 je oproti sérii 0 rovna. Podrobnější porovnání bude řešeno komplexně s ostatními měřeními.

Tabulka 10. Měřené hodnoty 5. měření, série 4 (nejvyšší možná rychlost, stejným úběrem jako u standardu)

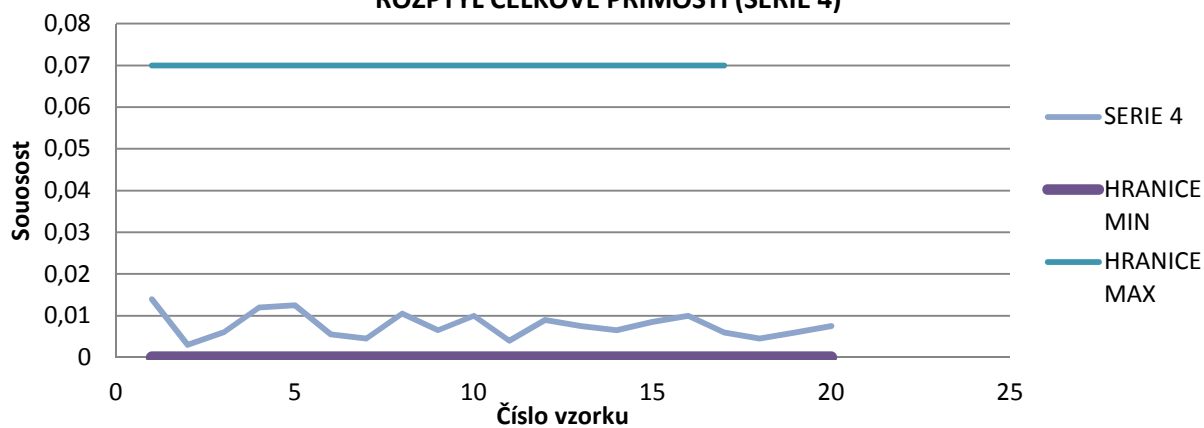
Zápis z měření v KMCZ dne 2. 6. 2018						
Parametry naměřené z brusky Jupiter Junker 250						
Číslo pokusu	Uhel α [°]	Otáčky n [ot/min]	Průchozí rychlost Vo [m/min-1]			
5 (Série 4)	4,3	55	4,4			
Měřená část						
Číslo vzorku	RZ [μ m]	Váha [-]	Naměřená přímost [mm]	1 / 2	Naměřená souosost [mm]	Naměřená celková délka [mm]
①	5,54	1	0,014	①	0,14	333,82
	7,17	2	0,003			
	6,29	2	0,006	②	0,058	
	6,78	1	0,0012			
Vážený průměr	6,52		0,0073			
②	6,08	1	0,0125	①	0,17	333,53
	7,21	2	0,0055			
	5,23	2	0,0045	②	0,057	
	5,87	1	0,0105			
Vážený průměr	6,16		0,0072			
③	4,51	1	0,0065	①	0,22	333,67
	5,7	2	0,01			
	7,36	2	0,004	②	0,046	
	5,87	1	0,009			
Vážený průměr	6,08		0,0073			
④	6,18	1	0,0075	①	0,2	333,91
	7,23	2	0,0065			
	6,35	2	0,0085	②	0,052	
	6,86	1	0,01			
Vážený průměr	6,70		0,0079			
⑤	7,04	1	0,006	①	0,18	333,66
	4,75	2	0,0045			
	8,2	2	0,006	②	0,074	
	8,5	1	0,0075			
Vážený průměr	5,91		0,0058	Celkový průměr		6,27

MĚŘENÉ HODNOTY Rz (SERIE 4)



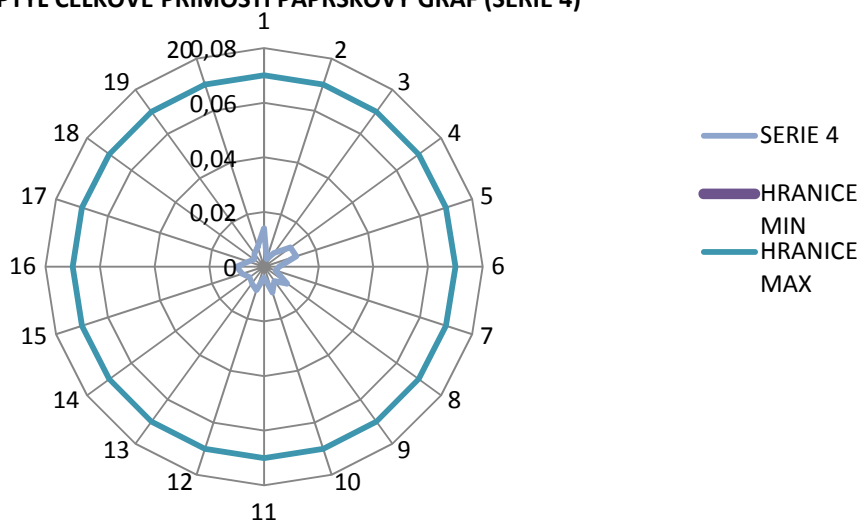
Obr. 55 Měřené hodnoty Rz, série 4

ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI (SERIE 4)

