

# Obrobitelnost pryžových materiálů při rovinném broušení

Bc.Miroslav Pecháček

---

Diplomová práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav PECHÁČEK**  
Osobní číslo: **T090561**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Obrobitelnost pryžových materiálů při rovinném broušení**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Příprava experimentu a vzorků pro rovinné broušení na brusce BRH 20.03F
3. Měření obrobitelnosti a jakosti broušených povrchů v závislosti na řezných podmínkách
4. Vyhodnocení naměřených dat podle zásad statistiky
5. Diskuze výsledků a stanovení optimálních podmínek pro broušení pryžových materiálů

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tisková/elektronická

Seznam odborné literatury:

[1]Kocman,K.- Prokop,J.: Technologie obrábění.CERM Brno 2001

[2]Kocman,K.: Speciální technologie obrábění.CERM Brno 2004

[3]Vasílko,K.:Technologia dokončovania povrchov.COFIN Prešov.2004

[4]Černý,F.-Trmal,J.-Maršálek,J.:Brusky a broušení.Praha,1970

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

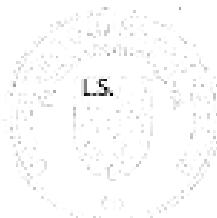
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
ředitel ústavu

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá obrobiteľnosťou pryžových materiálov pri rovinnom broušení. Teoretická časť sa zameriava na teóriu broušení, obrobiteľnosť materiálu a jakosť povrchu. Experimentálna časť zahŕňa vulkanizáciu pryžových vzorkov vo forme. Takto vyrobené vzorky boli následne obrobene broušením za účelom vyhodnocení jednotlivých složek řezných sil a sledováním jakosti povrchu při různých řezných podmínkách.

Klíčová slova: broušení, hloubka řezu, drsnost povrchu, řezné síly

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the rubber material machinability at the surface grinding. The theoretical part is focused on the theory of grinding, material machinability and the surface roughness. The experimental part includes the vulcanization of rubber specimens followed by its grinding. The process was consequently analyzed in order to define the particular cutting forces and to distinguish the different surface roughness at different cutting conditions.

Keywords: grinding, depth of cut, surface roughness, cutting forces

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při vypracování diplomové práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEORIE OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ .....	12
1.2 KINEMATIKA ŘEZNÉHO PROCESU .....	13
<b>2 TEORIE BROUŠENÍ</b> .....	<b>15</b>
2.1 CHARAKTERISTIKA BROUŠENÍ.....	15
2.2 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	16
2.3 TYPY BROUŠENÍ .....	17
2.3.1 Základní metody broušení.....	19
2.3.1.1 Obvodové broušení do kulata vnějších ploch .....	19
2.3.1.2 Obvodové broušení do kulata vnitřních ploch .....	22
2.3.1.3 Rovinné broušení.....	23
2.3.1.4 Tvarové broušení .....	25
2.4 VLIV ŘEZNÝCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉ PLOCHY .....	25
2.4.1 Chladicí účinek .....	26
2.4.2 Čistící účinek .....	27
2.4.3 Ochranný účinek.....	27
2.4.4 Zdravotní nezávadnost.....	27
2.5 BROUSÍCÍ NÁSTROJE .....	28
2.5.1 Brusivo .....	28
2.5.2 Pojivo .....	29
2.5.3 Zrnitost.....	29
2.5.4 Tvrdost .....	30
2.5.5 Struktura.....	30
2.5.6 Příklad označování brousícího kotouče .....	31
2.5.7 Orovnávání brousících kotoučů.....	32
2.6 DALŠÍ DOKONČOVACÍ METODY .....	33
2.6.1 Honování.....	33
2.6.2 Superfinašování.....	33
2.6.3 Lapování .....	33
2.6.4 Dosahované parametry drsnosti obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění .....	34
<b>3 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ</b> .....	<b>35</b>
3.1 OBROBITELNOST PRYŽÍ.....	38
<b>4 TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>39</b>
4.1 TŘENÍ PRYŽ.....	39
4.1.1 Klasifikace tření pryží.....	40
4.1.2 Složky tření pryží .....	40
4.1.3 Vlastnosti pryže .....	41
4.2 OPOTŘEBENÍ .....	41
4.2.1 Základní druhy opotřebenění .....	42
<b>5 HODNOCENÍ JAKOSTI OBROBENÉ PLOCHY</b> .....	<b>47</b>



5.1	DRSNOST POVRCHU .....	48
5.2	CHARAKTERISTIKA DRSNOSTI POVRCHU.....	49
5.3	METODY MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU .....	51
5.3.1	Princip měření struktury povrchu dotykovým profilometrem .....	51
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ÚPRAVA FORMY PRO VULKANIZACI PRYŽOVÝCH VZORKŮ.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÉ PRYŽOVÉ VZORKY A VULKANIZACE VE FORMĚ.....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>BROUŠENÍ VZORKŮ.....</b>	<b>59</b>
9.1	VODOROVNÁ ROVINNÁ BRUSKA BRH 20.03 F.....	61
9.2	DRSNOMĚR MITUTOYO SJ – 301 .....	63
9.3	VYHODNOCENÍ SLOŽEK ŘEZNÝCH SIL.....	64
<b>10</b>	<b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ .....</b>	<b>66</b>
10.1	MĚŘENÍ SLOŽEK ŘEZNÝCH SIL .....	66
10.1.1	Kontrola na odlehle hodnoty .....	66
10.1.2	Časový vývoj složek řezných sil $F_f$ a $F_p$ .....	70
10.1.3	Vyhodnocení vlivu řezných parametrů na složky řezných sil .....	73
10.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	77
10.2.1	Kontrola na odlehle hodnoty .....	77
10.2.2	Časový vývoj parametrů drsnosti $R_a$ a $R_z$ .....	81
10.2.3	Vyhodnocení vlivu řezných parametrů na jakost povrchu .....	84
<b>11</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ A STANOVENÍ OPTIMALNÍCH PODMÍNEK PRO BROUŠENÍ PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>88</b>
11.1	HODNOCENÍ SLOŽEK ŘEZNÝCH SIL .....	88
11.2	HODNOCENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI $R_A$ A $R_Z$ .....	89
11.3	STANOVENÍ OPTIMÁLNÍCH PODMÍNEK PRO MATERIÁL TP44 .....	90
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>101</b>

## ÚVOD

Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem obráběcího procesu jsou příslušné obrobené plochy.

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se nazývá řezný proces. V závislosti na způsobu oddělování materiálu se rozlišuje řezný proces kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). [1]

Broušení patří mezi abrazivní metody obrábění, kde nástroj je charakterizován nedefinovanou geometrií břitu. Používá se pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů, tvarů a jakost povrchu. Dále se broušení uplatňuje při obrábění materiálu, které není možné jinými obráběcími metodami obrobít. [1]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TEORIE OBRÁBĚNÍ

## 1.1 Základní metody obrábění

Obrábění je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměru a jakosti odebráním částic nebo oddělováním částic materiálu pochody mechanickými, elektrickými, chemickými apod. Obráběný předmět nazýváme obrobkem, hranu nástroje, která řeže nazýváme ostřím a vzájemný pohyb nástroje a obrobku nazýváme řezným pohybem. [1]

Obráběcí proces se uskutečňuje různými metodami obrábění. K základním metodám patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování. Uvedené metody jsou charakterizovány použitím nástroje s definovanou geometrií břitu a představují v současné době nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí.

Abrazivní metody obrábění jsou charakterizované použitím nástroje s nedefinovanou geometrií břitu. K uvedeným metodám patří zejména broušení, honování, lapování a superfinišování. Z hlediska technologických výstupů těchto obráběcích procesů jsou důležité zejména dosahované parametry přesnosti obrobekových ploch.

Dalšími speciálními metodami obrábění jsou nekonvenční metody obrábění. Podle předpokládajících účinků oddělování materiálu je dělíme: [1]

- Oddělování materiálu tepelným účinkem
  - Elektroerozivní obrábění
  - Obrábění paprskem plazmy
  - Obrábění paprskem laseru
  - Obrábění paprskem elektronů
- Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem
  - Elektrochemické obrábění
  - Chemické obrábění
- Oddělování materiálu mechanickým účinkem
  - Ultrazvukové obrábění
  - Obrábění paprskem vody

## 1.2 Kinematika řezného procesu

Vzájemný pohyb obrobku a nástroje, umožňující odřezávání určité vrstvy materiálu obrobku, se skládá z hlavního pohybu a posuvu.

Hlavní pohyb je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj.

Směr hlavního pohybu je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Řezná rychlost  $v_c$  je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Posuvový pohyb je realizován obráběcím strojem jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Posuvový pohyb společně s hlavním pohybem umožňuje plynulé odřezávání třísky z obráběného povrchu.

Směr posuvového pohybu je určen směrem okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Posuvová rychlost  $v_f$  je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.

Řezný pohyb je pohyb vycházející ze současně hlavního a posuvového pohybu.

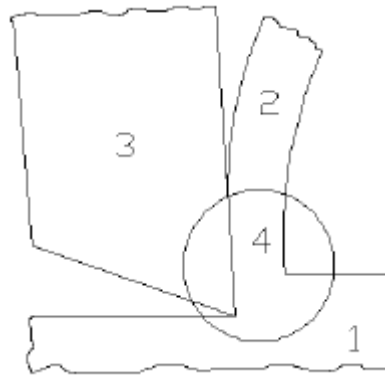
Směr řezného pohybu je dán směrem okamžitého řezného pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Rychlost řezného pohybu  $v_e$ , je okamžitá rychlost řezného pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Úhel posuvového pohybu  $\varphi$  se vyjádří jako úhel mezi směry současně posuvového a hlavního pohybu.

Úhel řezného pohybu  $\eta$  je dán úhlem mezi směrem hlavního pohybu a směrem řezného pohybu. [1]

Proces řezání se koncentruje do oblasti, kde dochází ke kontaktu řezné hrany nástroje s obráběným materiálem. Tato oblast se nazývá zóna řezání. Právě v této zóně dochází k přeměně obrobku.



*Obr. 1 Realizace řezného procesu [15]*

*1- Základní materiál, 2 – tříška, 3 – nástroj, 4 – zóna řezání*

Aby nastal proces řezání, musí se nástroj pohybovat proti obrobku určitou rychlostí po určité dráze, která je buď přímá (hoblování, protahování), šroubovice (podélné soustružení, vrtání) nebo cykloida (frézování, rovinné broušení). [15]

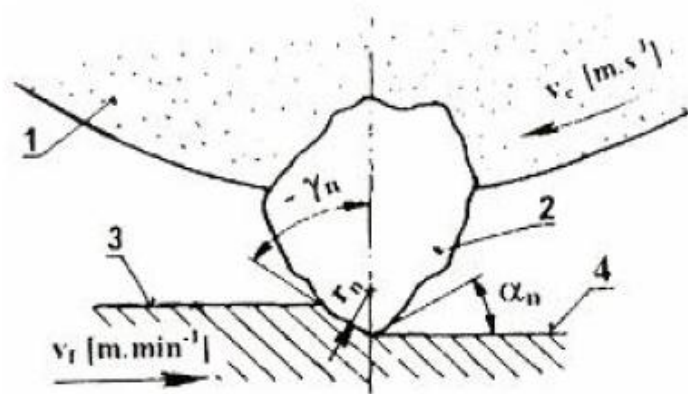
## 2 TEORIE BROUŠENÍ

### 2.1 Charakteristika broušení

Broušení je jemné dokončovací obrábění mnohobřítým nástrojem. Břity jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů navzájem spojených vhodným pojivem. Hlavní pohyb při broušení vykonává rotující brousící kotouč, vedlejší pohyby vykonává nástroj nebo obrobek. Geometrický tvar brousících zrn je různorodý a rozmístění zrn po ploše nástroje je nepravidelné. Brousící proces probíhá při vysokých řezných rychlostech 30 až 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  a při malých průřezech třísky 10-3 až 10-5  $\text{mm}^2$ . [2]

Jednotlivá brousící zrna mají nepravidelný geometrický tvar, vysokou tvrdost, odolnost proti teplotě, nepravidelné poloměry zaoblení ostří zrn řádu několika tisícín milimetrů. Brousící zrna mají zpravidla negativní úhel čela  $\gamma_n$  a poměrně velký úhel hřbetu  $\alpha_n$ . Za řeznou rychlost při broušení se považuje obvodová rychlost brousícího kotouče, která je vzhledem k ostatním metodám obrábění relativně vysoká. Rychlost posuvů obrobku nebo kotouče mají na rychlost řezného pohybu zanedbatelný vliv. [1]

Broušení jako obráběcí metoda je charakterizována specifickými podmínkami tvorby třísky a vzniku obrobeného povrchu. V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího i vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří (jiskření). [1]



Obr. 2 Model záběru brousícího zrna [1]

$v_c$  – řezná rychlost;  $v_f$  – posunová rychlost;  $\gamma_n$  – normálový úhel čela;  $\alpha_n$  – normálový úhel hřbetu;  $r_n$  – poloměr zaoblení ostří;

1 – brousící kotouč; 2 – brousící zrno; 3 – obráběná plocha; 4 – obrobená plocha

- Pracovní rychlost brusného kotouče  $v_c$  odpovídá jeho obvodové rychlosti.
- Rychlost posuvu  $v_f$  (rychlost osy nástroje) odpovídá při rovinném broušení rychlosti posuvu stolu a při broušení dokulata odpovídá obvodové rychlosti broušeného rotačního obrobku.
- Příčný posuv  $f$  na jeden zdvih, resp. podélný posuv  $f$  na jednu otáčku při broušení dokulata, se udává běžně v mm a určuje šířku řezu  $a_p$  brusného kotouče. [9]

Broušením lze:

- dosáhnout vysoké požadované přesnosti vyráběných součástí jak rozměrové tak i tvarové, také dobré jakosti povrchu, respektive drsnosti
- dobře obrábět kalené a těžko obrobitelné materiály
- jednoduše dělit materiál (rozbrušováním)
- obnovit řezací schopnost řezacích nástrojů

## 2.2 Řezné podmínky

Řezná rychlost (obvodová rychlost kotouče) se volí podle způsobu broušení a podle druhu pojiva. U běžného keramického pojiva se pro vnější broušení používá řezných rychlostí 30 až 35  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , u moderních kotoučů do 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . U řezacích kotoučů s pryskyřičným pojivem, vyztužených skelnými vlákny, lze požit rychlosti i přes 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro rychlostní broušení se vyrábějí speciální kotouče s keramickou vazbou, umožňující brousit rychlostí až 120  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Podélný posuv obrobku při rotačním broušení se volí 0,3 až 0,5 šířky kotouče, při rovinném broušení až 0,7 šířky kotouče. Radiální přísuv kotouče do řezu se při hrubování volí 0,01 až 0,1 mm na zdvih, při broušení načisto do 0,01 mm. [4]



## 2.3 Typy broušení

Brousící proces se uskutečňuje různými metodami, které se definují pro vhodná kritéria. Příslušné technologické charakteristiky se k těmto metodám vztahují.

Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření se rozlišuje:

- rovinné broušení (výsledkem je rovinná plocha),
- broušení do kulata (výsledkem je rotační povrch),
- tvarovací broušení (broušení závitů, ozubených kol apod.),
- kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu, NC stroje),
- broušení tvarovými brousícími kotouči (profil brousícího kotouče určuje konečný profil obrobku).

Podle aktivní části brousícího kotouče se specifikuje:

- obvodové broušení (broušení obvodem kotouče)
- čelní broušení (broušení čelem kotouče kolmým k jeho ose).

Podle vzájemné polohy brousícího kotouče a obrobku se charakterizuje:

- vnější broušení (broušení vnějšího povrchu obrobku),
- vnitřní broušení (broušení vnitřního povrchu obrobku).

Podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousícímu kotouči (termínem „stůl“ se označuje pohyblivá část brousícího stroje vzhledem k jeho základu, na stůl brusky se upevňuje obrobek nebo brousící vřeteník) se definuje:

- axiální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s osou kotouče),
- tangenciální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě D)
- radiální broušení (hlavní posuv stolu ve zvoleném bodě D je radiální vzhledem ke kotouči)
- obvodové zářezové broušení (posuv stolu je plynulý radiální),
- čelní zářezové broušení (posuv stolu je plynulý axiální). [1]

tvarové		Brúsenie do okrúhla		rovinné	
profilové	kopírovacie	vnútorné	vonkajšie	otáčavý pohyb stola	priamočiary

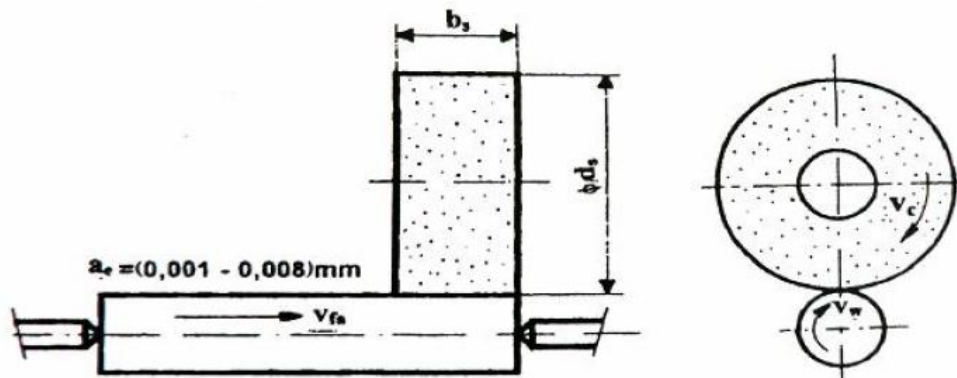
Obr. 3 Vybrané způsoby obvodového a čelního broušení [1]

### 2.3.1 Základní metody broušení

#### 2.3.1.1 Obvodové broušení do kulata vnějších ploch

- Broušení axiální

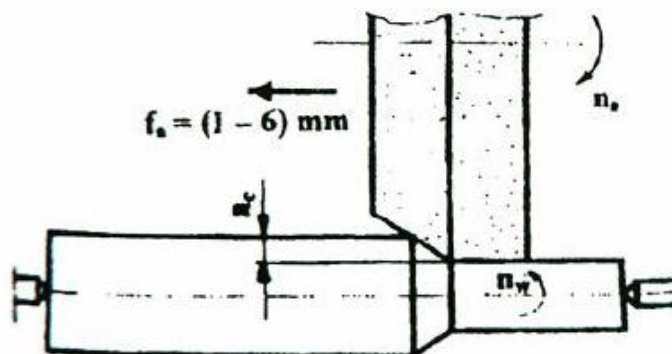
Broušení s podélným (axiálním) posuvem se používá zejména při broušení dlouhých součástek. Obrobek se otáčí mezi hroty a koná současně posunový pohyb rovnoběžný s osou obrobku, popř. obrobek koná jen pohyb otáčivý a nástroj posunový podél osy obrobku.



Obr. 4 Schéma obvodového broušení s podélným posuvem [1]

- Broušení hloubkové

Broušení kotoučem nastaveným na rozměr (hloubkové broušení) je metoda broušení, kdy se celý přídavek obrousí za jeden podélný zdvih stolu s malou axiální rychlostí posuvu. Tento způsob se používá u křehkých obrobků (tenkých) přičemž kotouč je ze strany záběru kuželovitě orovnan.

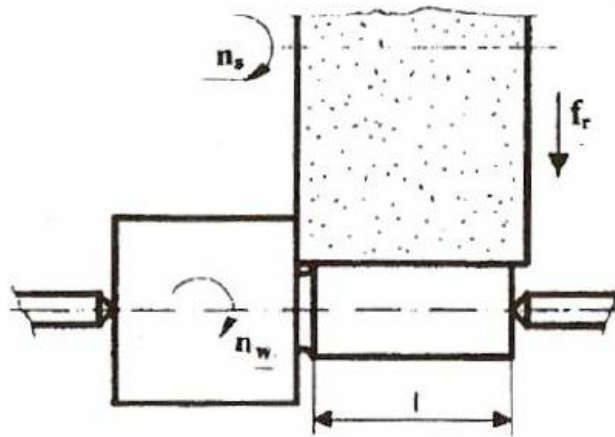


Obr. 5 Princip hloubkového broušení [1]

Tato metoda broušení patří mezi nejproduktivnější. Používá se při malých přídavicích na broušení. Výhodou je, že větší část odebraného materiálu odřeže malé množství brousících zrn a ostatní zrna vyjiskřují.

- Broušení radiální

Podmínkou aplikace radiálního (zapichovacího) broušení je tuhý obrobek, zpravidla do maximální délky 350 mm – obr. 6. Výkon broušení je o (40 – 80) % vyšší, než u axiálního broušení.



Obr. 6 Princip radiálního broušení [1]

Kotouč u tohoto způsobu broušení má vždy větší šířku než krátký a tuhý obrobek. Jinak delší plochy s odstupňovanými průměry lze brousit tzv. složenými kotouči.

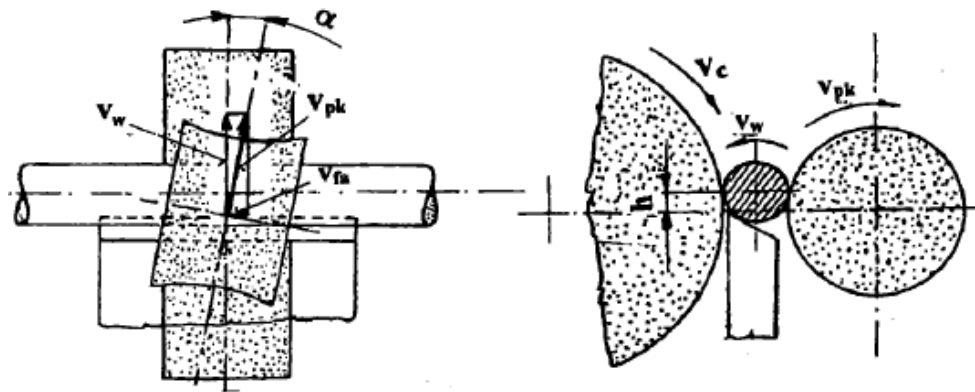
- Bezhraté broušení

Bezhraté broušení umožňuje vysokou produktivitu práce při průchozím i zapichovacím způsobu broušení. Používá se při přesném broušení v hromadné a velkosériové výrobě.

- Bezhraté průběžné broušení

Obrobek se vkládá mezi 2 kotouče, z nichž jeden je brousící a druhý je podávací. Kotouč brousící má průměr dvojnásobný než kotouč podávací. Obrobek se při broušení otáčí obvodovou rychlostí podávacího kotouče a jeho osa je asi 5 – 30 mm nad osami obou kotoučů. Je veden na kalené vodící lišty, která prochází podélně mezi 2 kotouči.

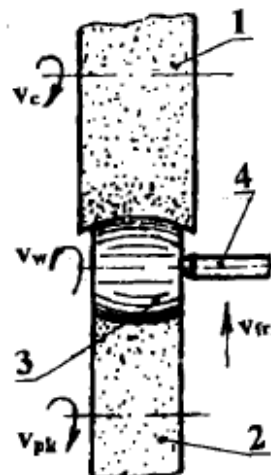
Natočením podávacího kotouče se rozkládá jeho obvodová rychlost na 2 složky, z nichž vodorovná uděluje obrobku axiální posuvový pohyb a svislá jím otáčí příslušnou obvodovou rychlostí.



Obr. 7 Bezroté průběžné broušení [1]

- Bezroté radiální broušení

Používá se u součástí, které mají nákrůžek, kuželové nebo tvarové plochy a nemají středící důlky

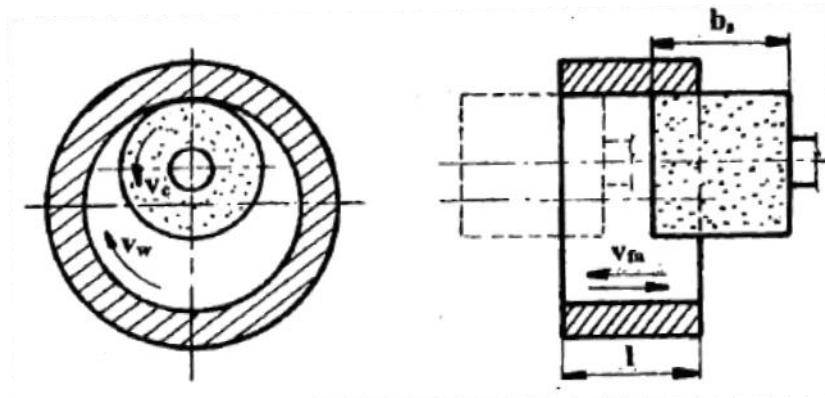


Obr. 8 Bezroté zápichové broušení [1]

### 2.3.1.2 Obvodové broušení do kulata vnitřních ploch

- Broušení axiální

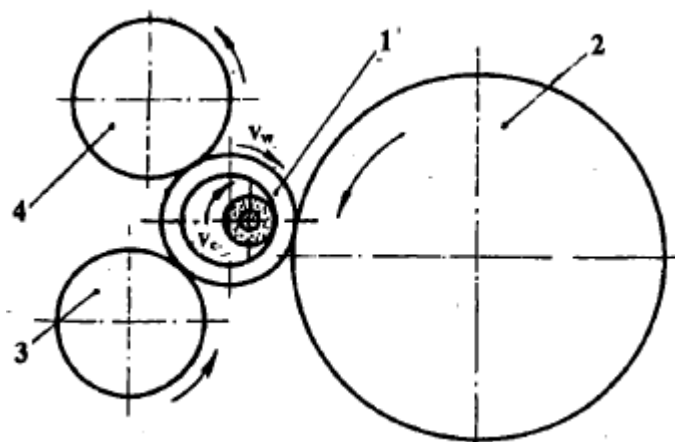
Schéma vnitřního axiálního broušení do kulata je na obr. 9. Brousící kotouč se otáčí uvnitř otvoru rychlostí  $v_c$  a posouvá se ve směru osy otvoru posuvem  $v_{fa}$ . Obrobek se otáčí s frekvencí otáčení  $n_w$  a obvodovou rychlostí  $v_w$ . Průměr brousícího kotouče je max. 0,7 až 0,9 průměru broušeného otvoru  $d_w$ . Otáčky kotouče bývají velmi vysoké (až 100000 ot.  $\text{min}^{-1}$ .)



Obr. 9 Schéma vnitřního broušení s podélným posuvem a radiálním přísuvem [1]

- Bezhraté broušení

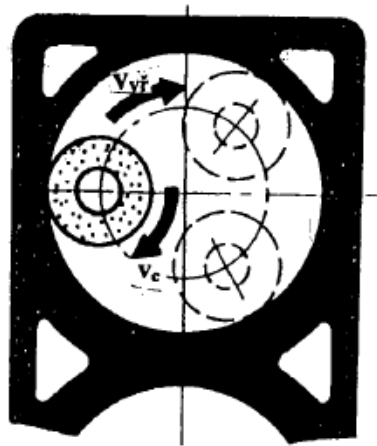
Tento způsob broušení se může použít jen u součástí, které mají válcový vnější povrch souosý s broušeným vnitřním povrchem. Geometrické úchytky vnějšího povrchu součásti (hranatost, oválnost) vyvolávají nepřesnosti při otáčení, protože se součást ustavuje od vnějšího povrchu.



Obr. 10 Vnitřní bezhraté broušení [1]

- Planetové broušení

Při broušení děr v součástech, které nelze upnout na brusce na díry do sklíčidla nebo čelisti, se používá planetové broušení na planetových bruskách. Obrobek je upnut pevně na stole brusky a vřeteno s brousícím kotoučem se otáčí kolem vlastní osy obvodovou rychlostí  $v_c$  a obíhá kolem osy broušené díry rychlostí  $v_{vf}$  a současně se pohybuje ve směru osy díry axiální rychlostí  $v_{fa}$ . Přesnost planetových brusek je menší, protože vřeteno má delší vyložení a je proto méně tuhé.



Obr. 11 Vnitřní planetové broušení [1]

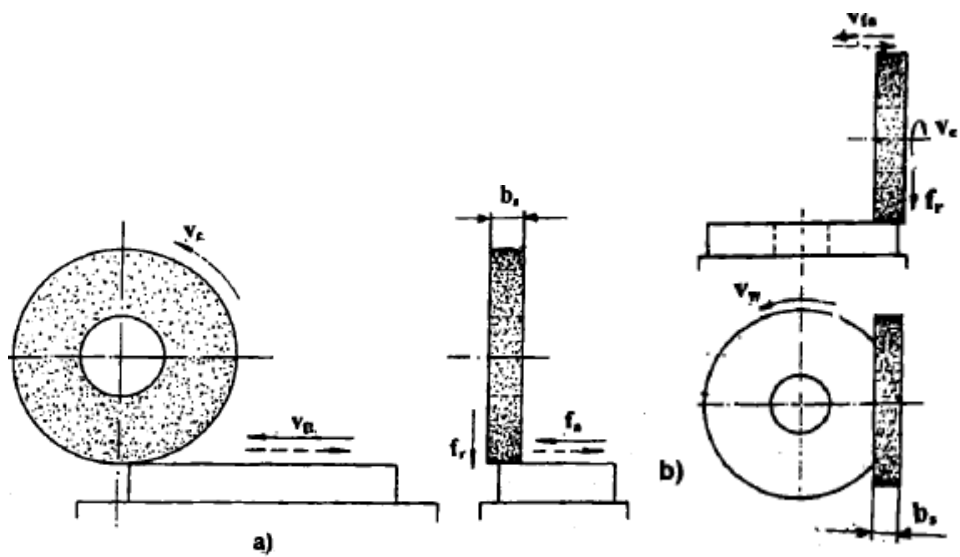
### 2.3.1.3 Rovinné broušení

Rovinné broušení se používá zpravidla jako operace na čisto po předcházejícím frézování nebo hoblování, často se však používá i místo frézování při obrábění velmi tvrdých materiálů. Rovinné plochy se brousí obvodem nebo čelem brousícího kotouče.

- Broušení obvodové

Broušení obvodem kotouče je nejpřesnější způsob broušení ploch, protože se pracuje relativně úzkým kotoučem a obrobek se vlivem tepla vzniklého při broušení deformuje jen nepatrně. Používá se při broušení přesných rovinných ploch, dále při výrobě nástrojů, měřidel, přípravků apod.

Při broušení obvodem kotouče se obrobek může otáčet nebo přímočaře posouvat. V případě přímočarého posuvu obrobku se otáčí brousící kotouč obvodovou rychlostí  $v_c$ , obrobek vykonává podélný vratný pohyb posuvovou rychlostí  $v_{fn}$ . V jedné nebo obou úvratích se příčně posouvá kotouč vzhledem k obrobku o hodnotu  $f_a$  a po celkový přídavek na broušení.



