

# Vliv technologických podmínek na jakost obrobeného povrchu

Jan Mayer

---

Bakalářská práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Teoretická část práce se zabývá základy teorie obrábění, zejména frézováním a materiály používanými k výrobě fréz. Dále obsahuje přehled plastových materiálů používaných pro výrobu součástí obráběním, včetně specifík obrábění plastů. V praktické části dochází k vyhodnocování změny technologických podmínek na kvalitu obrobeného povrchu vybraných plastových polotovarů. Výsledky jsou statisticky vyhodnoceny a budou dále použity při obrábění prototypových součástí z plastů.

Klíčová slova: frézování, konstrukční polymery, řezná rychlost, posuv, hloubka záběru.

## **ABSTRACT**

Theory part is engaged in foundations of shaping especially mailling cutting operation and materials using for mailling cutters production. Further theory part is dealing with survey about plastic polymers using for shaping production including shaping plastic polymers. Practice part is engaged in analyse the changes of technological conditions on quality shaped surface of chosen plastic polymers. Results are statistical analysed and they will be used for shaping plastic model prototypes.

Keywords: mailling cutting, plastic polymers, shaping, cut speed, shift, deep of a shot.

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Sedřovi za projevení dobré vůle při poskytnutí odborného vedení, za mnohé cenné rady, připomínky a návrhy při vypracovávání své bakalářské práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně dne 22. 5. 2006

.....

podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>9</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY OBRÁBĚCÍHO PROCESU.....</b>	<b>10</b>
1.1 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍHO PROCESU.....	10
1.1.1 Obrobek.....	10
1.1.2 Obráběcí nástroj.....	11
1.1.3 Řezné parametry.....	12
1.2 OPERACE FRÉZOVÁNÍ.....	16
1.2.1 Podstata frézování.....	16
1.2.2 Sousedné frézování.....	17
1.2.3 Nesousedné frézování.....	18
1.2.4 Frézování čelními frézami.....	19
1.2.5 Frézování válcovými frézami.....	19
1.2.6 Frézy.....	20
1.2.7 Řezné podmínky.....	22
1.2.8 Řezné síly a výkon při řezání.....	23
1.3 MATERIÁLY FRÉZ.....	24
1.3.1 Nástrojové oceli.....	24
1.3.2 Slinuté karbidy.....	26
1.3.3 Řezná keramika.....	28
1.3.4 Supertvrdé řezné materiály.....	30
1.4 PLASTY.....	31
1.4.1 Rozdělení plastů.....	31
1.4.2 Vliv faktorů na vlastnosti plastů.....	31
1.4.3 Přehled plastů.....	34
1.5 SPECIFIKA OBRÁBĚNÍ PLASTŮ.....	46
1.5.1 Frézy pro obrábění plastů.....	47
1.5.2 Chlazení.....	48
1.5.3 Tolerance při obrábění plastů.....	49
<b>2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....</b>	<b>50</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>51</b>
<b>3 OBROBENÍ PLASTOVÝCH VZORKŮ.....</b>	<b>52</b>
3.1 SPECIFIKA OBRÁBĚNÍ PLASTŮ.....	52
3.1.1 Řídící systém stroje.....	52
3.2 POUŽITÁ FRÉZKA.....	53
3.3 NÁSTROJE.....	54
3.3.1 Použitý nástroj.....	54
3.4 HODNOCENÉ MATERIÁLY.....	55
3.5 VYHODNOCENÍ VLIVU TECH. PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU.....	56

<b>4</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>57</b>
4.1	MATERIÁL - PP .....	57
4.2	MATERIÁL - PE .....	59
4.3	MATERIÁL - PET .....	60
4.4	MATERIÁL - POM .....	62
4.5	MATERIÁL - PTFE.....	63
4.6	MATERIÁL - PVC .....	65
4.7	MATERIÁL - PC .....	66
4.8	MATERIÁL – PA GF 30 .....	68
4.9	MATERIÁL – PA 66 .....	69
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>76</b>

## ÚVOD

Technologie (z řeckého techné = dovednost, logos = nauka) je vědní obor, zabývající se výrobními procesy, kterými se vlivem účinků mechanické, chemické a tepelné energie mění suroviny, případně konstrukční materiály na polotovary a hotové výrobky. Je to jedna z nejmladších odborných disciplín, protože její začátky spadají teprve do konce 19. století. Vývoj technologie je úzce spjat s vývojem poznání vědy a techniky. Kvalita aplikované technologie dominantním způsobem ovlivňuje nejen užité vlastnosti hotového výrobku, ale i ekonomiku výrobku.

Současný stav třískového obrábění a perspektivní směry rozvoje ukazují, že obrábění zůstává a zůstane ve strojírenské výrobě základní technologickou profesí. Několik tisíciletí byla zaměřena výroba kovových součástí a nástrojů pouze na odlévání a teprve na přelomu 19. a 20. století došlo k rozvoji třískového obrábění, které zajišťuje podstatně vyšší přesnost, a tím i vyšší spolehlivost jednotlivých elementů výrobků a jejich celků.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ POJMY OBRÁBĚCÍHO PROCESU

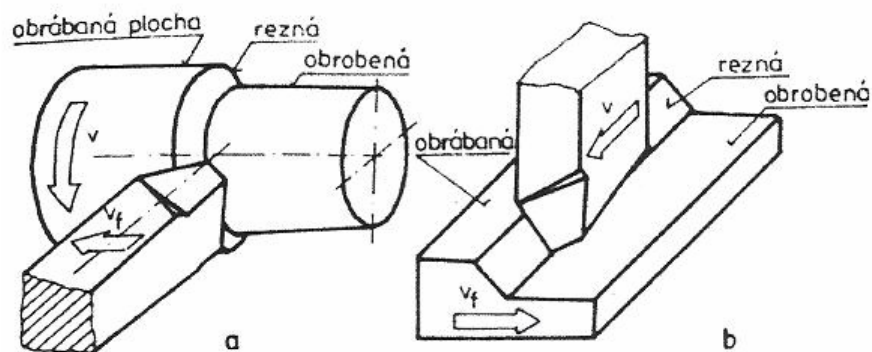
Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces se realizuje v obráběcím systému, který lze obecně členit na subsystemy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem obráběcího procesu jsou příslušné obrobené plochy.

### 1.1 Technologické charakteristiky obráběcího procesu

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako *řezání*, respektive *řezný proces*. V závislosti na způsobu oddělování materiálu se rozliší řezný proces *kontinuální* (soustružení, vrtání), *diskontinuální* (hoblování, obrážení) a *cyklický* (frézování, broušení). Reálný řezný proces probíhá za určitých řezných podmínek, které jsou součástí obráběcích podmínek.

#### 1.1.1 Obrobek

Primárním prvkem technologické soustavy je obrobek.. Řešení, které zabezpečují jeho požadované změny, naplňují úlohy technologického procesu. Pro tyto řešení se obrobek analyzuje z hlediska materiálu a jeho vlastností a z hlediska požadovaných výstupních změn.



Obrázek 1: Plochy při soustružení (a) a při hoblování (b)

Obráběná plocha je plochou polotovaru, kterou je třeba v procese obrábění odstranit a nahradit nově vzniklou plochou. Řezná plocha se vytváří bezprostředně za řeznou hranou nástroje. Obrobená plocha je výsledkem obrábění a její vzhled je do značné míry závislý na podmínkách, při jakých se bude tříška z materiálu odřezávat. Tvar řezné plochy odpovídá trajektorii jednotlivých bodů řezné hrany v záběru. Obrobená plocha vzniklá jako obalová plocha části řezné plochy. Tvar obrobené plochy s požadovanou přesností rozměrů a s přípustnými geometrickými odchylkami odpovídá po dokončení operace obrábění ideálnímu tvaru součástky, který je definován výrobním výkresem.

### 1.1.2 Obráběcí nástroj

Řezný nástroj se analyzuje a projektuje podle více aspektů. Při utváření třísky je nejdůležitějším aspektem geometrie nástroje. Tato geometrie je závislá na obráběném materiálu a na materiálu nástroje.

Z hlediska regulace procesu řezání má nejdůležitější význam řezná část, kterou představuje řezný klín. Tvar řezného klínu je charakterizovaný tvořícími plochami (čelní a hřbetovou). Po čelní ploše klouže tříška. Hřbetová plocha se dotýká s řeznou plochou (hlavní), anebo je obrácená k obrobené ploše (vedlejší). Někdy má řezný klín na čele nebo na hřbetě úzkou plošku, kterou nazýváme fazetkou. Řezná hrana je průsečnicí čelní a hřbetové plochy.

Geometrický tvar řezného klínu se definuje při konstrukci nástroje. Poloha ploch, které vytváří řezné hrany, se odvíjí od úhlů, které se určují v rovinách vztahovaných na základní rovinu nástroje. Úhly řezného klínu jsou definované normou (ČSN 22 0011).

Úhly se měří v základní rovině ( $P_r$ ) a v průsečných rovinách ( $P_o, P_n, P_f, P_p$ ).

Jsou to: úhel čela..... $\gamma_o$ , úhel hřbetu..... $\alpha_o$ , úhel nastavení..... $\chi_r$ , úhel hrotu..... $\varepsilon_r$ , úhel sklonu řezné hrany..... $\lambda_s$  (udává se v referenčním bodě řezné hrany a je daný úhlem tangenty k řezné hraně a k základní rovině. Pro úhly definované v základní a ortogonální rovině platí vztahy:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$$

$$\chi_r + \varepsilon_r + \chi_r' = 180^\circ$$

### 1.1.3 Řezné parametry

Řezné parametry patří mezi základní vstupní údaje v práci technologické soustavy. K nim patří údaje o řezném pohybu a velikosti průřezu odebrané vrstvy. Tyto parametry mají technologickou (zařazení a regulace technologické soustavy) a fyzikální povahu (podstata chování technologické soustavy a vlastního mechanismu řezání).

**Řezný pohyb** – je vzájemný pohyb obrobku a nástroje, který se skládá z hlavního pohybu, posuvu a přísuvu.

**Hlavní pohyb** – souhlasí vždy s tím pohybem stroje, na který se spotřebuje převážná část výkonu motoru stroje.

**Posuv** – je relativní pohyb obrobku a nástroje, který umožňuje postupné odřezávání třísek. Může být plynulý nebo přerušovaný.

**Posuv na zub** -  $s_z$  (mm) – je při frézování důležitou klíčovou hodnotou. Posuv na zub odpovídá dráze, kterou urazí fréza v průběhu záběru jednoho zubu.

**Přísuv** – je to pohyb určující hloubku odřezávané vrstvy materiálu. Je zpravidla přerušovaný o proto nemá vliv na řezný pohyb.

Mezi technologické parametry patří: hloubka řezu „ $t$ “, posuv „ $s$ “ a řezná rychlost „ $v$ “. Velikost průřezu odřezávané vrstvy se v praxi nastavuje dvěma parametry. Těmito parametry jsou hloubka řezu a posuv.

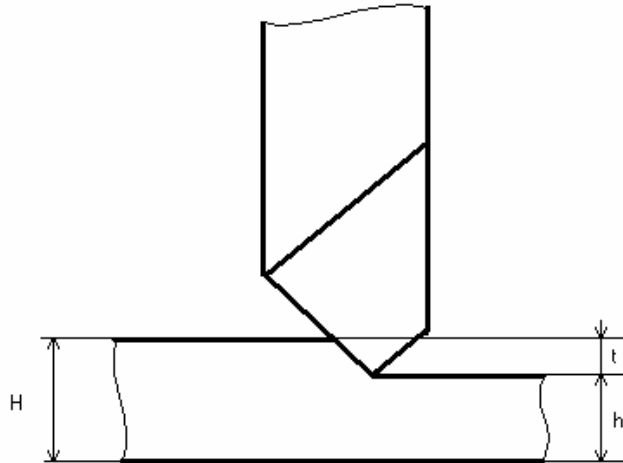
Hloubkou řezu nazýváme vzdálenost mezi obráběnou a obrobenou plochou. Tato vzdálenost se měří na normále k obrobené ploše a udává se v „mm“.

Při obrábění rovinných povrchů (hoblování, frézování, rovinné broušení, čelní soustružení apod.) je hloubka řezu:

$$t = H - h \text{ (mm)}$$

H.....výška obráběné plochy (mm)

h.....výška obrobené plochy (mm)



Obrázek 2: Hloubka řezu při obrábění rovinných ploch

Pokud je šířka odřezávané vrstvy daná konstrukcí nástroje (zapichovací nože, protahovací trny apod.), místo hloubky řezu se jako technologický parametr bere šířka nástroje „B“. V tomto případě tedy:

$$t = B \quad (mm)$$

Posuvem nazýváme vzdálenost, o kterou se změní poloha nástroje za jednu otáčku obrobku (soustružení), nebo nástroje (frézování, vrtání), anebo za jeden zdvih (hoblování, obrážení).

$$s_m = s \cdot n \quad \left( \frac{mm}{min} \right)$$

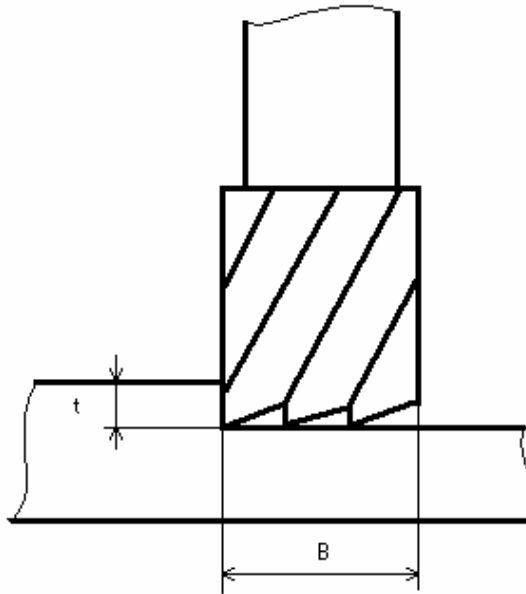
s.....posuv za otáčku nebo zdvih (mm), n.....počet otáček nebo zdvihů (1/mm)

Někdy se při frézování a protahování udává posuv (mm) na zub. Při frézování mezi posuvem na otáčku a posuvem na zub  $s_z$  platí vztah:

$$s = s_z \cdot z \quad (\text{mm})$$

z.....počet zubů frézy.