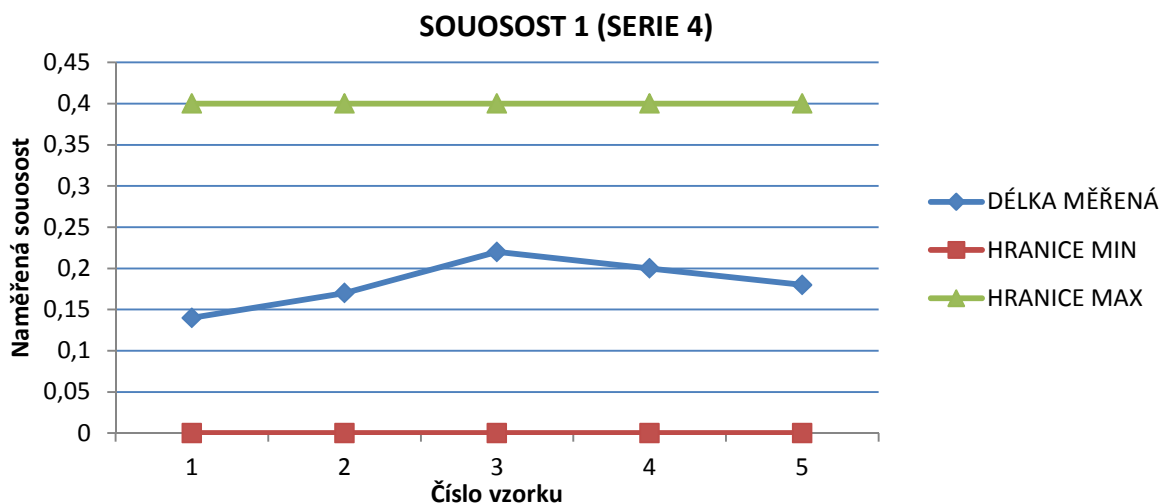


Obr. 56 Rozptyl celkové přímosti 1, série 4

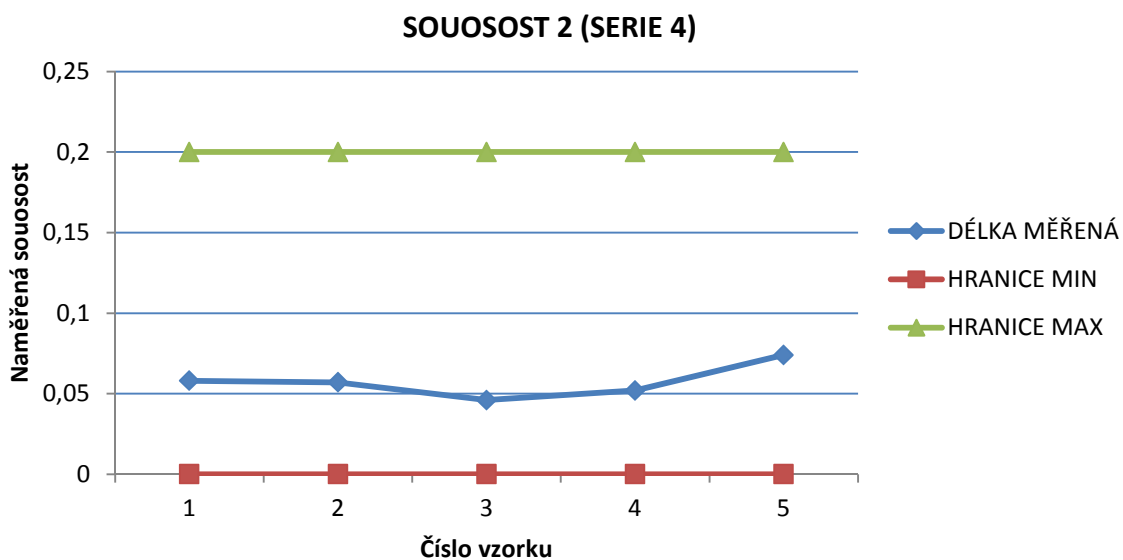
ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI PAPRSKOVÝ GRAF (SERIE 4)



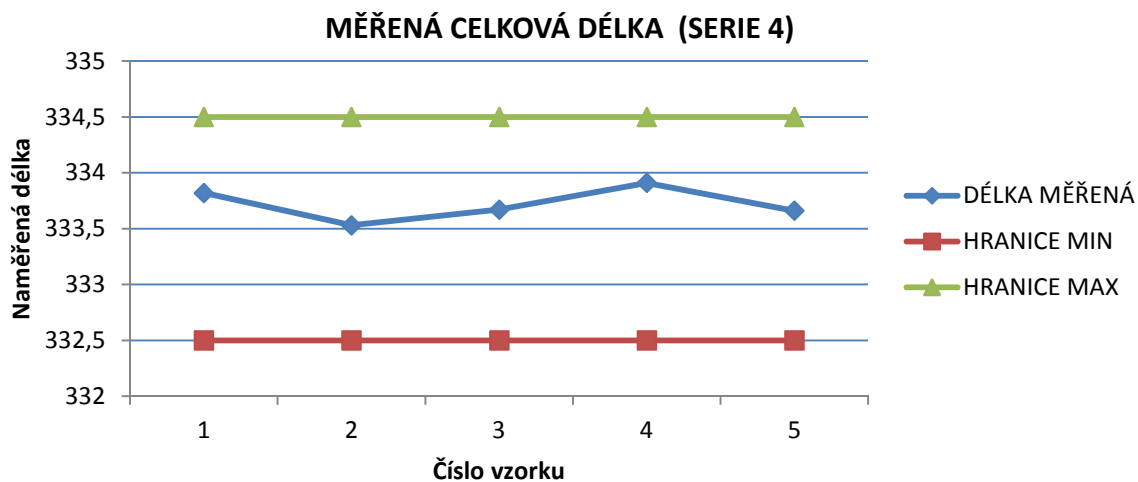
Obr. 57 Rozptyl celkové přímosti 2, série 4