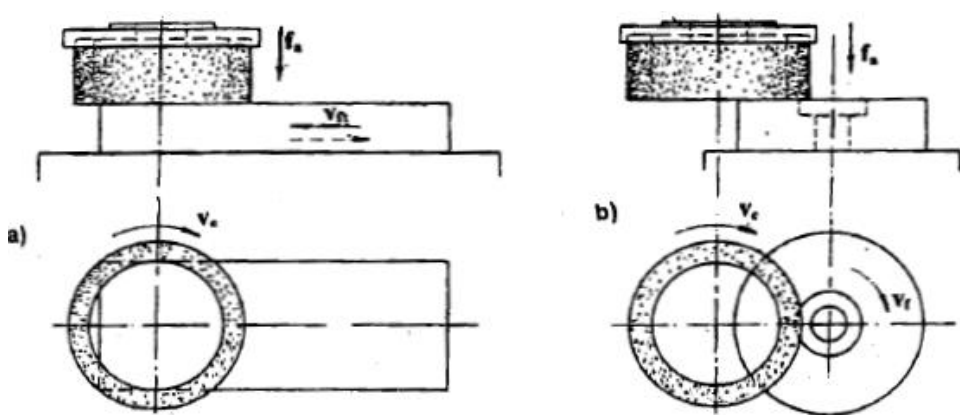
Obr. 12 Rovinné broušení obvodové [1]

a - přímočarý pohyb stolu, b – otáčivý pohyb stolu

- Broušení čelní

Broušení čelem kotouče není sice tak přesné jako broušení obvodem kotouče, je však mnohem výkonnější. Součást se přímočaře posouvá nebo otáčí.

Při přímočarém pohybu stolu se v sériové a hromadné výrobě brousí zejména menší součásti, čelní plochy ozubených kol, pístní kroužky atd. Při broušení čelem kotouče se pro větší průměry používají segmentové hlavy.



Obr. 13 Rovinné broušení čelní [1]

a - přímočarý pohyb stolu, b – otáčivý pohyb stolu



#### 2.3.1.4 Tvarové broušení

Kromě jednoduchých rovinných, válcových a kuželových tvarů je nutné často brousit i tvarové povrchy někdy i značně složitých tvarů. Takové tvary se brousí dvěma způsoby:

- profilovými kotouči
- kotouči s obvyklým tvarem, přičemž kopírovací pohyb vykonává pomocí šablony brousící kotouč nebo součást, popř. tvar je definován a realizován pomocí číslicového řízení (CNC brusky)

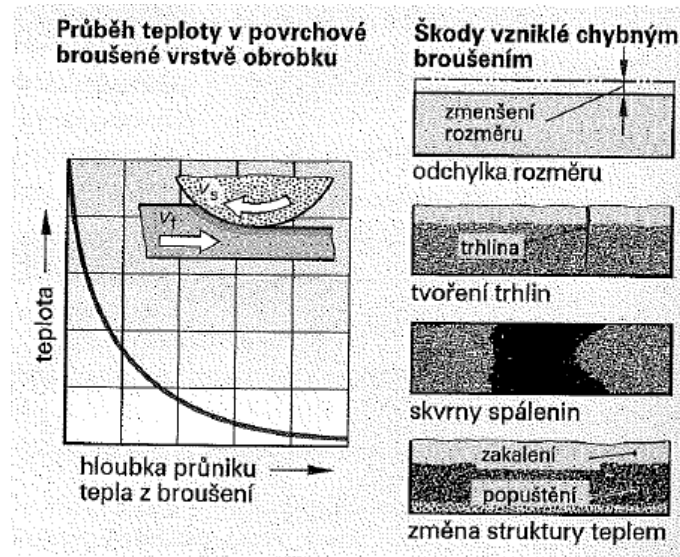
Pro tvarové broušení se používají jednoduché nebo speciálně upravené hrotové brusky, brusky bezhrotou, rovinné brusky s vodorovným vřetenem, speciální brusky a brusky řízené číslicově.

### 2.4 Vliv řezných kapalin na jakost obrobené plochy

Významnou funkcí řezné kapaliny je její vliv na jakost obrobené plochy. Řezná kapalina může ovlivňovat jak rozměrovou a tvarovou přesnost, tak drsnost povrchu. Přívod řezné kapaliny způsobuje, že se mění objem plasticky deformované oblasti, odstraní se tvoření nárůstku na čele nástroje, což se projeví i na výsledné drsnosti povrchu. Teplo z broušení také vytváří vnitřní pnutí a praskliny při rychlých teplotních změnách.

Vysoká řezná rychlost při broušení způsobuje, že v místě řezu vzniká značné množství tepla. Je proto ve většině případů při broušení nutné použít chladicí kapalinu, která má tři funkce:

- odvádí část tepla, vzniklého při broušení
- snižuje tření v místě řezu a tím i množství vzniklého tepla
- odplavuje vzniklé třísky i odlomené části zrn kotouče



Obr. 14 Škody vzniklé přehřátím povrchu obrobku při broušení [9]

Udržení teploty povrchu pod přijatelnou mezí je při broušení možné při:

- malém přísuvu a malé délce záběru
- použití brusného kotouče s velkým odběrem materiálu, s malou soudržností a křehkými brusnými zrny
- intenzivním chlazením a mazáním

Chladicí kapalina by měla být přiváděna v dostatečném množství. Při běžném broušení asi 1 litr kapaliny za minutu na 1 mm šířky kotouče. Při rychlostním broušení je třeba přivádět kapalinu pod vysokým tlakem až 2 MPa a ve větším množství.

Řezná kapalina by tedy měla mít dobrý chladicí, čistící a ochranný účinek a taky by měla být zdravotně nezávadná. [4,9]

#### 2.4.1 Chladicí účinek

Rozumí se schopnost řezné kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Tento účinek nastává při obrábění vždycky. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že proud řezné kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo.

Chladicí účinek řezných kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude i větší chladicí účinek řezné kapaliny. [6]

#### **2.4.2 Čistící účinek**

Znamená, že s přívodem řezné kapaliny se odstraňují třísky z místa řezání. Např. u broušení zlepšuje vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezná kapalina má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání, ale má vyvolat jejich usazování. Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní řezné kapaliny. Velký význam má účinek čištění pro broušení a u těch operací, kdy řezná kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [6]

#### **2.4.3 Ochranný účinek**

Ochranný účinek se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. To je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozi. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do řezné kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby řezná kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní. [6]

#### **2.4.4 Zdravotní nezávadnost**

Řezná kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku a nesmí být jedovaté. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost řezných kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod. [6]

## 2.5 Brousící nástroje

Brousící nástroje jsou brousící (brusné) kotouče, brousící kameny a brousící tělíška. Těleso nástroje je tvořeno brousícími zrní a pojivem s drobnými dutinami. Rozmanitost tvaru a polohy brusných zrn způsobují geometrickou neurčitost jejich břitů s převážně záporným úhlem čela.

Zrna brusiva jsou:

- volná (brousící a leštící pasty a prášky)

- vázaná

a) v tuhých nebo pružných tělesech (brousící kotouče, brousící tělíška, superfinišovací a honovací kameny, brousící a obtahovací kameny a segmenty, apod.)

b) nanosená a zakotvená na brousících páslech a brousících a leštících plátnech a papírech.

Výhodou vlastností brousících nástrojů je tzv. samoostření. Při vhodně zvoleném nástroji a řezných podmínkách dochází vlivem otupování zrn k růstu řezné síly a k vylamování opotřebovaných zrn nástroje. Tím se odkryjí nová, ostrá zrna brusiva. [4,9]

### 2.5.1 Brusivo

Brusivo je krystalická látka nebo hmota zrnitého, někdy mikrokrytalického slohu, jejíž zrna jsou tak tvrdá, houževnatá a ostrohranná, že jimi lze obrousovat jiné hmoty. Brusivo musí být při vysoké teplotě broušení chemicky inertní vůči obráběnému materiálu. Brousící kotouče obsahují většinou jako brusivo oxidy hliníku tavené v elektrické peci, nazývané korundy (bílé, růžové) nebo karbidy křemíku (zelené, černé). Při malém zatížení brusných zrn (při jemném broušení) se zrna štípu tak, že se obnovuje ostří (samoostření). Houževnatost kotouče zabraňuje při hrubovacím broušení tvrdých materiálů předčasně vylamování zrn. Při správně zvolené tvrdosti kotouče se vylomí otupené zrno na základě většího řezného odporu. [4,9]

Nejčastěji používaný materiál brusiva:

- přírodní – granát (označení G), diamant (D), křemičitý písek, pískovec,
- umělý – umělý korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (99A, 98A, 96A, 85A), karbid křemíku  $\text{SiC}$  (49C,48C), karbid boru  $\text{B}_4\text{C}$  (B), kubický nitrid boru  $\text{N}_2\text{B}_3$  (BN), diamant (D). [4]

### 2.5.2 Pojivo

Pojivo spojuje brousící zrna. Množství a druh zpracování pojiva určují též tvrdost nástroje. Proto se ze stejně tvrdých zrn mohou vyrobit kotouče různé, zaručené, předem stanovené tvrdosti. Bez pojiva se mohou zrna brusiva spojit jen velkým stlačením za vysoké teploty. Nejsprávnější by bylo volit pojivo (tj. různý poměr látek s nižším a vyšším bodem tání a shodnou teplotou slinování) podle broušeného materiálu. To však není možné, používá se pouze několik druhů pojiv.

Druhy pojiv: keramická (označení V), pryžová (R), pryžová s textilní výztuží (RF), z umělé pryskyřice (B), z umělé pryskyřice s textilní výztuží (BF), šelaková (E), magnezitová (Mg), kovová, galvanická kovová, keramická, z umělé pryskyřice. [4]

Brousící kotouče s keramickým pojivem jsou porézní a dobře se orovňávají diamantovým orovňovacím nástrojem. Pojiva z umělých pryskyřic chrání svou pružností zrna brusiva před přetížením a umožňují dosáhnout větších řezných sil. Aktivní břity zrn se však zahřívají méně než při keramickém pojivu. [9]

### 2.5.3 Zrnitost

Zrnitost charakterizuje velikost zrn brusiva. Číslo zrnitosti udává max. počet ok síta na palec (inch) délky hrany sítě, kterým bylo zrno proseto. Nejjemnější brusiva se oddělují plavením a sedimentací. Zrnitost brusiva musí být tím jemnější (menší zrno), čím menší má být hloubka drsnosti broušeného povrchu a čím ostřejší mají být břity broušených nástrojů. [9]

Velikost zrn se označuje od nejhrubšího po nejjemnější:

- hrubá 4, 5, 6, ..., 24,
- střední 30, 36, 40, ..., 60,
- jemná 70, 80, 90, ..., 220,
- velmi jemná 220, 240, 280, ..., 1200. [4]

#### 2.5.4 Tvrdost

Stupeň tvrdosti broušícího nástroje je určen druhem a obsahem pojiva. Je definován jako odpor, který klade zrno proti vylomení z broušícího nástroje. Tvrdost kotouče je označována písmeny A až Z, přičemž A je nejměkčí a Z nejtvrďší. Při broušení tvrdých materiálů může být při velkém otěru zrn zajištěno samoobrušování jen při měkkém (pružném) pojivu, které zabrání velkým rázovým silám vylamujícím celá zrna. Broušení měkkých materiálů vyžaduje velkou třísku, velkou řeznou sílu a tedy tvrdé kotouče. [4]

Příliš měkké kotouče se rychle opotřebovávají a jejich používání přijde draho. Zrna se vylamují dříve, než se na nich vybrousí plochy s velkým třecím odporem. Broušící kotouč se vylamuje a nezachovává svůj tvar. V příliš tvrdých kotoučích se dlouho drží tupá zrna, která mažou a leští materiál obrobku. Při tom narůstá tlak a teplota v místě kontaktu brusného kotouče s materiálem.

Běžně se používají kotouče:

maximálně měkký A -D (hloubkové a čelní broušení tvrdých materiálů)

velmi měkký E – G (hloubkové a čelní broušení tvrdých materiálů)

měkké H – K (běžné broušení kovů)

střední tvrdost L – O (běžné broušení kovů)

tvrdý P - S (broušení vnějších rotačních ploch dokulata, broušení měkkých materiálů)

maximálně tvrdý T – Z (broušení měkkých materiálů) [9,11]

#### 2.5.5 Struktura

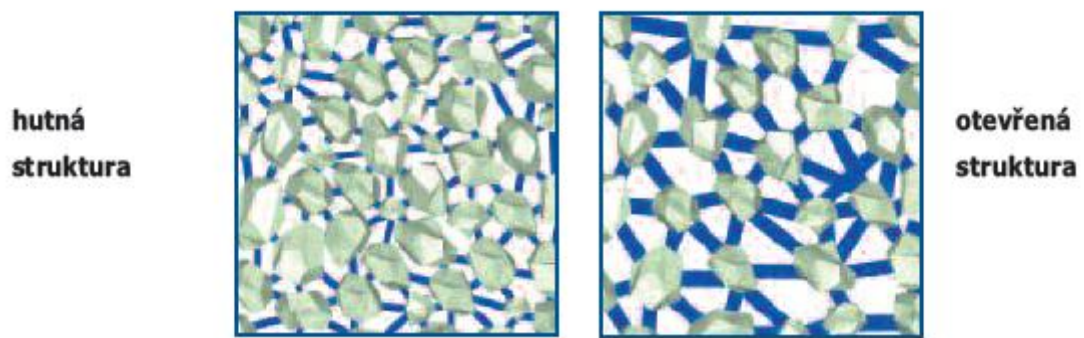
Struktura broušícího kotouče se uvádí číslem struktury od 1 do 18, které definuje vzdálenost jednotlivých brusných zrn v broušícím nástroji. Nízké číslo struktury označuje malé vzdálenosti zrn, vysoká čísla struktury označují velké vzdálenosti.

hutná 1 - 4

normální 5 - 7

pórovitá 8 - 11

velmi pórovitá 12 - 18



Obr. 15 Struktura zrna [11]

Podílem zrna a pojiva se určuje obsah pórů. Např. větším objemem pórů se může zavádět více chladicí kapaliny do brusného kontaktního pásma, aby se snížilo riziko spálení. [11]

### 2.5.6 Příklad označování brousícího kotouče

Tvar dle EN 12413

Rozměry v mm	Specifikace	Max. povolená obvod. rychlost
D x T x H – P x F		
300 x 25 x 32 x – 90 x 12	49C 80 K 9 V	40 ms <sup>-1</sup>

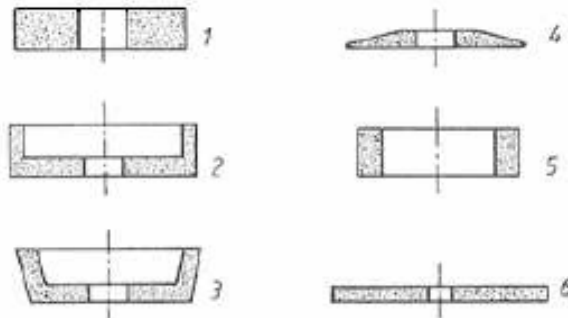
49C – typ zrna (zelený karbid křemíku)

80 – Zrnitost (jemná)

K – Tvrdost (měkká)

9 – Struktura (pórovitá)

V – Typ pojiva (keramické pojivo)



Obr. 16 Používané tvary brousících kotoučů

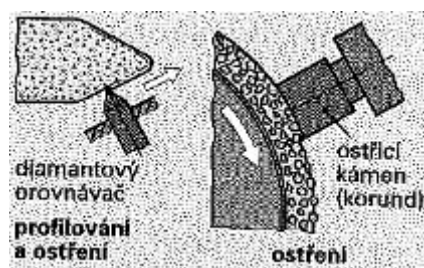
1 – plochý, 2 – hrncový, 3 – miskový, 4 – kuželový, 5 – prstencový, 6 – řezací [4]

### 2.5.7 Orovnávání brousících kotoučů

Orovnávání brusných kotoučů má dva cíle:

- Profilování tj. vytvoření tvaru kotouče, jehož rozměry jsou v požadovaných tolerancích. U nově upnutých kotoučů musí být také zkontrolována kruhovitost obvodu a rovinnost čel
- Ostření slouží k odstranění části pojiva a otupených zrn brusiva na povrchu kotouče, tj. odkrytí břitů zrn a zvětšení prostorů pro třísky mezi brusnými zrny.

Korundové a karborundové kotouče lze dostatečně orovnat jednokamennými nebo vícekamennými diamantovými orovnávači. Diamantové a CBN kotouče se orovnávají zpravidla ocelovými orovnávacími kolečky nebo keramickým orovnávacím kamenem. K ostření se používá korundový ostřicí kamen. [9]



Obr. 17 Orovnávání brousících kotoučů [9]



## 2.6 Další dokončovací metody

### 2.6.1 Honování

Je dokončovací metoda obrábění, při které se jakost obrobených povrchů zvyšuje řezným účinkem jemného brusiva. Honováním se dokončují hydraulické, pneumatické a brzdné válce, válce spalovacích motorů, bubny, pouzdra, ložiska vřeten apod. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy a další.

Nejčastěji se používá pro dokončování vnitřních válcových ploch. Honování je v podstatě broušení malou rychlostí jemným brusivem, vázaným v honovacích kamenech (lišťách) upevněných v honovací hlavě, při intenzivním použití řezných kapalin. Při honování vykonávají honovací kameny složitý šroubovitý pohyb.

### 2.6.2 Superfinašování

Je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních, tvarových a rovinných ploch. Nejvíce se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinašování je zvláštní metoda broušení, při němž se z dokončovacího povrchu odřezávají vrcholky nerovnosti velmi jemnými zrny brousícího nástroje.

### 2.6.3 Lapování

Je dokončovací metoda, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu. Lapují se funkční plochy měřidel (koncové měřky, kalibry). Lapování je zvláštní druh broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroje a obrobek. [1]

## 2.6.4 Dosahované parametry drsnosti obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění

Tab. 1 Dosahované parametry [1]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	Broušení				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	0,8 až 3,2
	dokončování	5	5 až 6	0,4	0,2 až 0,6
	jemné	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
	Lapování				
	normální	4	3 až 4	0,1	0,05 až 0,2
jemné	2	1 až 2	0,05	0,012 až 0,05	
Superfinišování	dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
	jemné	3	2 až 4	0,1	0,0025 až 0,1
Vnitřní rotační plochy	Vnitřní broušení				
	hrubování	9	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	Lapování				
	dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,01 až 0,4
	jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05
	Honování				
	hrubování	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
dokončovací	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2	
jemné	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,1	
Rovinné plochy	Broušení				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	Lapování				
dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4	
jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05	

### 3 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ

Obrobitelnost je technologická vlastnost daného materiálu, která charakterizuje jeho vhodnost k obrábění. Zahrnuje vliv mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, chemického složení, tepelného zpracování, struktury a způsobu výroby polotovaru na kvalitativní, kvantitativní a ekonomické výsledky procesu řezání. [1]

Obrobitelnost nelze vztáhnout jen k samotnému obrábění materiálu, protože závisí na způsobu obrábění a řezných podmínkách. Musí se proto rozlišovat obrobitelnost zjištěná při frézování, broušení nebo jiném druhu obrábění. Teoretický pojem obrobitelnosti nelze tedy odloučit od pojmu řezivost nástroje, protože konečný ekonomický, energetický a kvalitativní výsledek obrábění závisí mimo uvedené charakteristiky materiálu obrobku také na fyzikálních vlastnostech břitu nástroje. [1]

Materiál je tím lépe obrobitelný:

- čím vyšší je řezná rychlost při dané trvanlivosti břitu,
- čím větší je trvanlivost břitu při dané řezné rychlosti,
- čím menší je řezný odpor, měrný odpor a řezná práce, tj. čím je větší objemový součinitel odebraných třísek na 1 kW výkonu za 1 minutu,
- čím nižší je teplota řezání a čím je menší řezné teplo,
- čím menší je drsnost obrobeného povrchu,
- čím vyšší je přesnost obrobku.

Metody určení obrobitelnosti materiálu je možno rozdělit na dvě základní skupiny:

#### A. Přímá metoda

1. Komplexní obrobitelnost materiálu
2. Relativní obrobitelnost materiálu

#### B. Nepřímá metoda

Podstatou přímých metod určování obrobitelnosti materiálu je měření veličin v zóně řezu (např. teplota řezání). Při určování komplexní technologické obrobitelnosti materiálu zjišťujeme vliv materiálu na řezné síly, drsnost povrchu a tvarování třísky za podmínek noc nejvíc shodných s provozními podmínkami, při optimální geometrii nástroje a pro zvolený rozsah posuvů a hloubek řezů. Při určení relativní obrobitelnosti materiálu z hlediska praxe je žádoucí, aby geometrie nože pro etalonový a skutečný materiál byl optimální. To-

to platí nejen u určení kinematické, dynamické a mikrogeometrické obrobiteľnosti materiálů, ale i u určení obrobiteľnosti z hlediska tvarování (drobivé) třísky.

Podstatou nepřímé metody je definování kritéria obrobiteľnosti materiálu a to tak, že se navrhuje určitý parametr získaný speciálním zkoušecím stroji.

Z hlediska způsobu určení obrobiteľnosti materiálu rozdělujeme metody na:

- Destrukční metody pro určení obrobiteľnosti materiálu
- Nedestrukční metody pro určení obrobiteľnosti materiálu

Z hlediska časové náročnosti rozdělujeme metody určení

- Dlouhodobá zkouška
- Krátkodobá zkouška

Dlouhodobá zkouška poskytuje nejpřesnější výsledky. [16]

Při určování kinetické obrobiteľnosti materiálů nástrojem z RO se využívá úkaz zvaný katastrofální opotřebení, které nastává po dosažení určitého průměru při soustružení. Mírou dynamické obrobiteľnosti jsou řezná síla, krouticí moment nebo výkon potřebný k úběru obráběného materiálu a teplo. Řezné síly závisí od použitých řezných podmínek a proto hodnotu řezných sil je možno porovnat jen při určitých konvenčních podmínkách těchto parametrů. Mikrogeometrická obrobiteľnost má význam zejména při dokončovacích operacích, protože na ní závisí jakost obráběného materiálu a přesnost lineárních rozměrů. Drsnost povrchu ovlivňuje plastická deformace v procesu řezání. Tito činitelé jsou bezprostředně spojené s vlastnostmi materiálu obrobku. [6]

V praxi se pro jednotlivé metody obrábění nejčastěji používají relativní hodnocení obrobiteľnosti. Jako kritérium pro hodnocení obrobiteľnosti se používá kritérium kinetické, tj. podle řezné rychlosti.

Dalšími možným kritériem pro hodnocení relativní obrobiteľnosti může být: dosažená drsnost obrobené plochy, velikost opotřebení břitu nástroje, množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu, teplota řezání, druh a tvar třísek. [1]

Nejdůležitější vlastnosti materiálů z hlediska obrobiteľnosti:

- nízká intenzita otěru hřbetní plochy řezného břitu
- nízká vymílatelnost čelní plochy řezného břitu
- odolnost proti difuzi s řezným materiálem
- malý řezný odpor

- nízká teplota řezání
- malý sklon k zpevňování a ke vzniku pnutí vlivem řezání. [5]

Kritérium kinematické obrobiteľnosti s označením  $K_v$  – kritérium obrobiteľnosti podle  $T - v_c$  závislosti je definované jako poměr řezné rychlosti posuzovaného materiálu a etalonu. Aplikovaná řezná rychlost zaručuje definovanou trvanlivost. Hodnoty obrobiteľnosti  $K_v$  jsou seřazeny dle velikosti a vyjadřují obtížnost obráběného materiálu součásti ve 20 třídách obrobiteľnosti, přičemž nejhůře obrobitelné má třída 1, nejlépe pak třída 20.

Všechny technické materiály jsou rozděleny k tomuto účelu do 9 skupin, označeny písmeny malé abecedy

- a – litiny
- b – oceli
- c- těžké neželezné kovy a jejich slitiny (měď a slitiny mědi)
- d – lehké neželezné kovy a jejich slitiny (hliník a slitiny hliníku)
- e – tvrzené litiny pro výrobu válců
- f – plastické hmoty
- g – přírodní nerostné hmoty
- f – vrstvené hmoty
- g – pryže

Součinitel obrobiteľnosti:

Hodnota součinitele obrobiteľnosti  $K_v$  je dána poměrem:

$$K_v = \frac{v_{CT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{CT/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (1)$$

Kritérium dynamické obrobiteľnosti s označením  $K_f$  - je definované poměrem složek řezných sil, naměřených v procesech řezání posuzovaného materiálu a etalonu při stejných podmínkách procesu řezání.

Kritérium mikrogeometrické obrobiteľnosti s označením  $K_{Ra}$  – je definované poměrem drsnosti povrchu posuzovaného materiálu a etalonu při stejných podmínkách procesu řezání. [1,16]

### 3.1 Obrobitelnost pryží

Elastomery (přírodní a syntetická pryž) jsou směsí amorfních polymerů a dalších přísad. Vulkanizací se těchto materiálů vzniká "pryž, guma". Tyto materiály nejsou jen pružné, ale díky své viskoelastické povaze jsou schopny pohlcovat kinetickou energii. V tlaku a smyku vykazují relativně vysokou pevnost. Stejně jako u jiných materiálů může u nich dojít k materiálové únavě a jejich následnému porušení. Je možné definovat vlastnosti tohoto materiálu a využít numerické systémy k analýze jeho chování. Pro tyto účely je nutná dostupnost materiálových parametrů jako okrajové podmínky případného výpočtu a analýzy. [3]

Podobně jako kovy, mají i plasty odlišné fyzikální a mechanické vlastnosti, a proto mají odlišnou obrobitelnost. Všechny plasty mají špatnou vodivost. V procesu řezání je proto potřeba se postarat o odvádění tepla řezání. [5]

## 4 TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ

Tření je jev, který vzniká při pohybu tělesa v těsném kontaktu s jiným tělesem. Většinou je třením míněno tření mezi pevnými tělesy (tření s kapalnými nebo plynnými tělesy se označuje jako odpor prostředí). Při každém tření existuje třecí síla, která působí vždy proti pohybu. Při tření dochází ke ztrátě mechanické energie v průběhu, příp. na začátku nebo na konci relativního pohybu vzájemně se dotýkajících se ploch.

Rozdělení tření podle stavu kontaktních ploch:

- Suché – nastává tehdy, když mezi kluzné plochy není přiváděno mazivo
- Polosuché – nachází-li se mezi kluznými plochami nesouvislá vrstva maziva
- Mazné – na obou kluzných plochách pevně lpí tenká vrstva maziva a při zvětšeném zatížení se začínají tyto vrstvy trhat
- Kapalinné – jsou-li obě kluzné plochy odděleny dostatečnou vnitřní vrstvou maziva

Druhy maziv

- Plynná (vzduch, dusík, helium, oxid uhličitý)
  - Kapalná (ropné oleje, syntetické oleje, živočišné a rostlinné tuky, emulze, suspenze, voda)
  - Konzistentní (plastová maziv z ropných olejů, ze syntetických olejů, mazací pasty)
  - Pevná (grafit, pasty, kovy Pb, Cu, Sn, Au, Ag a speciální anorganické sloučeniny)
- [12]

### 4.1 Tření pryže

Hlavní překážkou v pochopení frikčních vlastností pneumatik je fakt, že neexistuje adekvátní, široce platný a jasně vyjádřený zákon tření pryže. Existují však modely základního frikčního procesu a základního chování pneumatiky. Dalším problémem je nepřesnost terminologie užívané při popisu frikčních procesů. Tento problém pravděpodobně z obecné tendence označovat všechny poměry záběrové síly k síle normálové jako koeficienty tření, ať dochází ke skluzu, či nikoliv.

#### 4.1.1 Klasifikace tření pryží

Definice, které následují, jsou uvedeny ke zpřesnění široce užívaného výrazu „koeficient tření“.

- Klasický koeficient tření je definován jako rovný  $F_S/F_W$ , kde  $F_S$  je síla tangenciální ke styčnému povrchu, která při působení na tuhé těleso iniciuje nebo udrží jeho klouzání,  $F_W$  je normálová síla ke styčné ploše, která drží klouzající členy ve styku.
- Neobjeví-li se skluz v žádném bodě, lze aplikovat  $F$  v tangenciálním směru ke styčnému povrchu na perfektně tuhé těleso tak, že na rozhraní vzniká uniformní trakční napětí  $\tau$ .
- Síla  $F_P$ , tangenciální ke styčnému povrchu, může být aplikována na ohebné těleso, jako nerotující pneumatika, což vyvolává nerovnoměrnou distribuci trakčních napětí na rozhraní.
- Pro válení zatížené pneumatiky na rovném povrchu je zapotřebí síly  $F_r$ . Nepůsobí-li další síla, nazývá se tato forma pohybu volné válení.
- Kontrolní síla  $F_c$ , ať již brzdná, záběrová nebo boční, může být aplikována na rotující pneumatiku. [13]

#### 4.1.2 Složky tření pryží

Tření pryže na běžných površích lze rozdělit na čtyři složky. Názvy těchto složek nejsou dosud pevně zakotveny. Jejich rozlišení je přehlednější ve výrazech třecí síly  $F$  než při použití koeficientu tření:

$$F_{celková} = F_{ad(hézní)} + F_{def(ormáční)} + F_{vis(kózní)} + F_{tr(hání)}. \quad (2)$$

Adhezní složka tření je výsledkem silných mezifázových vazeb v malých lokálních místech kontaktu mezi dvěma povrchy. Deformační složka je brzdná síla vznikající při klouzání pryžového vzorku po perfektně namazaném povrchu. Tato složka tření je nevýznamná, dokud nedojde ke skluzu. Viskózní složka třecí síly je vyvolávána přítomností vrstvičky kapaliny mezi pneumatikou a vozovkou. Předpokládá se, že tato vrstva je dostatečně silná, aby význačně snížila přímou vazbu nebo adhezi pryže pneumatiky a materiálu vozovky. Složka trhání je složka tření, která někdy může vznikat, když jsou od pryže odtrhávány tuhé kousky. [13]



### 4.1.3 Vlastnosti pryže

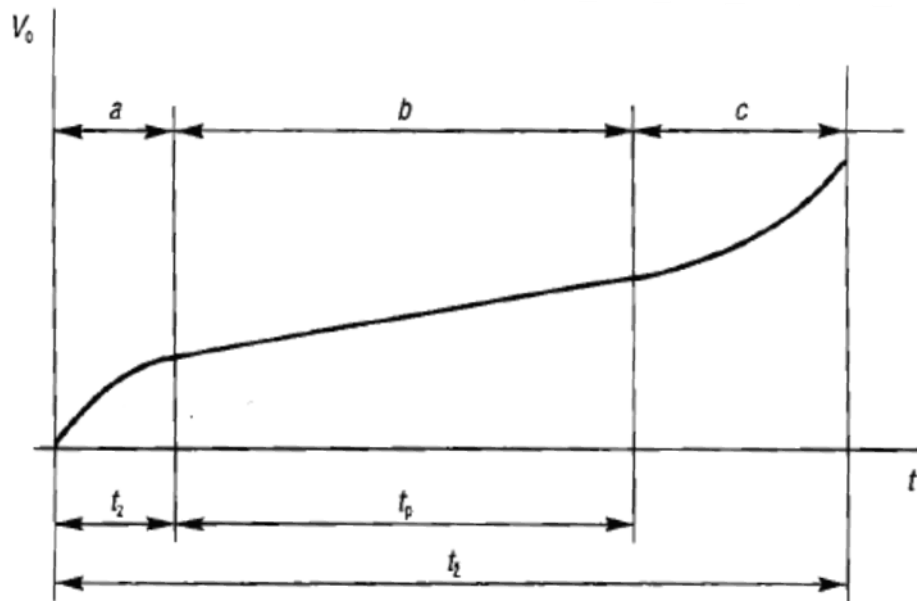
Neexistuje pryž, která by vykazovala velké tření na všech površích za všech podmínek. Vliv základního polymeru a přísad na frikční vlastnosti závisí i na řadě dalších faktorů určujících charakter procesu klouzání, a to na materiálu druhého povrchu, typu maziva a zatížení. Např. zvětšování podílu sazí zvětšuje koeficient tření na abrazivním povrchu, ale na hladkém povrchu při malém zatížení jej snižuje.