Podle charakteru obrábění může být posuv podélný, příčný a kruhový. Při frézování k hloubce řezu a posuvu přibývá ještě jeden parametr odřezávané vrstvy - šířka obrábění „B“



Obrázek 3: Hloubka řezu při obrábění drážek

**Řezná rychlost** – při soustružení je obvodová rychlost obrobku a při frézování je to obvodová rychlost frézy.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \left( \frac{m}{\text{min}} \right)$$

D.....průměr obráběné plochy (soustružení), průměr frézy (frézování).

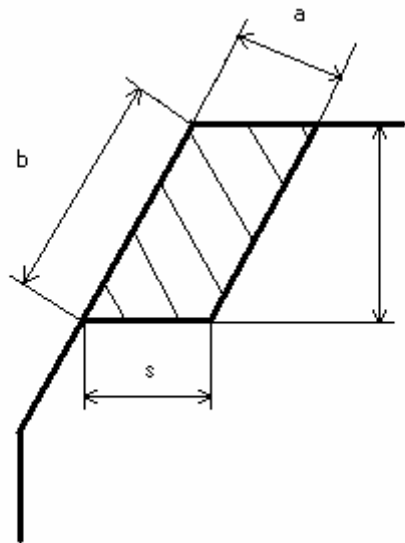
n.....otáčky obrobku (soustružení), otáčky frézy (frézování).

Všeobecně se řezná rychlost udává v m/min. Při přímočarém hlavním pohybu se za řeznou rychlost považuje střední rychlost, která se vypočítá na základě počtu dvojzdvihů „ $n_z$ “ za minutu.

$$v = \frac{2 \cdot L \cdot n_z}{1000} \quad \left( \frac{m}{\text{min}} \right)$$

L.....délka zdvihu (mm)

Parametry řezání se odvozují od velikosti odebrané vrstvy a charakterizují velikost řezného pohybu jako výslednici parciálních pohybů. Řezem nazýváme tu část materiálu obrobku, která se odřezáním změní na třísku. Při hoblování je to např. pás materiálu obrobku přiléhající k řezné ploše, kterého hloubka ve směru posuvu se rovná součinu posuvu a zdvihu (viz obr. 4)



Obrázek 4: Rozměry průřezu odebrané vrstvy

Var a rozměry odebrané vrstvy jsou charakterizované hloubkou „ $a$ “, šířkou „ $b$ “ a průřezem „ $S$ “. Určujeme je v rovině kolmé na směr hlavního pohybu. Hloubka odebrané vrstvy „ $a$ “ je dána vzdáleností dvou za sebou následujících řezných ploch. Šířka odebrané vrstvy „ $b$ “ je druhým rozměrem odebrané vrstvy. Měří se podle parametru řezné hrany na

rovinu kolmou na směr hlavního pohybu. Zakřivení řezné hrany při určení šířky řezu se zanedbává.

Plošný obsah odebrané vrstvy (průřez „S“) se vypočítá jako plocha geometrického útvaru. Když hloubka a šířka odebrané vrstvy jsou konstantní, při přímkové řezné hraně a vedlejším úhlu nastavení  $\chi_r=0$  platí mezi posuvem „s“, hloubkou řezu „t“, hloubkou „a“, šířkou „b“ odebrané vrstvy následující závislosti:

$$S = s \cdot t = a \cdot b \quad (mm^2)$$

$$A = s \cdot \sin \chi_r \quad (mm)$$

$$B = \frac{t}{\sin \chi_r} \quad (mm)$$

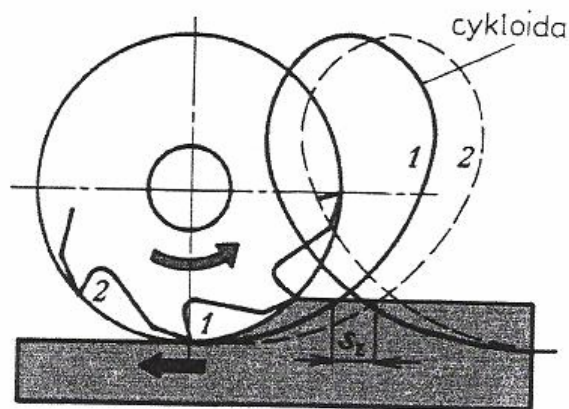
## 1.2 Operace frézování

### 1.2.1 Podstata frézování

Frézováním se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřítým nástrojem, tj. frézou. Obrobek upnutý na pracovním stole frézky vykonává plynulý pohyb – posuv. Někdy se posouvá i vřeteno s nástrojem. Jednotlivé břity nástroje nejsou trvale v záběru, ale jen po určitou dobu otáčky. Břity, které právě neodebírají třísku z materiálu se ochlazují.

Otáčivý pohyb frézy je hlavním pohyb, vedlejší pohyb obrobku je přímočarý nebo kruhový. Obvykle je vedlejší pohyb kolmý na osu otáčení. Řezný pohyb je tedy cykloida.





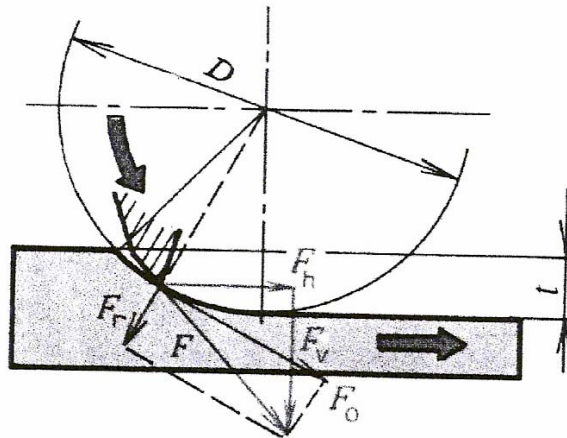
Obrázek 5: Řezný pohyb při frézování

### 1.2.2 Sousedné frézování

Při sousledném frézování se fréza otáčí ve směru posuvu (obr. 6). Břity zubů se postupně zařezávají do maximální tloušťky třísky a končí na obrobené ploše. Plochy takto obrobené jsou hladší. Řezná síla působí příznivěji na upínání, neboť je přitlačuje na opěrnou plochu. Výkon při sousledném frézování je o 30 – 50 % větší, než při nesousledném frézování při stejné trvanlivosti nástroje.

Nevýhodou sousledného frézování jsou silové rázy při záběru každého zubu do materiálu. Dají se však odstranit použitím fréz se šikmými zuby. V posuvovém ústrojí vznikají rázy tím, že fréza má snahu vtahovat obrobek do sebe. Proto musí mít frézky zařízení pro vymezení vůle mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí.

Sousledné frézování se uplatní jen na frézách tuhé konstrukce. Obvykle se používá při obrábění houževnatých a měkkých materiálů. Při obrábění výkovků, odlitků a výlisků, které mají nečistý a tvrdý povrch, je výhodnější frézování nesousledné.

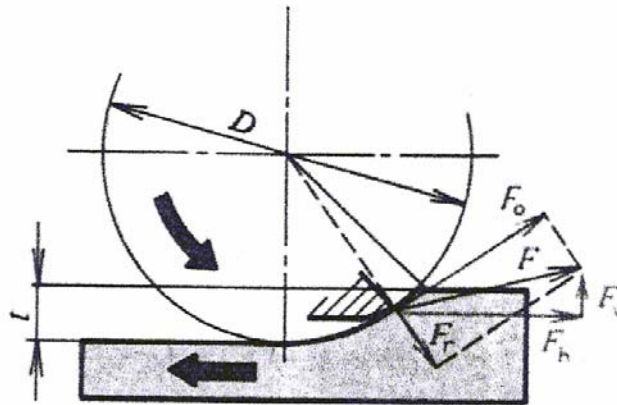


Obrázek 6: Sousedné frézování

### 1.2.3 Nesousedné frézování

Při nesousedném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu (obr. 7.) Vodorovná složka síly působí proti směru posuvu a svislá složka obrobek zvedá. Zub zabírá z nulové tloušťky třísky. V tomto případě způsobuje zaoblení ostří, že zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky, předtím dochází pouze k pěchování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Tím se zvyšuje opotřebení břitu nástroje a zhoršuje se kvalita obrobene plochy.

Z tohoto hlediska je sousledné frézování výhodnější, vyžaduje však vzhledem ke stejnému směru posuvu a vodorovné složky řezné síly  $F$ , vymezení vůle v posuvovém mechanismu stroje.



Obrázek 7: Nesousledné frézování

#### 1.2.4 Frézování čelními frézami

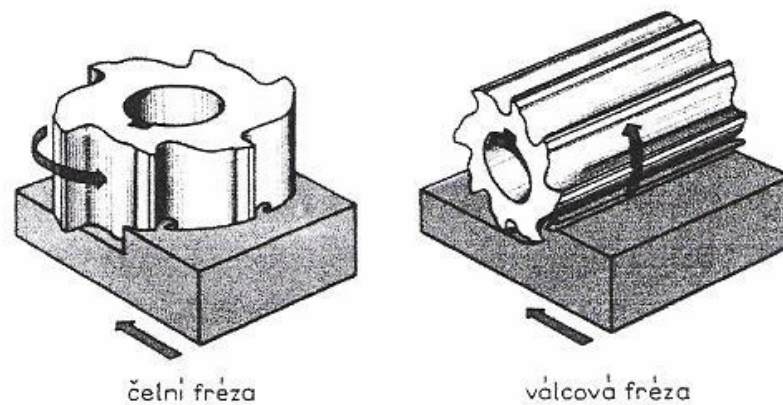
Dráha jednotlivých břitů je cykloida. Materiál je odřezáván nejen břity na obvodu frézy, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se mění od minima až do maxima podle velikosti průměru frézy k šířce frézované plochy (viz obr. 8.)

Frézování čelními frézami je výkonnější než frézování válcovými frézami, protože při něm zabírá více zubů současně, což umožňuje volit větší posuv nástroje.

#### 1.2.5 Frézování válcovými frézami

Válcovou frézou lze frézovat sousledným nebo nesousledným způsobem. Materiál je odřezáván břity na obvodu frézy (obr. 8)

Fréza rotuje kolem osy otáčení ležící v rovině rovnoběžné s tangenciálním posuvem. Při rovinném frézování válcovou hlavou je hloubka řezu měřena v radiálním směru a je definována tím, jak hluboko proniká průměr frézy do obrobku.



Obrázek 8: Frézování čelní a válcovou frézou

### 1.2.6 Frézy

Frézy jsou obvykle několikabřité nástroje různého tvaru, jejichž břity jsou rozloženy na povrchu válcové, kuželové nebo jiné rotační plochy. Frézy se používají pro dva, již uvedené, druhy frézování, a to frézování čelními frézami a frézování válcovými frézami.

Při práci se nástroj otáčí kolem své osy a obrobek koná posuv (posouvá se do záběru). Zabírající zuby frézy ubírají (odřezávají) třísky z povrchu frézovaného obrobku.

Frézy je možné dělit do skupin podle různých hledisek:

#### 1. podle funkce:

- frézy k obrábění rovinných ploch - válcové
  - čelní
  
- frézy pro obrábění drážek - drážkovací
  - kotoučové
  
- frézy pro obrábění tvarových ploch - kuželové
  - rádiusové
  - tvarové úhlové
  - frézy pro ozubení

2. podle provedení a tvaru zubů:

- frézování
- podsoustružování
- podbrušování

3. podle počtu dílů:

- celistvé
- svařované
- dělené

4. podle způsobu upnutí:

- nástrčné
- s válcovou stopkou
- s kuželovou stopkou

5. podle smyslu otáčení

- pravořezné
- levořezné

6. podle technologie výroby:

- odlévané
- svařované
- tvářené
- broušené

**Konstrukce fréz** - průměr frézy se volí se zřetelem na hospodárnost obrábění. K danému průměru frézy je třeba stanovit rozměry upínací stopky. Díra, popř. stopka se volí co největší, aby se zvýšila tuhost soustavy. Zubové mezery musí být dostatečné prostorné, k vnějšímu průměru otevřené, s přiměřeně velkým zaoblením čela. Povrch čela a celé zubové mezery musí být hladký, aby se zamezilo pěchování třísek. Minimální nutný profil zubové mezery se určí podle objemu třísek odebraných jedním zubem na otáčku frézy.

Počet zubů  $z$  je stanoven v ČSN pro základní druhy a průměry fréz. Pro jinak zadané podmínky je nutno volit optimální počet zubů. Z důvodu snížení chvění celé soustavy při frézování se volí nestejněměrná rozteč zubů.

### 1.2.7 Řezné podmínky

Řezná rychlost se měří na největším průměru frézy a volí se podle obrobitelnosti materiálu, materiálu nástroje, způsobu práce (hrubování na čisto nebo válcovými frézami apod.), podle druhu řezné kapaliny a způsobu upnutí obrobku.

Posuv je dán délkou vzájemného posunutí obrobku a nástroje.

- posuv na zub -  $s_z$  (mm)
- posuv na otáčku frézy -  $s$  (mm)
- posuv za minutu -  $s_{\min}$  (mm)

Vzájemný vztah těchto posuvů lze vyjádřit :

$$s_{\min} = n \cdot s = n \cdot s_z \cdot z$$

$z$ .....počet zubů frézy.

Při volbě řezných podmínek se volí posuv na zub  $s_z$ , při nastavování posuvové rychlosti stolu vycházíme z posuvu  $s_{\min}$ . Rychlost posuvu rovněž závisí na obrobitelnosti materiálu obrobku, druhu použité frézy, na průřezu třísky a na požadované drsnosti

obrobené plochy. Při práci na čisto se volí  $s_z=0,03$  až 0,1 mm, při hrubování 0,2 až 0,4 mm.