Obr. 58 Souosost 1, série 4

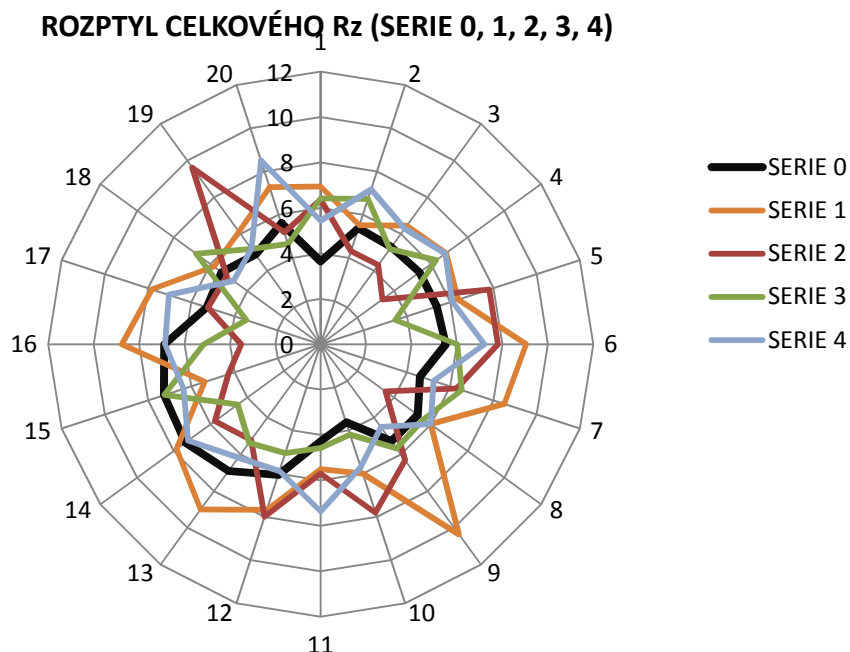


Obr. 59 Souosost 2, série 4

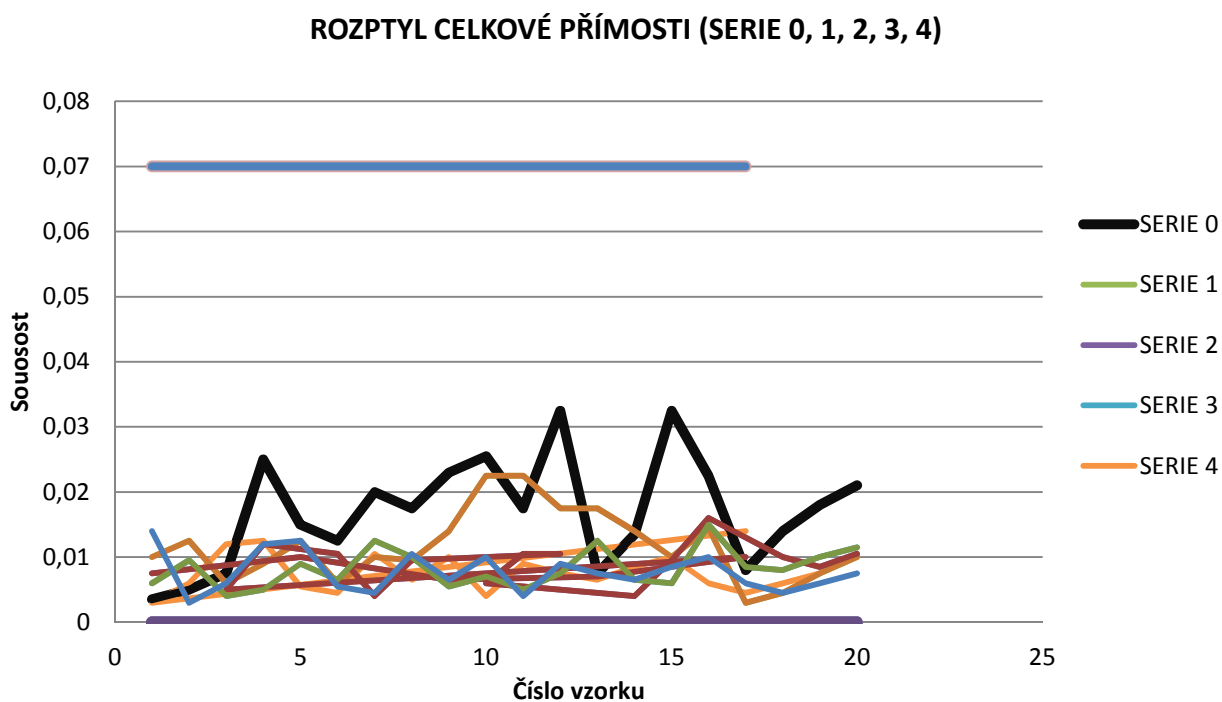


Obr. 60 Měřená celková délka, série 4

Poslední z naměřených sérií nese označení 4. Zde jak bylo již řečeno, byla opět navýšena průchozí rychlost na maximální hodnotu. Při porovnání této série se standardem je hodnota průměrného Rz větší. Maximální odečet 7,23 není však nejvyšší hodnotou z celkového měření všech součástí, avšak výsledná hodnota celkového průměru 6,27 je.