Měkké směsi obvykle dávají vyšší koeficienty tření než směsi tvrdší na hladkých površích při malém zatížení. Zpracovatelské oleje pryž změkčují, zatímco rostoucí stupeň zesíťení dává tvrdší pryž a menší tření. Vliv vlastností pryže je komplexní. Volba základního polymeru a přísad může ovlivnit frikční vlastnosti nejen svým vlivem na fyzikální parametry, jako je tvrdost, ztráty pryže způsobené tlumením a povrchová drsnost, ale také změnami chemické adheze a povrchového znečištění. [13]

## 4.2 Opotřebení

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, způsobena buď vzájemným působením funkčních povrchů a média, které opotřebení vyvolává. Projevuje se jako odstraňování nebo přemísťování částic hmoty z funkčního povrchu mechanickými účinky, popřípadě doprovázenými i jinými vlivy (např. chemickými nebo elektrochemickými.) [14]

Opotřebení rozlišuje podle převažujících příčin, které je způsobují tyto základní druhy opotřebení: adhezní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační. V praxi se většinou toto základní druhy kombinují nebo přecházejí jeden v druhý, může tak vznikat několik variant. Opotřebení je užitečné pouze při záběru součásti nebo strojů.



Obr. 18 Časový průběh opotřebení součásti

$a$  – záběh,  $b$  – ustálené provozní proměny,  $c$  – progresivní růst opotřebení (má havarijní charakter),  $t$  – čas,  $t_p$  – doba ustáleného provozu,  $t_z$  – doba záběhu,  $t_z$  – doba životnosti,  $V_o$  – objemové opotřebení

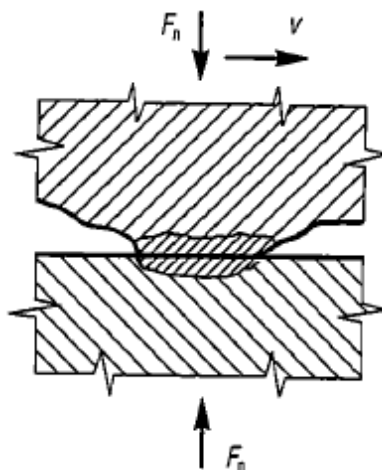
#### 4.2.1 Základní druhy opotřebení

##### - Adhezní opotřebení

Adhezní opotřebení vzniká při vzájemném smýkání dvou povrchů tuhých těles, které jsou k sobě přitlačovány normálovou silou  $F_n$ . Silové účinky vytvářejí adhezivní mikroskopické spoje, které se pohybem součásti hned rozruší. Uvolněné částice z povrchu buď přilnou zpět k původnímu povrchu, nebo ulpí na povrchu druhého tělesa, anebo vstoupí jako volné mezi funkční plochy. Intenzitu adhezivního opotřebení značně ovlivňuje přítomné mazivo mezi funkčními plochami a vhodná volba materiálu třecích ploch součásti.

Při vhodné kombinaci materiálu a při kvalitním mazivu dochází pouze k mikroskopickým deformacím, a tím k vyhlazení povrchů. V opačném případě mohou být povrchy těžce poškozeny. [12]

Příklad výskytu je například při nízkých teplotách u obrábění. Vyskytuje se na čele břitu nástroje. Může vzniknout jak u obrábění ocelí s tvorbou dlouhé třísky, tak i u materiálů s krátkou třískou. [1]



Obr. 19 Adhezní opotřebení ( $v$  – rychlost pohybu součásti) [14]

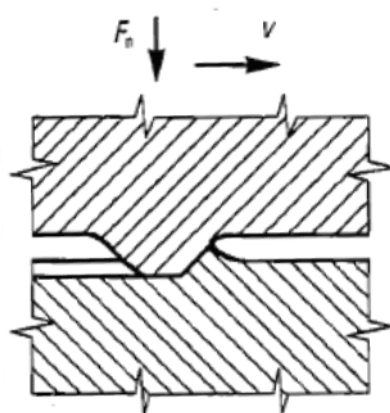
- **Abrazivní opotřebení**

K abrazivnímu opotřebení dochází při styku dvou funkčních povrchů, z nichž jeden nebo oba jsou tvrdé a drsné, nebo jsou mezi nimi přítomny volné tvrdé částice. Opotřebení se projevuje typickými rýhami na funkčních plochách, které mohou být při intenzivním působení i velmi hluboké. [12]

Abrazivní otěr je významný především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností. [1]

U abraze rozlišujeme prakticky dva případy:

- opotřebovávají-li tvrdé částice jeden funkční povrch, jde o interakci dvou těles (částic) a součásti
- abrazivní opotřebení částicemi, které jsou mezi dvěma funkčními povrchy; [14]



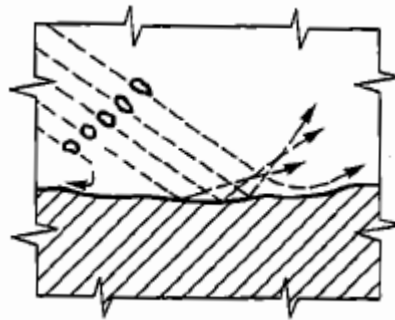
Obr. 20 Abrazivní opotřebení [14]

### - Erozivní opotřebení

Je charakterizováno oddělováním částic a poškozováním funkčního povrchu

- Částicemi nesenými proudem kapaliny (součásti potrubí, turbín, čerpadel)
- Částicemi nesenými proudem plynu (součásti ventilátorů, potrubí, armatur)
- Proudem kapaliny, páry nebo plynu

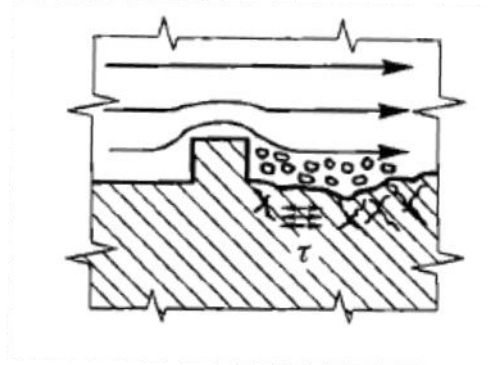
Intenzita erozivního opotřebení je ovlivněna řadou faktorů, vztahujících se jak k působícímu médiu a částicím, tak i exponovanému povrchu. Pro účinek erozivního média s částicemi je rozhodující kinetická energie. Pro erozivní opotřebení je jedním z typických jevů nerovnoměrné porušení funkčního povrchu a často jeho výrazné zvlnění. [14]



Obr. 21 Erozivní opotřebení [14]

### - Kavitační opotřebení

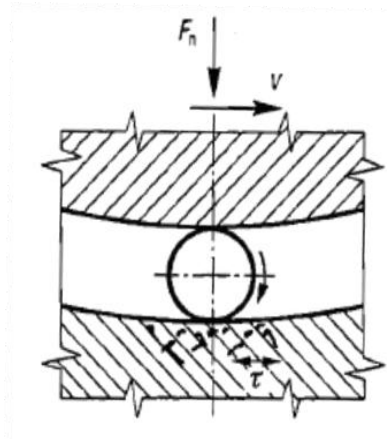
V případě kavitačního opotřebení probíhá oddělování částic z povrchu funkčních ploch jen v oblastech, kde vznikají nebo zanikají kavitační dutiny při proudění kapalin. Vyvolané dynamické účinky a vznikající rázy působí na povrch jako kontaktní tlaky. V těchto místech se zvýší pohybová energie proudící kapaliny a současně poklesne tlak pod hodnotu nasycených par kapaliny při dané teplotě. Následkem je vytvoření dutin v kapalině, které vyplní uvolněné páry. Při dalším proudění naopak stoupne tlak, dutiny zanikají a vznikají dynamické rázy, které způsobí poškození povrchu. [12]



Obr. 22 Kavitační opotřebení [14]

#### - Únavové opotřebení

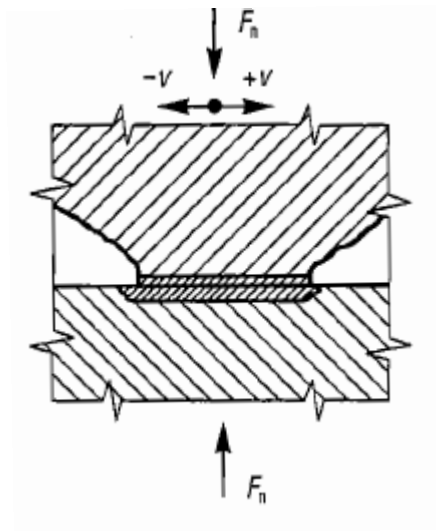
Pro únavové opotřebení je charakteristická kumulace poruch v povrchové vrstvě materiálu při cyklickém namáhání a současném působení normálových sil. Vlivem kolísání smykových napětí pod povrchem funkčních ploch dochází k poruchám soudržnosti materiálu. Nejčastějším projevem poškození povrchu je tvoření důlků (pitting). Jejich vznik je způsoben mazivem vnikajícím do povrchových trhlin při kontaktních tlacích. [12]



Obr. 23 Únavové opotřebení [14]

### - Vibrační opotřebení

Je charakterizováno oddělováním částic vzájemnými kmitavými tangenciálními posuny funkčních povrchů s amplitudou několik desítek mikrometru při působení normálového zatížení. Při tak malých posuvech je odstraňování opotřebovaných částic značně ztíženo. Vibrační opotřebení nejčastěji vzniká u různých pohyblivých uložení, která přenášejí vlastní kmity způsobené cizím zdrojem, např. u valivých ložisek, čepů, hřídelů, nalisovaných spojení atd. [14]



Obr. 24 Vibrační opotřebení [14]

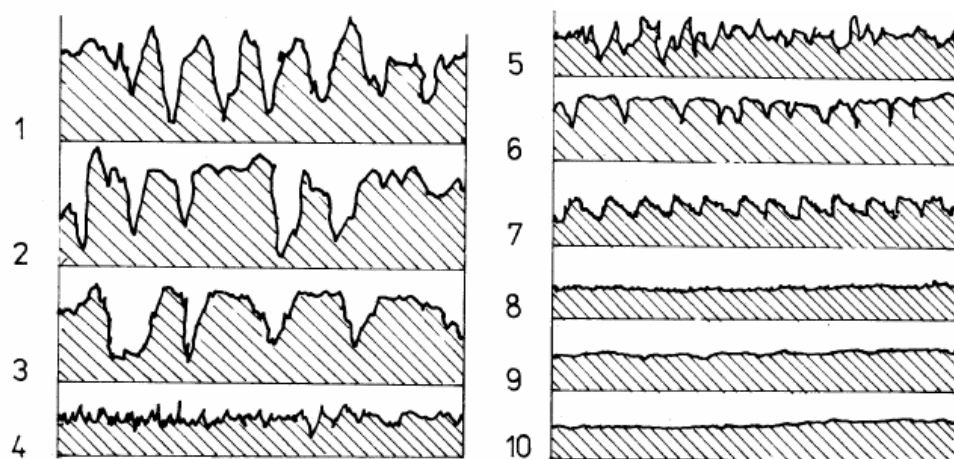
## 5 HODNOCENÍ JAKOSTI OBROBENÉ PLOCHY

Jakost broušené plochy můžeme posuzovat jako souhrn geometrických a chemických vlastností skutečného povrchu vyšetřované plochy. To znamená povrchu, který tvoří hranici a zároveň odděluje těleso obrobku od okolního prostředí. Na jakosti závisí například funkční vlastnosti strojů, životnost, nebo pevnost jednotlivých součástí, a také vzhled či výrobní náklady. Při hromadné či sériové výrobě je nutné dodržení stejné a požadované jakosti povrchu funkčních ploch, což je jedno z nutných podmínek úplné zaměnitelnosti součástí.

Stav jednotlivých broušených ploch hotové součásti záleží jednak na způsobu zpracování materiálu na polotovaru, ale také na způsobu obrobení vyšetřované plochy. Podle toho lze na obrocích rozlišit plochy obrobené a neobrobené, nebo s povrchovou úpravou či bez ní. Jakost broušené plochy má značný vliv na přesnost a trvanlivost stroje. Hrubší a nerovnoměrný obrobený se při chodu stroje časem vyhladí. Při vyšetřování jakosti broušené plochy strojových součástek je nutné rozlišovat druh povrchu, vlnitost a drsnost povrchu. [7]

Obecný druh povrchu může být:

- neopracovaný - součástky odlité, lisované, kované, válcované apod.
- opracovaný – povrch součásti je soustružený, hoblovaný, frézovaný, broušený apod.



Obr. 25 Profil obrobeného profilu při různých metodách obrábění

1 – soustružení, 2 – vrtání, 3 – frézování, 4 – broušení, 5 – vystružování, 6 – protahování,  
7 – soustružení diamantem, 8 – honování, 9 – lapování, 10 – superfinišování

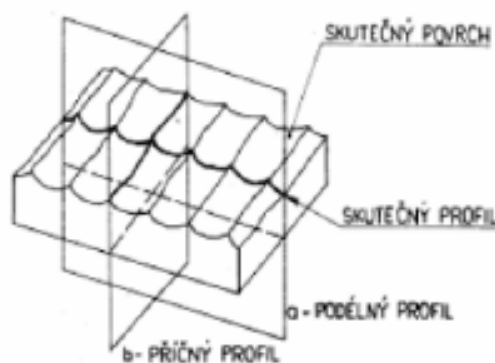
## 5.1 Drsnost povrchu

Drsností povrchu se nazývají rozměrově nepatrné nepravidelnosti povrchu (vyvýšeniny, prohlubně, důlky, rýhy apod.). Drsnost povrchu je jednou z nejdůležitějších hodnot při posuzování kvality a jakosti broušeného povrchu. Podstata tohoto hodnocení vyplývá z toho, že drsnost povrchu funkčních ploch obrobku ovlivňuje ve velké míře spolehlivost, přesnost a trvanlivost celého zařízení.



Obr. 26 Nerovnosti povrchu [20]

Vyhodnocujeme - li drsnost povrchu, setkáváme se s dvojí drsností povrchu, podle toho, ve kterém směru ji pozorujeme a měříme. Můžeme rozeznat drsnost příčnou, kterou měříme v rovině kolmé na směr hlavního řezného pohybu, který souhlasí se smyslem otáčení brusného kotouče, a drsnost podélnou, měřenou ve směru hlavního řezného pohybu. [7,8]



Obr. 27 Příčná a podélná drsnost povrchu [10]



Vlnitost povrchu je nepravidelnost povrchu, která není způsobena jen obráběcím nástrojem nebo strojem, ale společným působením soustavy stroj-nástroj-obrobek. Posuzujeme ji podle toho, jak byl dodržen předepsaný geometrický tvar plochy v celém jejím rozsahu. Neobrobený povrch nebo jen ručně obrobený povrch je vlnitý. Běžným obráběním se dosáhne povrchu s malou vlnitostí. Dokonalý rovnoměrný povrch se získá jen velmi přesnou strojovou výrobou.

## 5.2 Charakteristika drsnosti povrchu

Požadavky na drsnost se vyjadřují charakteristikou drsností povrchu podle ČSN 01 4451 a to číselnou hodnotou příslušné veličiny a základní délkou, na které se veličina určuje. Normalizované drsnosti povrchu jsou:

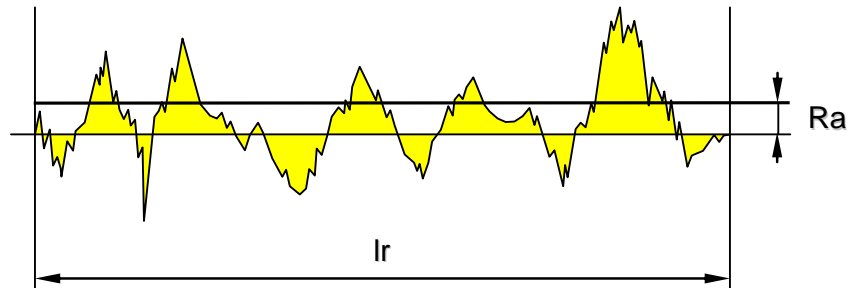
- $R_a$  - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
- $R_z$  – největší výška profilu
- $R_t$  – celková výška profilu
- $R_{sm}$  - průměrná šířka prvku profilu
- $R_{m(r)}$  - vzájemný materiálový poměr
- $l_a$  – vyhodnocovaná délka
- $l_r$  – základní délka

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$

Tato úchylka je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu měřené délky  $l_r$ .

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

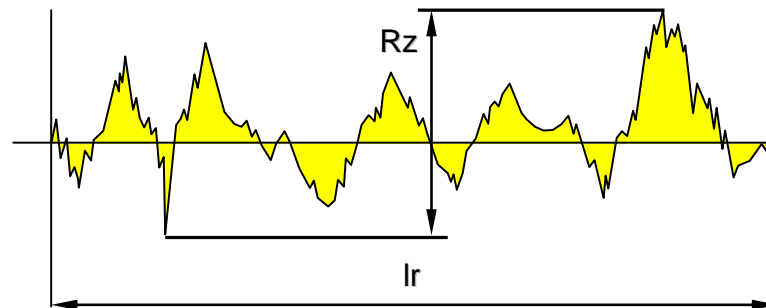
Střední aritmetická odchylka profilu  $R_a$  je základní charakteristikou pro popis mikromeetrie povrchu. Naměřené hodnoty této veličiny vykazují při opakovaném měření poměrně značnou přesnost.  $R_a$  neumožňuje představu o tom, jak povrch vytvořený technologickou operací skutečně vypadá.  $R_a$  udává pouze střední hodnotu vzdáleností souřadnic jednotlivých bodů profilu zkoumaného povrchu od střední čáry profilu. [8]



Obr. 28 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$

### Největší výška profilu $R_z$

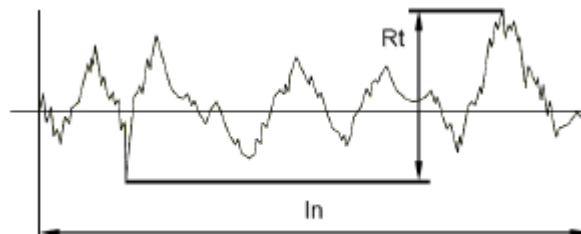
Je definována jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ . [8]



Obr. 29 Největší výška profilu  $R_z$

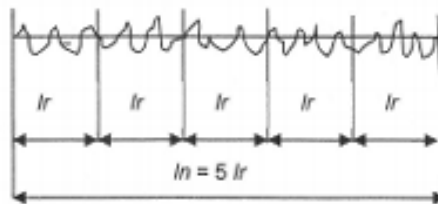
### Celková výška profilu $R_t$

Celková výška profilu  $R_t$  je součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky  $l_n$ .



Obr. 30 Celková výška profilu  $R_t$

Vyhodnocovaná délka  $l_n$  - je délka ve směru osy x, na které se vyhodnocuje profil drsnosti. Může obsahovat jednu nebo několik základních délek.



Obr. 31 Vyhodnocovaná délka  $l_n$

Základní délka  $l$  - je délka ve směru osy, která se používá na identifikování nepravidelností, které charakterizují profil, metodou nejmenších čtverců z profilu. Základní délka se volí podle hodnot měřené drsnosti povrchu.

Střední aritmetická čára profilu (centrální čára) - je základní čára, která má tvar geometrického profilu a je paralelní s hlavním směrem profilu v rozsahu základní délky tak, že v rozsahu základní délky je součet ploch, ohraničených střední aritmetickou čarou a profilem, na obou jejích stranách stejný. [7]

### 5.3 Metody měření struktury povrchu

Struktura povrchu se určuje přímým nebo nepřímým měřením profilu přístroji různé konstrukce i různé přesnosti. Metody měření jsou:

- Kvalitativní (porovnávací) – subjektivní porovnávání struktury povrchu se vzorky povrchů nebo s etalony vzorkovnic.
- Kvantitativní (parametrická) – určení číselných hodnot parametrů struktury povrchu podle normy.

Měřicí přístroje dělíme podle principu, na kterém pracují na:

- Mechanické – profiloměry, profilometry, profilografy.
- Elektricko-mechanické – piezoelektrické, indukční.
- Optické – interferenční, světelné řezy.

#### 5.3.1 Princip měření struktury povrchu dotykovým profilometrem

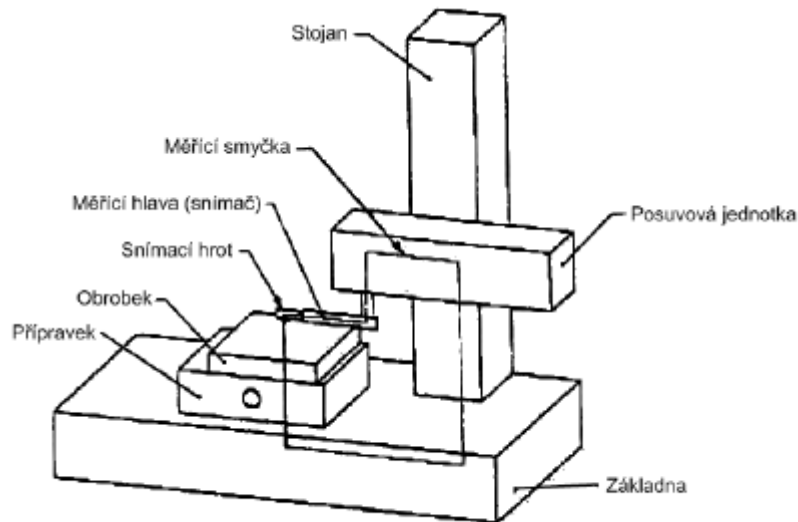
Dotykové profilometry jsou nejrozšířenějšími přístroji pro měření struktury povrchu. Metoda využívá ostrého hrotu, který se v daném směru posouvá po povrchu. Pohyb hrotu se přemění na elektrický signál a měřicí přístroj získává úchylny ve formě profilu po-

vrchu, který je schopen zaznamenat a také vypočítat parametry struktury povrchu. Nejvhodnějším tvarem snímacího hrotu je kužel s vrcholovým úhlem  $60^\circ$  nebo  $90^\circ$  se zaobleným hrotem.

Snímání profilu měřeného povrchu může být:

- Absolutní – měřicí základna je velmi přesná dráha snímače (do měřené hodnoty se promítá drsnost, vlnitost i úchytky přímosti).
- Relativní – měřicí základna je dráha generovaná kluznou patkou klouzající po měřeném povrchu.

Měřicí smyčka dotykového měřicího přístroje je uzavřený řetězec, zahrnující všechny mechanické části propojující měřený objekt a snímací hrot. [10]



Obr. 32 Schéma měřicího přístroje

## **6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Vypracovat teoretickou studii na dané téma

Příprava experimentu a vzorků pro rovinné broušení na brusce BRH 20.03F

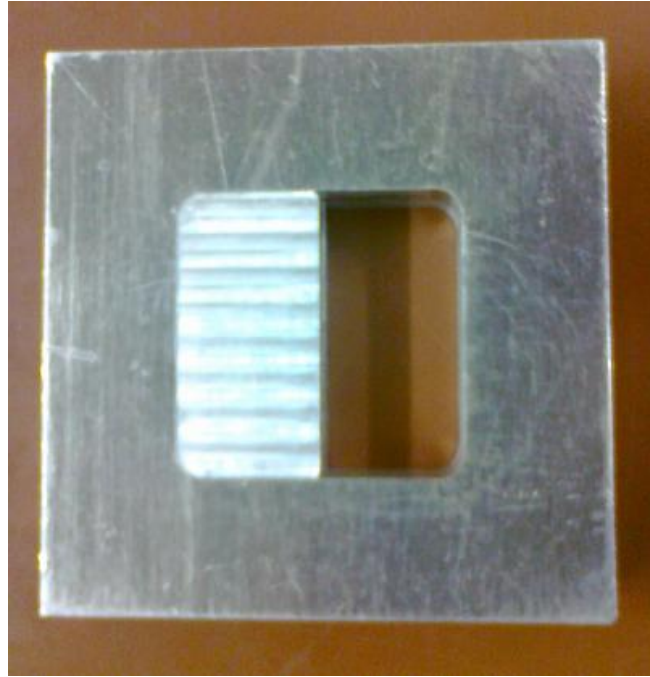
Měření obrobiteľnosti a jakosti broušených povrchů v závislosti na řezných podmínkách

Vyhodnocení naměřených dat podle zásad statistiky

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

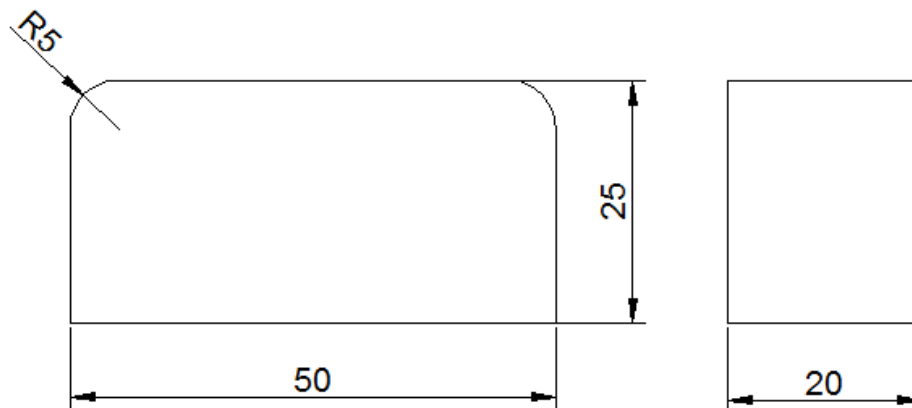
## 7 ÚPRAVA FORMY PRO VULKANIZACI PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Z důvodu velké deformace a malé tuhosti pryžových vzorků upnutých ve svěráku při rovinném broušení, byla lisovací forma upravena tak, že se polovina formy vyplnila duralovou vložkou.



Obr. 33 Úprava formy

Výlisek pro experimenty obrobitelnosti broušením má rozměry 50x 25x 20 mm a tvar podle obr. 34.



Obr. 34 Tvar a rozměry pryžových vzorků používaných při experimentu

## 8 POUŽITÉ PRYŽOVÉ VZORKY A VULKANIZACE VE FORMĚ

K přípravě zkušebních vzorků bylo použito 6 kaučukových směsí (uvedeny v tab. 2). Směsi byly nejprve zpracovány na dvouválci. (obr. 36), kde došlo k plastikaci. V průběhu plastikace se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, což umožňuje a zlepšuje průběh dalších technologických operací. Nadměrnou plastikací se zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů a zhoršuje se i odolnost proti únavě a stárnutí. Po zpracování kaučukové směsi na dvouválci byla vyseknuta na vysekávacím stroji (obr. 37) požadovaná navážka (cca 33 g), která byla vložena do formy. Následně byla forma vložena do lisu (obr. 38), kde za přesně definovaných podmínek, tj. teploty a času došlo k vulkanizaci. Uzavírací síla lisu byla 120 MPa. Vylisované zkušební vzorky jsou na (obr. 35).

Tab. 2 Použité kaučukové směsi na přípravu zkušebních vzorků

Kaučuková směs - č. receptury	Druh kaučuku	Dsk	Podmínky lisování [°C/min]
T 317	NR+BR	85+15	160°C/16'
TP 44	SBR+IIR+BR	70+15+15	160°C/16'
9341/75	NBR+CIS+BR	75+15+10	160°C/10'
275	SBR	100	150°C/20'
346	IIR	100	170°C/60'
733	CR	100	150°C/20'

Tab. 3 Použité kaučukové směsi a jejich tvrdosti [19]

Kaučuková směs - č. receptury	Druh kaučuku	Tvrdost SHORE
T 317	NR+BR	57,33
TP 44	SBR+IIR+BR	52,38
9341-358	NBR+CIS+BR	59,04
275	SBR	54,34
346	IIR	78,97
733	CR	51,65

Byly využity stejné kaučukové směsi jako v případě výzkumu dynamické obrobiteľnosti pryžových materiálů broušením, proto uvádím výsledky měření tvrdosti Ing. Matuly.





*Obr. 35 Vylisované zkušební vzorky*



*Obr. 36 Dvouválec pro míchání směsí*



*Obr. 37 Vysekávací stroj*



*Obr. 38 Hydraulický lis*

## 9 BROUŠENÍ VZORKŮ

K broušení byly použity již předem připravené pryžové vzorky, které byly postupně upnuty do svěráku na posuvném stole brusky BRH 20.03 F. Při broušení obvodem kotouče bruska vykonávala podélný vratný pohyb posuvovou rychlostí  $v_{fn}$  a brousící kotouč se otáčel obvodovou rychlostí  $v_s$ . Po přejezdu brousícího kotouče po povrchu pryžového vzorku docházelo také za pomoci dvousložkového tenzometrického dynamometru a počítačového softwaru *Conmes Spider 8* k zaznamenávání složek řezných sil. Měření složek řezných sil proběhlo 30x na každém zkušebním vzorku při nejnižší posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a při hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm. Nakonec byla měřena drsnost povrchu na 30-ti různých místech v podélném směru na povrchu broušeného vzorku pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-301. U materiálu TP44 byly při broušení měněny technologické podmínky. Postupně se měnila posuvová rychlost 7 m/min, 14 m/min, 21 m/min a 23 m/min. Při každé rychlosti bylo broušeno při hloubce řezu 0.01 mm, 0.02 mm, 0.03 mm a 0.04 mm. Otáčky brousícího kotouče byly nastaveny na  $n_s = 2550$  ot. /min.