Hloubka frézování bývá obvykle 3 až 10 mm, u výkovků a odlitků až 30 mm- Při frézování na čisto asi 1 mm. Největší hloubka řezu je omezena tuhostí soustavy stroj – obrobek – nástroj, stejně tak i vznik chvění.

### 1.2.8 Řezné síly a výkon při řezání

Frézování válcovou frézou:

- obvodová síla:  $F_z = t \cdot b \cdot k_f \cdot p$

t.....hloubka řezu, b.....šířka frézování

- součinitel korekce frézovaného průřezu:  $k_f = \frac{s_z \cdot z}{\pi \cdot D}$

- radiální složka řezné síly:  $F_r = (0,2 - 0,5) \cdot F_z$

- axiální složka řezné síly:  $F_a = F_z \cdot \operatorname{tg} \lambda$

Frézování čelní frézou:

- obvodová síla:  $F_z = t \cdot b \cdot k_f \cdot p$

- kroutící moment:  $M_K = F_z \cdot \frac{D}{2}$

Výkon frézování:

Potřebný výkon pro frézování se počítá buď z obvodové síly, nebo z množství odebraných třísek.

- užitečný výkon:  $P_{už} = F_z \cdot v$

Je-li řezná rychlost  $v$  (m/mm) a řezná síla  $F_z$  (N), tak:

$$P_{už} = \frac{F_z \cdot v}{1000 \cdot 60} \text{ (kW)}$$

- příkon elektromotoru:  $P_e = \frac{P_{už}}{\eta}$

$\eta$  ..... účinnost stroje.

V praxi se většinou počítá užitečný výkon ( $P_{už}$ ) podle poměrného úběru, tj. objemu odebraných třísek na 1 kW a minutu podle vzorce:

$$P_{už} = \frac{Q}{u} = \frac{b \cdot t \cdot s_{\min}}{1000 \cdot u}$$

$Q$ .....objem odebraného materiálu,  $u$ .....měrný úběr,  $b$ .....frézovaná tříska.

### 1.3 Materiály fréz

#### 1.3.1 Nástrojové oceli

Na nástrojové oceli jsou kladeny vysoké požadavky, které jsou často protichůdné. Některé nástroje musí mít vysokou tvrdost a pevnost, u jiných se naopak mechanické vlastnosti snižují z důvodu získání dostatečně vysoké houževnatosti. Nástroje pracující za tepla si musí zachovávat mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. U všech nástrojů je požadována vysoká odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení, u některých i za zvýšených teplot.



Nástrojové oceli musí mít také vyšší čistotu (nižší obsah vměstků) a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici z důvodu snížení nebezpečí praskání nástrojů při kalení. Oceli na nástroje s větší tloušťkou stěny je nutno zaručit dostatečně velkou prokalitelnost. Někdy se žádá také odolnost proti korozi. Pokud mají mít nástroje vysokou tvrdost povrchu, ale houževnaté jádro, používají se nelegované nebo nízkolegované cementační oceli. Může se také provádět speciální tepelné zpracování.

Nástrojové oceli se dělí podle:

### 1. chemického složení

- nelegované – oceli s nízkým obsahem uhlíku (max. 0,25%)
  - oceli se středním obsahem uhlíku (0,25 – 0,6%)
  - oceli s vysokým obsahem uhlíku (nad 0,6%)
- nízkolegované (součet leg. prvků do 5%)
- střednělegované (součet leg. prvků od 5 – 10%)
- vysokolegované (součet leg. prvků nad 10%)

### 2. druhu ochlazovacího prostředí

- kalitelné do vody
- kalitelné do oleje
- kalitelné do vzduchu

### 3. způsobu použití

Pro praktické použití je však nejvhodnější dělit oceli podle použití tak, jak to uvádí ČSN 42 0075 (oceli nástrojové třídy 19). V této normě jsou nástrojové oceli rozděleny do

osmi hlavních skupin, které byly označeny písmeny NA až NH. Hlavní skupiny se dále dělí na podskupiny.

NA – oceli na řezné nástroje (strojní)

NB – oceli na nástroje pro stříhání (strojní)

NC – oceli na nástroje pro tváření (NCS za studena, NCT za tepla)

ND – oceli na formy

NE – oceli na nástroje pro drcení a mletí

NF – oceli na ruční nástroje a nářadí

NG – oceli na měřidla

V ČSN se nástrojové oceli označují stejně jako všechny ostatní materiály šestimístným číslem. První dvojčíslí ve značce označuje třídu tvářené oceli. Význam třetí až páté číslice určuje ČSN 42 0002. Třetí číslice znamená druh oceli podle typu legování (podle obsáhlých prvků 0,1,2: nelegované, 3,4,5,6,7,8: legované, 9: speciální oceli). U nelegovaných ocelí označuje čtvrtá číslice, která spolu s třetí číslicí tvoří druhé dvojčíslí, střední obsah uhlíku. Ve značce legovaných ocelí má čtvrtá číslice pořadový význam.

### 1.3.2 Slinuté karbidy (SK)

a) **Nepovlakované SK** - předčí rychlořezné oceli velkou otěruvzdorností, jsou však křehké, obtížně obrobitelné a mají sklon k vydrolování břitu.

Rozdělení SK podle ISO z hlediska řezného procesu:

P – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající plynulou třísku.

M – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající plynulou i krátkou třísku.

K – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající krátkou třísku.

Umístění do skupin podle použití je dáno řeznými podmínkami. Podskupiny se označují dvoumístným číslem, které vyjadřuje houževnatost přiřazených druhů a jejich odolnost

proti otěru. V podskupinách s nízkým číslem jsou u všech tří hlavních skupin s velkou odolností proti otěru a malou houževnatostí. V podskupinách s vysokým číslem je tomu naopak.

Základní karbidy pro výrobu různých druhů SK:

Karbid wolframu..... $WC$

Karbid titanu..... $TiC$

Pojícím prvkem je kobalt ( $Co$ ) a jako další přísady se přidávají karbid tantalu ( $TaC$ ), karbid niobu ( $NbC$ ) a karbid chromu ( $Cr_3C_2$ ). S ohledem na složení se SK někdy označují jako jednodokarbidové ( $K$ ), dvojdokarbidové ( $P$ ) a vícekarbidové ( $M$ ).

**b) Povlakované SK** - od řezných nástrojů ze SK se vyžaduje, aby vykazovaly co největší otěruvzdornost a současně i velkou houževnatost. Ideálním druhem by byla taková destička, která by měla tvrdý a otěruvzdorný povrch a houževnaté jádro. Tyto požadavky splňují vyměnitelné destičky ze SK s tvrdými povlaky:

- karbidu titanu..... $TiC$
- nitridu titanu..... $TiN$
- oxidu hlinitého...  $Al_2O_3$

Povlaky mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé a s jedním nebo více komponenty. Různé povrchy povlaků vykazují různé vlastnosti. Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na podklad z běžného SK typu K,P nebo M se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost, méně strukturních defektů a tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Podle principu se metody povlakování dělí do dvou základních skupin:

- **metoda PVD** (fyzikální napařování), charakteristická zejména nízkou pracovní teplotou (500°C). Používá se k povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí.
  
- **metoda CVD** (chemické napařování z plynné fáze), probíhá za vysokých teplot (700 – 1500°C) a je hlavní metodou povlakování SK. Realizuje se ve třech variantách:
  - tepelně indukovaná
  - plazmaticky aktivovaná
  - fotonově indukovaná (laserem)

#### *Typy povlaků:*

**TiN** – nejrozšířenější standardní vrstva použitelná univerzálně. Ve srovnání s nepovlakovanými nástroji vykazuje o 30 – 40 % větší trvanlivost ostří.

**TiCN** – vykazuje vysokou tvrdost a současně dobrou houževnatost. Tvrdost vrstvy je vyšší než TiN. Použitelná pro frézování vysoce pevných ocelí.

**TiAlN** – vyznačuje se vysokou tvrdostí za vyšších teplot, dobrou odolností proti oxidaci a nízkou tepelnou vodivostí. Univerzální použití s důrazem na vysokorychlostní obrábění bez chlazení.

**AlTiN** – s podobnými vlastnostmi a dokonce vyšší tvrdostí než TiAlN. Používá se pro nejnáročnější aplikace. Výborných výsledků vykazuje zejména v kombinaci s ocelí

### **1.3.3 Řezná keramika**

Keramické materiály jsou v podstatě slinuté korundy, které mají vysokou stálost až do teplot kolem 1600°C. S ohledem na dobrou jakost řezné keramiky se podařilo úspěšně obrábět za vysokých řezných rychlostí:

- nástrojové oceli
- cementační oceli
- šedou a tvárnou litinu

Zlepšení mechanických vlastností (pevnost v tahu a ohybu, zvýšení tvrdosti při vysokých teplotách a odolnost proti otěru) se dosahuje jemnější strukturou korundové keramiky a výrobou směsné keramiky (přídavek karbidu titanu zvyšuje celkovou pevnost v ohybu a odolnost proti změnám teplot).

Všeobecně se přijímá následující rozdělení keramických řezných materiálů (pro dělení a značení neexistuje konkrétní norma):

- oxidová keramika: - čistá (99,5%  $Al_2O_3$ )

- polosměsná ( $Al_2O_3 + ZrO_2$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + CoO$ )

- směsná keramika

( $Al_2O_3 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + TiC + TiN$ )

- nitridová keramika: - ( $Si_3N_4$ ,  $Si_3N_4 + Y_2O_3$ ,  $Si_3N_4 + TiN$ , sialony)

Čistá keramika – obsahuje až 99,8% oxidu hlinitého ( $Al_2O_3$ ) a je doporučována pro dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti nad 100m/min. Pro zlepšení řezivosti bílé keramiky se stále častěji používá různých přísad (nejčastěji oxidu zirkonu -  $ZrO_2$ ) až do 20 %. Tímto způsobem se původní čistá keramika nahrazuje tzv. polosměsnou keramikou.

Směsná keramika - vedle oxidu hlinitého ( $Al_2O_3$ ) obsahuje přísadu 20 – 40% karbidu titanu ( $TiC$ ). V porovnání s čistou keramikou má tento materiál větší odolnost proti teplotním a mechanickým rázům. Doporučuje se pro frézování šedé litiny a oceli, pro soustružení na čisto a jemné soustružení ocelí cementačních, zušlechtěné a tvrdé litiny.

Keramika na bázi nitridu křemíku - má relativně vysokou odolnost proti mechanickému porušení bříty a doporučuje se pro dokončování i hrubování šedé litiny a litiny s hrubou licí kůrou. Je vhodná i pro přerušované řezy, odolná vůči teplotním rázům, vhodná pro soustružení rázupevných slitin na bázi niklu a též pro kolísající hloubku řezu. Keramické materiály je možno zhodnotit jako materiály s vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení, odolností vůči chemickým vlivům a vysokou odolností proti poklesu tvrdosti

bení, odolností vůči chemickým vlivům a vysokou odolností proti poklesu tvrdosti při vyšších teplotách vzhledem k ostatním řezným materiálům.

#### 1.3.4 Supertvrdé řezné materiály

Mimo řeznou keramiku to:

- a) *polykrystalický kubický nitrid boru (PNKB)*
- b) *polykrystalický diamant (PD)*

Hlavní nevýhodou těchto syntetických řezných materiálů je jejich vysoká cena. Diamant a kubický nitrid boru představují dnes nejtěžší látky. Z tohoto důvodu se tyto látky a dále všechny materiály, které tyto komponenty obsahují, označují jako supertvrdé materiály.

V současné době do této skupiny supertvrдых řezných materiálů patří zejména:

- diamantové prášky
- prášky kubického nitridu boru
- brousící kotouče obsahující tyto komponenty
- diamantové brousící pasty
- kompozitní materiály
- řezné nástroje osazené segmenty PNKB nebo PD

## 1.4 Plasty

### 1.4.1 Rozdělení plastů

Dnes vyráběné syntetické polymerní materiály je možno rozdělit do čtyř kategorií:

1) Konstrukční – vlastnostmi umožňují konstrukci dostatečně pevného výrobku. Tyto materiály mají amorfní a krystalickou strukturu a jsou převážně termoplastické, čímž umožňují zpracování velmi ekonomickými technologiemi.

2) Vláknovité – mají lineární strukturu, jsou krystalické a schopné několikanásobného prodloužení. Tím se dosahuje vysoké pevnosti, srovnatelné s kvalitními konstrukčními kovy.

3) Elastomerní (kaučuky) – kaučukovité látky v nevulkanizovaném stavu mají zpravidla lineární nebo rozvětvenou, nepravidelnou strukturu. Ta umožňuje velké konformační změny.

4) Látky pro lékařský základ – rekrutují se ze všech skupin, ale jde zpravidla o látky podobné kaučukům.