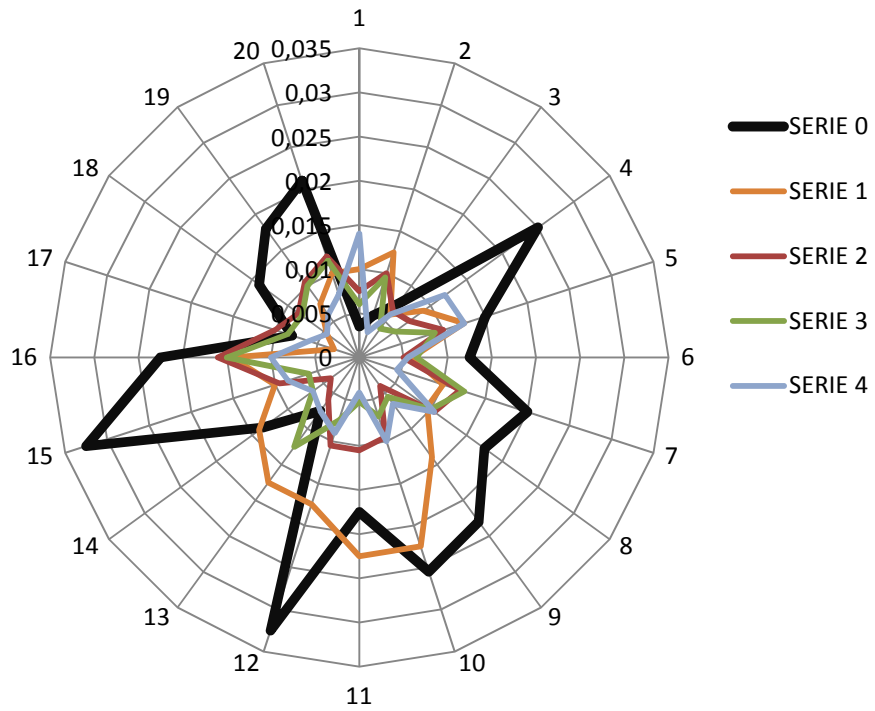


Obr. 61 Rozptyl celkového Rz, série 0,1,2,3,4



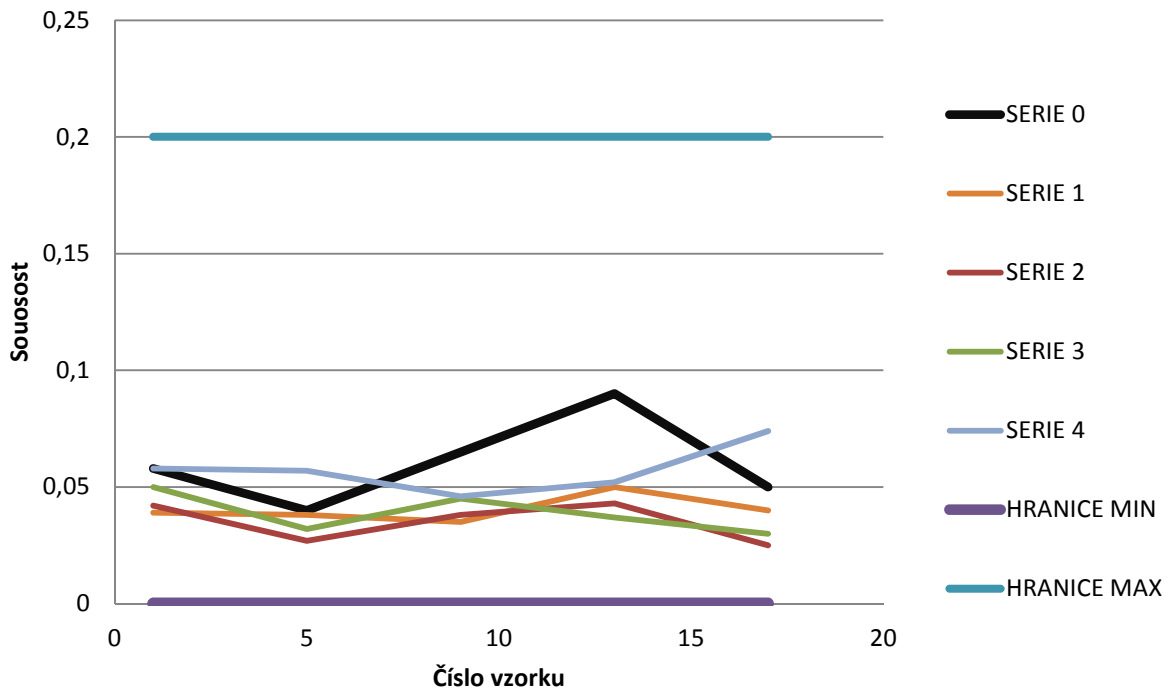
Obr. 62 Rozptyl celkové přímosti 1, série 0,1,2,3,4

ROZPTYL CELKOVÉ PŘÍMOSTI PAPRSKOVÝ GRAF (SERIE 0, 1, 2, 3, 4)