Data byla následně zpracována v programu Microsoft Excel a Minitab 15 dle zásad statistiky. Během broušení se měnily technologické podmínky, které jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Technologické podmínky

Hloubka řezu $a_e$ [mm]	Posuvová rychlost $v_f$ [m/min]
0,01	7
0,02	14
0,03	21
0,04	23

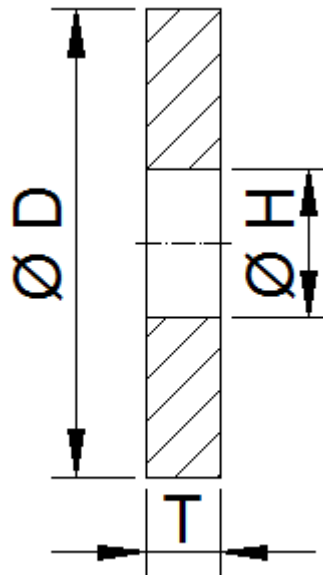
Kotouč používaný při broušení:

Kotouč č.	Označení	Typ zrna	Zrnitost	Tvrдост	Pórovitost
1	250 x 20 x 46 99A 30 P8V	hnědý korund	střední	tvrdá	střední

Rozměry brousícího kotouče 99A 30 P 8 V:

250 x 20 x 46 mm, kde:

vnější průměr  $\varnothing D = 250$  mm, šířka kotouče  $T = 20$  mm, průměr upínací díry  $\varnothing H = 46$  mm



Obr. 39 Schéma brousícího kotouče

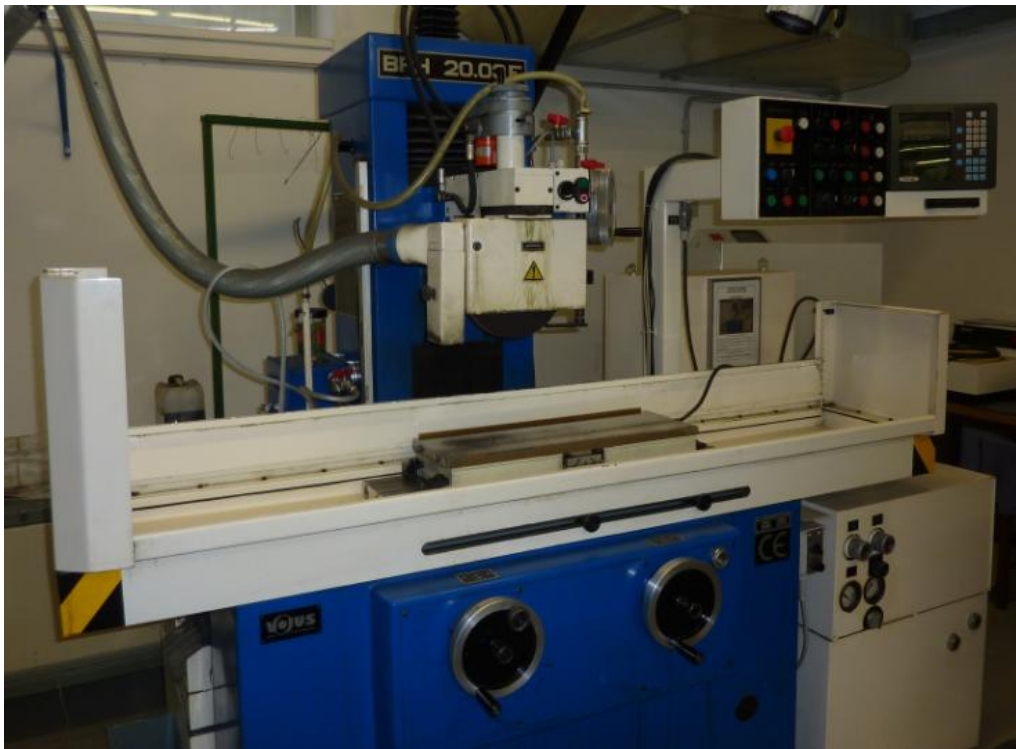
Charakteristika brousícího kotouče:

99A 30 P 8 V – jedná se o kotouč z hnědého umělého korundu  $Al_2O_3$  se střední velikostí zrna, pórovitou strukturou, keramickým pojivem a tvrdostí označovanou jako tvrdá, který je vhodný k broušení měkkých materiálů.

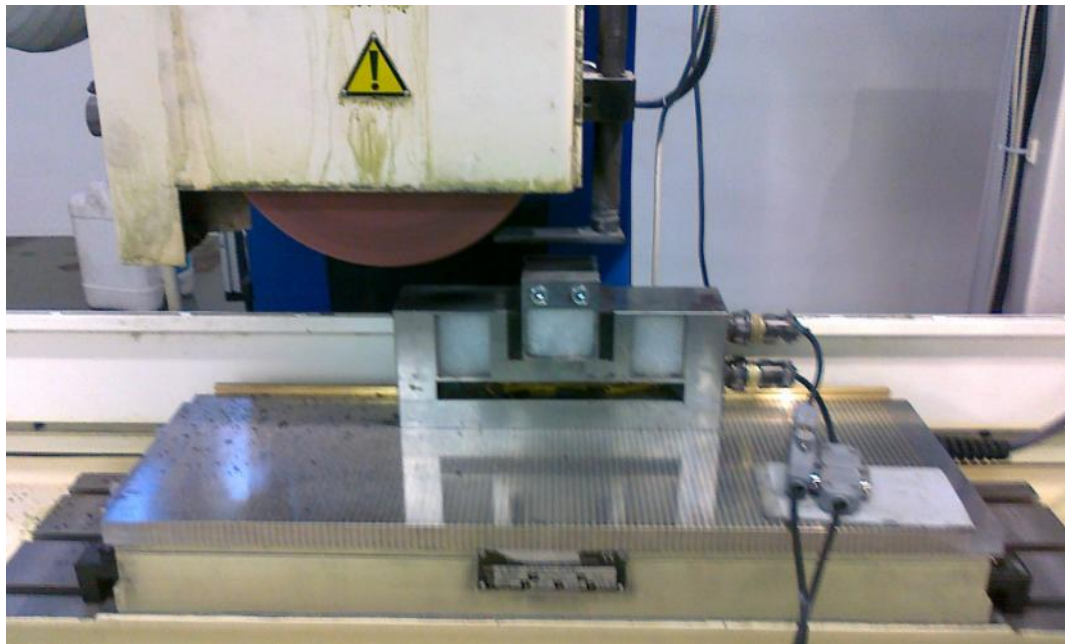
Brousící kotouč 99A 30 P 8 V, který má poměrně velkou tvrdost, byl zvolen s ohledem na měkký materiál obrobku. Příliš měkké kotouče se rychle opotřebovávají. Zrna se vylamují dříve, než se na nich vybrousí plochy s velkým třecím odporem. Brousící kotouč se vylamuje a nezachovává svůj tvar. Naopak v příliš tvrdých kotoučích se dlouho drží tupá zrna, která mažou a leští materiál obrobku. [9]

## 9.1 Vodorovná rovinná bruska BRH 20.03 F

Bruska se vyznačuje horizontálním vřetenem s pravoúhlým stolem. Je určena pro broušení rovinných a tvarových ploch dílců z oceli, litiny či jiných kovových materiálů, kde je požadována vysoká rozměrová přesnost. Tento typ brusky je nejvíce využíván pro obvodové broušení a dílce se zde upínají buď přímo na elektromagnetickou desku, nebo do upínacího zařízení v podobě svěráku. Bruska je vybavena číslicovým odměřováním NV 300E fy FAGOR, která napomáhá odměřovat dráhu v příčném či podélném směru stolu. Stůl brusky koná podélný vratný pohyb po vedení vytvořeném na předním loži a příčný posuv vytváří vřeteník společně se stojanem, ve kterém je vytvořeno vedení pro jeho svislý posuv. [18]



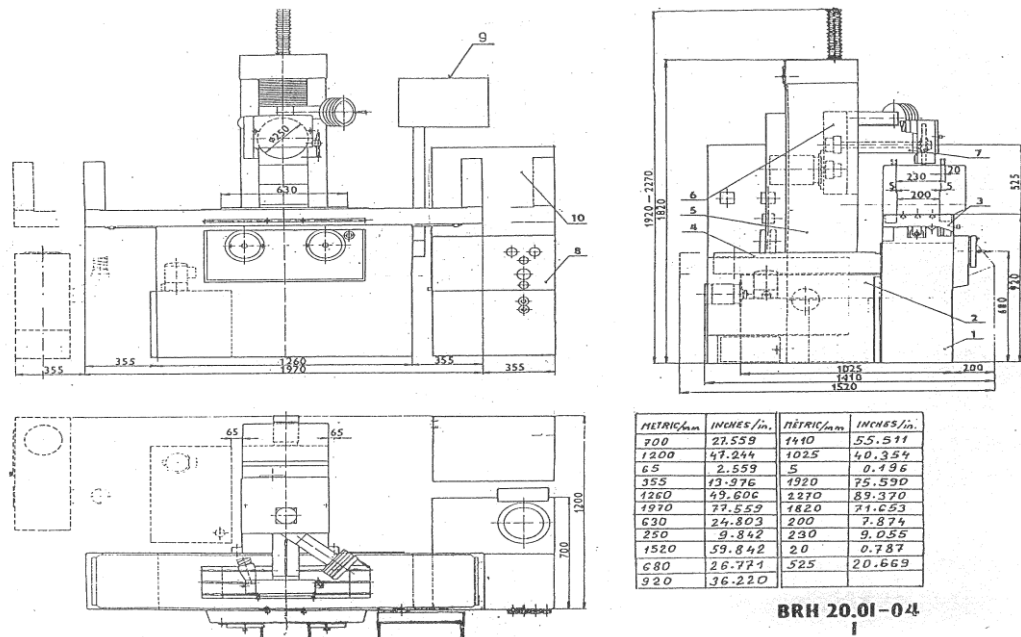
*Obr. 40 Bruska BRH 20.03 F*



*Obr. 41 Detailní záběr na upnutí vzorku*

*Tab. 5 Technické parametry brusky BRH 20.03 F [18]*

Parametr	Hodnota	Jednotka
Pracovní plocha stolu	200x630	mm
Největší šířka broušení bez výběru brousícího kotouče	230	mm
Největší délka broušení	630	mm
Max. vzdálenost osy vřetena od upínací plochy stolu	525	mm
Rozměry brousícího kotouče ( $\varnothing$ x šířka x upínací díra)	250x20-50x76	mm
Minimální průměr brousícího kotouče	120	mm
Max. šířka složených brousících kotoučů	100	mm
Max. délka x šířka stroje	2,7 x 1,5	m
Výška stroje	2240	m
Hmotnost stroje	1860	kg



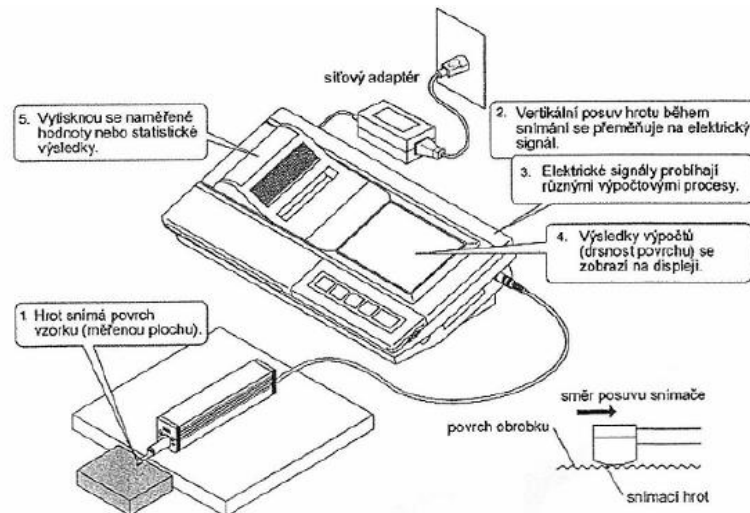
Obr. 42 Schéma brusky BRH 20.03 F

1 - přední lůžko, 2 - zadní lůžko, 3 - stůl, 4 - příčné sáně, 5 - stojan, 6 - svislé sáně, 7 - brusný vřeteník, 8 - hydraulický agregát, 9 - ovládací panel, 10 - skříň elektrovýzbroje

## 9.2 Drsnoměr Mitutoyo SJ – 301

Tento typ měřicího přístroje je určen pro měření drsnosti povrchu v dílenském prostředí. Přístroj splňuje kritéria mezinárodních standardů ISO, DIN, ANSI a JIS. Drsnoměr obsahuje dotkový snímací hrot, který měří strukturu povrchu a vyhodnotit za pomoci řady parametrů podle národních a mezinárodních norem. V mém případě bylo měření prováděno za pomoci normy ČSN EN ISO 4287.

Snímací hrot přístroje zaznamenává i nejjemnější nepravidelnosti povrchu vzorku. Jakost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. [17]



Obr. 43 Schéma měřicího zařízení Mitutoyo SJ – 301 [17]



Obr. 44 Detailní záběr při měření drsnosti

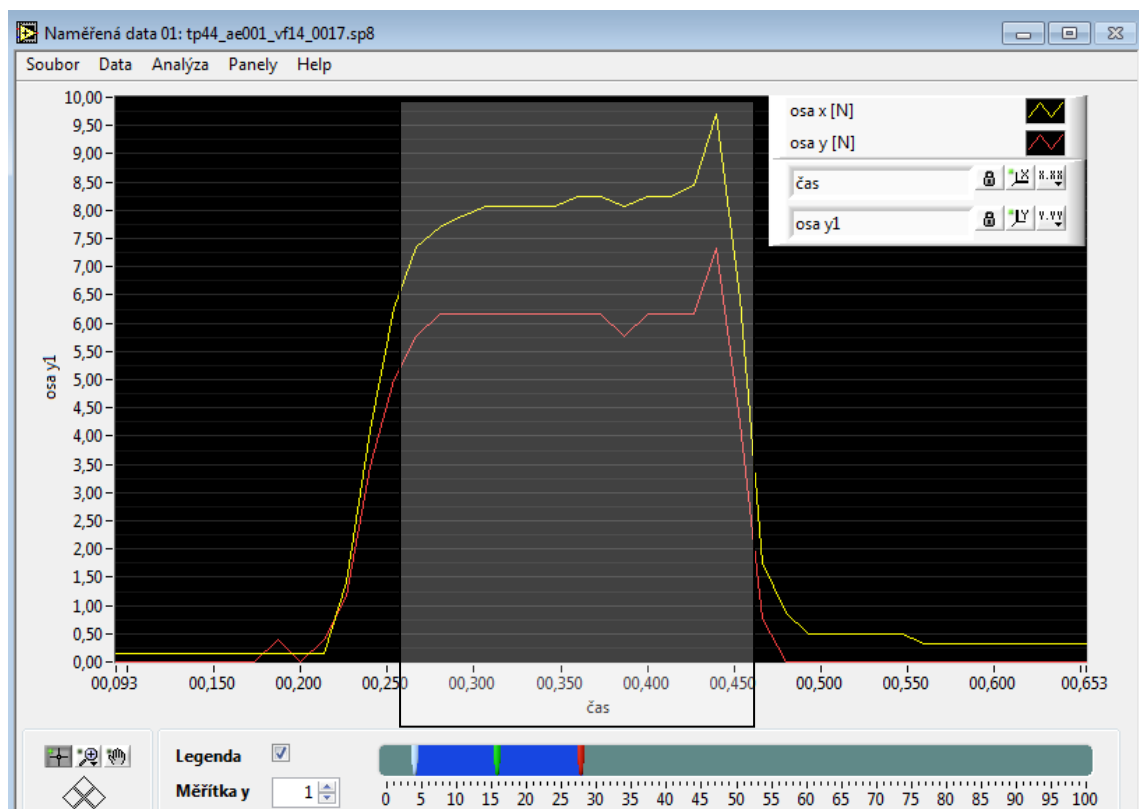
### 9.3 Vyhodnocení složek řezných sil

Měření řezných sil při broušení bylo prováděno na dvousložkovém tenzometrickém dynamometru (obr. 45). Dynamometr byl upevněný na pracovním stole brusky a v něm upnutý materiál určený k broušení. Pomocí převodníku Spider 8 se elektrický impulz měnil na silové zatížení. Program pak k tomu určený zaznamenával naměřené hodnoty v podobě grafů.





Obr. 45 Dvousložkový tenzometrický dynamometr



Obr. 46 Charakteristika měření zapsána pomocí programu Conmes Spider

Z grafu lze vidět, že při záběru brousícího kotouče do materiálu hodnota síly vzroste a ihned po ukončení klesá zpět k nulovým hodnotám. Oblast vyznačená šedým obdélníkem byla oblast pro zpracování dat z měření řezných sil v programu Conmes Spider.

## 10 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

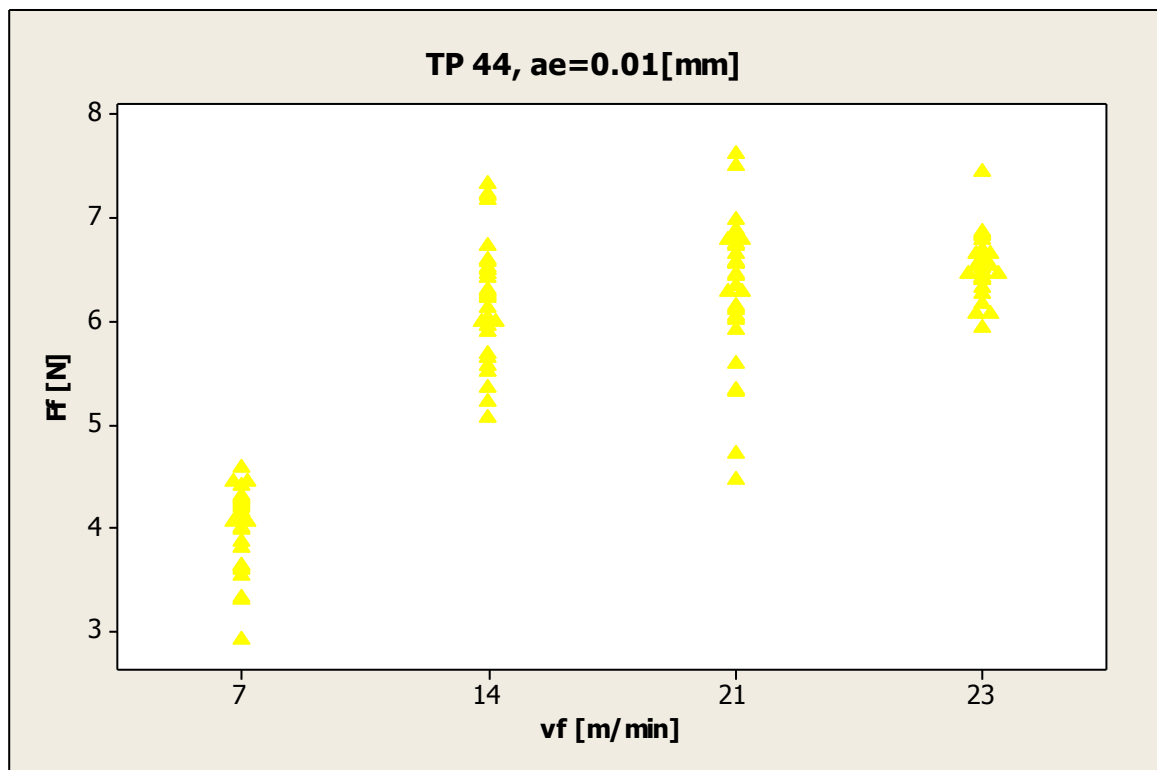
Dle zásad statistiky byla zpracována data s drsností povrchů a řezných sil. V programu Minitab 15 byla provedena kontrola na odlehle hodnoty, časový vývoj u parametrů drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  a také u složek řezných sil  $F_f$  a  $F_p$  pro zadané materiály dle stanovených podmínek měření.

### 10.1 Měření složek řezných sil

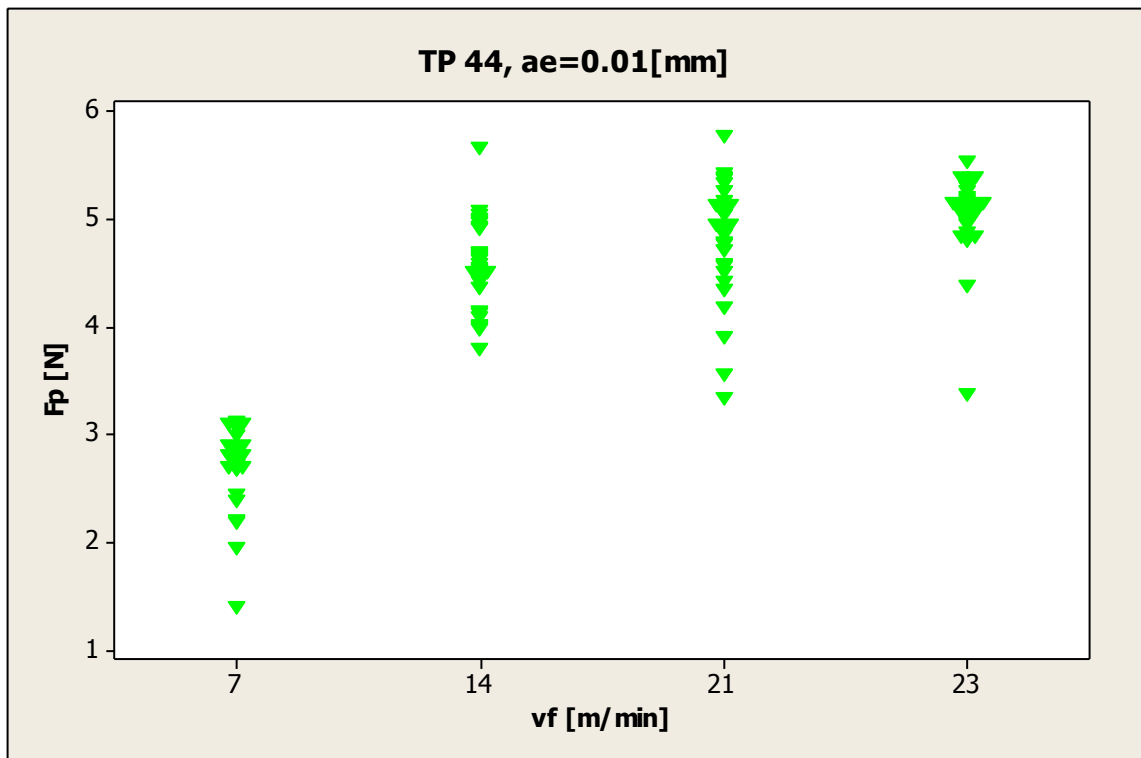
Při broušení bylo prováděno měření složek řezných sil za pomoci programu Conmes Spider, kde byly následně vyhodnoceny závislosti řezných sil na posuvové rychlosti při konstantní hloubce řezu pro jednotlivé směsi.

#### 10.1.1 Kontrola na odlehle hodnoty

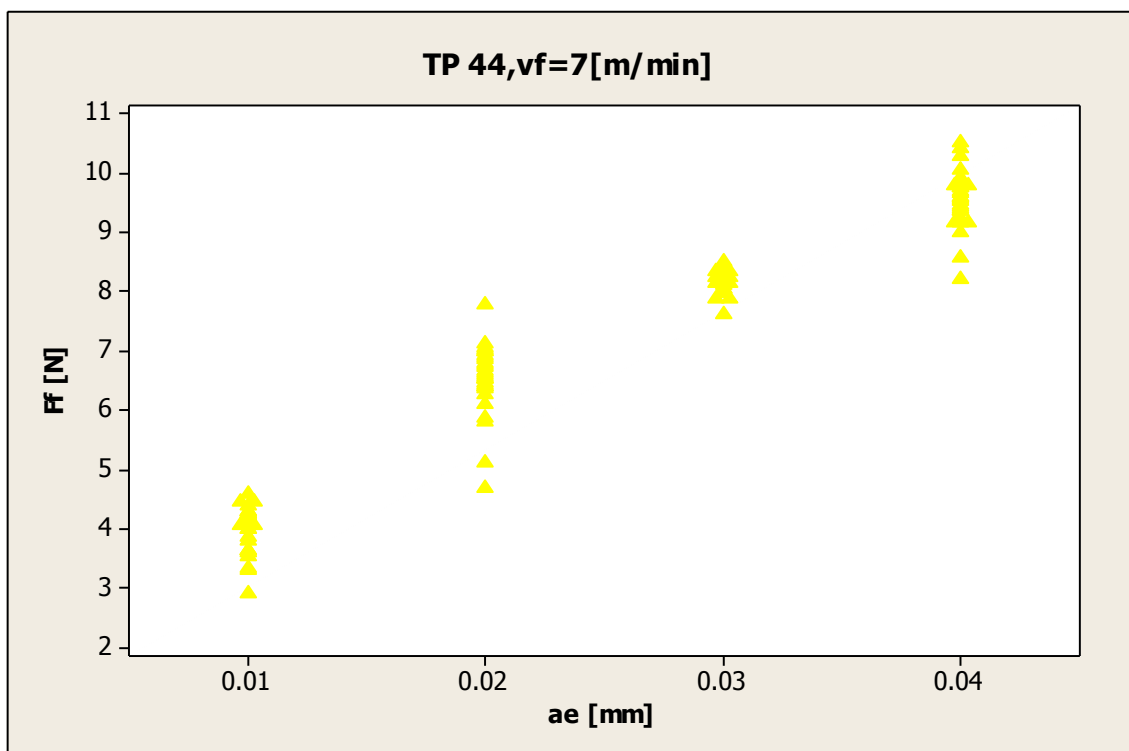
Kontrola na odlehle hodnoty při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro složky řezných sil  $F_f$  a  $F_p$  u materiálu TP44.



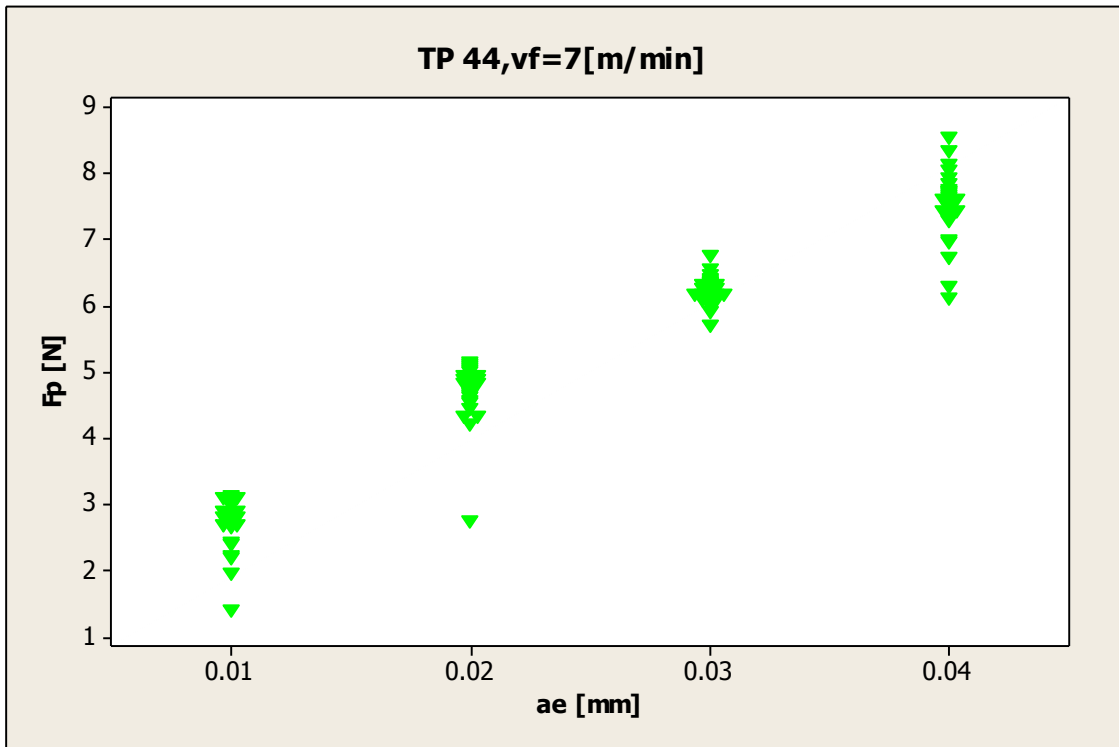
Obr. 47 Složky řezných sil při konst. hloubce řezu



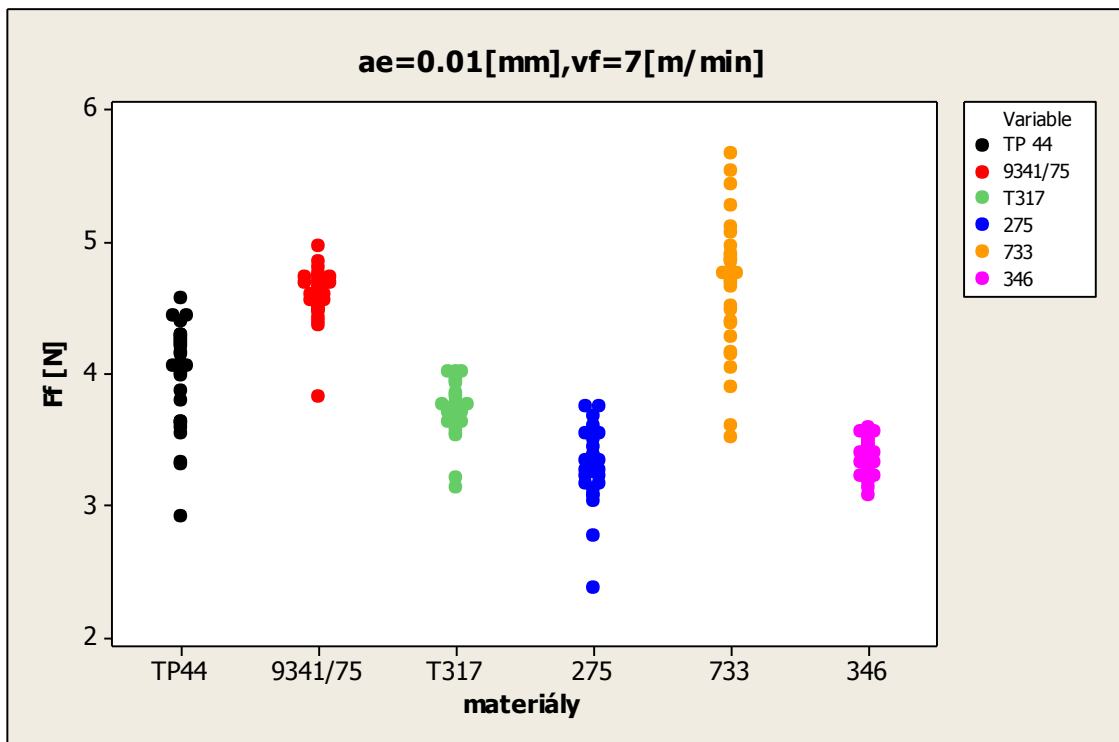
Obr. 48 Složky řezných sil při konst. hloubce řezu