#### 1.4.2 Vliv faktorů na vlastnosti plastů

##### *Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě:*

Účinek tepla na polymery se projevuje dvěma způsoby:

1) Fyzikálně – pohybem segmentů řetězce

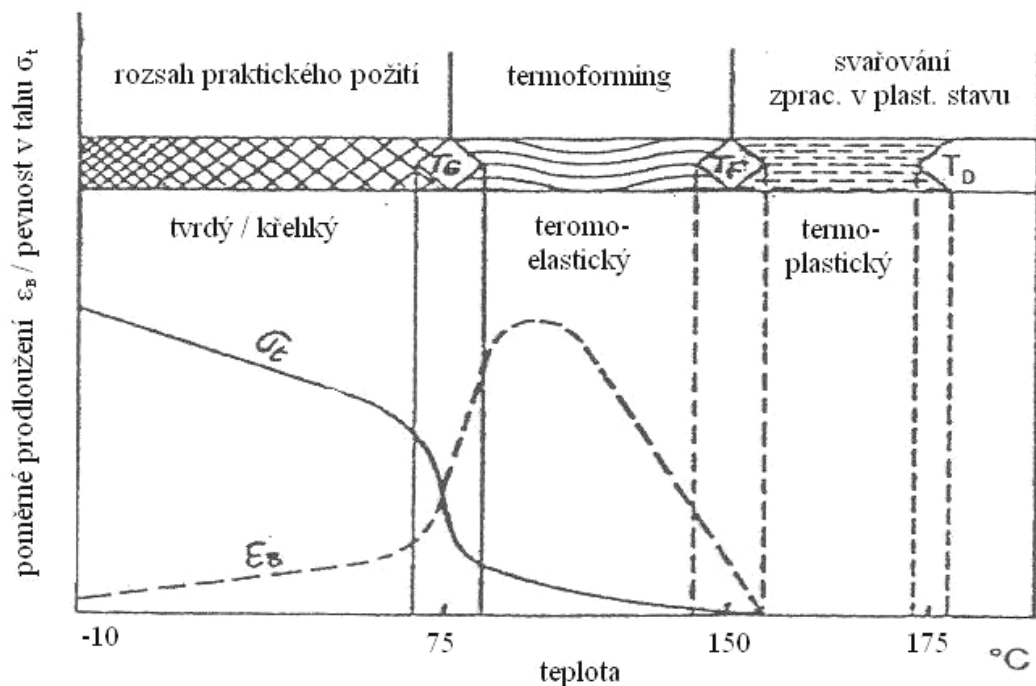
2) Chemicky – roztržením řetězce

a) Mechanické vlastnosti - souvisí jak s délkou řetězce, tak s velikostí mezimolekulárních sil. Obecně platí, že čím větší jsou mezimolekulární síly, tím kratších řetězců je potřeba k získání maximální pevnosti v tahu. Velikost mezimolekulárních sil závisí značně na vzdálenosti řetězců. Proto je zřetelně vyšší v krystalitech krystalických polymerů a je jednou z příčin větší pevnosti krystalických polymerů ve srovnání s amorfními.

b) Větvení a síťování - na pevnost polymeru má spíše negativní vliv. Hustě síťované polymery neumožňují pohyb segmentů. Proto se u nich snadno trhají chemické vazby a hmota se navenek jeví jako křehká a často i málo pevná.

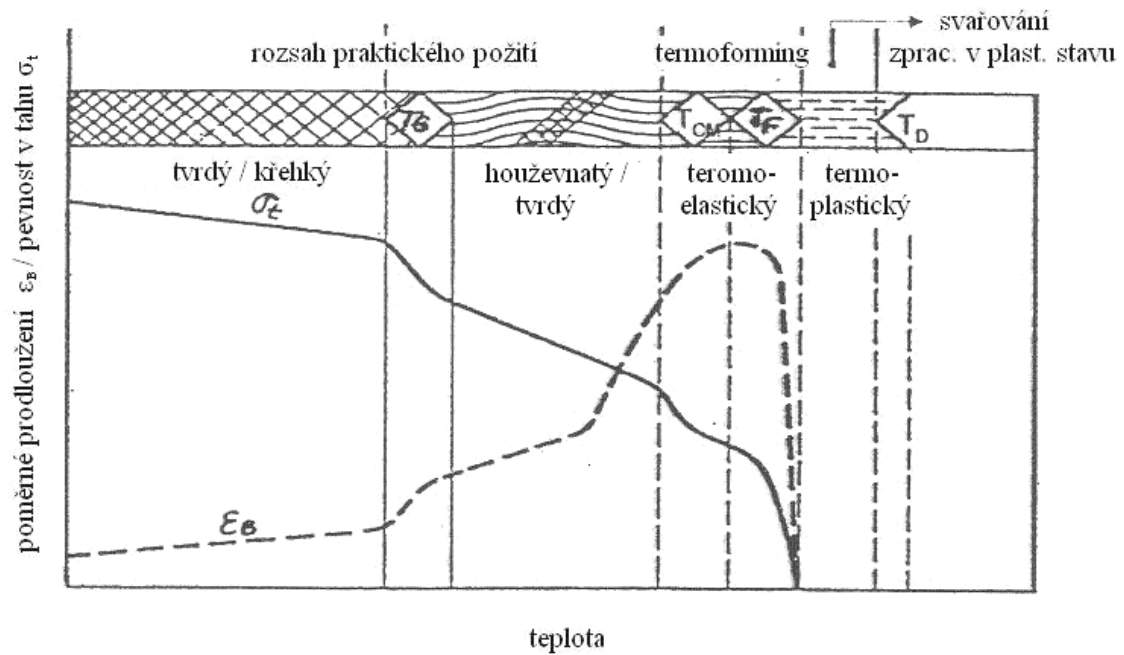
c) Ohebné řetězce - snadněji přenášejí mechanické zatížení na okolí a mění je v teplo. To se projevuje v dobré absorpci vložené mechanické energie a tím ve vysoké houževnatosti hmoty. Všechny polymery pod hodnotou skelného přechodu se stávají křehkými proto, že jejich řetězce setrvávají na stejném místě a nemohou měnit mechanickou energii v teplo.

Na následujících obrázcích můžeme vidět změnu mechanických vlastností termoplastů v závislosti na teplotě.



Obrázek 9: Tepelné chování amorfních termoplastů





Obrázek 10: Tepelné chování semi-krystalických termoplastů

***Elektrické a magnetické vlastnosti:***

Plasty jsou dobrými izolanty a rozdíly v izolačním odporu nebo průřezové pevnosti nezávisí na polaritě nebo molekulární ohebnosti, ale jsou ovlivněny obsahem ionizace schopných skupin. Nejčastěji to bývá voda, zbytky emulgátorů a také změkčovadla a plniva.

Elektrická průřezová pevnost bývá dosti často ovlivněna porozitou materiálu. Polymery jsou nemagnetické bez ohledu na strukturu a polaritu.

***Rozpustnost a chemická odolnost plastů:***

Nejnámější zákonitostí rozpouštění je pravidlo o polaritě (polární polymery se rozpouští v polárních rozpouštědlech a nepolární v nepolárních). To platí bez omezení pouze u nekystalických polymerů. U krystalických polymerů dochází k odchylkám. Příčinou je těsné molekulární uspořádání řetězců v krystalitech za vývinu silnějších mezimolekulárních sil. Krystality nemohou být roztrženy účinkem rozpouštědla, protože nově vzniklé vazby mezi polymerem a rozpouštědlem by byly slabší. K rozpouštění dochází až při vyšších teplotách.

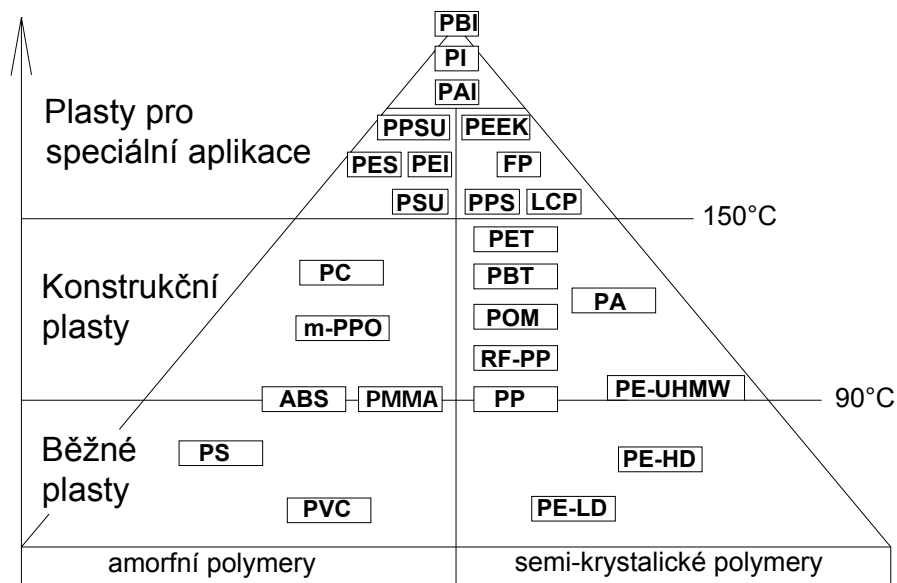
### 1.4.3 Přehled plastů

Podle způsobů použití se plasty dají rozdělit na:

- 1) Běžné plasty
- 2) Technické plasty
- 3) Špičkové plasty

Z materiálového hlediska jsou výchozí formou obrábění plastové polotovary - desky, tyče, trubky, eventuelně odlitky. Vycházíme-li z praktického způsobu členění můžeme plasty dělit, na běžné plasty určené pro širokou spotřebu (styrenové plasty, polyolefiny a polyvinylchlorid), dále pak konstrukční plasty, které jsou dražší, ale mají lepší mechanické vlastnosti (ze základních typů to jsou lineární polyestery, polyamidy, polyacetal a polykarbonát), a v poslední řadě drahé speciální plasty (např. polyfenylsulfid, polyetherketony, polyetherimidy, polyimidy, polyamidoimidy, kapalně krystalické polymery). Z hlediska strojírenských aplikací a tedy vysokých požadavků na mechanické vlastnosti přitahují pozornost skupiny konstrukčních a speciálních plastů. Naproti tomu ekonomická hlediska preferují levné plasty široké spotřeby (tzv. komoditní plasty).

Mezi hlavní výhody plastů ve srovnání s kovovými materiály patří nízká hustota a vysoká soudržnost, odolnost proti korozi a chemickým vlivům, elektrická a tepelná izolace, jsou snadno tvařitelné, snadno barvitelné, a jejich zpracování je energeticky výhodné. Mezi hlavní nevýhody malý rozsah dovolených teplot použití, malá odolnost proti tečení, specifická tuhost, ovlivnění mechanických vlastností teplotou, hořlavost.



Obrázek 11: Rozdělení plastů pro technické aplikace

***Běžné plasty***

a) Polyvinylchlorid (PVC) - je termoplastická hmota bez barvy a zápachu. Tento polymer začíná při teplotách 145 – 170 °C téci pod tlakem a při vyšších teplotách se rozkládá. Je nerozpustný ve vodě, v kyselinách a zásadách, v benzínu a olejích. Rozpouští se v ketonech a chlorovaných uhlovodících. Botná v esterech, na čemž je založeno jeho změkčování a je nehořlavý.

PVC se zpracovává válcováním, vytlačováním i vstřikováním. Použití PVC je velmi široké. Díky vysoké chemické odolnosti se používá v potravinářství jako vany, potrubí, obklady aj. Ve stavitelství se uplatňuje na okenní rámy, zárubně, venkovní fasády apod.

Tabulka 1: Přehled vlastností PVC

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	1 380 – 1 420
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	35 – 37
Pevnost v tlaku [MPa]	60 – 70
Modul pružnosti [MPa]	2 800 – 3 000
Mez kluzu MPa]	55 - 65
Rozsah teploty při použití [°C]	25 - 50
Tažnost [%]	20 - 30

b) Polymetylmetakrylát (PMMA) - je průhledná, dokonale transparentní, čistá hmota bez chuti a zápachu. Pro podobnost sklu je známý pod názvem organické sklo, nebo „plexisklo“.

Tabulka 2: Přehled vlastností PMMA

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	1 180
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	65 – 70
Pevnost v tlaku [MPa]	120 – 140
Modul pružnosti [MPa]	1 400
Teplota skelného přechodu [°C]	100
Rozsah teploty při použití [°C]	-60 až +100
Teplota rozkladu [°C]	220
Tažnost [%]	2,5

PMMA se zpracovává především vstřikováním, dále tvarováním za tepla a tlaku, výborně se obrábí a jde dobře lepit.

Největší předností je výtečná čírost a průhlednost, proto se využívá na kopule letadel, zaoblená okna dopravních prostředků, stupnice v přístrojové technice a logaritmická pravítka.

c) Polypropylén (PP) - monomerem pro výrobu PP je propylén (propén), který je jednou z nejdostupnějších petrochemických surovin. PP je látka málo stálá na povětrnosti, neodolává oxidačním činidlům a za nízkých teplot má špatnou houževnatost.

Tabulka 3: Přehled vlastností PP

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	900 - 910
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	40 – 44
Mez kluzu [MPa]	30
Modul pružnosti [MPa]	1 240
Teplota skelného přechodu [°C]	-20
Rozsah teploty při použití [°C]	0 - 100
Teplota rozkladu [°C]	okolo 300
Tažnost [%]	větší jak 150
Teplota tání [°C]	165 – 170

PP je třeba před zpracováním upravit, tj. přidat k němu vhodné světelné a tepelné stabilizátory, které jsou buď práškové nebo kapalné. PP lze zpracovávat většinou zpracovatelských technologií a to vytlačováním, vstřikováním, lisováním, vířivým nanášením a samozřejmě také obráběním, což ale není ekonomicky výhodné.

PP se používá na výrobu vláken, jako vázací materiál na balíky a bedny. Dalšími aplikacemi jsou trubky, fólie, kbelíky, aj.

d) Polytetrafluoretylén (PTFE) - je speciální materiál, který se připravuje polymerací tetrafluoretylénu. Vlastnosti PTFE se značně ovlivňují plněním (např. skleněnými vlákny). Je chemicky nejodolnější ze všech plastů, povětrnosti odolává neomezeně dlouho, má nulovou nasákavost vody a propustnost plynů je velmi nízká.

Tabulka 4: Přehled vlastností PTFE

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	2 100 – 2 200
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	17 – 26
Pevnost v tlaku [MPa]	5 - 12
Modul pružnosti [MPa]	350
Tvrdość Shore	D 50 - 65
Rozsah teploty při použití [°C]	-190 až +250
Teplota rozkladu [°C]	350
Tažnost [%]	200 - 300
Teplota tání [°C]	327

Zpracování PTFE a jeho derivátů vyžaduje speciální techniky, podobné spékání kovů. Tvarování je možné při teplotách okolo 200°C a vytlačování se provádí s přidavkem mazadel.