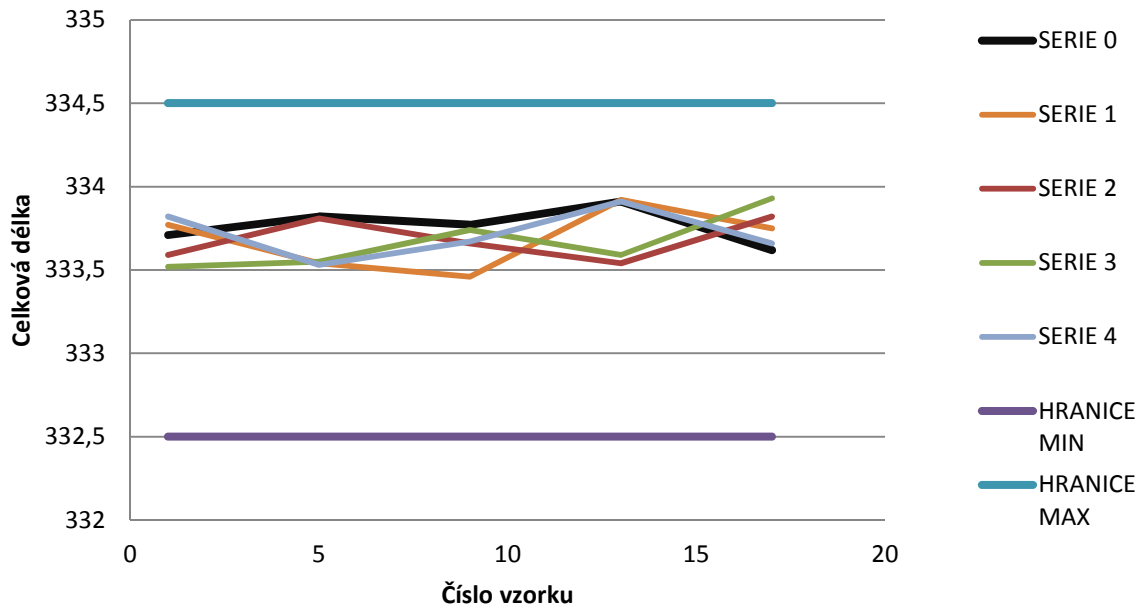
Obr. 63 Rozptyl celkové přímosti 2, série 0,1,2,3,4

ROZPTYL CELKOVÉ SOUOSOSTI (SERIE 0, 1, 2, 3, 4)



Obr. 64 Rozptyl celkové souososti, série 0,1,2,3,4

ROZPTYL CELKOVÉ DÉLKY (SERIE 0, 1, 2, 3, 4)



Obr. 65 Rozptyl celkové délky, série 0,1,2,3,4

Pětice výše zkonstruovaných grafů je propojením naměřených hodnot od série 0 do série 4. Toto spojení bylo voleno z důvodů snadnějšího porovnání a přehlednosti jednotlivých změn od hodnoty Rz až po kontrolu délky. Demonstrace výsledků je proto z těchto grafů snadnější.



Obr. 66 série 0 vzorek č. 0



Obr. 67 série 1 vzorek č. 1



Obr. 68 série 2 vzorek č. 2



Obr. 69 série 3 vzorek č. 3



Obr. 70 série 4 vzorek č. 4

5.3 Celkové vyhodnocení jednotlivých sérií

V dílčích částech měření byly úsekově hodnoceny stavy hodnot Rz případně dalších měřených parametrů. V této části dochází ke komplexnějšímu pojednání. Praktická část diplomové práce byla rozdělena na dvě větve. Dle tohoto rozdělení probíhalo samotné měření a tato práce byla co možná nejvíce přínosná pro KMCZ. V sérii 0 můžeme pozorovat poměrně skokové změny v celkové přímosti. Jedná se zde v průměru o nejhorší stav z měřených součástí, stejně tak je tomu i u přímosti a sousosti. Hodnoty Rz jsou v celkovém průměru totožné se sérií 3. Délka je zde v horních mezích oproti ostatním měřeným součástím. Všechny kontrolované parametry však splňují předepsané meze. Zde je důležité podotknout, že se jedná pouze o proces hrubého broušení. Po operaci hrubého broušení již splňujeme požadavky kladené na kontrolované tolerance kromě parametru Rz. Tato hodnota je pro nás pouze ukazatelem orientačním.

Dle nastaveného větvení budeme hodnotit série 0 až 2. U obou pokusů byla naměřená hodnota Rz větší. Tento parametr není prioritním ukazatelem a bude brána okrajově stejně jako parametr celkové délky, u kterého nejlépe vyšla série 1. Z parametrů celkové přímosti a sousosti je nejlepší série 2. Tento fakt nám potvrzuje již teorie. V této skupině bylo na tyči ubíráno méně materiálu. Pro firmu KMCZ by ale tato volba byla zcela nepoužitelná a stroj by

neplnil aktuální požadovaný úběr. Z tohoto důvodu výsledně porovnáme sérii 0 a sérii 1, kde docházelo k úběru naopak většímu. Zde dopadla lépe skupina 1, která i přes větší úběr bez úpravy výchozích technologických parametrů přinesla lepší výsledky.

Při hodnocení následujících dvou měření se zaměřujeme na druhou větev praktické části. Zde jsou jasně stanoveny cíle o maximální produkci při teoreticky stejných finálních výsledcích kontrolovaných parametrů. Z grafů je patrný odečet Rz již zmíněný v průměrné hodnotě 5,5 totožný s průměrem v sérii 0. Při dalším porovnání jak v sousostí tak přímosti vychází nejlépe série 3. Jedná se o zrychlení průchozí rychlosti oproti původnímu parametru o $0,2 \text{ m/min}^{-1}$. Tento nárůst při celkové délce tyče ($333,5\text{mm}=0,3335\text{m}$) a při pracovní době 8 hodin navýší produkci o 800 kusů. Série 4 oproti skupině 3 vychází s horšími výslednými hodnotami, avšak pořád v rámci tolerancí a zrychlení o dalších $0,2 \text{ m/min}^{-1}$ na hodnotu $4,4 \text{ m/min}^{-1}$ výrobu navýší na 1600 kusů při 8 hodinové pracovní vytíženosti.