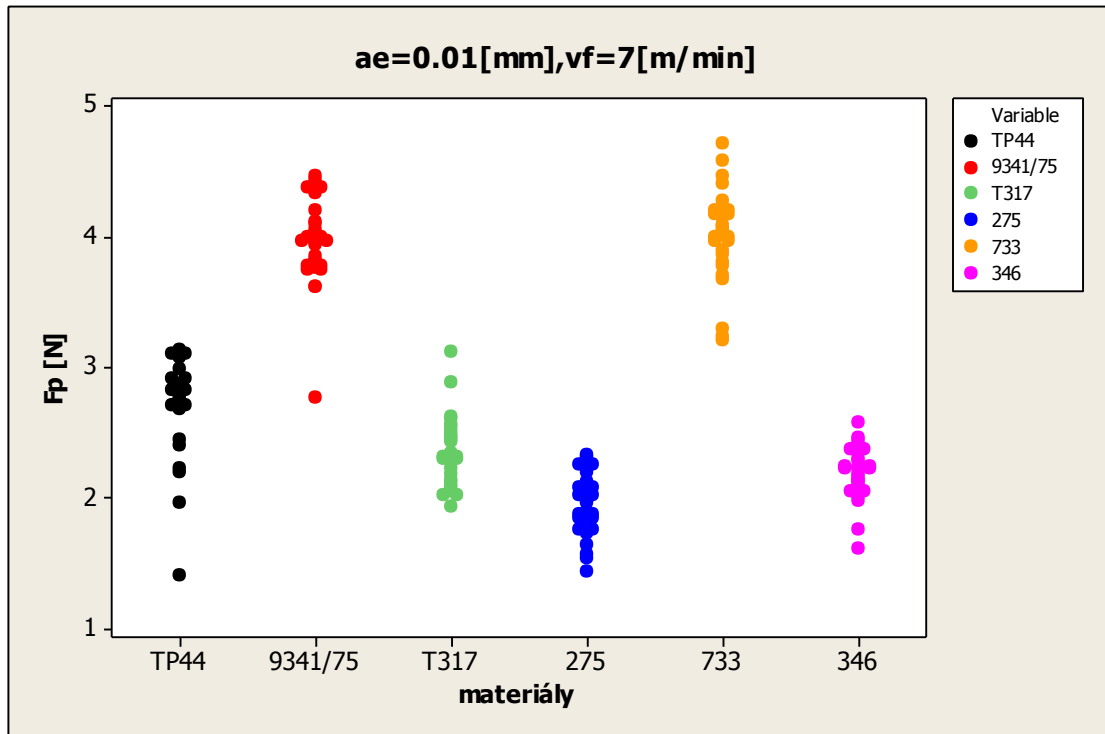
Obr. 49 Složky řezných sil při konst. velikosti posuvu



Obr. 50 Složky řezných sil při konst. velikosti posuvu



Obr. 51 Složky řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů

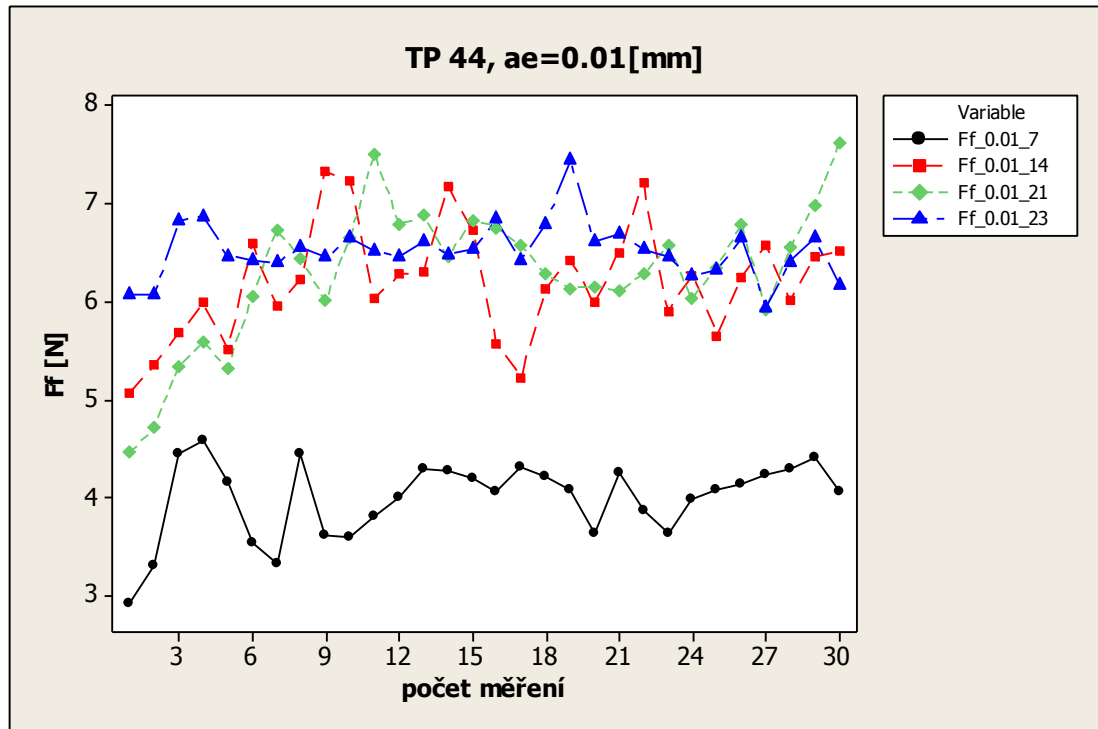


Obr. 52 Složky řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálu

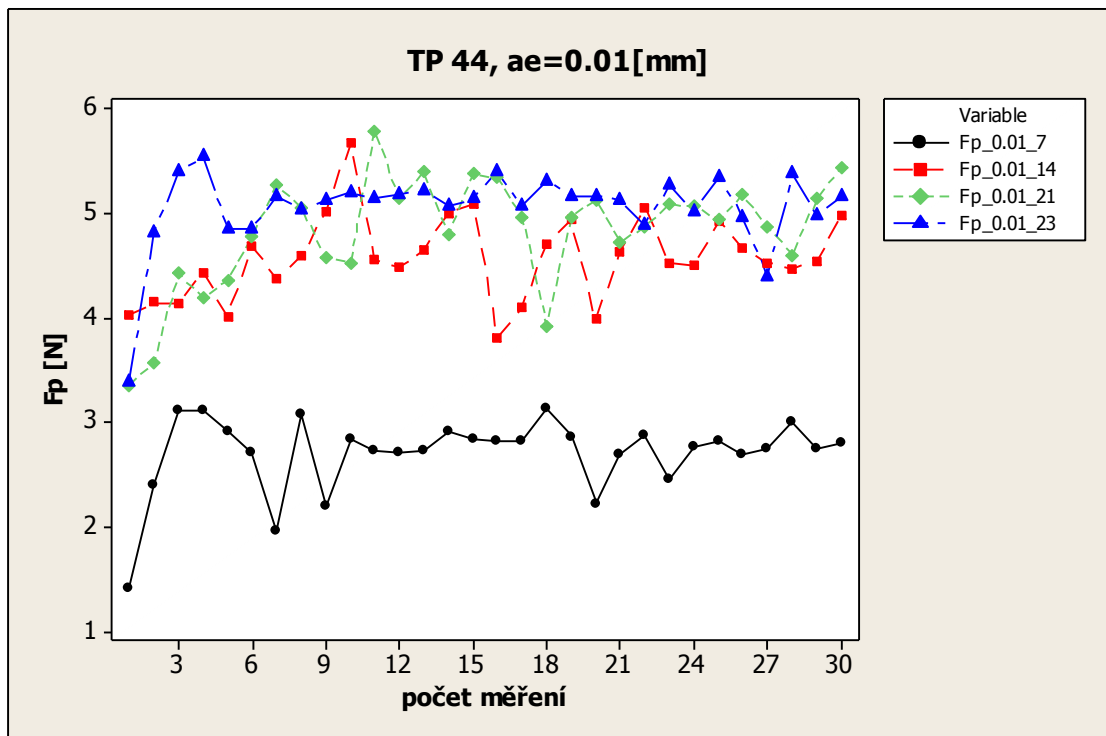
Grafy znázorňující kontrolu na odlehle hodnoty pro měření složek řezných sil jsou vidět na obr. 47 až 52. Při hodnocení materiálu TP44 si lze všimnout u konstantní posuvové rychlosti  $v_f=7$  m/min lineárního nárůstu hodnot na rozdíl od případu, kde byla konstantní hloubka řezu a měnila se posuvová rychlost. Nejvyšších hodnot u sil  $F_f$  všech materiálu při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot. U složek sil  $F_p$  nejvyšších hodnot dosahoval také materiál 733. Z grafů (obr. 51 a 52) u materiálu 346 je vidět poměrně úzký rozptyl hodnot, což může být způsobeno typem gumárenské směsi. Materiál TP44 se choval nejméně ideálně z hlediska rozptylu měřených hodnot při hloubce řezu 0.03 mm a posuvové rychlosti 7 m/min.

### 10.1.2 Časový vývoj složek řezných sil $F_f$ a $F_p$

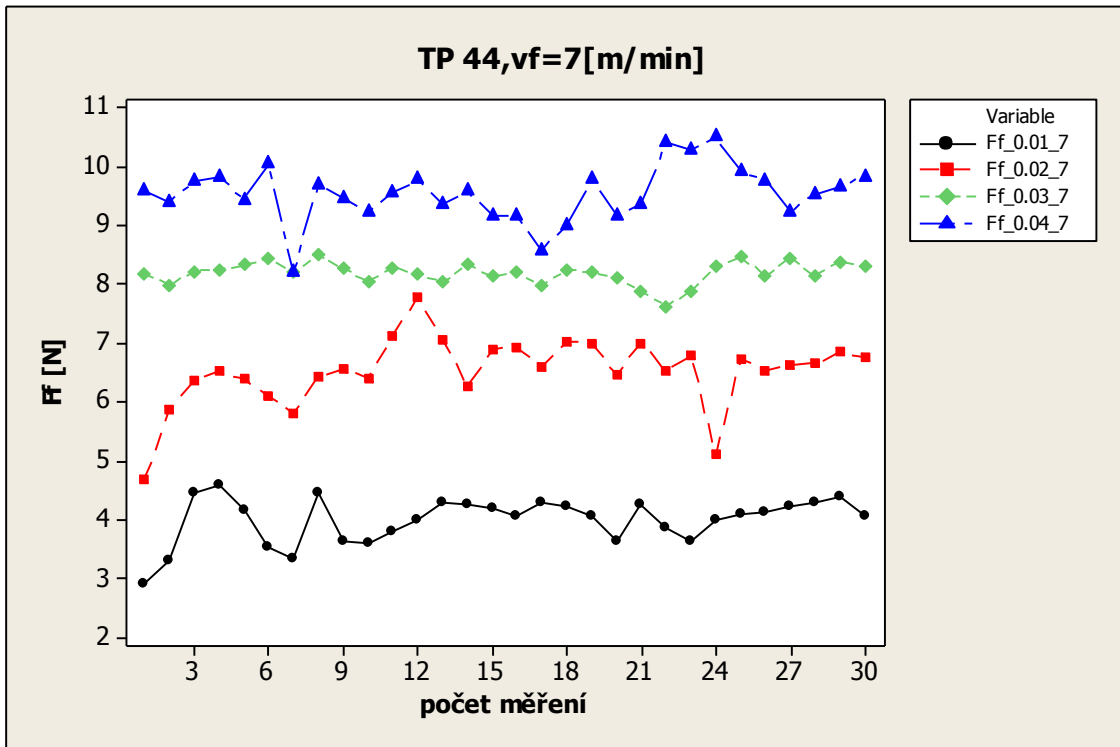
Časový vývoj při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro složky řezných sil  $F_f$  a  $F_p$  u materiálu TP44.



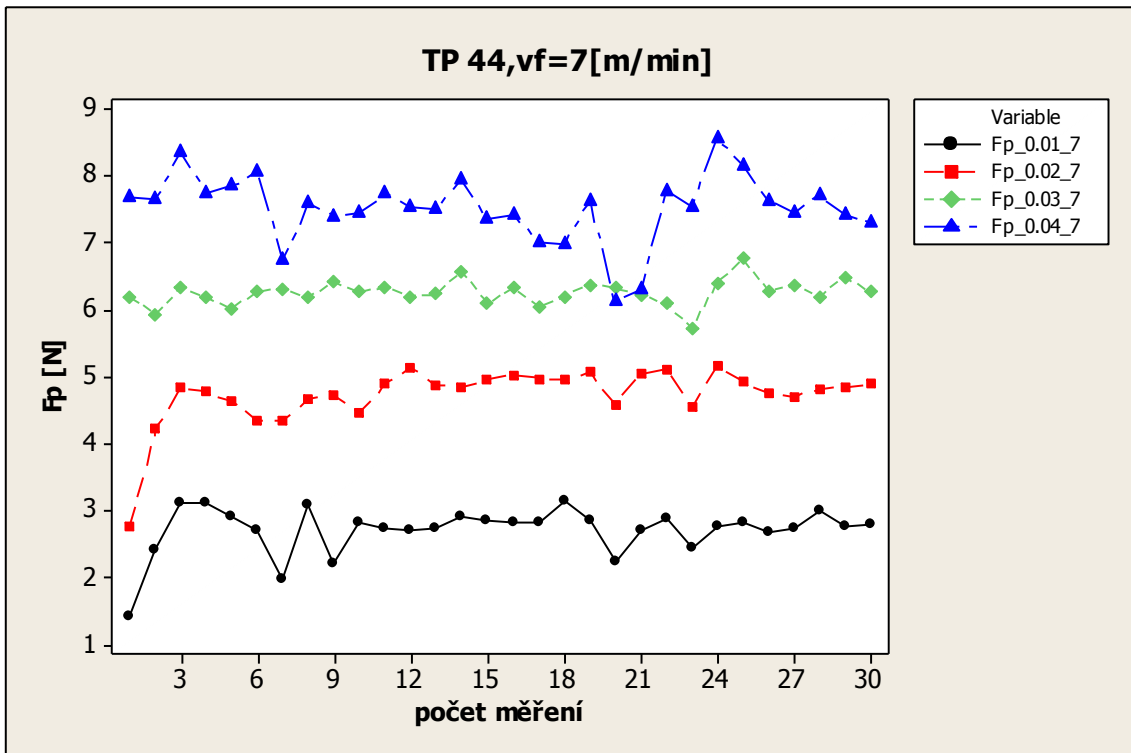
Obr. 53 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu



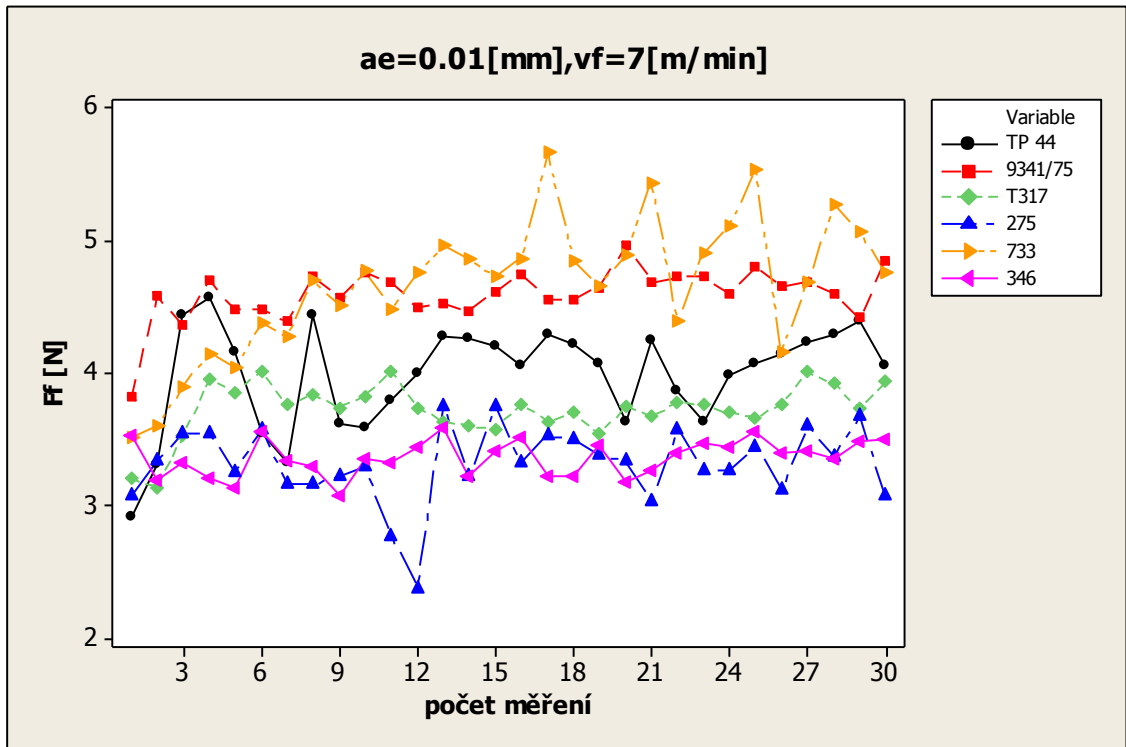
Obr. 54 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu



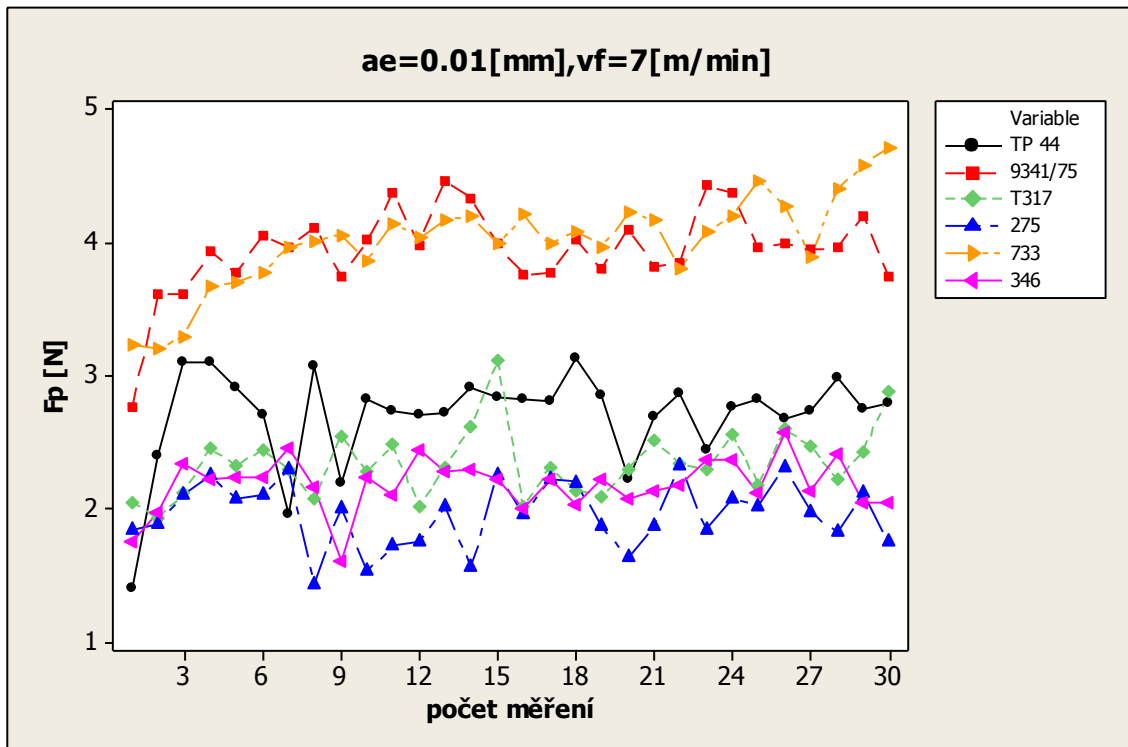
Obr. 55 Časový vývoj složek řezných sil při konst. posuvové rychlosti



Obr. 56 Časový vývoj složek řezných sil při konst. posuvové rychlosti



Obr. 57 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů



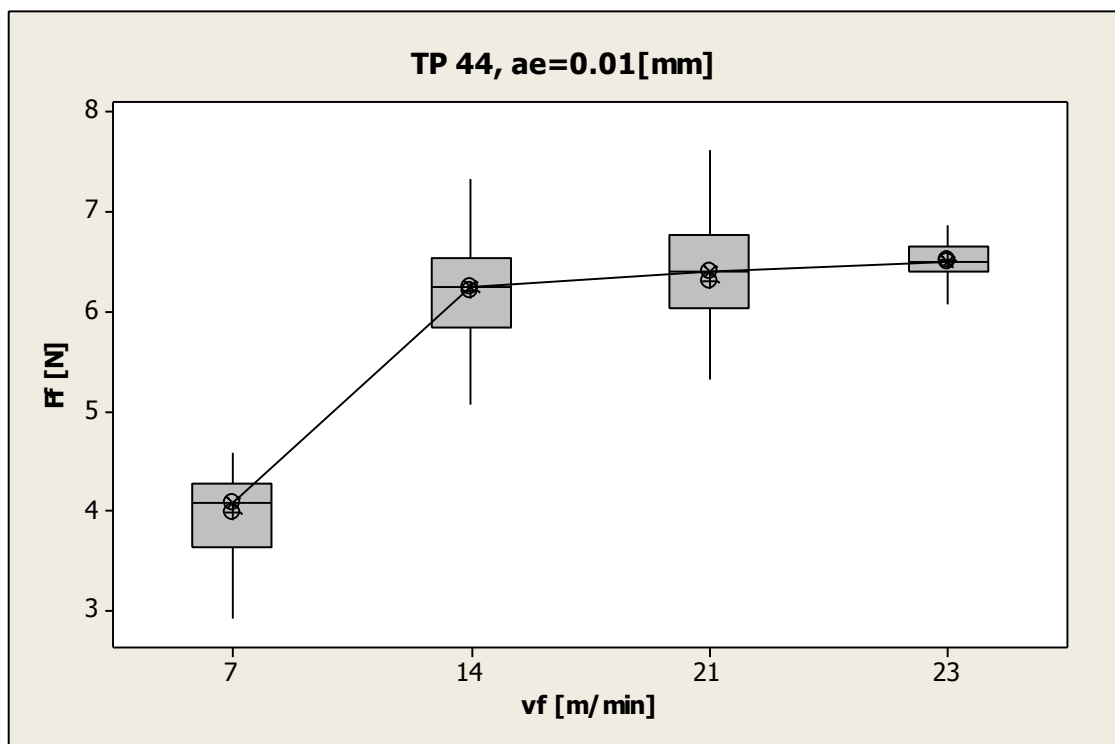
Obr. 58 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů



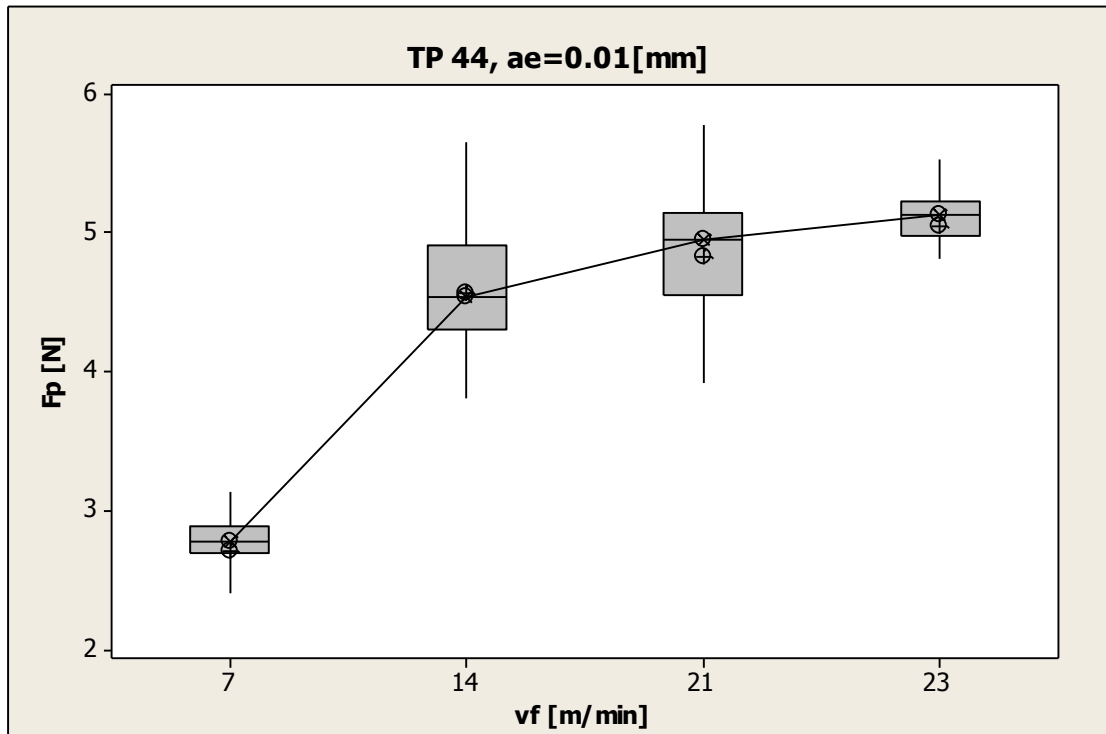
V grafech na (obr. 53 až 58) lze vidět časový vývoj při měření složek řezných sil. Na ose x je zobrazeno počet měření a na ose y velikosti řezných sil. Nejvyšších hodnot u sil  $F_f$  i  $F_p$  všech materiálů při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot jak jde vidět z (obr. 57 a 58) a naopak nejnižších hodnot materiál 275 a 346.

### 10.1.3 Vyhodnocení vlivu řezných parametrů na složky řezných sil

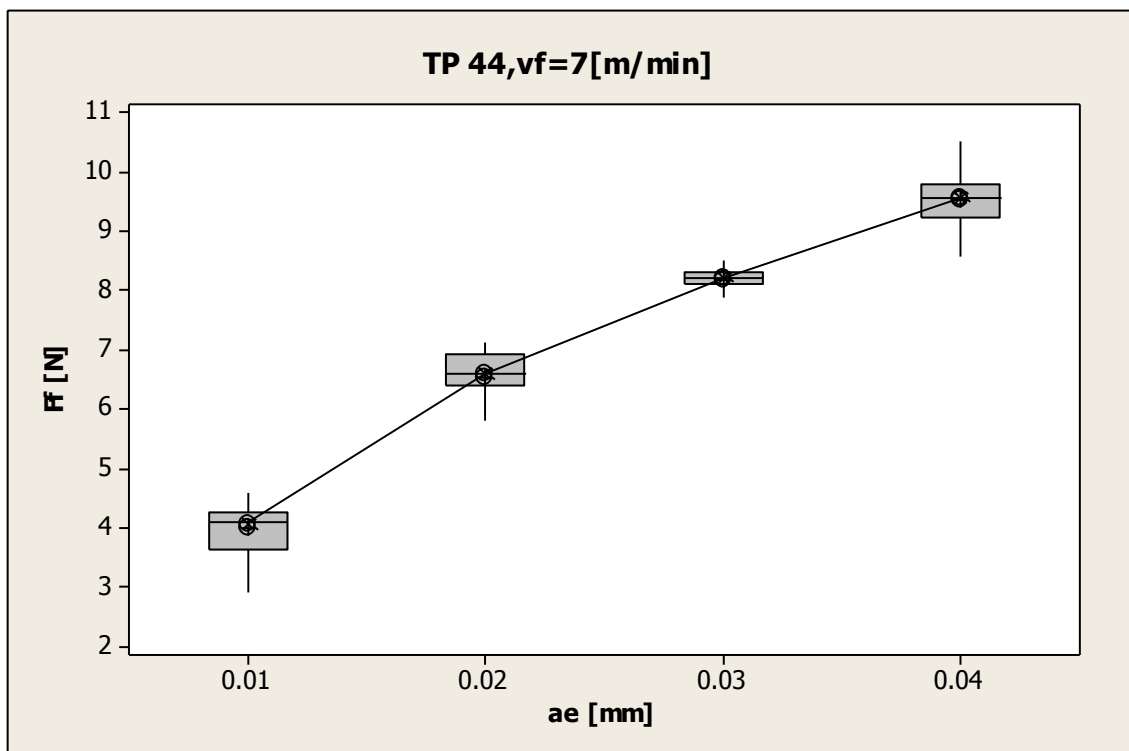
Krabicový graf při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro složky řezných sil  $F_f$  a  $F_p$  u materiálu TP44.