Použití PTFE pro speciální účely, kde je téměř nenahraditelným materiálem. Jsou to ochranné povlaky, impregnace žárovzdorných tkanin, porézní materiály pro ložiska, těsnění a ucpávky, izolace vodičů aj.

e) Polyethylén (PE) - výchozím monomerem je ethylen (bezbarvý nasládlý plyn), který se získává z ropy, zemního plynu a uhlí.

PE lze zpracovávat téměř všemi běžnými plastikářskými technologiemi (vstřikování, vytlačování, lisování, aj.)

PE se používá převážně jako obalový materiál, k výrobě obalové fólie a sáčků. V chemickém průmyslu se používá na obklady nádrží, potrubí apod. Dále se využívá na izolační fólie, zavlažovací systémy, hračky, potřeby pro domácnost, košíky, aj.

Tabulka 5: Přehled vlastností rozvětveného PE

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	917
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	10
Mez kluzu [MPa]	10
Modul pružnosti [MPa]	120 - 180
Tvrdost Shore	D 40 - 47
Rozsah teploty při použití [°C]	-50 až +85
Teplota rozkladu [°C]	nad 300
Teplota skelného přechodu [°C]	-60
Teplota tání [°C]	117
Tažnost [%]	300

Tabulka 6: Přehled vlastností lineárního PE

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	940 - 960

Pevnost v tahu při přetržení	[ MPa]	27,4
Mez kluzu	[MPa]	24,6
Modul pružnosti	[MPa]	960
Tvrdość Shore		D 65
Rozsah teploty při použití	[°C]	-50 až +85
Teplota rozkladu	[°C]	do 120
Teplota skelného přechodu	[°C]	-50
Teplota tání	[°C]	135
Tažnost	[%]	min. 250

f) Polystyren (PS) - patří mezi plněsyntetické plasty. Monomerem je styren (vinylbenzen). PS se vyrábí v modifikacích lehčený a houževnatý.

Zpracování PS je velmi snadné pro jeho tokové vlastnosti. Dá se zpracovávat všemi známými technologiemi. PS se dá dobře obrábět a na povrchu dokonce lakovat a pokovovat.

Tabulka 7: Přehled vlastností lehčeného PS

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	60
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa]	0,6 – 0,9
Modul pružnosti [MPa]	12
Pevnost v tlaku [MPa]	0,42 – 0,52
Rozsah teploty použití [°C]	+ 80

Tabulka 8: Přehled vlastností houževnatého PS

Vlastnost	Hodnota
-----------	---------



Měrná hmotnost	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]	1 040 – 1 070
Pevnost v tahu při přetržení	[ MPa ]	18,7
Pevnost v tlaku	[ MPa ]	28 - 63
Tvrdość Rockwell		M 35 - 80
Modul pružnosti	[MPa]	1 050 – 2 700
Rozsah teploty při použití	[°C]	70
Teplota rozkladu	[°C]	300
Tažnost	[%]	20

g) Polyamid (PA) - tuhý a pevný, matný, málo průsvitný, bezbarvý až nažloutlý polymer s vynikajícími mechanickými vlastnostmi, fyziologicky nezávadný. Jsou vláknotvorné, možno je orientovat na vysokopevnostní vlákna. Při vyšších teplotách citlivé na oxidaci.

Tabulka 9: Přehled vlastností PA

Vlastnost	Polyamid		
	PA – 66	PA – 6	PA - 610
Pevnost v tahu při přetržení [ MPa ]	98	86	84
Modul pružnosti [MPa]	1 700	1 300	1 250
Tvrdość Brinell [MPa]	100	83	78
Rozsah teploty při použití [°C]	80 - 100	80 - 100	80 - 100
Nasákavost [%]	10	11	4
Tažnost [%]	100 - 120	300	230
Měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]	1,13	1,12	1,07
Index lomu	1,53	1,53	1,53

Polyamid je možno zpracovávat vstřikováním, vytlačováním, lisováním a válcováním. Zpracovává se na vlákna, struny, vlasce, fólie, pásy, řemeny, aj. Polyamid možno také pájet, lepit a svařovat. Polyamidové odpady se dají zužítkovat a zpracovat přetavením.

### *Technické plasty*

a) Ertalon 6 SA (PA 6) - tento materiál představuje optimální kombinaci mechanické pevnosti, tuhosti, tlumící schopnosti a odolnosti proti opotřebení.

Tabulka 10: Přehled vlastností Ertalonu 6 SA

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,14
Bod tání	[°C]	220
Pevnost v tahu	[ MPa]	76
Tvrdost Rockwell		M 85
Modul pružnosti	[MPa]	3250

b) Nylatron GSM (PA 6G + MoS<sub>2</sub>) – litý nylon modifikovaný molybden – disulfidem pro teploty nad 100°C. Je vhodný pro výrobu ložisek.

Tabulka 11: Přehled vlastností Nylatronu GSM

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,16
Bod tání	[°C]	220
Pevnost v tahu	[ MPa]	78
Tvrdost Rockwell		M 84
Modul pružnosti	[MPa]	3300

c) Nylatron NSM (PA 6G + mazivo)– speciální litý nylon s přidavkem tekutého maziva má mnohem nižší koeficient tření než ostatní polyamidy. Používá se pro vysokootáčková ložiska běžící nasucho v teplotě vyšší než 100°C.

Tabulka 12: Přehled vlastností Nylatronu NSM

Vlastnost	Hodnota
Hustota [ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,15
Bod tání [°C]	220
Pevnost v tahu [ MPa]	76
Tvrdost Rockwell	M 81
Modul pružnosti [MPa]	3100

d) Ertacetal – H (POM – H) je čistý acetalový kopolymer a homopolymer. Acetalový kopolymer je odolnější proti hydrolyze, proti působení silných zásad a tepelně – oxidační degradaci než acetalový homopolymer. Homopolymer má však vyšší mechanickou pevnost, tuhost, tvrdost a odolnost proti tečení. Vyznačuje se i nižší tepelnou roztažností a velmi často má i lepší odolnost proti opotřebení.

Tabulka 13: Přehled vlastností Ertacetalu - H

Vlastnost	Hodnota
Hustota [ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,43
Bod tání [°C]	175
Pevnost v tahu [ MPa]	78
Tvrdost Rockwell	M 88
Modul pružnosti [MPa]	3600

e) Ertalyte (černý PETP) - sloučenina na bázi polyetylen tereftalátu, v níž je rovnoměrně rozptýleno pevné mazivo. Má nízký koeficient tření a schopnost pracovat v širším rozsahu

tlaků. Vhodný pro výrobu mechanicky přesných částí, které jsou určeny pro velké zatížení a jsou vystaveny opotřebení.

Tabulka 14: Přehled vlastností Ertalytu

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,39
Bod tání	[°C]	255
Pevnost v tahu	[ MPa]	90
Tvrdost Rockwell		M 96
Modul pružnosti	[MPa]	3700

f) Cesticolor HD 500X (zelený PE) - pevný materiál s nízkým koeficientem tření, má velmi dobrou chemickou odolnost a UV stabilizaci. Tento plast se dodává v široké škále standardních barev. Používá se v potravinářském průmyslu, běžné mechanice a zařízení pro volný čas.

Tabulka 15: Přehled vlastností Cesticoloru HD 500X

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	0,96
Bod tání	[°C]	135
Mez kluzu	[ MPa]	28
Tvrdost Shore		66/64 S
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	1350

### ***Špičkové plasty***

a) Celazole - nejvyšší provedení strojírenského termoplastu. Hlavními charakteristikami jsou extrémně vysoká pracovní teplota – na vzduchu 310°C průběžně s krátkodobým vzestupem na 500°C, extrémně nízký koeficient lineární tepelné roztažnosti, velký odpor

proti vysoké energii radiace (rentgenové a gama záření), nízká hořlavost a nízký odpar plynů (s výjimkou vody).

Tabulka 16: Přehled vlastností Celazole

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,3
Nasákavost	[%]	14
Mez pevnosti v tahu	[ MPa]	140
Tvrdost Rockwell		E 105
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	5800
Teplota zeskelnatění	[°C]	425

b) Torlon 4203 (PAI) – má nejlepší tvrdost a vrubovou houževnatost ze všech provedení Torlonů. Z důvodu velkého vnitřního tepelného odporu, velké rozměrové stálosti a dobré obrobiteľnosti je velmi oblíbený na přesné díly high – tech zařízení. Dobré elektricky izolační vlastnosti navíc poskytují možnosti uplatnění v oboru elektrických součástí.

Tabulka 17: Přehled vlastností Torlonu

Vlastnost		Hodnota
Hustota	[ $g \cdot cm^{-3}$ ]	1,45
Nasákavost	[%]	3,8
Mez pevnosti v tahu	[ MPa]	80
Tvrdost Rockwell		E 105
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	5800
Teplota zeskelnatění	[°C]	280

Techtron je vyztužený, vnitřně mazaný polokrystalický polymer. Představuje vynikající kombinaci vlastností zahrnující odolnost proti opotřebení, únosnost a rozměrovou stabilitu

při vystavení chemikáliím a vysoké teplotě prostředí. Díky rovnoměrnému rozptýlení vnitřního maziva vykazuje vynikající odolnost proti opotřebení a nízký koeficient tření.

PVDF 1000 - vysoce krystalický, nevyztužený fluoropolymer spojující dobré mechanické, termické a elektrické vlastností s vynikající chemickou odolností. Vykazuje dobrou mechanickou pevnost, tuhost a odolnost proti tečení při vysoké provozní teplotě (150°C), vynikající chemickou a hydrolytickou odolnost. Má též vynikající odolnost proti vlivům počasí, UV záření, dobré kluzné vlastnosti a odolnost proti opotřebení. Z důvodu fyziologické inertnosti je vhodný pro styk s potravinami.

Flourosint 500 (PTFE + slída) – tento fluoropolymer plněný syntetickou slídou vykazuje vynikající mechanické vlastnosti kombinované s velmi dobrou chemickou a hydrolytickou odolností. Má také několikanásobně vyšší odolnost proti deformaci při zatížení než neplněný PTFE. Je mnohem tvrdší než čistý PTFE, má lepší charakteristiku opotřebení a nižší koeficient tření. Je také neabrazivní k většině materiálů, se kterými je v kontaktu.

Semitron Esd (POM) - tato skupina staticky disipativních plastů je navržena pro aplikace, kde vznikají problémy s el. Nábojem – tyto materiály poskytují řízené vybíjení statických nábojů. Výrobky ze Semitronu Esd jsou přirozeně ztrátové bez ohledu na atmosférické jevy (např. vlhkost) a bez použití povrchových prostředků pro zajištění ztrát. Protože tato skupina plastů neobsahuje uhlík nebo grafitový prášek k dosažení elektrostatické ztráty, nedochází k problematickému naleptávání povrchu.

## 1.5 Specifika obrábění plastů

Ve strojírenské praxi existuje řada aplikací, které je výhodné řešit pomocí plastů a kompozitu, ale jedná se o malosériovou nebo kusovou výrobu. Pro tyto případy se jako velmi perspektivní jeví obrábění polotovarů (desky, tyče), vyrobených zejména z konstrukčních nebo speciálních plastů. Obrábění plastů je i do budoucna perspektivní pro výrobu dílů výrobních linek, unikátních nebo robustních zařízení a strojů, u kterých se použitím plastů a kompozitu dosáhne originálního řešení s významnými technickými i

ekonomickými efekty. Aplikace jsou především založeny na velmi dobrých kluzných vlastnostech a otěruvzdornosti některých plastů a kompozitu. Příkladem jsou kluzná vedení a unášče řetězových dopravníků a linek, segmentová axiální a radiální ložiska turbín, kluzné segmenty obřích pásových nakladačů, výstelky násypek a žlabů elektrárenských zařízení, výstelky korečků velkorypadel apod.

Plastové polotovary ,např. tyče, trubky, desky, bloky apod., lze snadno obrábět na běžných kovoobráběcích a dřevoobráběcích strojích. S ohledem na špatnou tepelnou vodivost a relativně nízký bod tání termoplastů je však nutno zajistit, aby vzniklé teplo bylo udržováno na nejnižší možné úrovni a aby co nejméně přecházelo na další součásti. Zabrání se tak změnám v barvě a tání povrchu plastů. Proto musí být nástroje udržovány neustále ostré a hladké, musí mít takový tvar, aby se obráběného materiálu dotýkaly jen řeznou plochou, při operacích, kdy vzniká nadměrné teplo (např. při vrtání), je vhodné použít chladicí médium. Síla nutná pro obrábění technických plastů je nižší, než síla nutná pro obrábění kovů. Proto je možné snížit i upínací tlaky. Technické plasty nejsou tak pevné jako kovy, příliš velké upínací tlaky mohou proto způsobit deformaci materiálu. Například u tenkostěnných pouzder je nezbytné obrobek podpírat. Často se používají podpírací zátky.

### 1.5.1 Frézy pro obrábění plastů

Vhodné jsou běžné materiály používané pro kovoobrábění. Pro svou dlouhodobou trvanlivost jsou však nástroje s břitem ze slinutého karbidu lepší než nástroje z uhlíkaté oceli. Platí to zejména při obrábění grafitu, MoS<sub>2</sub> a termoplastů vyztužených skelným vláknem.