6. Závěr

V diplomové práci byla vypracována rešerše v oblasti broušení. Bližší zaměření v rámci teoretické práce bylo zaměřeno na bezhroté broušení, které firma KYB Manufacturing Czech, s.r.o. využívá pro broušení pístních tyčí tlumičů osobního automobilu.

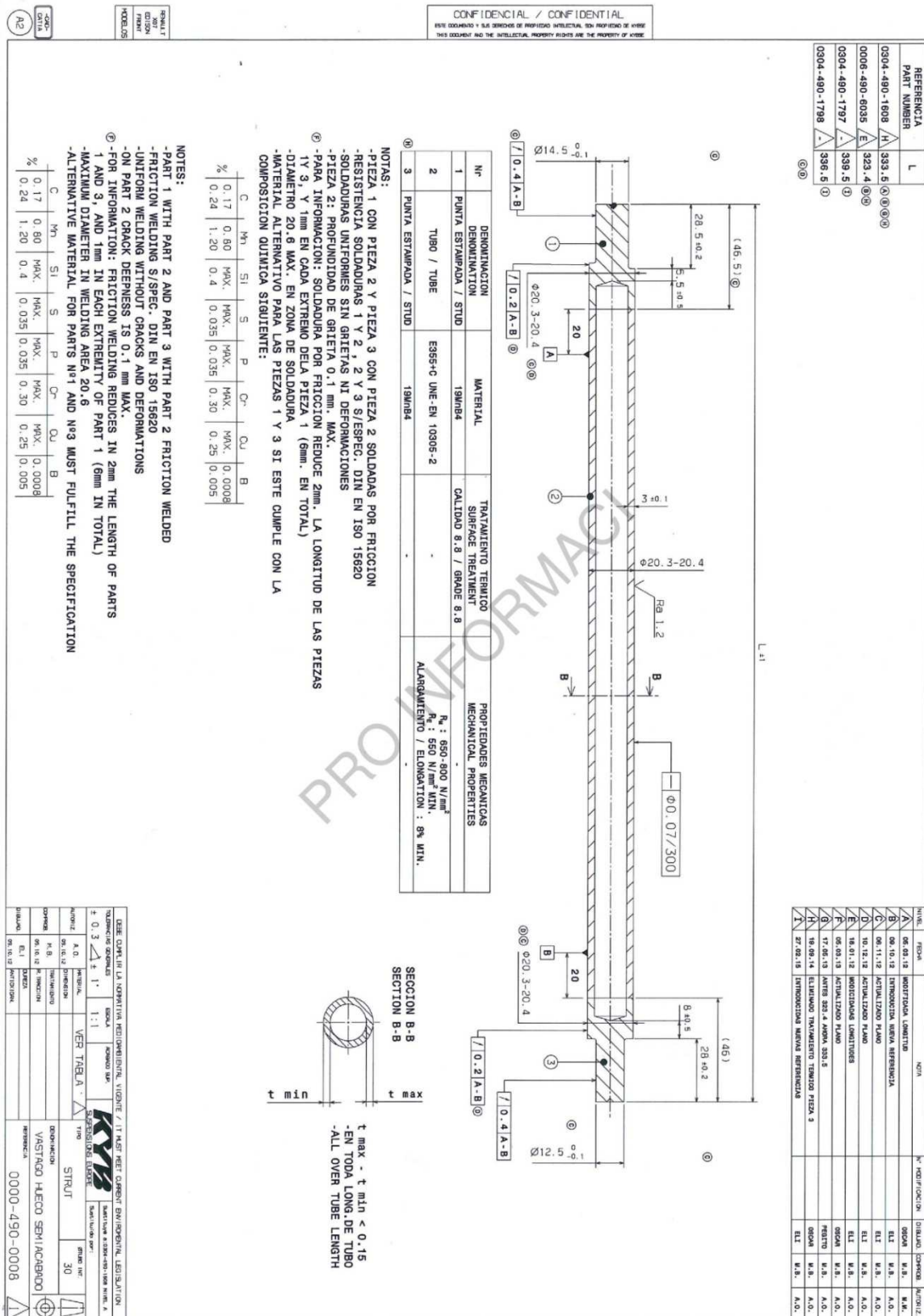
Firma požadovala hodnocení technologie bezhrotého broušení se specializací na proces hrubého broušení. Z tohoto důvodu byla diplomová práce rozdělena na dvě skupiny, podle kterých byl následně realizován postup měření a jeho vyhodnocování. Jako parametry pro hodnocení byly stanoveny výsledná drsnost Rz, celková přímost, měřená výsledná souosost a naměřená celková délka.

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit aktuální stav a nalézt efektivnější řešení v případě, že firma bude chtít proces hrubého broušení z jakýchkoliv důvodů zpomalit či případně zrychlit až na samotnou hranici maximálního výkonu brusky JUNKER 250. Z výsledků vyplývá, že aktuální stav broušení v KMCZ je uspokojivý a splňuje nad rámec požadované přesnosti. Zpomalení posuvné rychlosti má největší význam, jestliže je zapotřebí lepší celkové přímosti pístní tyče. V případě většího úběru za stejných technologických podmínek dojde dle výsledku měření též k pozitivnímu výsledku v celkové přímosti. Obě tyto varianty jsou tedy možné k aplikaci. Pro přesnější výsledky by bylo zapotřebí zvětšit počet měření a postupovat stejným postupem jako tomu bylo v této diplomové práci. V případě, že KMCZ bude v budoucnosti požadovat navýšení produkce pístních tyčí, je možné použít informace z druhé větve praktické části, která se na tuto alternativu zaměřuje. Z měření se jednalo o série 3 a 4. Výsledek jasně ukazuje na sérii 3 jako nejvhodnější, a to ze všech měřených parametrů. Výsledná celková průměrná hodnota Rz je totožná se standardem a zbývající parametry vykazují lepších hodnot, nežli je tomu u zmiňovaného standardu. Pro přesnější a korektnější výsledky je nezbytné opakovat měření na více zkušebních vzorcích a eliminovat co možná nejvíce nepřesnosti v měření.