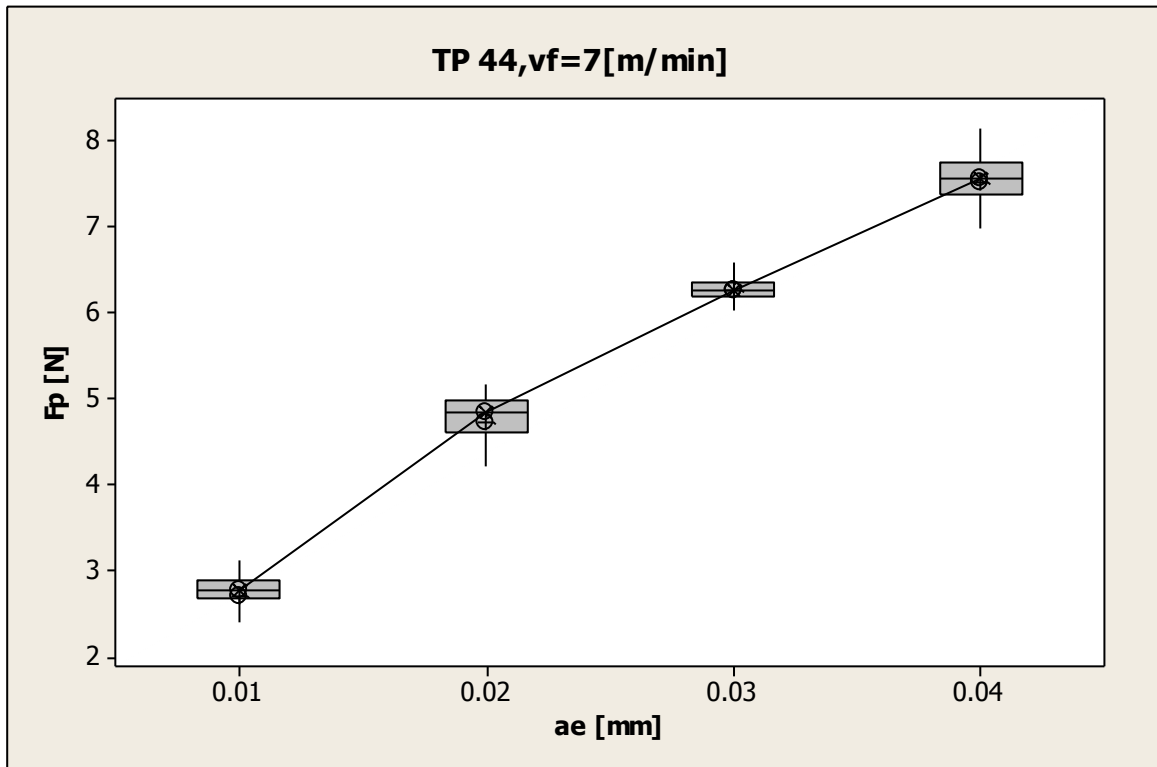
Obr. 59 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu



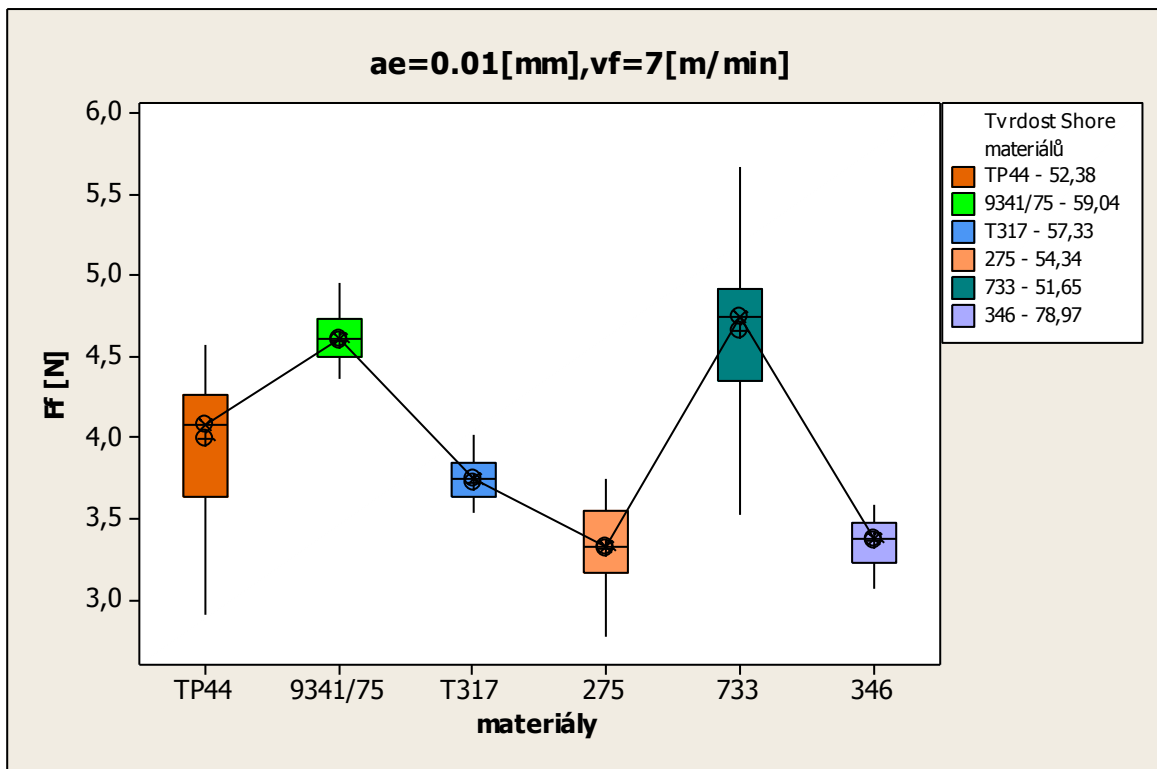
Obr. 60 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu



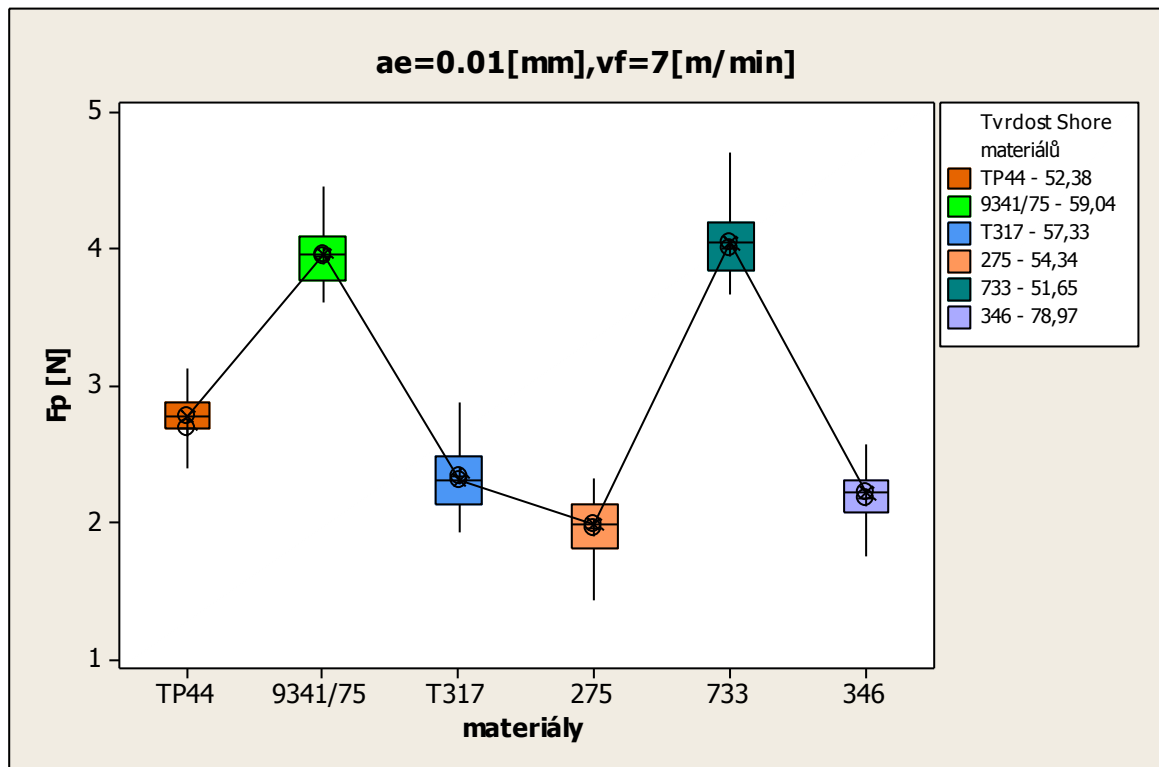
Obr. 61 Krabicový diagram při konst. velikosti posuvu



Obr. 62 Krabicový diagram při konst. velikosti posuvu



Obr. 63 Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů



Obr. 64 Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů

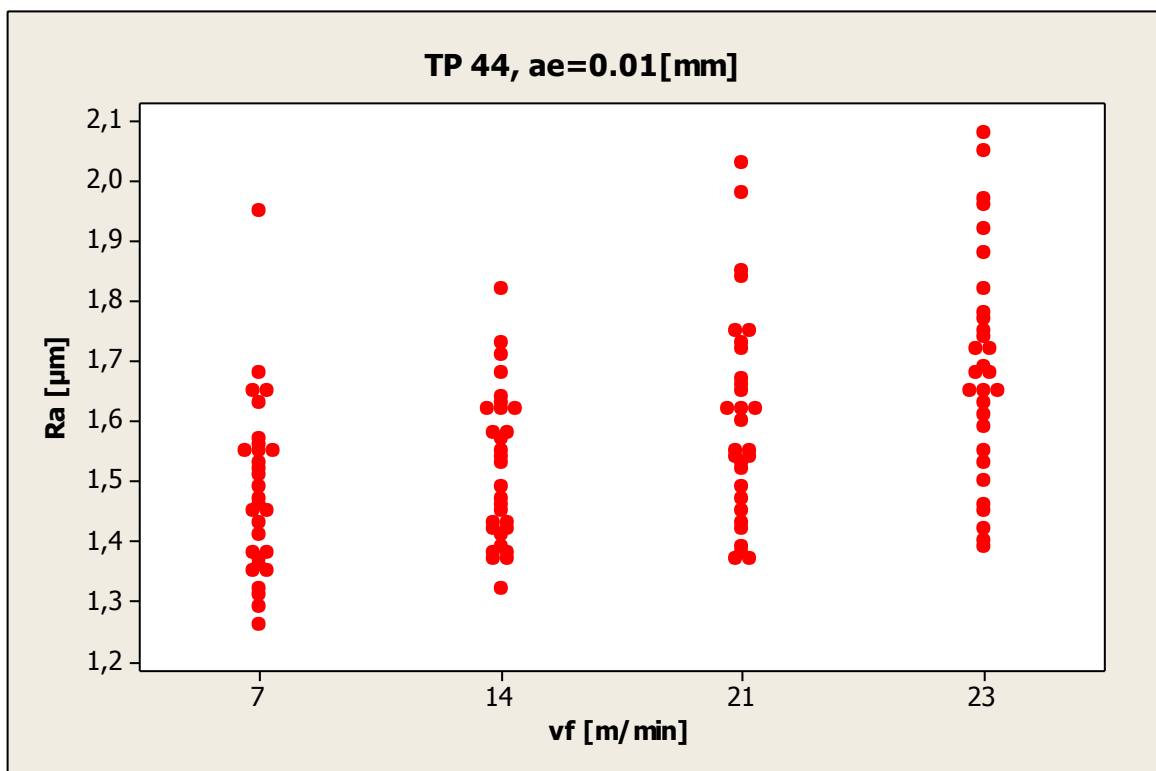
V grafech na (obr. 59 až 64) lze vidět krabicové diagramy při měření složek řezných sil. Střední čárka v krabici se znakem x představuje medián a znakem + je zobrazen průměr. Hranice krabice pak představují 1. a 3. kvartil, ve kterém se nachází 50 % všech naměřených hodnot. Oblast mezi 1. a 3. kvartilem se označuje jako interkvartilový interval (IQR). Extrémní hodnoty ( $1,5 \times \text{IQR}$ ) představují koncové úsečky, ve kterých se nachází 25 % hodnot z nejnižších a nejvyšších naměřených hodnot. Body, které se nacházejí ve větší vzdálenosti než  $1,5 \times \text{IQR}$  od mediánu jsou zobrazeny v podobě koleček. Tyto body reprezentují možná odlehlá měření. V našem případě žádné takové hodnoty se neobjevují. Nejvyšších hodnot u sil  $F_f$  všech materiálů při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot. U složek sil  $F_p$  nejvyšších hodnot dosahoval taktéž materiál 733. Nejnižších řezných sil  $F_f$  i  $F_p$  při broušení dosahoval materiál 275. Na velikosti složek řezných sil má vliv typ gumárenské směsi.

## 10.2 Měření drsnosti povrchu

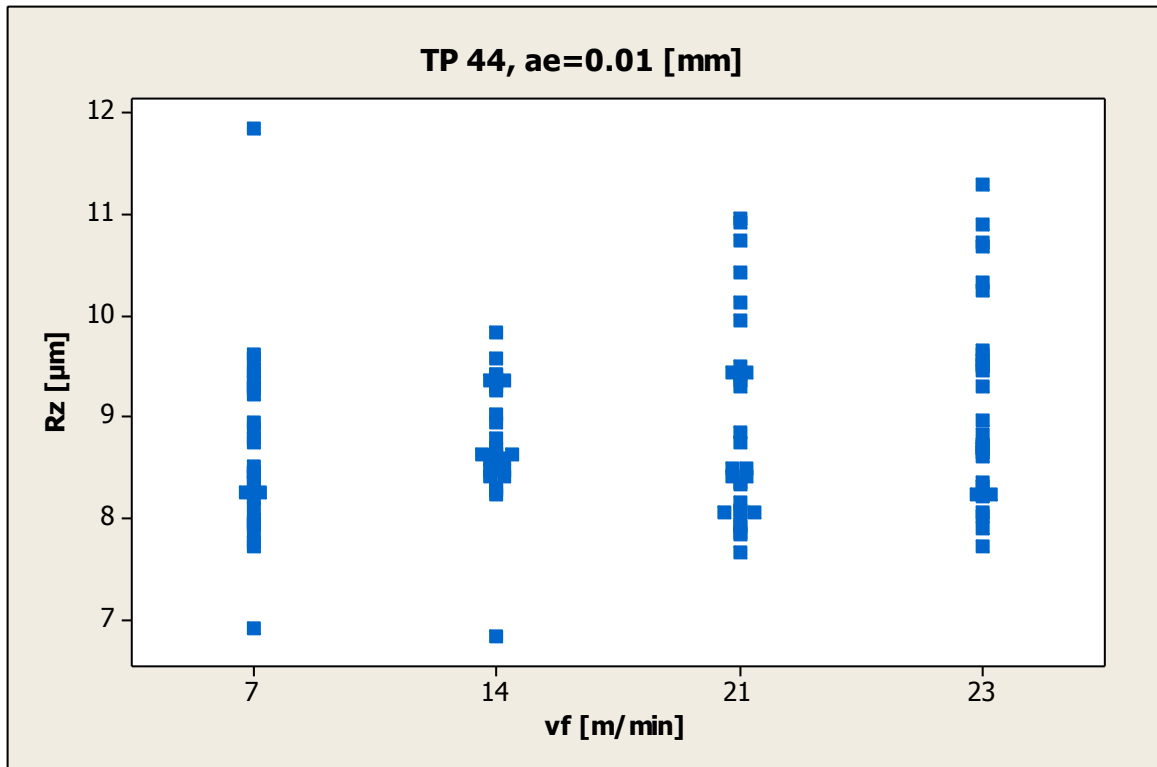
Po broušení bylo prováděno měření drsnosti povrchu na 30-ti různých místech v podélném směru na povrchu broušeného vzorku pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ – 301.

### 10.2.1 Kontrola na odlehlé hodnoty

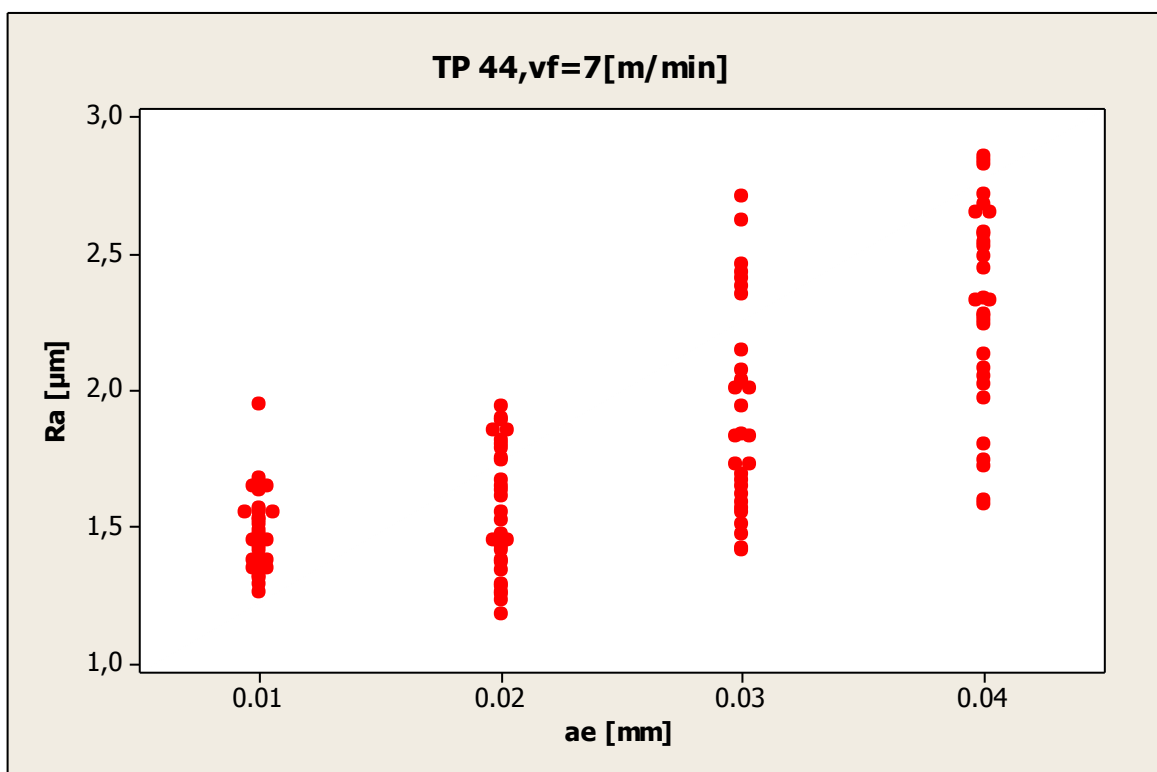
Kontrola na odlehlé hodnoty při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro parametry drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  u materiálu TP44.



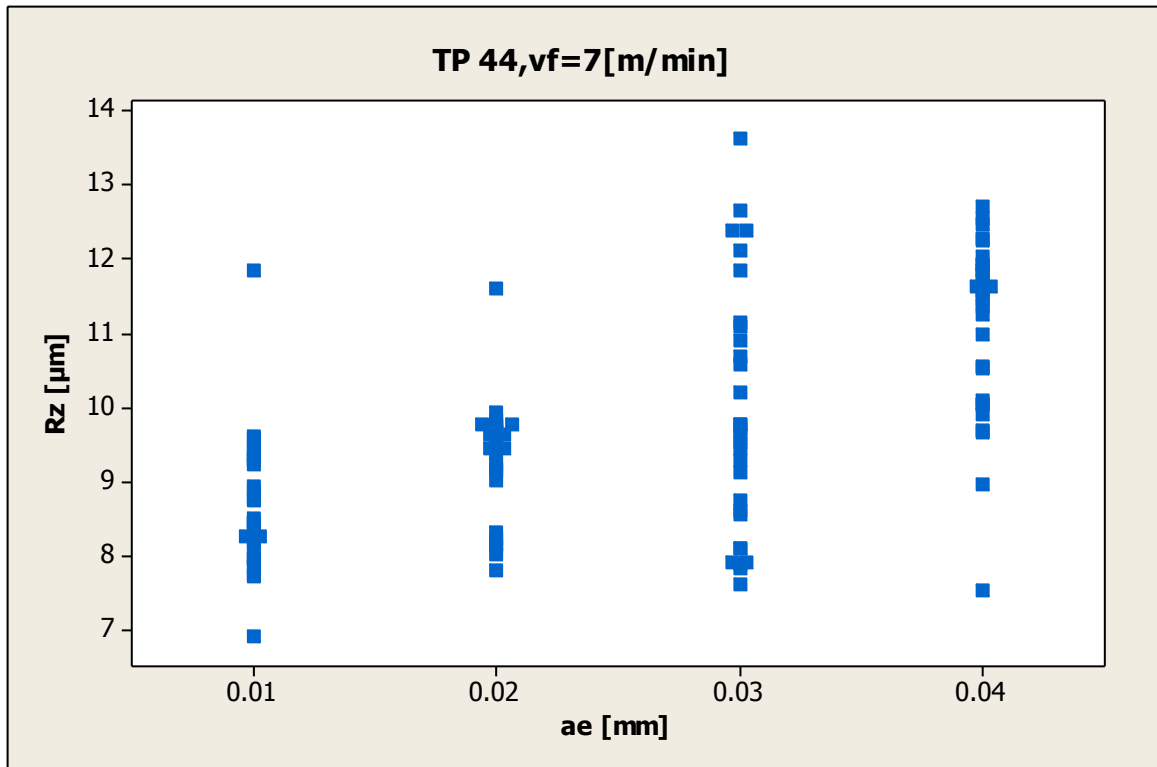
Obr. 65 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. hloubce řezu



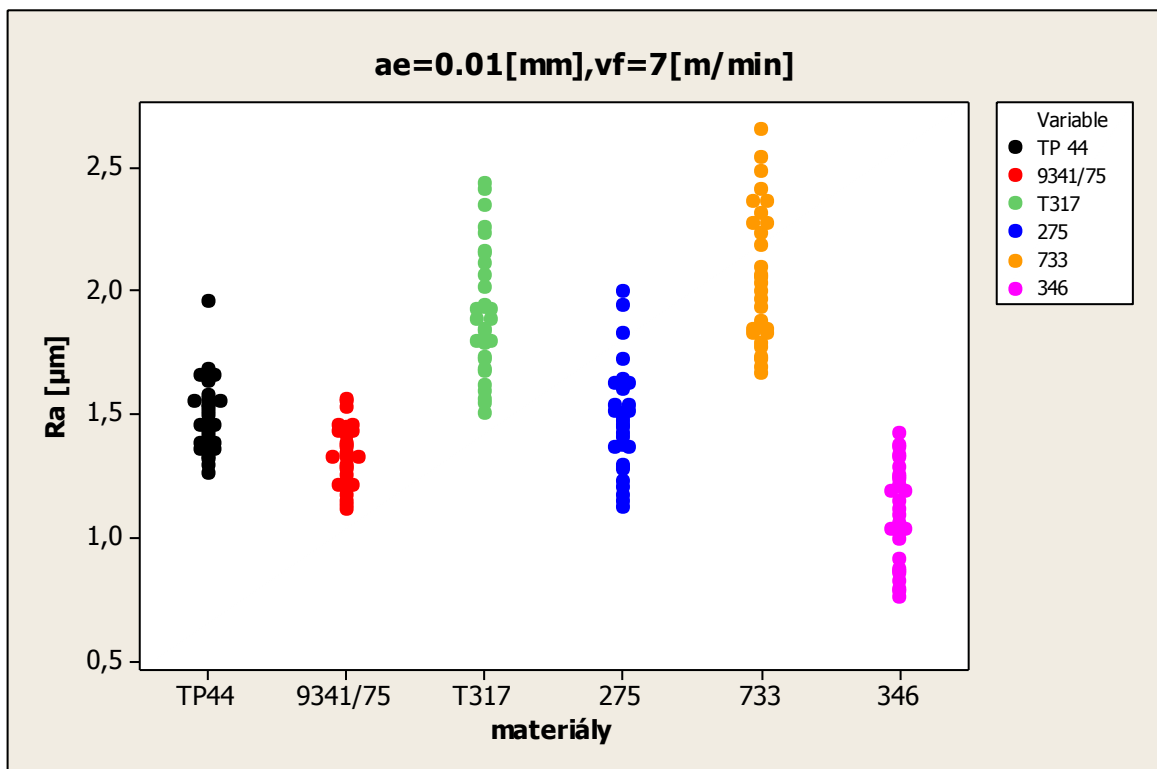
Obr. 66 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. hloubce řezu



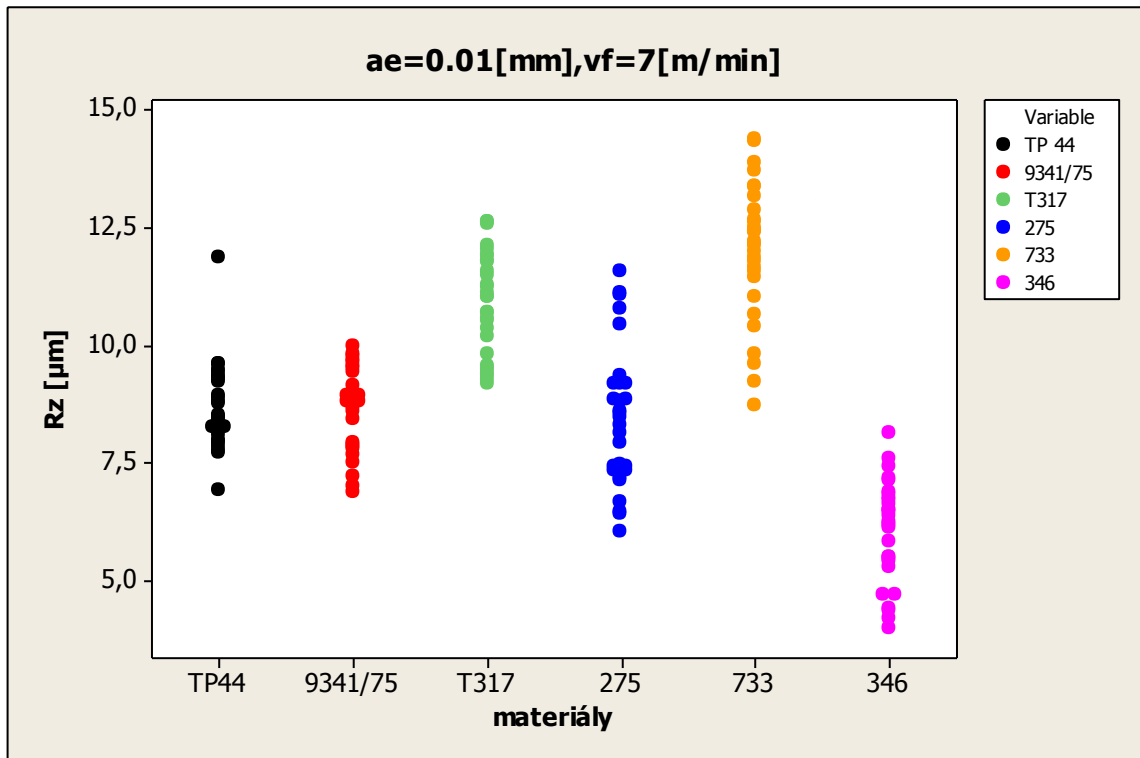
Obr. 67 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti posuvu



Obr. 68 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti posuvu



Obr. 69 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálu



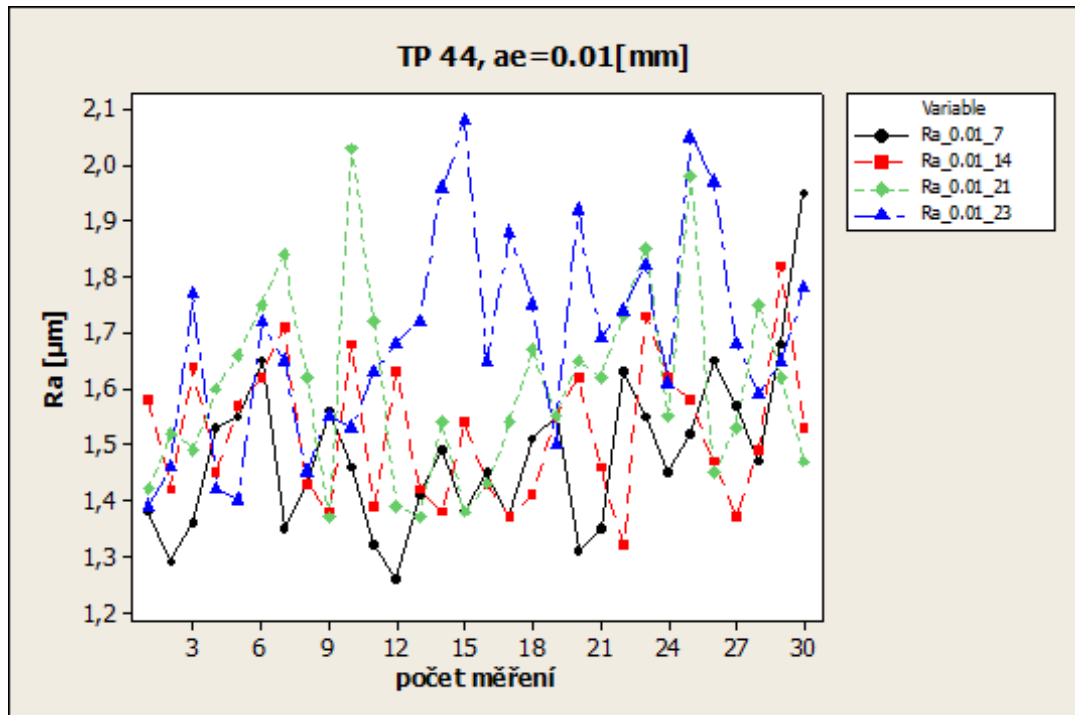
Obr. 70 Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálu

Grafy znázorňující kontrolu na odlehle hodnoty pro parametry drsnosti jsou vidět na obr. 65 až 70. Při hodnocení materiálu TP44 si lze všimnout u konstantní posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min i při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm lineárního nárůstu hodnot. Nejvyšších hodnot u parametru drsnosti  $R_a$  všech materiálu při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot. U drsnosti  $R_z$  nejvyšších hodnot dosahoval taktéž materiál 733. Z hlediska hodnocení rozptylu naměřených hodnot lze považovat za nejideálnější materiál 9341/75 jak u parametru  $R_a$  tak i u  $R_z$ .