Pro frézování plastů lze používat frézy určené pro obrábění lehkých kovů. Okružní frézy jsou výhodnější, neboť umožňují lepší odstraňování pilin. Doporučená geometrie nástrojů , orientační rychlosti a posuvy jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 18: Doporučená geometrie, rychlosti a posuvy pro frézování plastů

Materiál	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]	$s_z$ [mm]	$v$ [m.min <sup>-1</sup> ]
PA (Ertalon),				

PA6G+MoS <sub>2</sub> (Nylatron), PE HD500,1000 (Cestilene).	5 - 15	0 - 15	< 0.5	200 - 500
POM (Ertacetal), Semitron Esd 225	5 – 15	0 - 15	< 0.5	200 - 400
PETP (Ertalyte), PAI 4203 (Torlon) PEEK 1000 (Ketron)	5 - 15	0 - 15	< 0.5	150 - 300
PC 1000, PPSU 1000, PEI 1000, PSU 100	5 – 15	0 – 15	< 0.5	200 - 400
PBI (Celazole)	5- 15	0 – 15	< 0.5	25 – 100
PA 66 GF30, PAI 4301/4501/5530 (Torlon) PEEK-HPV /GF30/CA30 (Ketron) PPS HPV (Techtron), SEMITRON ESd / 410C/520HR	5 – 15	0 – 15	< 0.5	75 – 100
PTFE + slída (Fluorosint) 207/500, POM staticky ztrátový (Semitron) ESd 500HR.	5 -15	0 – 15	< 0.5	100 - 250

### 1.5.2 Chlazení

Obecně kromě technologie vrtání a dělení materiálu, není chlazení nezbytně nutné při obrábění termoplastů. Chlazení vede obecně ke zvýšení jakosti obrobeného povrchu. Když je potřeba chladit, tak použitím procesní kapaliny na vodu rozpustné bázi dosahujeme velice dobrých výsledků. Nejsou vhodné pro obrábění amorfních termoplastů, jako PC 1000, PPSU 1000, PEI 1000, PSU 1000 a SEMITRON ESd 410C, protože tyto materiály jsou náchylné k praskání. Nejvíce vhodná procesní kapalina pro tyto materiály je čistá voda nebo stlačený vzduch.



### 1.5.3 Tolerance při obrábění plastů

Obráběcí tolerance pro termoplasty jsou významně vyšší než tolerance pro kovové součásti. Je to způsobeno zvýšeným koeficientem tepelné roztažnosti, bobtnáním vlivem absorpce vlhkosti a možnými deformacemi způsobenými vnitřním pnutím během obrábění. Deformace se objevují zejména tehdy, kdy obráběním vznikají asymetrické nebo velké změny v průměru (např. pouzdra, vyráběná z velkých tyčí kruhového průřezu). V těchto případech, podle požadavků na toleranci, může nastat nutnost tepelné úpravy (odstranění vnitřního pnutí) po předběžném obrábění (min. přesah 3 % průměru) a před konečným obráběním součástí. V současné době neexistují specifické mezinárodní normy pro tolerance při obrábění termoplastických součástí. Podle empirického pravidla pro soustružené nebo frézované součásti lze přijmout toleranci 0,1 - 0,2 % jmenovitého rozměru, bez zvláštních opatření. Jako vodítka pro tento účel lze použít normu DIN 7168. Teflon je nutno obrábět při minimální teplotě 23°C. Zabráni se tak změně rozměrů, ke které dochází při teplotě cca. 20°C (inverzní bod struktury PTFE).

## 2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této práce bylo vyhledání a zpracování informací o vlivu technologických podmínek na jakost obrobeného povrchu. V teoretické části jsem se zabýval studiem základních pojmů třískového obrábění, podstatou frézování, rozdělením fréz. Dále přehledem materiálů používaných pro výrobu řezných částí nástrojů a přehledem běžných, konstrukčních a špičkových plastů a jejich vlastností.

Cílem experimentální části je optimalizace technologických podmínek při obrábění vybraných plastových polotovarů. Na obrobených vzorcích bude vyhodnocován vliv technologických podmínek na kvalitu obrobeného povrchu..

Jednotlivé polymery byly obráběny pod měnicími se technologickými podmínkami. Vzorky materiálů budou frézovány pod měnicími se otáčkami, měnicím se posuvem a hloubkou záběru.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 3 OBROBENÍ PLASTOVÝCH VZORKŮ

### 3.1 Obecný popis stroje

Frézky HWT jsou portálové frézky řízené PC. Základní provedení stroje s pracovním prostorem XY: 400 mm, Z: 200 mm umožňuje zpracování nejčastěji se vyskytujících rozměrů obrobků.

Pojezdy jsou poháněny krokovými motory nebo servomotory s kuličkovými šrouby. Na všech osách jsou optické kalibry pro definici referenčních bodů, což umožňuje opakovaný nájezd do požadovaného místa i po vypnutí stroje. Vřeteník je osazen motorem 1000 W s plynule nastavitelnými otáčkami. Nástroje se upínají do kleštin ER – 16 s upínacím průměrem 1 až 10 mm. Na vřeteníku jsou připevněny hubice pro odsávání.

Frézky se vyrábějí v několika typových řadách.

#### 3.1.1 Řídicí systém stroje

Frézky HWT jsou řízeny řídicím systémem COMETS. Řídicí systém zpracovává NC kód ve formátu ISO (G – kódy), HPGL a APT. Frézovat je možno buď ručně nebo podle NC programu. Řídicí program zjišťuje krajní polohy nástroje, vypočítá délku dráhy, umožňuje jednoduchou grafickou simulaci NC programu a to jak před, tak i během frézování a zajišťuje kontrolu vyjetí nástroje z pracovního prostoru.

Rychlost posuvu je určována NC programem a koeficientem zrychlení obrábění, který je možno kdykoliv plynule měnit. Řídicí systém kontroluje zatížení obráběcího nástroje. Při překročení nastavené hodnoty automaticky zpomaluje posuv a počká, až se nástroj materiálem „prokouše“ a teprve pak pokračuje dál pracovní rychlostí. To usnadňuje obrábění složitých tvarů a umožňuje práci i s nevhodně zvolenými hodnotami posuvů v NC programu. Dále zajišťuje ochranu nástroje a materiálu před poškozením, což má hlavně význam při použití malých nástrojů. Tato funkce je v činnosti i při ručním frézování.

Pokud přetížení nástroje překročí nastavenou dobu, systém zastaví všechny posuvy, vypne vřetenový motor a zobrazí zprávu o přetížení motoru s dotazem na pokračování v činnosti. Nedochozí tedy ke ztrátě dat ani polohy a je možno pokračovat v obrábění.

Proto jsou frézky HWT vhodné k výuce NC programování. Řídící program dále umožňuje po výměně nástroje jeho automatickou délkovou korekci, což usnadňuje práci s více obráběcími nástroji

### 3.2 Použitá frézka

K experimentální části byla použita frézka HWT řady C Profi, která je vhodná především pro frézování plastů, dřeva, hliníku, výrobu grafitových elektrod apod. Je vybavena kompenzací tepelné dilatace vřeteníku, osvětlením nástroje a pracovního prostoru, odsávacími hubicemi a úplným zakrytíváním. Umožňuje přesné obrábění se zajímavým poměrem cena/výkon.

Díky průhlednému zakrytívání obráběcího prostoru je frézka vhodná pro školní účely.

Obr. 12: Frézka HWT řady C Profi



Tabulka 19: Základní parametry stroje

Základní parametry	
Obráběcí prostor (X-Y-Z)	400 mm x 400 mm x 200 mm
Velikost upínací plochy (X-Y)	500 mm x 500 mm 8 mm T-drážky
Programovatelná rychlost posuvu	max. 3 m/min
Programovatelný krok	0.00625 mm
Otáčky vřetene	2000-25000 ot./min
Max. upínací průměr nástroje	10 mm
Motor vřetene	1000 W univerzální
Řídící jednotka	PC
Napájení	230 V/50 Hz
Příkon	2300 VA
Vnější rozměry (š-h-v)	1200 mm x 1000 mm x 1400 mm
Hmotnost	410 kg
Materiál obrobku	grafit, plasty, dřevo, barevné kovy
Max. hmotnost obrobku	20 kg

### 3.3 Nástroje

Nástroje jsou vyráběny z nejkvalitnějších ocelí tříd M 2 (DIN 1.3343), M 35 (DIN 1.3243), M 42 (DIN 1.3247) od renomovaných světových výrobců. Moderní technologie vybrušování na CNC strojích, unikátní technologie přesného lití a vakuové kalení zajišťují stálou kvalitu výrobků.

#### 3.3.1 Použitý nástroj

Při provádění experimentů byly použity nástroje firmy ZPS frézovací nástroje, která je pro experimenty bezplatně poskytla. Byly to frézy válcové čelní 1104 – krátké s jedním břitem přes střed (DIN 844 TYP W, ISO 1641, ČSN 222130), vyrobené z materiálu HSS Co5 což je vysoce výkonná rychlořezná ocel s dobrou houževnatostí pro frézy a pro

frézování materiálů do pevnosti 1200 MPa. Podle ČSN je to materiál 19 852, jeho tvrdost je 63-67HRC.

Obrázek 13: Válcová čelní fréza 1104



### 3.4 Hodnocené materiály

Pro provedení experimentů byly vybrány materiály z kategorie běžných a konstrukčních plastů. Z kategorie speciálních plastů se bohužel nepodařilo materiál z finančních důvodů získat. Přehled zkoušených materiálů i s některými základními vlastnostmi je v následující tabulce.

Tabulka 20: Srovnání základních vlastností použitých materiálů

materiál	$\rho$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	E [MPa]	$\sigma$ [MPa]	a [ $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ]	Bod tání [°C]
PE HD 1000	930	23	750	0,40	135
PP	920	34	1350	0,22	90
PVC	1 430	55	3000	0,2	80
POM	1 410	68	3100	0,31	165
PET	2 200	25	3700	0,29	255
PTFE	2 200	25	400 - 700	0,23	327
PC 1000	1 200	70	2400	0,21	150
PA 66	1 140	55	1650	0,28	255

### 3.5 Vyhodnocení vlivu tech. podmínek na jakost obrobeného povrchu

Při obrábění každého druhu plastového materiálu byly použity tři vzorky o rozměrech 150x100x20 mm. Na každém ze vzorků budou měněny jiné technologické podmínky viz. Tabulky. K výpočtu hodnot otáček byly použity orientační hodnoty řezných rychlostí viz. tab 18. Stejným způsobem byly zvoleny hodnoty posuvů a hloubky řezu.

Tabulka 21: vzorek č.1, změna otáček při  $v_f = 1400$  [mm/min] a hloubce řezu  $a_p = 4$ mm.

č.měření	1	2	3	4	5
n [ot/min]	8 000	12 000	16 000	20 000	24 000
v[m.min <sup>-1</sup> ]	251	376	503	628	754

Tabulka 22: vzorek č.2, změna posuvu při  $n = 10\,000$  [ot/min] a hloubce řezu  $a_p = 4$ mm.

č.měření	1	2	3	4	5
$v_f$ [mm/min]	1000	1200	1400	1600	1800

Tabulka 23: vzorek č.3, změna hloubky řezu při  $n=10\,000$  [ot/min] a  $v_f = 1400$  [mm/min]

č.měření	1	2	3	4	5
$a_p$ [mm]	2	4	6	8	10

Programy pro obrobení zkušebních vzorků byly vytvořeny ručně v ISO kódu. Na každém ze vzorků bylo měněno při obrábění frézou o průměru 10 mm pět technologických podmínek přičemž docházelo k souslednému i nesouslednému frézování. V následujících grafech jsou zpracovány hodnoty z provedených měření všech materiálů.



## 4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

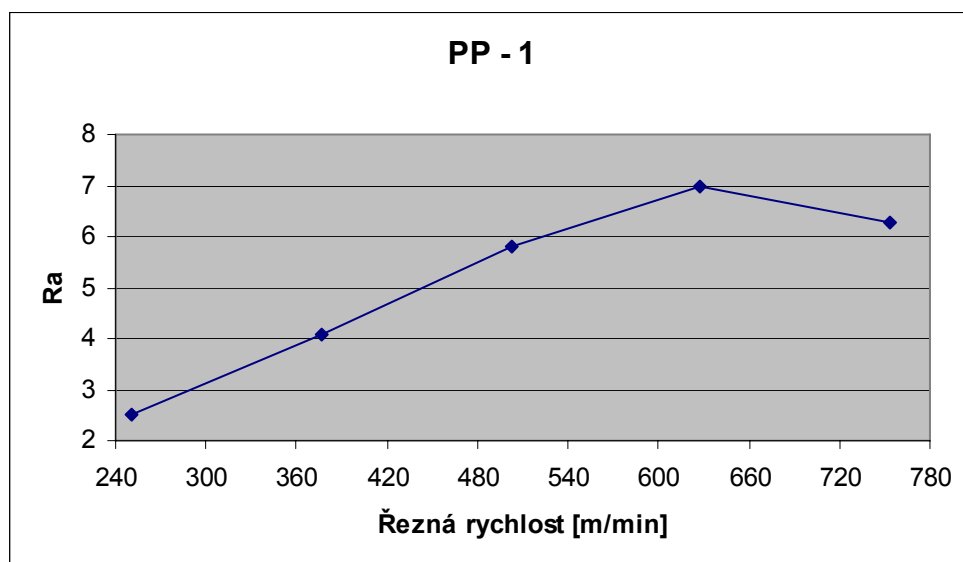
Bylo prováděno frézování vzorků polymerních materiálů pod různými technologickými podmínkami a následné vyhodnocení. Technologickými podmínkami rozumíme, že jeden vzorek byl frézován pod měnicími se otáčkami, měnicím se posuvem a měnicí se hloubkou záběru. Na každé frézované dráze byly 5x změřeny hodnoty drsnosti povrchu „Ra“ a hodnoty největších výšek profilu „Rz“. Z naměřených hodnot se vypočítal průměr, z čehož vznikl graf o 5 –ti bodech v závislosti průměrné hodnoty drsnosti (největší výšky profilu) na příslušné hodnotě technologické podmínky.

Každý vzorek se frézoval novým nástrojem (frézou). Opotřebení zubů fréz bylo ale na všech nástrojích zanedbatelné.