Cíle stanovené na samotném začátku diplomové práce byly v plném rozsahu splněny. V KMCZ dle aktuálních požadavků výroby plně dostačují a vyhovují nastavené parametry.

Výkres písní tyče z KMCZ

Obr. 71 Výrobní výkres písní tyče



Seznam použité literatury

- [1] ČERNÝ, František, Jiří TRMAL a Jaroslav MARŠÁLEK. Brusky a broušení. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1970.
- [2] skripta Technologie 2díl; [online] URL: <[http://homel.vsb.cz/cep77/PDF/skriptaTechnologieII I2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/cep77/PDF/skriptaTechnologieII%20dil.pdf)> ; [cit. 2018-04- 05]
- [3] BILÍK, O. Obrábění I. (2. Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [4] KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [5] Tvrdost kotouče, Brusivo Jimi; [online] URL: <<http://www.brusivojimi.com/poradce/28-tvrdost-kotouce>> ; [cit. 2018-03- 27]
- [6] Work rest blades LEISTRITZ. Work rest blues; [online]. URL: <<https://tools.leistritz.com/en/products/tools-overview/work-rest-blades.html>> ; [cit. 2018-07-28].
- [7] Technologie broušení; [online]. URL: <Dostupné z http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf> ; [cit.2017-05-07]
- [8] SLONIMSKIJ, V. I. Teorie a praxe bezhrotého broušení: určeno pro inženýry a techniky ve strojírenských závodech a projekčních organizacích, vědecké pracovníky a studující příslušných oborů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. Řada strojírenské literatury.
- [9] Automatické bezhroté brusky: Automatické bezhroté brusky PALMARY; Taima Bezinková 174 182 00 Praha 8, Březiněves Česká republika; [online]. URL: <<http://www.taima.cz/bezhrote-brusky/automaticke-brusky/>> ; [cit. 2018-07-28]

- [10] Broušení: Vyvažování brusných kotoučů; Zozei: Za odbornými znalosti evropsky interaktivně; [online]. URL: < <http://zozei.sssebrno.cz/1127-brouseni/> > ; [cit. 2018-07-28].
- [11] ČOP, Jiří. Výzkum broušení dílů forem kotoučem z diamantu a kubického nitridu bóru[online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, 2012 URL: <<https://docplayer.cz/6568792-Vyzkum-brouseni-dilu-forem-kotoucem-z-diamantu-a-kubickeho-nitridu-boru-bc-jiri-cop.html>>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Prof.Ing.Imrich Lukovic, CSc. [cit. 2018-07-28].
- [12] NĚMEC, Dobroslav. Strojírenská technologie II. 1. vydání. Praha SNTL, 1985
- [13] ING. HEJL., Miroslav. Základní práce při broušení: Bezhruté broušení. In: ELUC [online]; URL: <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1269>>; [cit. 2018-07-28].
- [14] WORKREST BLADES: Bezhruté broušení. In: DRkaiser [online]; URL: <<http://www.drkaiser.com/produkte/verschleisschutz/aufagelineale>. Huml>; [cit. 2018-07-28]
- [15] General Centerless Grinders. In: MMcronusa [online]; 5150 Falcon View Ave. Kentwood, MI 49512, 2018; URL: < <http://www.micronusa.com/products/general-centerless-grinders> >; [cit. 2018-07-28]
- [16] Broušící stroje: JUPITER - Bezhruté brusky. In: Junker group [online]. Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH Headquarters (Ředitelství) Junkerstraße 2 77787 Nordrach, 2018; URL: < <https://www.junker-group.com/cs/broušici-stroje/products/jupiter/> >; [cit.2018-07-28]
- [17] NOVOTNÝ, Antonín. Broušení na bezhrutých bruskách. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Knižnice strojírenské výroby

- [18] Řezné a upínací nástroje: broušící nástroje a brusivo. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1987
- [19] [online] ; URL: < <http://www.kmcz.cz/>>; [cit. 2018-07-28].
- [20] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL, Strojnické tabulky: pro školu a praxi. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.
- [21] Základní rozdělení brusných kotoučů k ostření nástrojů, 2010 [online] ; URL: < [http://www.tumlikovo.cz/zakladni – rozdeleni – brusnych – kotoucu – k – ostreni – nastroju/](http://www.tumlikovo.cz/zakladni-rozdeleni-brusnych-kotoucu-k-ostreni-nastroju/)>; [cit. 2018-07- 28]
- [22] ČERNÝ, Václav a Lubomír POSPÍŠIL. Brusivo a brusné nástroje. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1967. Řada strojírenské literatury.
- [23] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. A kol. Obrábění. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s
- [24] Produktivní metody broušení. Plzeň: Dům techniky ČSVTS, 1982.