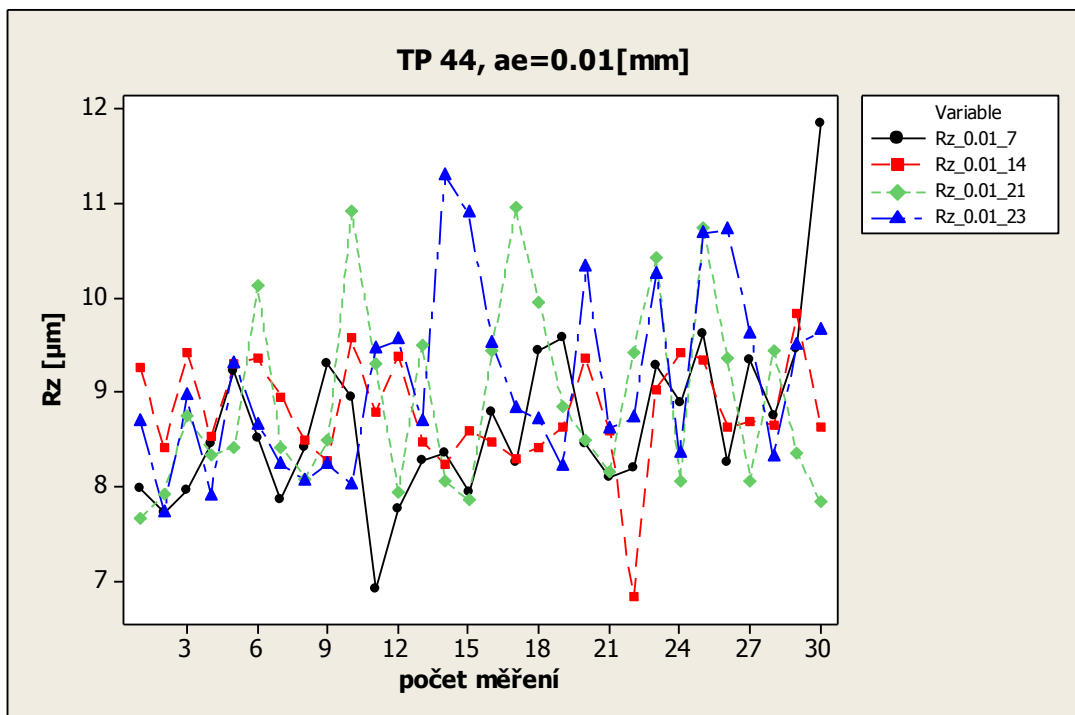


### 10.2.2 Časový vývoj parametrů drsnosti $R_a$ a $R_z$

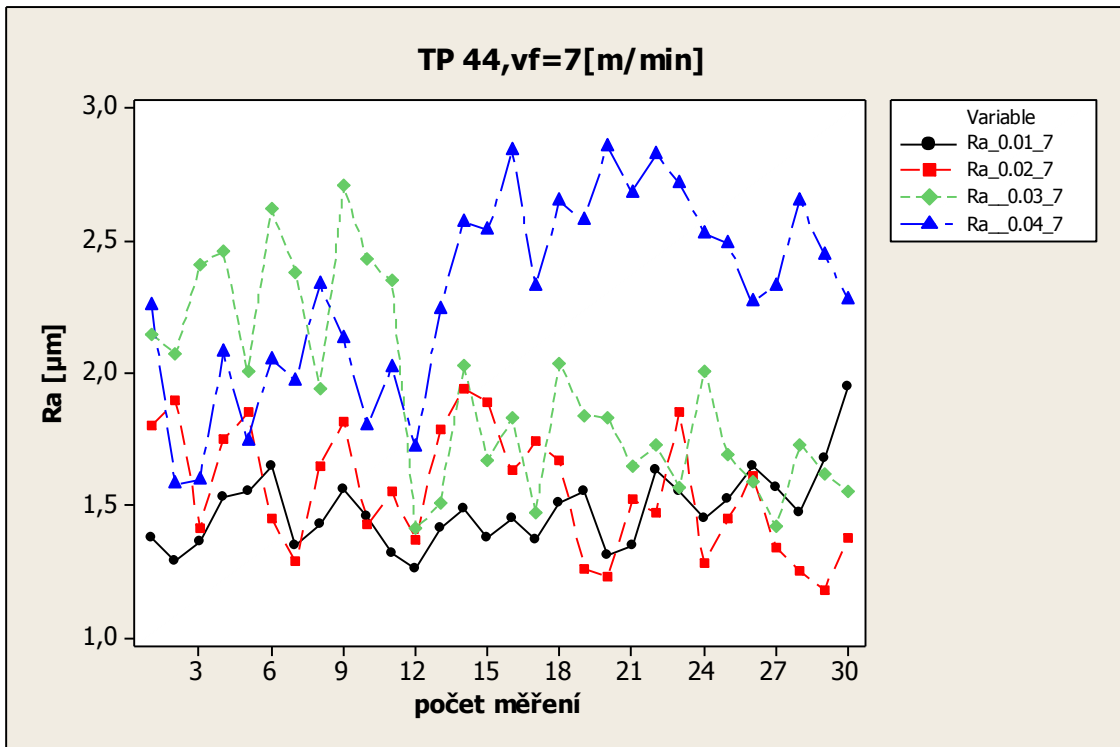
Časový vývoj při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro parametry drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  u materiálu TP44.



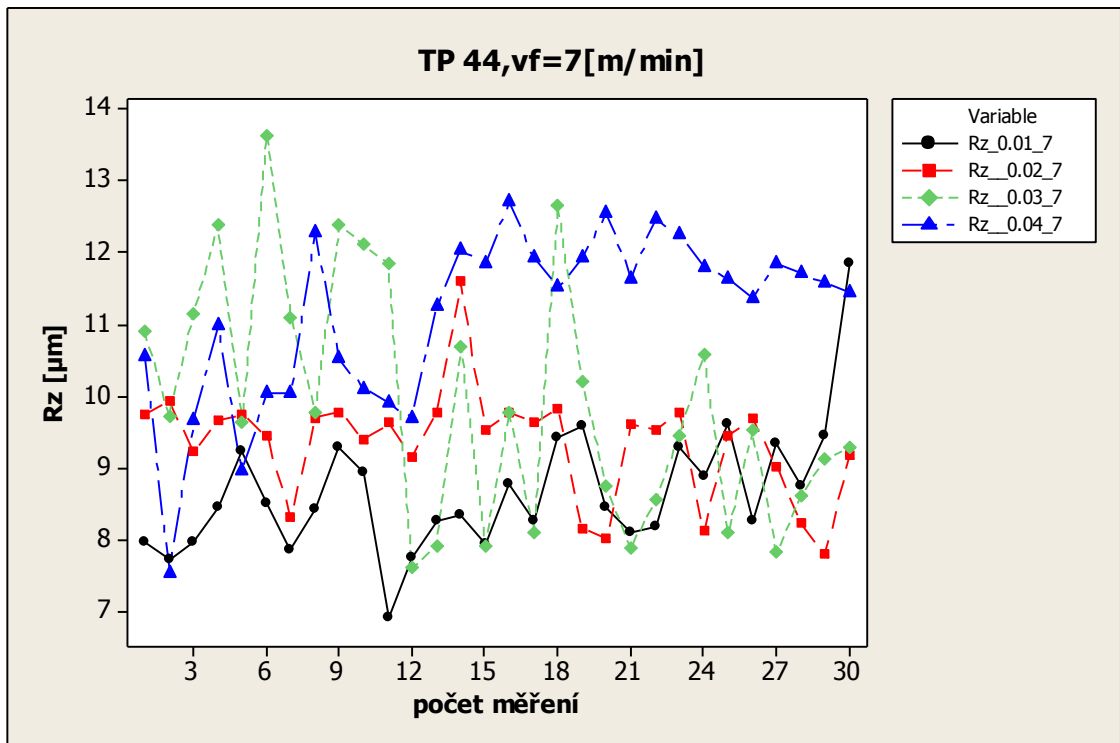
Obr. 71 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu



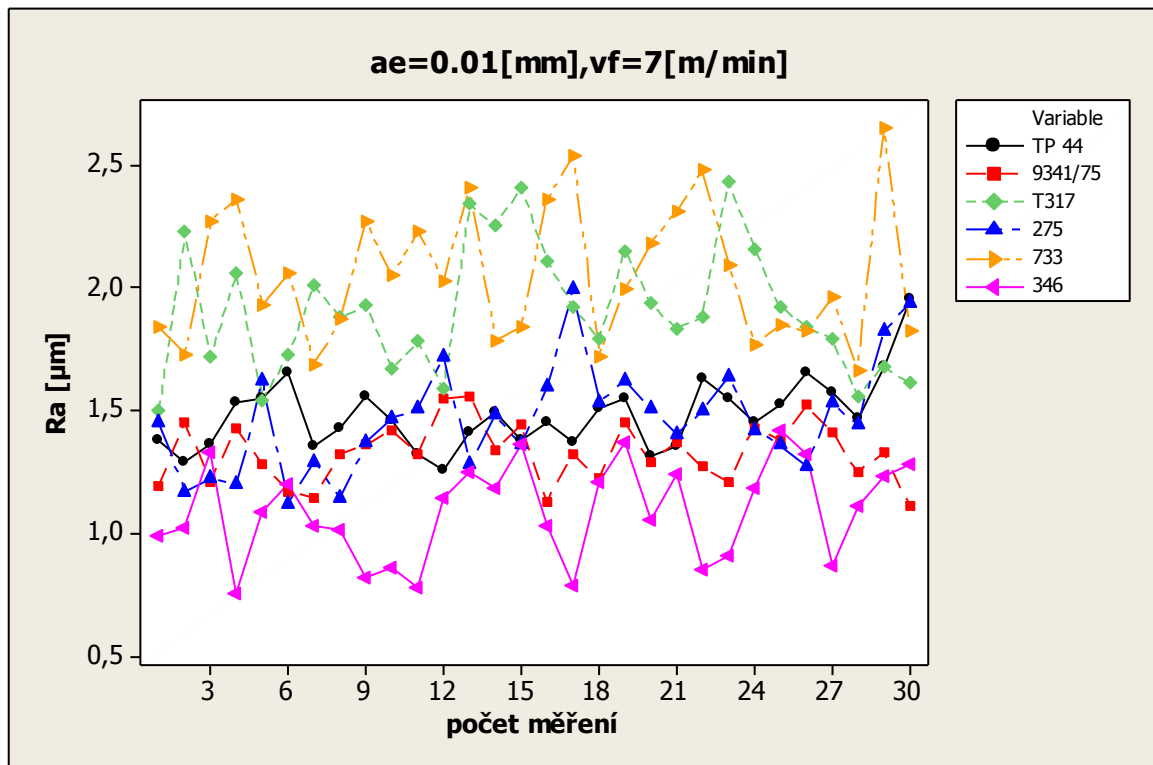
Obr. 72 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu



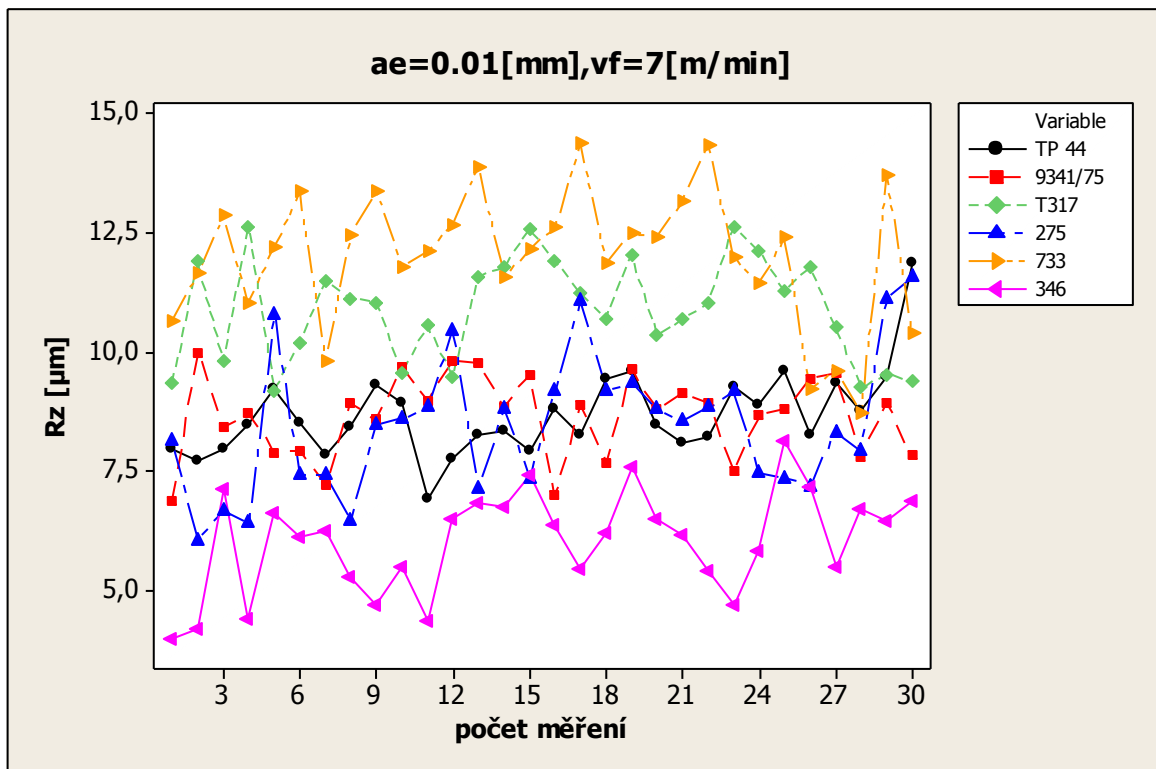
Obr. 73 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti posuvu



Obr. 74 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti posuvu



Obr. 75 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů

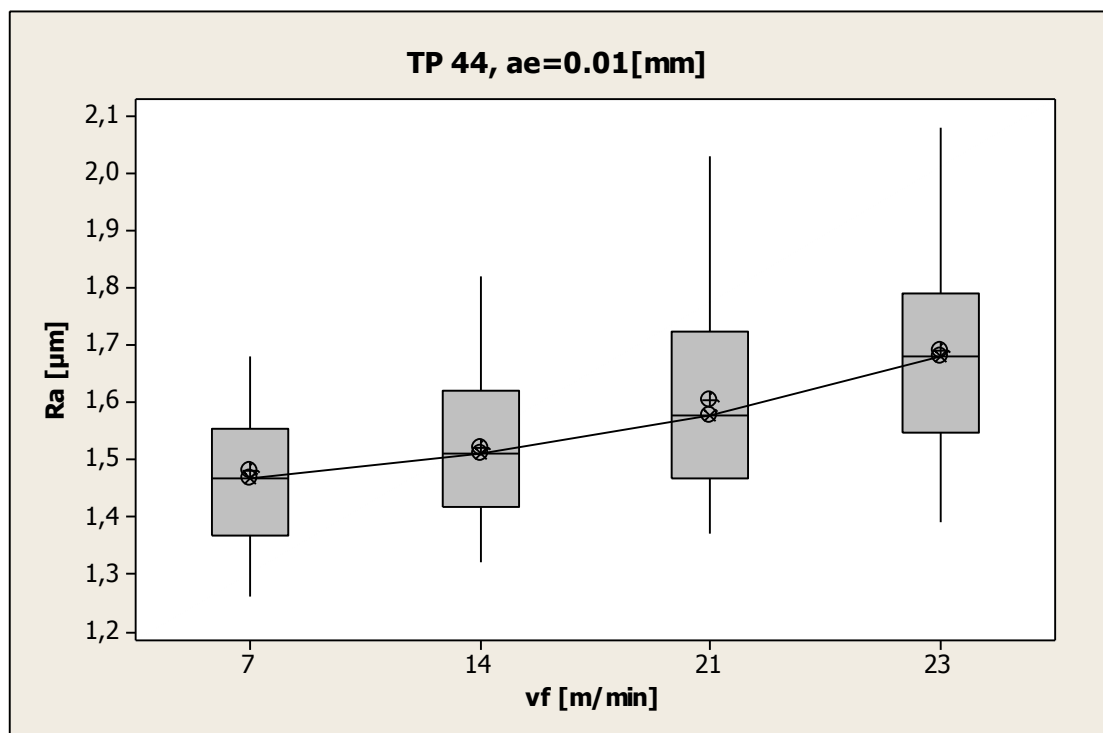


Obr. 76 Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů

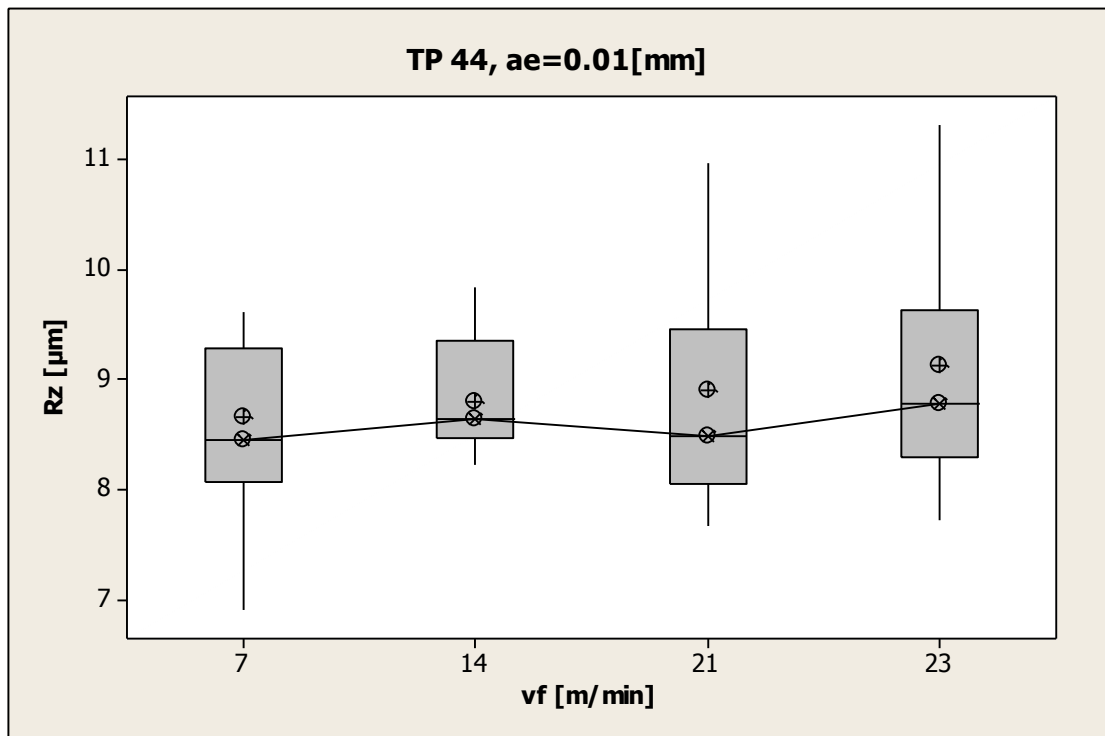
V grafech na (obr. 71 až 76) lze vidět časový vývoj parametrů drsnosti  $R_a$  a  $R_z$ . Na ose x je zobrazeno počet měření a na ose y velikosti drsností. Nejvyšších hodnot u parametrů drsnosti  $R_a$  i  $R_z$  všech materiálů při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot jak jde vidět z grafů (obr. 75 a 76). Naopak nejnižších hodnot materiál 346 jak u parametrů drsnosti  $R_a$ , tak i u  $R_z$ . Z průběhu měření drsnosti povrchu je patrná nelineární charakteristika naměřených hodnot. Což mohlo být způsobeno např. náhodným výběrem měření na 30 různých místech a také tlakem na hrotu snímače dotykového drsnoměru, kdy u měkčích materiálů může vzniknout v povrchové vrstvě elastická deformace. Ta může způsobit zkreslení naměřených hodnot.

### 10.2.3 Vyhodnocení vlivu řezných parametrů na jakost povrchu

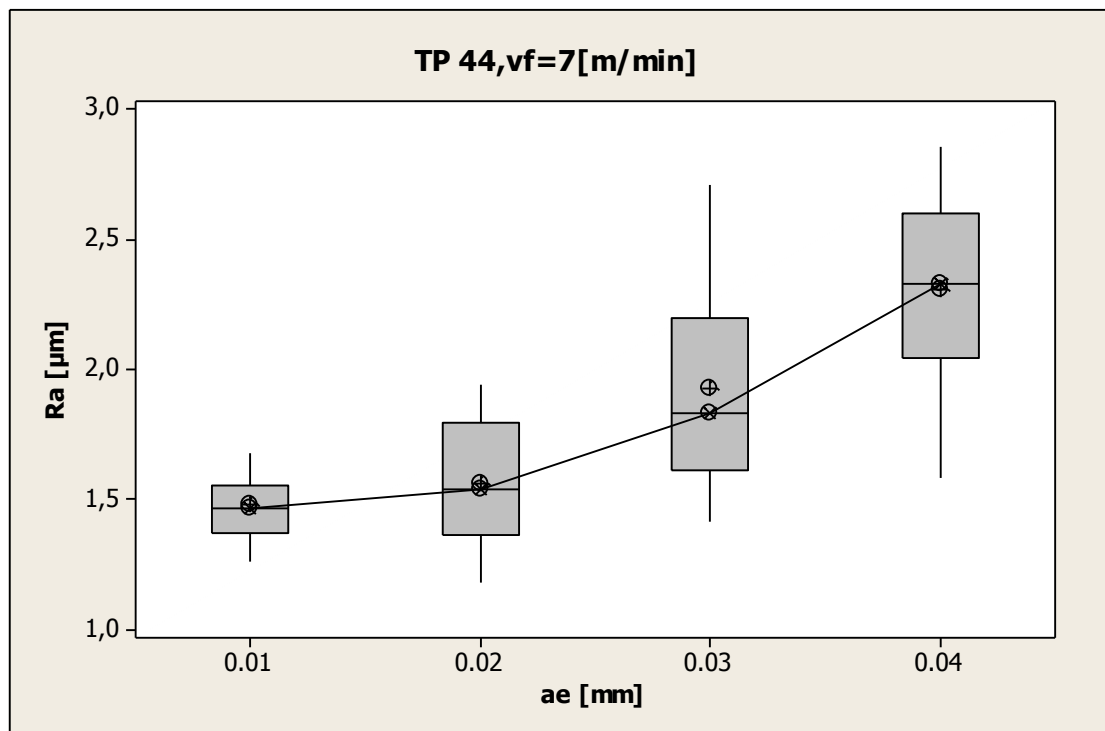
Krabicový graf při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a při konstantní velikosti posuvu  $v_f = 7$  m/min pro parametry drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  u materiálu TP44.



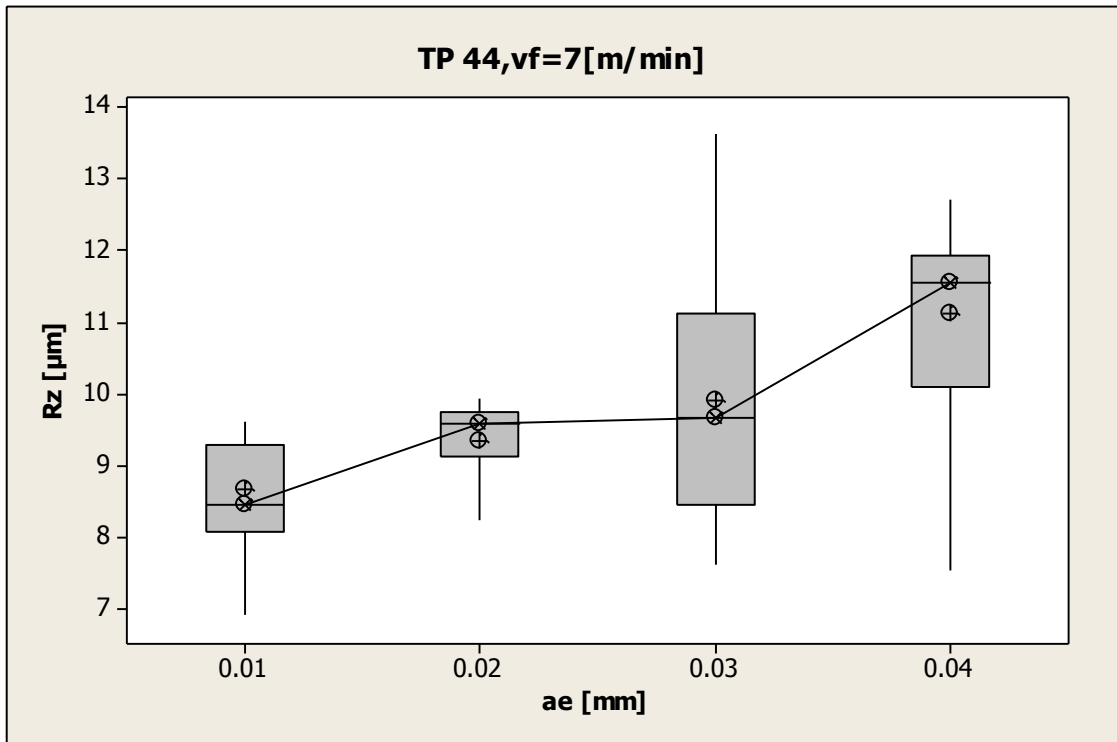
Obr. 77 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu



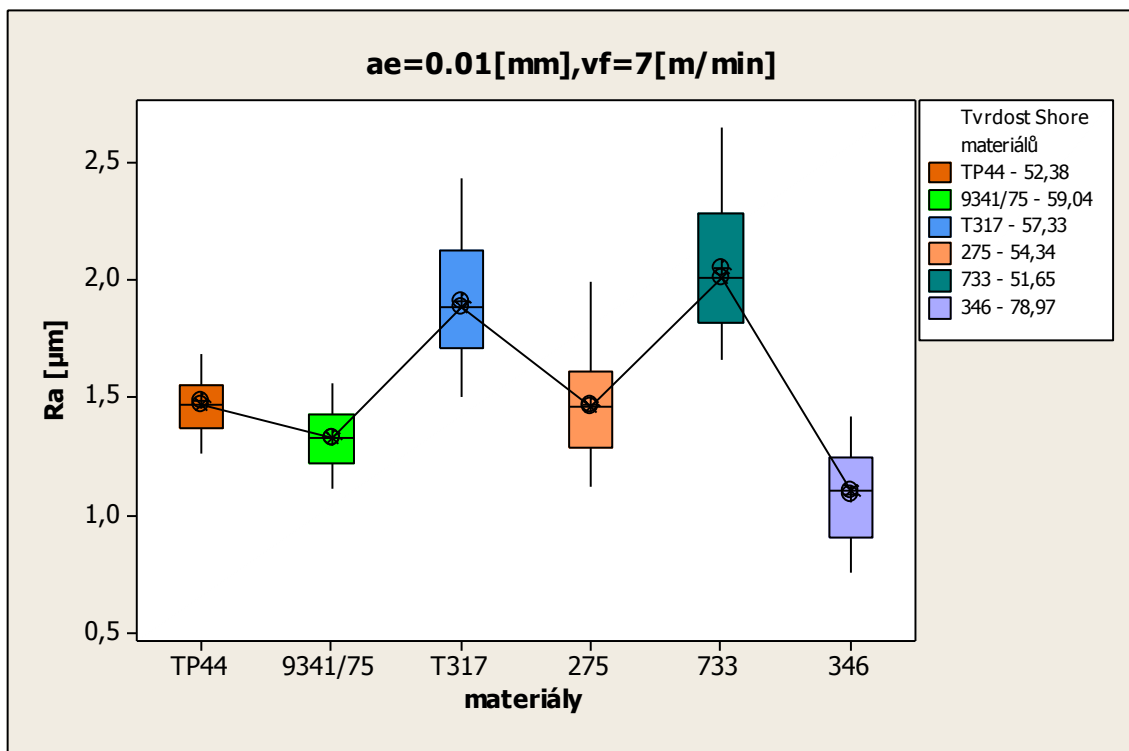
Obr. 78 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu



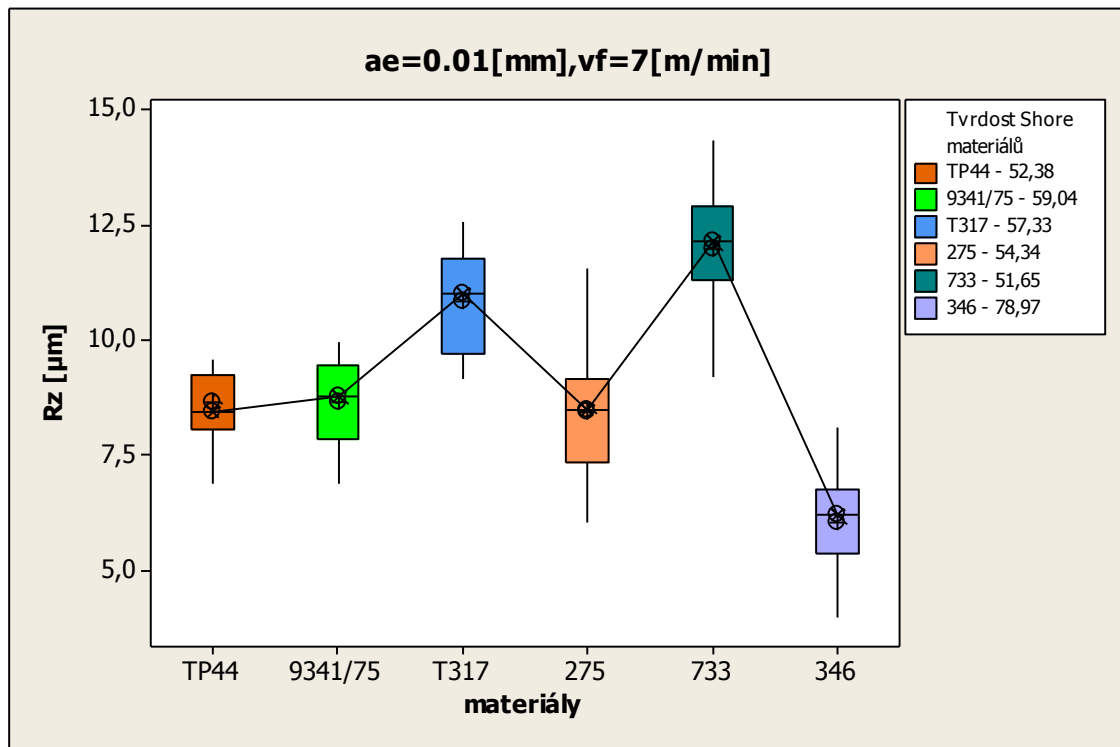
Obr. 79 Krabicový diagram při konst. posuvové rychlosti



Obr. 80 Krabicový diagram při konst. posuvové rychlosti



Obr. 81 Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů



Obr. 82 Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálu

V grafech na (obr. 77 až 82) lze vidět krabicové diagramy při měření parametrů drsnosti  $R_a$  a  $R_z$ . Střední čárka v krabici se znakem x představuje medián a znakem + je zobrazen průměr. Hranice krabice pak představují 1. a 3. kvartil, ve kterém se nachází 50 % všech naměřených hodnot. Oblast mezi 1. a 3. kvartilem se označuje jako interkvartilový interval (IQR). Extrémní hodnoty ( $1,5 \times \text{IQR}$ ) představují koncové úsečky, ve kterých se nachází 25 % hodnot z nejnižších a nejvyšších naměřených hodnot. Body, které se nacházejí ve větší vzdálenosti než  $1,5 \times \text{IQR}$  od mediánu jsou zobrazeny v podobě koleček. Tyto body reprezentují možná odlehlá měření. V našem případě žádné takové hodnoty se neobjevují. Nejvyšších hodnot u parametrů drsnosti  $R_a$  všech materiálu při konstantní posuvové rychlosti a konstantní hloubce řezu dosahovala při měření směs 733 a taky s největším rozptylem hodnot. U parametrů drsnosti  $R_z$  nejvyšších hodnot dosahoval taktéž materiál 733. Z hlediska hodnocení rozptylu naměřených hodnot lze považovat za nejideálnější materiál 9341/75 a TP44 jak u parametrů  $R_a$ , tak i u  $R_z$ . Nelze nechat také bez povšimnutí graf (obr. 78), na kterém lze vidět u posuvové rychlosti  $v_f = 21 \text{ m/min}$  mírný pokles parametru drsnosti  $R_z$  u materiálu TP44. Na velikosti parametru drsnosti má vliv typ gumárenské směsi.