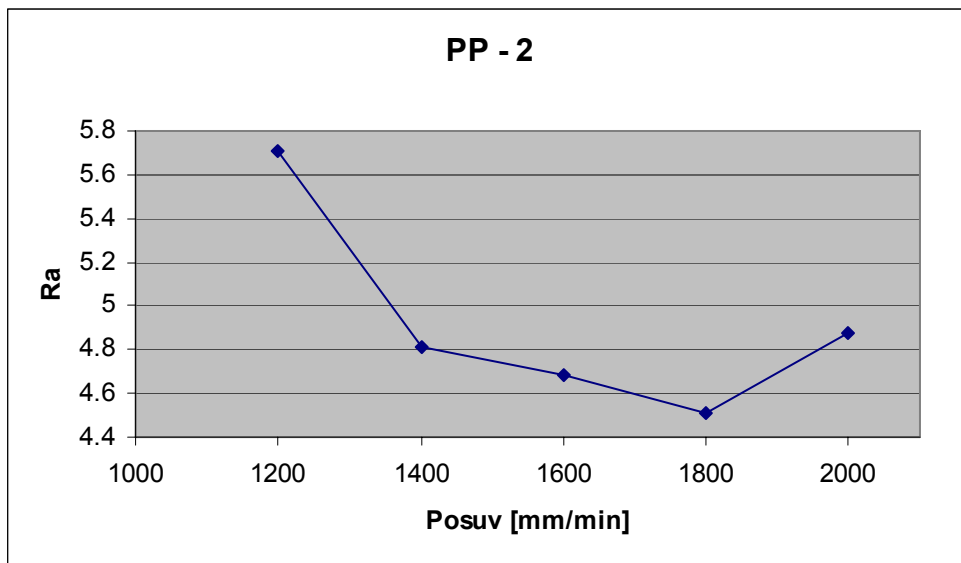
Předpokládalo se, že průběhy drsností se budou lineárně zlepšovat při zvětšování řezné rychlosti a posuvu a zhoršovat při zvětšování hloubky záběru. Při obrábění PP docházelo k natavování třísky, která se lepila k obrobenému povrchu. Při obrábění PVC, POM a PTFE se tříška naopak pravidelně drobila.

### 4.1 Materiál – PP

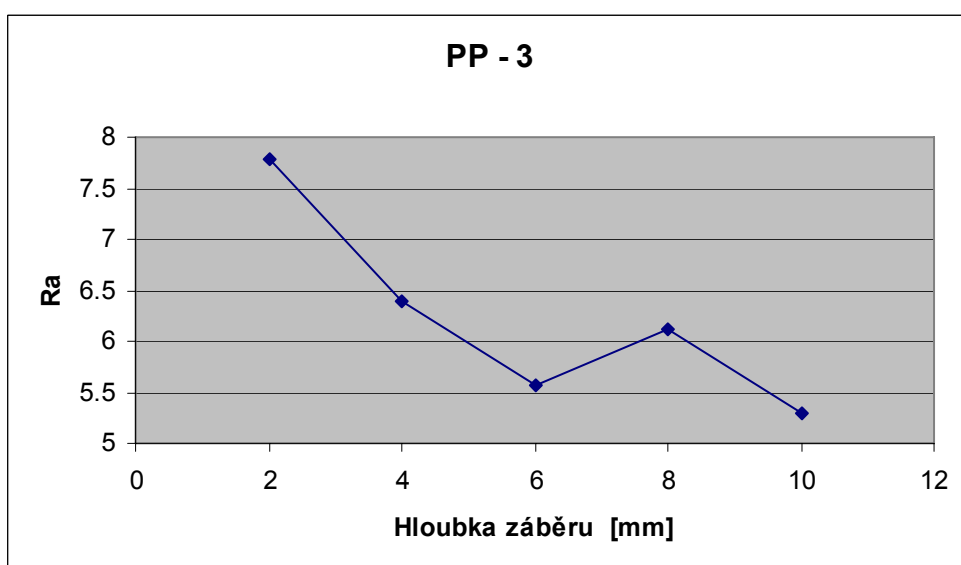
Graf 1: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PP



Graf 2: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PP

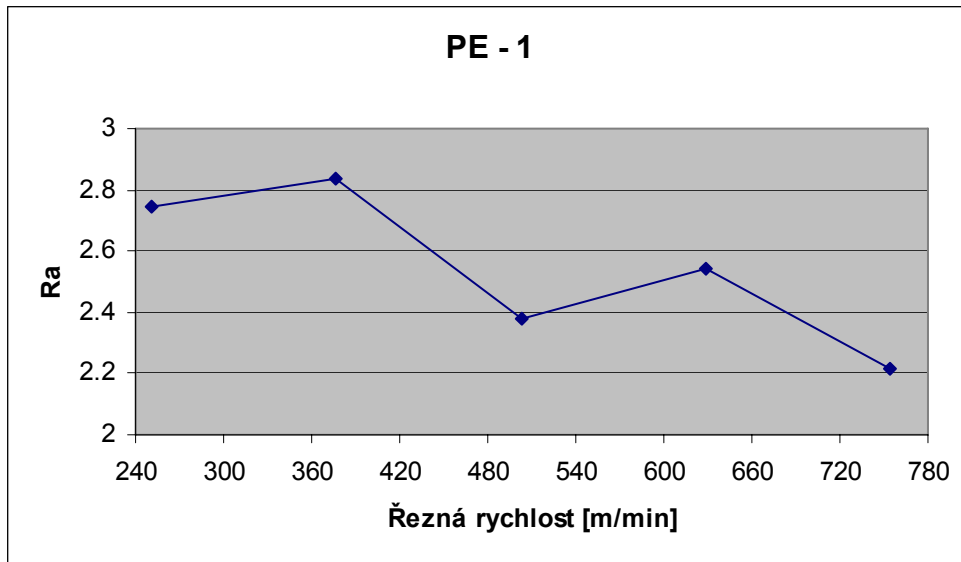


Graf 3: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PP

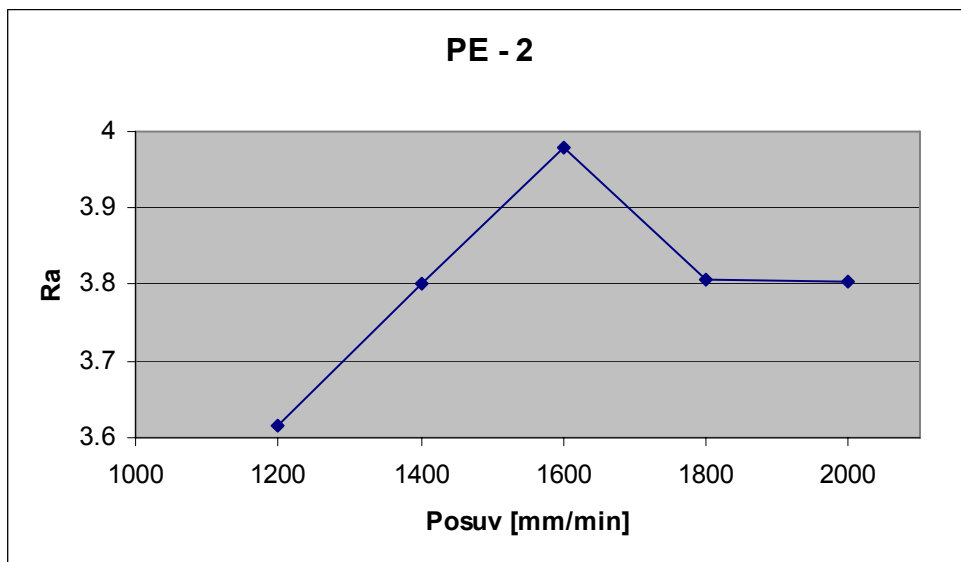


## 4.2 Materiál - PE

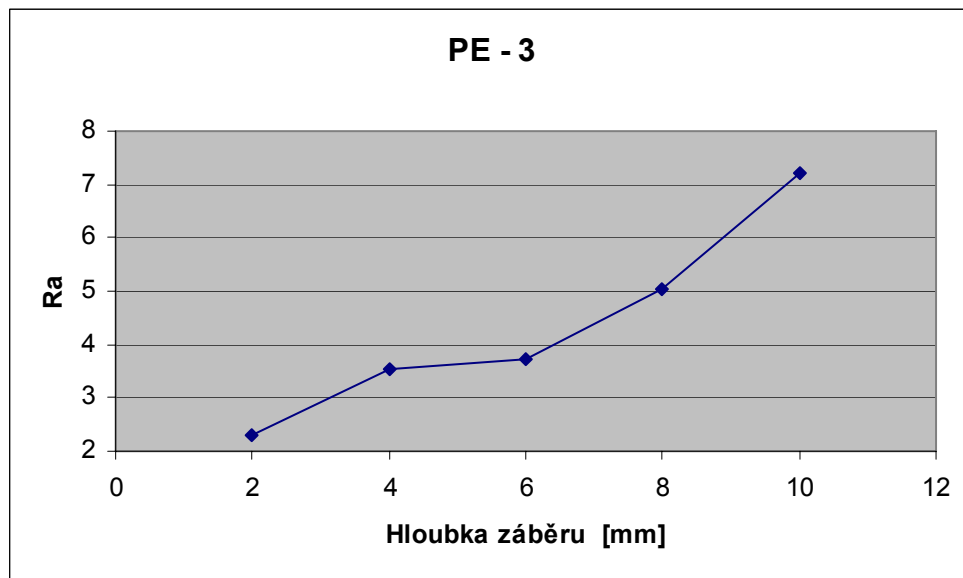
Graf 4: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PE



Graf 5: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PE

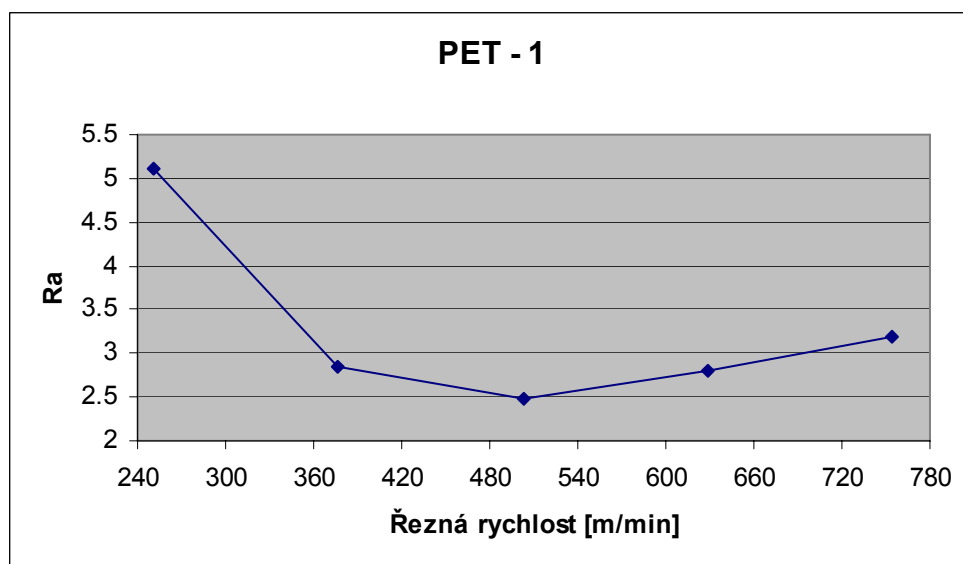


Graf 6: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PE

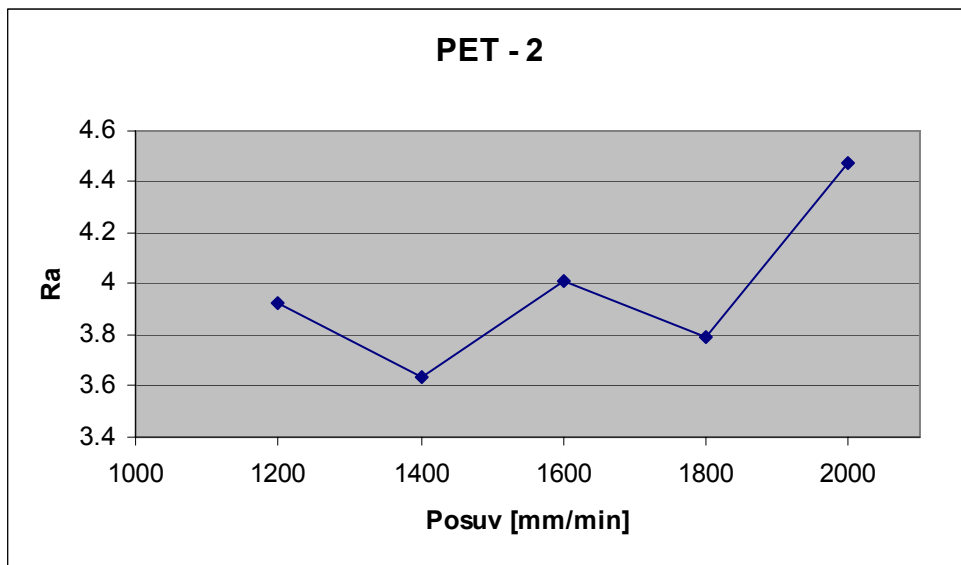


### 4.3 Materiál - PET

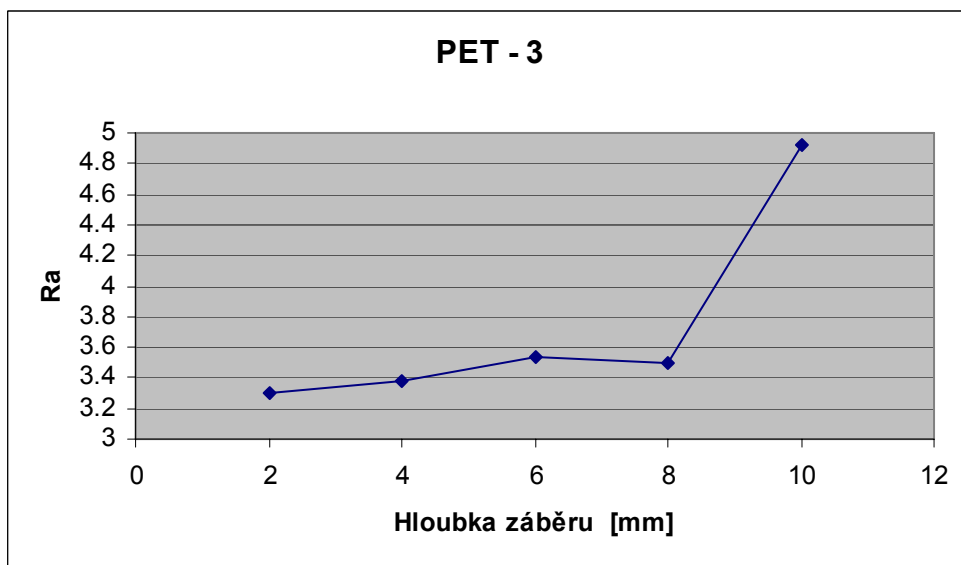
Graf 7: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PET