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka brousicího procesu [1].....	8
Obr. 2 Popis úhlů a délek jednotlivých zrn [2].....	9
Obr. 3 Porovnání produkované třísky při procesu broušení a frézování [2]	10
Obr. 4 Obvodové vnější broušení „dokulata“ radiálním způsobem [2]	10
Obr. 5 Rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem [2].....	12
Obr. 6 Schéma pro výpočet jednotkového strojního času pro obvodové axiální broušení [2].	13
Obr. 7 Zelený karbid křemíku [7].....	14
Obr. 8 Karbid boru [7]	14
Obr. 9 Kubický nitrid boru [7]	14
Obr. 10 Syntetický diamant [7]	15
Obr. 11 Umělý korund [7]	15
Obr. 12 Příklad brusného kotouče v KMCZ	16
Obr. 13 Schéma nevyváženého brousicího kotouče.....	17
Obr. 14 Orovnání diamantovým orovnávačem a orovnávač[10]	18
Obr. 15 Bezhroté průběžné broušení [2]	19
Obr. 16 Bezhroté průběžné broušení 2	20
Obr. 17 Bezhroté broušení průchozí.....	21
Obr. 18 Bezhroté broušení zapichovací 1,2 [13].....	22
Obr. 19 Bezhroté broušení vnitřních válcových otvorů [2].....	22
Obr. 20 Bezhroté broušení planetové [2].....	23
Obr. 21 Pravítko firma LEISTRITZ [6], Obr. 22 Pravítko firma Dr. Kaiser KMCZ.....	23
Obr. 23 Vodicí pravítko.....	24
Obr. 24 Vodicí pravítko firma DR. Kaiser[14]	24
Obr. 25 Bruska bez středu TITAN firma JUNKER [16].....	27
Obr. 26 Bezhrotá bruska Junker- Jupiter250 v KMCZ, Obr. 27 Technické parametry stroje JUPITER 250.....	27
Obr. 28 Hodnocení parametru Rz.....	30
Obr. 29 Bruska BBE1A	31
Obr. 30 Bruska BBE1A – technické parametry	31
Obr. 31 Měření hodnoty RZ, série 0.....	37
Obr. 32 Rozptyl celkové přímosti 1, série 0.....	37
Obr. 33 Rozptyl celkové přímosti 2, série 0	37

Obr. 34 Sousost 1, série 0	38
Obr. 35 Sousost 2, série 0	38
Obr. 36 Měřená celková délka, série 0	38
Obr. 37 Měřené hodnoty Rz, série 1	40
Obr. 38 Rozptyl celkové přímosti 1, série 1	40
Obr. 39 Rozptyl celkové přímosti 2, série 1	40
Obr. 40 Sousost 1, série 1	41
Obr. 41 Sousost 2, série 1	41
Obr. 42 Měřená celková délka, série 1	41
Obr. 43 Měřené hodnoty Rz, série 2	43
Obr. 44 Rozptyl celkové přímosti 1, série 2	43
Obr. 45 Rozptyl celkové přímosti 2, série 2	43
Obr. 46 Sousost 1, série 2	44
Obr. 47 Sousost 2, série 2	44
Obr. 48 Měřená celková délka, série 2	44
Obr. 49 Měřené hodnoty Rz, série 3	46
Obr. 50 Rozptyl celkové přímosti 1, série 3	46
Obr. 51 Rozptyl celkové přímosti 2, série 3	46
Obr. 52 Sousost 1, série 3	47
Obr. 53 Sousost 2, série 3	47
Obr. 54 Měřená celková délka, série 3	47
Obr. 55 Měřené hodnoty Rz, série 4	49
Obr. 56 Rozptyl celkové přímosti 1, série 4	49
Obr. 57 Rozptyl celkové přímosti 2, série 4	49
Obr. 58 Sousost 1, série 4	50
Obr. 59 Sousost 2, série 4	50
Obr. 60 Měřená celková délka, série 4	50
Obr. 61 Rozptyl celkového Rz, série 0,1,2,3,4	51
Obr. 62 Rozptyl celkové přímosti 1, série 0,1,2,3,4	51
Obr. 63 Rozptyl celkové přímosti 2, série 0,1,2,3,4	52
Obr. 64 Rozptyl celkové sousosti, série 0,1,2,3,4	52
Obr. 65 Rozptyl celkové délky, série 0,1,2,3,4	53
Obr. 66 série 0 vzorek č. 0, Obr. 67 série 1 vzorek č. 1, Obr. 68 série 2 vzorek č. 2	53
Obr. 69 série 3 vzorek č. 3, Obr. 70 série 4 vzorek č. 4	54
HODNOCENÍ TECHNOLOGIE BEZHROTÉHO BROUŠENÍ	62

Obr. 71 Výrobní výkres pístní tyče57

Seznam tabulek

Tabulka 1. Druhy brusiva	15
Tabulka 2. Příklad označení brusného kotouče [11]	16
Tabulka 3. Nejběžnější technologické podmínky.....	33
Tabulka 4. Materiál 1.....	34
Tabulka 5. Materiál 2.....	35
Tabulka 6. Měřené hodnoty 1. měření, série 0 (Standart)	36
Tabulka 7. Měřené hodnoty 2. měření, série 1 (Standart se zvětšením úběrem na \varnothing o 0,1mm)	39
Tabulka 8. Měřené hodnoty 3. měření, série 2 (standart se zmenšením úběrem na \varnothing o 0,1mm)	42
Tabulka 9. Měřené hodnoty 4. měření, série 3 (vyšší průchozí rychlost, úběr stejný jako standard)	45
Tabulka 10. Měřené hodnoty 5. měření, série 4 (nejvyšší možná rychlost, stejným úběrem jako u standardu)	48

Seznam příloh

Příloha č. 1. Výkres pravítka KMCZ

Příloha č. 2. Zápis z měření Rz