## 11 DISKUZE VÝSLEDKŮ A STANOVENÍ OPTIMALNÍCH PODMÍNEK PRO BROUŠENÍ PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ

Při broušení daných pryžových materiálů docházelo k měření složek řezných sil za pomoci programu Conmes Spider, kde se při broušení měnily jednotlivé technologické podmínky, jak hloubka řezu, tak i posuvová rychlost. Měření složek řezných sil proběhlo 30x na každém zkušebním vzorku při nejnižší posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a při hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm. U materiálu TP44 byly při broušení měněny technologické podmínky. Postupně se měnila posuvová rychlost 7 m/min, 14 m/min, 21 m/min a 23 m/min. U každé posuvové rychlosti bylo broušeno při hloubce řezu 0.01 mm, 0.02 mm, 0.03 mm a 0.04 mm. K broušení byl použit brousící kotouč se střední velikostí zrna, pórovitou strukturou, keramickým pojivem a tvrdostí označovanou jako tvrdá. Po broušení bylo prováděno měření drsnosti povrchu na 30-ti různých místech ve směru podélném na povrchu každého broušeného vzorku.

Vyhodnocování spočívalo v sestavení dvou závislostí. První závislostí byla závislost řezných sil na hloubce řezu, která byla vyhodnocená při konstantní posuvové rychlosti,  $v_f = 7$  m/min. Druhou vyhodnocovanou závislostí byla závislost řezných sil na posuvové rychlosti a to při konstantní hloubce řezu,  $a_e = 0.01$  mm. To samé bylo provedeno taky u parametrů drsnosti  $R_a$  a  $R_z$ . Dle zásad statistiky byla zpracována data s drsností povrchů a řezných sil. V programu Minitab 15 byla provedena kontrola na odlehlé hodnoty, časový vývoj u parametrů drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ , složek řezných sil  $F_f$  a  $F_p$  a také boxplotové diagramy.

### 11.1 Hodnocení složek řezných sil

U vyhodnocování složek řezných sil lze konstatovat, že docházelo při zvyšování řezné rychlosti i při změnách hloubek řezu k nárůstu hodnot. Při konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm a proměnné posuvové rychlosti lze vidět z grafů (obr. 59, 60) že nejvyšší nárůst hodnot je při posuvové rychlosti  $v_f = 14$  m/min. Dále složky řezných sil narůstají jen pozvolna, což může být zapříčiněno už jen mírným nárůstem posuvových rychlostí  $v_f = 21$  m/min a  $v_f = 23$  m/min. Naopak při konstantní posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a proměnné hloubce řezu  $a_e$  (obr. 61, 62) je vidět lineární průběh růstu složek řezných sil  $F_f$  a  $F_p$ . Z hlediska hodnocení všech použitých materiálů, kde byly řezné síly měřeny při konstantní posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a konstantní hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm můžeme říct, že



nejvyšší hodnoty dosahoval u posuvových složek  $F_f$  materiál 733 a nejnižších hodnot materiál 275. Stejně tomu tak bylo i u pasivních složek  $F_p$ . Z grafů (obr. 55, 56), kde byla konstantní posuvová rychlost  $v_f = 7$  m/min lze vidět u materiálu TP44 zcela lineární průběh složek řezných sil s minimálními odchylkami hodnot na rozdíl od grafů (obr. 53, 54), kde se měnila posuvová rychlost.

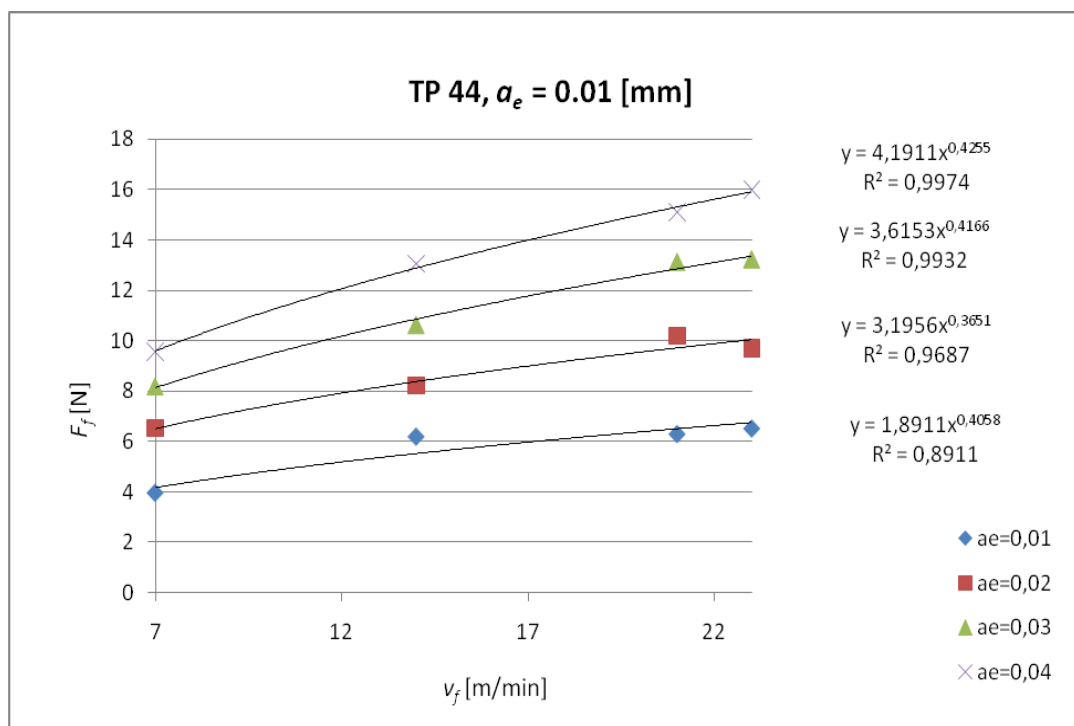
## 11.2 Hodnocení parametrů drsnosti $R_a$ a $R_z$

U vyhodnocování parametrů drsnosti  $R_a$  a  $R_z$  lze říct, že docházelo při zvyšování řezné rychlosti i při změnách hloubek řezu většinou k nárůstu hodnot. U grafu (obr. 78) je vidět při posuvové rychlosti  $v_f = 21$  m/min mírný pokles středové čáry u hodnoty  $R_z$ . U parametrů drsnosti na grafech při časovém vývoji  $R_a$  a  $R_z$ , ale také při kontrole na odlehlé hodnoty si lze všimnout pár odlehlých hodnot. Příčinou může být např. tlak na hrotu snímače dotykového drsnoměru, kdy u měkčích materiálů může vzniknout v povrchové vrstvě elastická deformace, která může způsobit zkreslení naměřených hodnot. Dalším důvodem mohou být nepatrné výstupky s malým poloměrem vrcholů, což může být kritickým místem pro měření. Z hlediska hodnocení všech použitých materiálů, kde byla drsnost broušené plochy měřena při nejnižší posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a nejnižší hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm můžeme říct, že nejvyšších hodnot dosahoval u parametru drsnosti  $R_a$  materiál 733 a nejnižších hodnot materiál 346. U parametru drsnosti  $R_z$  dosahoval nejvyšších hodnot materiál 733 a nejnižších 346.

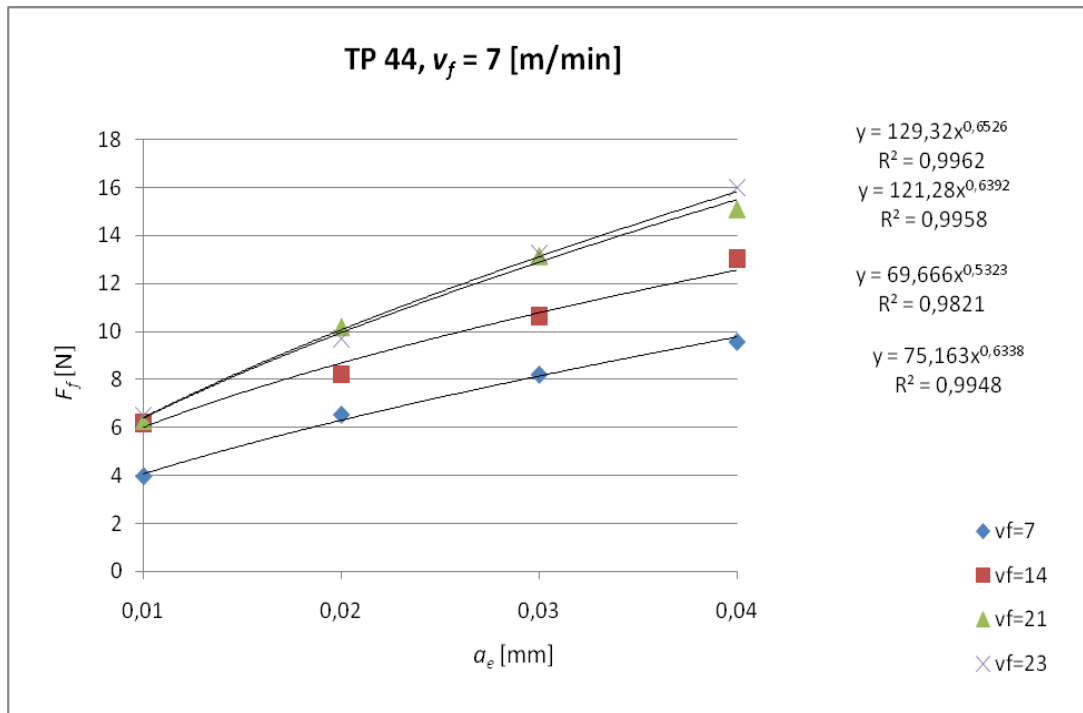
### 11.3 Stanovení optimálních podmínek pro materiál TP44

U materiálu TP44 byly při broušení měněny technologické podmínky. Postupně se měnila posuvová rychlost 7 m/min, 14 m/min, 21 m/min a 23 m/min. Při každé rychlosti bylo broušeno při hloubce řezu 0.01 mm, 0.02 mm, 0.03 mm a 0.04 mm. Nejnižších hodnot drsnosti povrchu bylo naměřeno u posuvové rychlosti  $v_f = 7$  m/min a hloubce řezu  $a_e = 0,01$  mm. Stejně tomu tak bylo i řezných sil  $F_f$  a  $F_p$ .

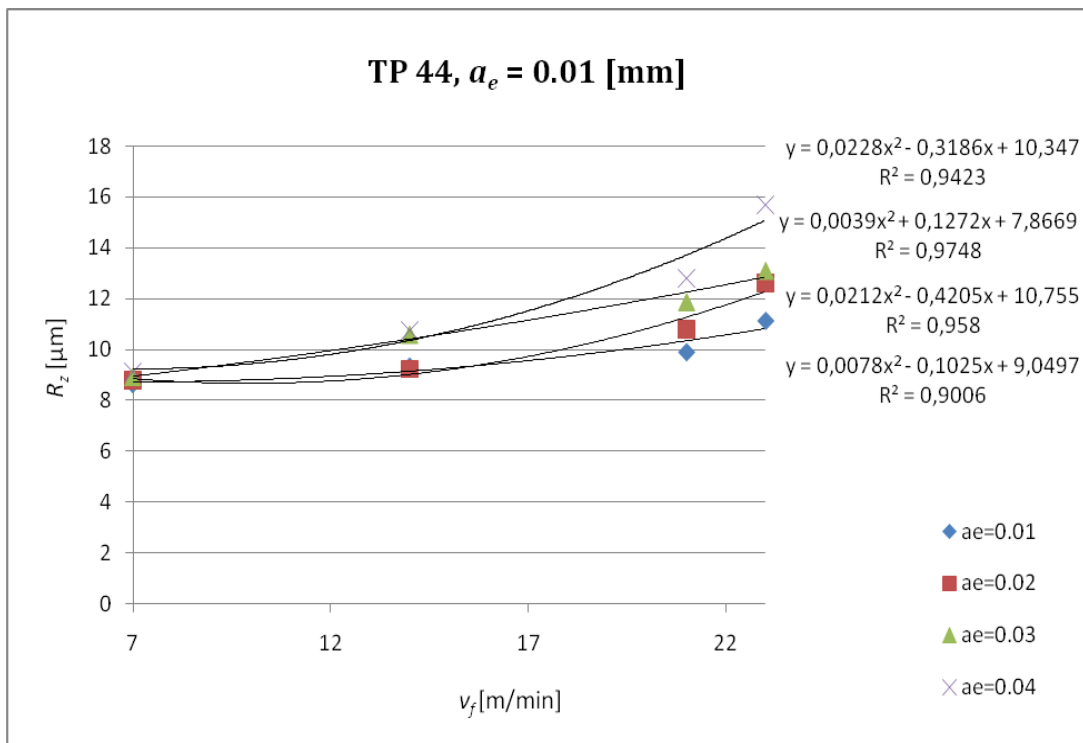
S rostoucí posuvovou rychlostí a hloubkou řezu hodnoty řezných sil, ale také parametry drsnosti převážně lineárně narůstaly. U grafů (obr. 59 a 60) si lze všimnout, že od posuvové rychlosti  $v_f = 14$  m/min a při hloubce řezu  $a_e = 0.01$  mm docházelo jen k mírnému nárůstu řezných sil. Parametry drsnosti  $R_a$  narůstají jen pozvolna, u parametru drsnosti  $R_z$  lze pozorovat dokonce téměř konstantní průběh (obr. 77 a 78). Proto za optimální podmínky pro rovinné broušení téhle kaučukové směsi bych volil nejmenší hloubku řezu, čili  $a_e = 0.01$  mm při posuvové rychlosti od 14 do 23 m/min. K dosažení nejefektivnějšího času broušení bych zvolil posuvovou rychlost  $v_f = 23$  m/min. Parametry drsnosti i řezné síly vzrostou už jen nepatrně. Vzhledem k omezeným technickým parametrům brusky BRH 20.03 F, kde maximální posuvová rychlost byla  $v_f = 23$  m/min, nebyly další technologické podmínky broušení prozkoumány. Avšak byly stanoveny experimentálně dle rovnice regrese.



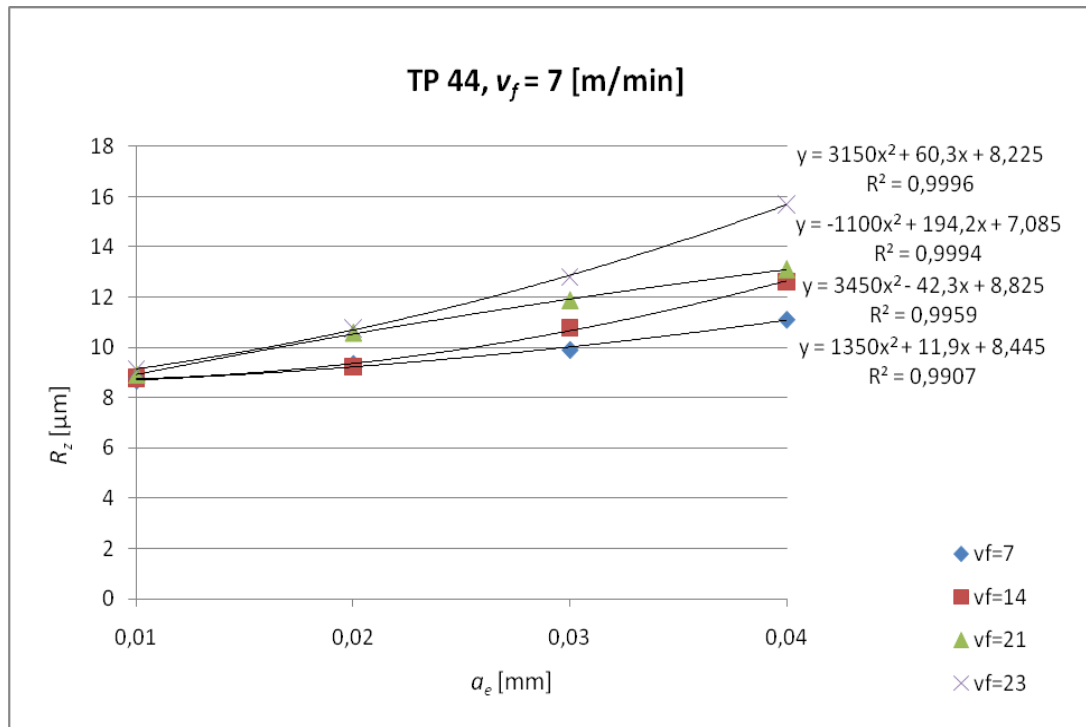
Obr. 83 Složky řezných sil  $F_f$  při konst. hloubce řezu



Obr. 84 Složky řezných sil  $F_f$  při konst. posuvové rychlosti



Obr. 85 Parametry drsnosti  $R_z$  při konst. hloubce řezu



Obr. 86 Parametry drsnosti  $R_z$  při konst. posuvové rychlosti

U složek řezných sil a parametrů drsnosti byly sestaveny grafy v závislosti na posuvové rychlosti a hloubce řezu. Tyto grafy byly proloženy regresní křivkou a popsány rovnicemi regrese a hodnotou spolehlivosti. Jedná se o minimalizaci chyb, kterou představují rozdíly skutečných naměřených hodnot a hodnot vypočítaných pomocí této metody. U měřených řezných sil docházelo k nárůstu hodnot mocninného charakteru. Parametry drsnosti narůstaly podle polynomu druhého řádu. Se stoupající posuvovou rychlostí u parametrů drsnosti podle polynomické rovnice druhého řádu, by docházelo k rapidnímu nárůstu hodnot. U složek řezných sil podle mocninného trendu by naopak docházelo se zvětšující se posuvovou rychlostí už jen pozvolnému růstu hodnot. Analogického chování dosahovaly také parametr drsnosti  $R_a$  a složka řezných sil  $F_p$  (viz příloha)

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo stanovit obrobiteľnost pryžových materiálů při rovinném broušení.

Z hlediska technologie obrábění je obrobiteľnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu a lze ji také definovat jako míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem pro volbu řezných podmínek a pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

V teoretické části byla popsána teorie obrábění včetně samotné kapitoly věnované technologii broušení. Třetí kapitolou byla obrobiteľnost materiálů a jejich rozdělení. Další velká kapitola patřila tření a opotřebení pryžových materiálů. Na závěr teoretické části byly vysvětleny metody hodnocení jakosti broušených ploch.

Cílem praktické části bylo broušení šesti zkušebních pryžových vzorků. Nejprve probíhala příprava zkušebních vzorků v podobě vulkanizace v hydraulickém lisu. Po přípravě vzorků došlo k samotnému broušení a měření složek řezných sil při proměnných technologických podmínkách. Posledním krokem bylo měření drsnosti povrchu zkušebních vzorků. Takhle naměřené hodnoty byly následně zpracovány za pomoci programů Conmes Spider a Minitab 15 a Microsoft Excel dle zásad statistiky a vyneseny do grafů. Grafy s ostatními použitými technologickými podmínkami než byly uvedeny v práci, se nachází v příloze.

Při diplomové práci bylo zjištěno že:

- Nejnižších hodnot parametrů drsnosti  $R_a$  i  $R_z$  dosahoval materiál s označením 346
- Nejvyšších hodnot parametrů drsnosti  $R_a$  i  $R_z$  dosahoval materiál s označením 733
- Nejnižších složek řezných sil  $F_f$  i  $F_p$  při broušení dosahoval materiál s označením 275
- Nejvyšších složek řezných sil  $F_f$  i  $F_p$  při broušení dosahoval materiál s označením 733

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie obrábění. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0*
- [2] VASILKO, K.; BOKUČAVA, G.: *Brúsenie kovových materiálov. ALFA Bratislava, 1988*
- [3] DVOŘÁK, Z., JAVOŘÍK, J.: *Konstrukce výrobků. Konstrukční materiály elastomerní formy pro jejich výrobu. Skripta KSV Zlín, 2009*
- [4] ŘASA, J., GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3, 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění. Praha. Grafikon 2000. ISBN 80-7183-207-3*
- [5] LIEMERT, G.: *Teorie obrábění. SNTL Praha, 1970. ISBN 80-7099-429-0*
- [6] KOCMAN, K.: *Speciální technologie. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8*
- [7] KOLÁŘ, D.: *Korelace struktury brousícího kotouče a jakosti broušené plochy. Diplomová práce. UTB Zlín 2010*
- [8] DORNICOVÁ, L.: *Dynamická obrobiteľnosť plastů a kovů při frézování. Diplomová práce. UTB Zlín 2007*
- [9] DILLINGER, J.: *Moderní strojírenství pro školu a praxi. Brno. Akademické nakladatelství CER, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1*
- [10] *Jakost a metrologie. [online]. 2010 [cit. 2011-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/staff/shejbalova/JM/1.pdf>>*
- [11] ATLANTIC-BONN, [online]. [cit. 2010-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.atlantic-bonn.de>>
- [12] ŘEŘÁBEK, A.: *Stavba a provoz strojů pro školu a praxi. Strojní součásti 2.*
- [13] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: *Gumárenské výroby I - Pneumatiky. SNTL Praha, 1985. ISBN 04-626-85*
- [14] VOCEL, M.: *Tření a opotřebení strojních součástí. SNTL Praha, 1976.*
- [15] RYŠAVÝ, M.: *Hodnocení obrobiteľnosti polymerů při vrtání. Diplomová práce. UTB Zlín 2008*
- [16] JURKO, J., LUKOVICS, I.: *Obrábatelnost' materiálů. 1. vydání. Zlín UTB, 2008. ISBN 978-80-7318-736-1*
- [17] MITUTOYO SJ – 301.: *Přístroj na měření drsnosti povrchu. Návod k použití.*
- [18] BRUSKA BRH 20.03.: *Rovinná bruska. Návod k použití.*

- [19] MATULA, L.: *Dynamická obrobiteľnosť pryžových materiálov broušením*. Diplomová práce. UTB Zlín 2010
- [20] SMID, P.: *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. New York, 2003. ISBN 0-8311-3158-6.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$R_a$	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_z$	Největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$v_c$	Řezná rychlost [ $\text{m/s}$ ]
$v_w$	Obvodová rychlost
$v_f$	Posuvová rychlost [ $\text{m/min}$ ]
$\varphi$	Úhel posuvového pohybu [ $^\circ$ ]
$\eta$	Úhel řezného pohybu [ $^\circ$ ]
$\gamma_n$	Normálový úhel čela
$\alpha_n$	Normálový úhel hřbetu
$a_e$	Hloubka řezu [ $\text{mm}$ ]
$r_n$	Poloměr zaoblení ostří
$n$	Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]
$K_v$	Kritérium kinematické obrobitelnosti
$K_F$	Kritérium dynamické obrobitelnosti
$K_{Ra}$	Kritérium mikrogeometrické obrobitelnosti
$F_c$	Řezná síla [ $\text{N}$ ]
$F_p$	Pasivní síla [ $\text{N}$ ]
$F_f$	Posuvová síla [ $\text{N}$ ]



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Realizace řezného procesu [15]</i> .....	14
<i>Obr. 2 Model záběru brousícího zrna [1]</i> .....	15
<i>Obr. 3 Vybrané způsoby obvodového a čelního broušení [1]</i> .....	18
<i>Obr. 4 Schéma obvodového broušení s podélným posuvem [1]</i> .....	19
<i>Obr. 5 Princip hloubkového broušení [1]</i> .....	19
<i>Obr. 6 Princip radiálního broušení [1]</i> .....	20
<i>Obr. 7 Bezhraté průběžné broušení [1]</i> .....	21
<i>Obr. 8 Bezhraté zápichové broušení [1]</i> .....	21
<i>Obr. 9 Schéma vnitřního broušení s podélným posuvem a radiálním přísuvem [1]</i> .....	22
<i>Obr. 10 Vnitřní bezhraté broušení [1]</i> .....	22
<i>Obr. 11 Vnitřní planetové broušení [1]</i> .....	23
<i>Obr. 12 Rovinné broušení obvodové [1]</i> .....	24
<i>Obr. 13 Rovinné broušení čelní [1]</i> .....	24
<i>Obr. 14 Škody vzniklé přehřátím povrchu obrobku při broušení [9]</i> .....	26
<i>Obr. 15 Struktura zrna [11]</i> .....	31
<i>Obr. 16 Používané tvary brousících kotoučů</i> .....	32
<i>Obr. 17 Orovnávání brousících kotoučů [9]</i> .....	32
<i>Obr. 18 Časový průběh opotřebení součásti</i> .....	42
<i>Obr. 19 Adhezni opotřebení (<math>v</math> – rychlost pohybu součásti) [14]</i> .....	43
<i>Obr. 20 Abrazivní opotřebení [14]</i> .....	43
<i>Obr. 21 Erozivní opotřebení [14]</i> .....	44
<i>Obr. 22 Kavitační opotřebení [14]</i> .....	45
<i>Obr. 23 Únavové opotřebení [14]</i> .....	45
<i>Obr. 24 Vibrační opotřebení [14]</i> .....	46
<i>Obr. 25 Profil obrobeného profilu při různých metodách obrábění</i> .....	47
<i>Obr. 26 Nerovnosti povrchu [20]</i> .....	48
<i>Obr. 27 Příčná a podélná drsnost povrchu [10]</i> .....	48
<i>Obr. 28 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu <math>R_a</math></i> .....	50
<i>Obr. 29 Největší výška profilu <math>R_z</math></i> .....	50
<i>Obr. 30 Celková výška profilu <math>R_t</math></i> .....	50
<i>Obr. 31 Vyhodnocovaná délka <math>l_n</math></i> .....	51
<i>Obr. 32 Schéma měřicího přístroje</i> .....	52

<i>Obr. 33 Úprava formy</i> .....	55
<i>Obr. 34 Tvar a rozměry pryžových vzorků používaných při experimentu</i> .....	55
<i>Obr. 35 Vylisované zkušební vzorky</i> .....	57
<i>Obr. 36 Dvouválec pro míchání směsí</i> .....	57
<i>Obr. 37 Vysekávací stroj</i> .....	58
<i>Obr. 38 Hydraulický lis</i> .....	58
<i>Obr. 39 Schéma brousícího kotouče</i> .....	60
<i>Obr. 40 Bruska BRH 20.03 F</i> .....	61
<i>Obr. 41 Detailní záběr na upnutí vzorku</i> .....	62
<i>Obr. 42 Schéma brusky BRH 20.03 F</i> .....	63
<i>Obr. 43 Schéma měřicího zařízení Mitutoyo SJ – 301 [17]</i> .....	64
<i>Obr. 44 Detailní záběr při měření drsnosti</i> .....	64
<i>Obr. 45 Dvousložkový tenzometrický dynamometr</i> .....	65
<i>Obr. 46 Charakteristika měření zapsána pomocí programu Conmes Spider</i> .....	65
<i>Obr. 47 Složky řezných sil při konst. hloubce řezu</i> .....	66
<i>Obr. 48 Složky řezných sil při konst. hloubce řezu</i> .....	67
<i>Obr. 49 Složky řezných sil při konst. velikosti posuvu</i> .....	67
<i>Obr. 50 Složky řezných sil při konst. velikosti posuvu</i> .....	68
<i>Obr. 51 Složky řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů</i> .....	68
<i>Obr. 52 Složky řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů</i> .....	69
<i>Obr. 53 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu</i> .....	70
<i>Obr. 54 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu</i> .....	70
<i>Obr. 55 Časový vývoj složek řezných sil při konst. posuvové rychlosti</i> .....	71
<i>Obr. 56 Časový vývoj složek řezných sil při konst. posuvové rychlosti</i> .....	71
<i>Obr. 57 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů</i> .....	72
<i>Obr. 58 Časový vývoj složek řezných sil při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů</i> .....	72
<i>Obr. 59 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu</i> .....	73
<i>Obr. 60 Krabicový diagram při konst. hloubce řezu</i> .....	74
<i>Obr. 61 Krabicový diagram při konst. velikosti posuvu</i> .....	74

<i>Obr. 62</i> Krabicový diagram při konst. velikosti posuvu.....	75
<i>Obr. 63</i> Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	75
<i>Obr. 64</i> Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	76
<i>Obr. 65</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. hloubce řezu .....	77
<i>Obr. 66</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. hloubce řezu .....	78
<i>Obr. 67</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti posuvu .....	78
<i>Obr. 68</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti posuvu .....	79
<i>Obr. 69</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	79
<i>Obr. 70</i> Parametry drsnosti povrchu v podélném směru při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	80
<i>Obr. 71</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu .....	81
<i>Obr. 72</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu .....	81
<i>Obr. 73</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti posuvu .....	82
<i>Obr. 74</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti posuvu .....	82
<i>Obr. 75</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů.....	83
<i>Obr. 76</i> Časový vývoj parametru drsnosti při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů.....	83
<i>Obr. 77</i> Krabicový diagram při konst. hloubce řezu.....	84
<i>Obr. 78</i> Krabicový diagram při konst. hloubce řezu.....	85
<i>Obr. 79</i> Krabicový diagram při konst. posuvové rychlosti.....	85
<i>Obr. 80</i> Krabicový diagram při konst. posuvové rychlosti.....	86
<i>Obr. 81</i> Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	86
<i>Obr. 82</i> Krabicový diagram při konst. velikosti hloubky řezu a konst. velikosti posuvu u všech materiálů .....	87
<i>Obr. 83</i> Složky řezných sil $F_f$ při konst. hloubce řezu.....	90
<i>Obr. 84</i> Složky řezných sil $F_f$ při konst. posuvové rychlosti.....	91
<i>Obr. 85</i> Parametry drsnosti $R_z$ při konst. hloubce řezu .....	91
<i>Obr. 86</i> Parametry drsnosti $R_z$ při konst. posuvové rychlosti.....	92

**Seznam tabulek**

<i>Tab. 1 Dosahované parametry [1] .....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 2 Použité kaučukové směsi na přípravu zkušebních vzorků .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 3 Použité kaučukové směsi a jejich tvrdosti [19] .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 4 Technologické podmínky.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 5 Technické parametry brusky BRH 20.03 F [18] .....</i>	<i>62</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Dynamická obrobiteľnosť pryžových materiálů broušením  
(elektronická příloha)

Adresář na CD: /vysledky/

Soubor: Drsnost.xls	naměřené hodnoty
Soubor: Obrobiteľnosť.sp8	naměřené hodnoty
Soubor: Obrobiteľnosť.xls	zpracované hodnoty pro statistiku
Soubor: Pecháček_grafy.mpj	zpracované grafy v programu Minitab
Soubor: Pecháček_grafy2.mpj	zpracované grafy v programu Minitab