Graf 8: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PET

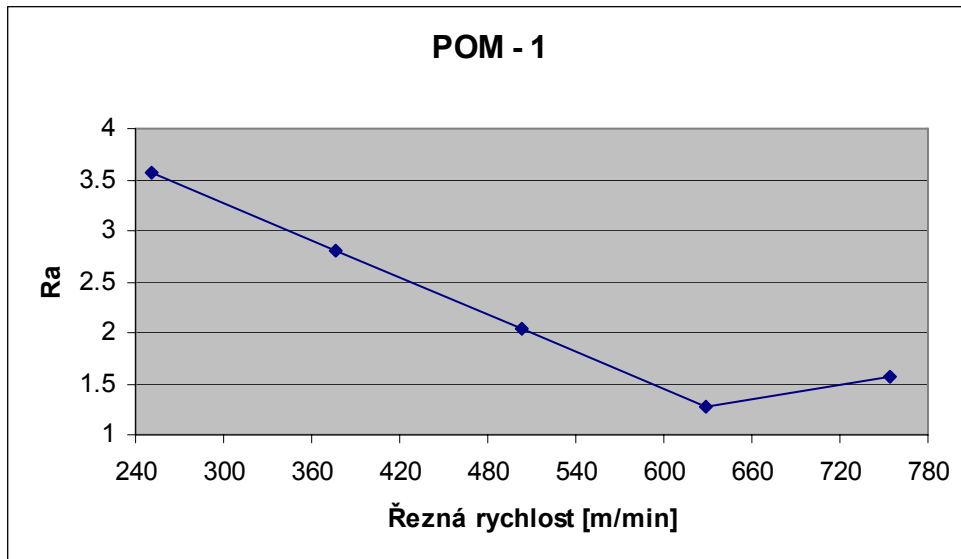


Graf 9: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PET

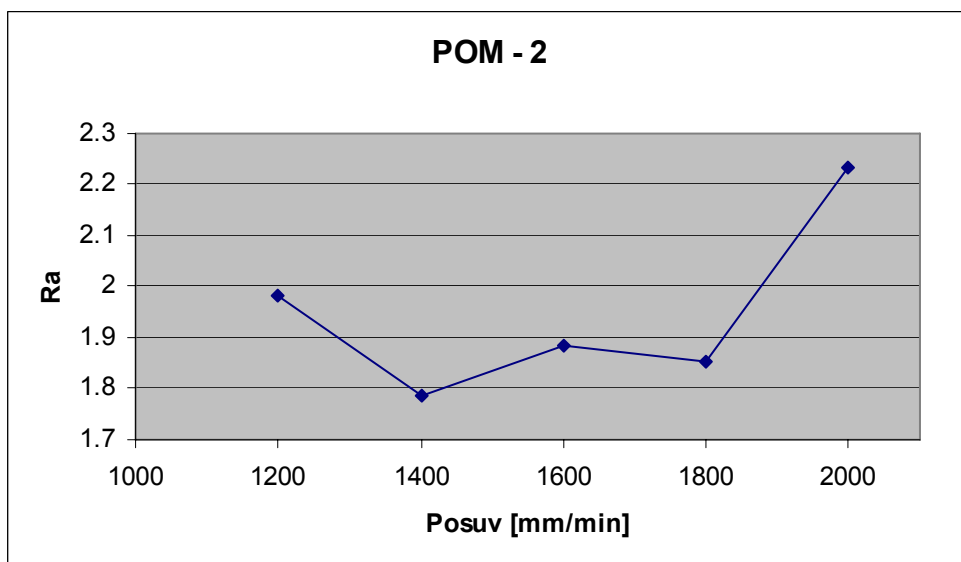


#### 4.4 Materiál - POM

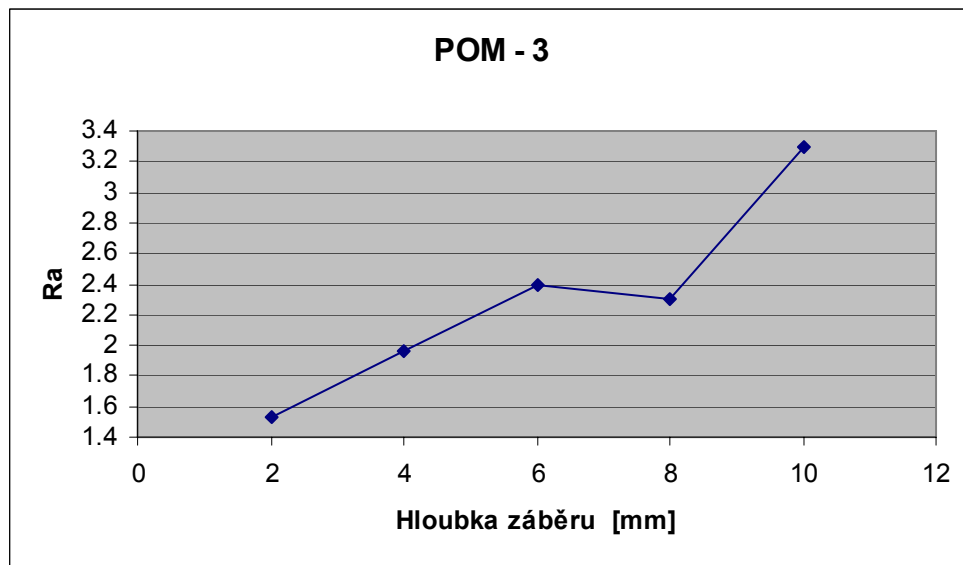
Graf 10: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál POM



Graf 11: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál POM

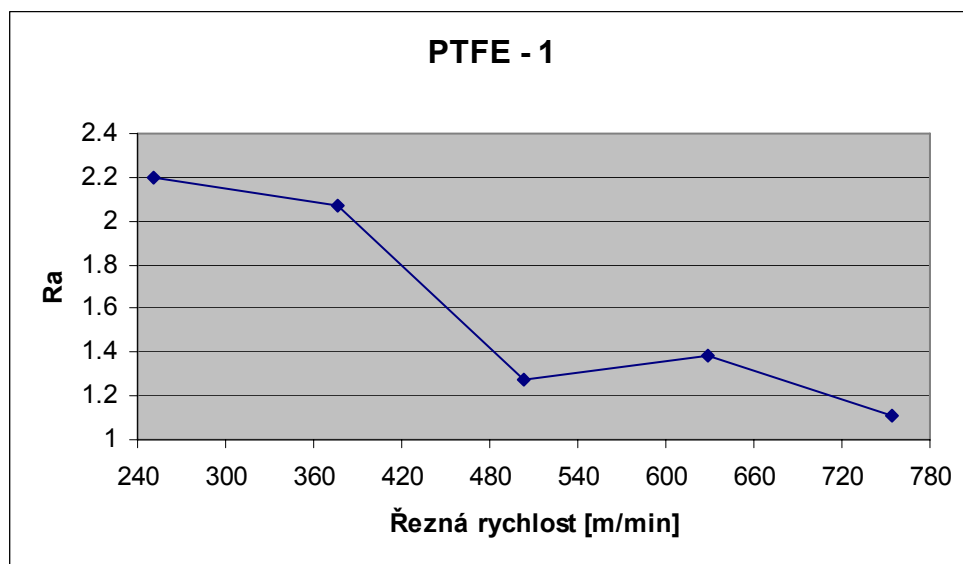


Graf 12: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál POM

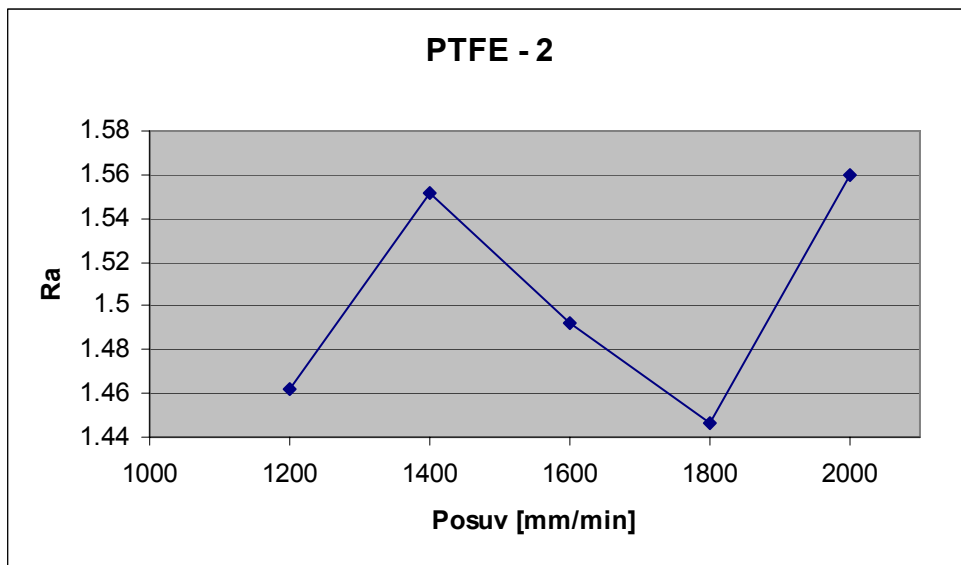


#### 4.5 Materiál - PTFE

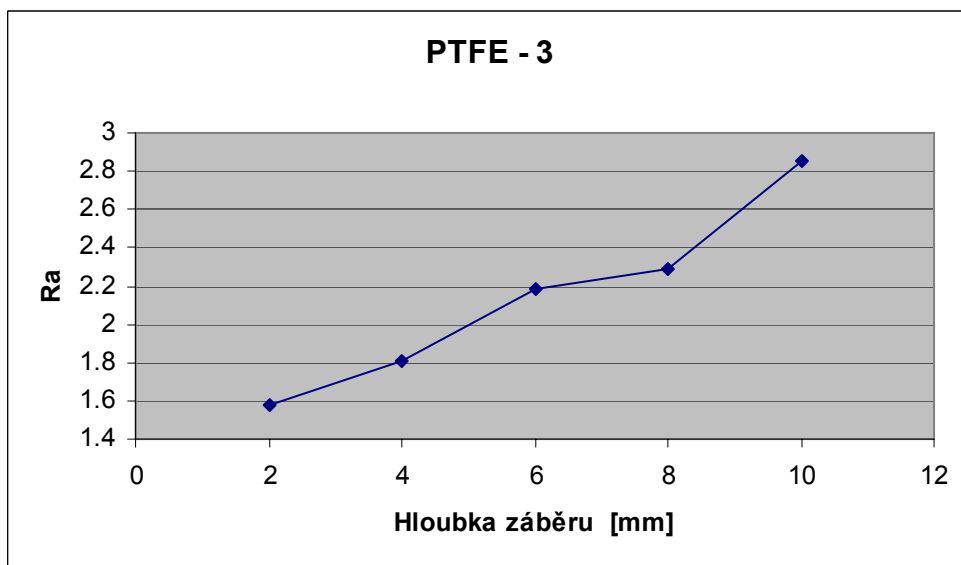
Graf 13: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PTFE



Graf 14: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PTFE



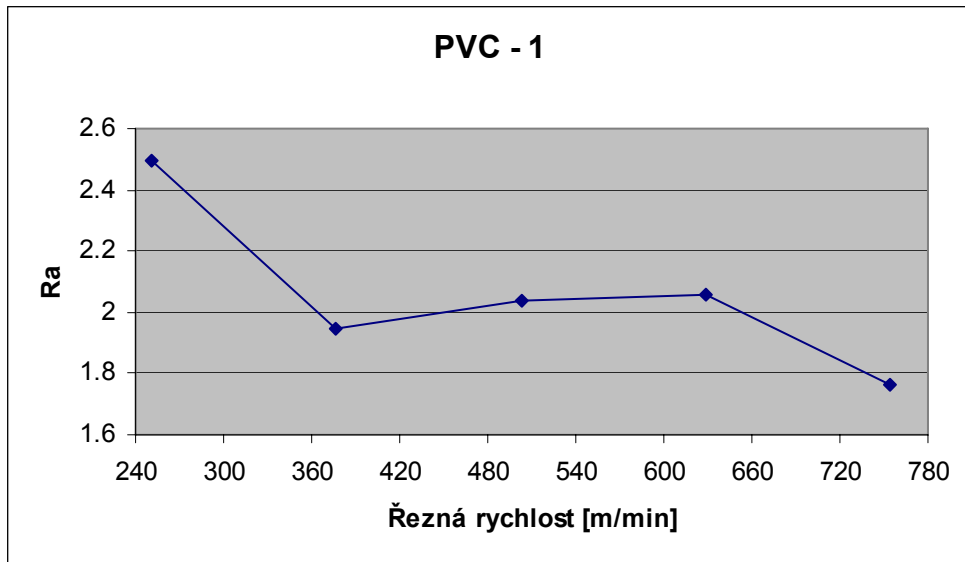
Graf 15: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PTFE



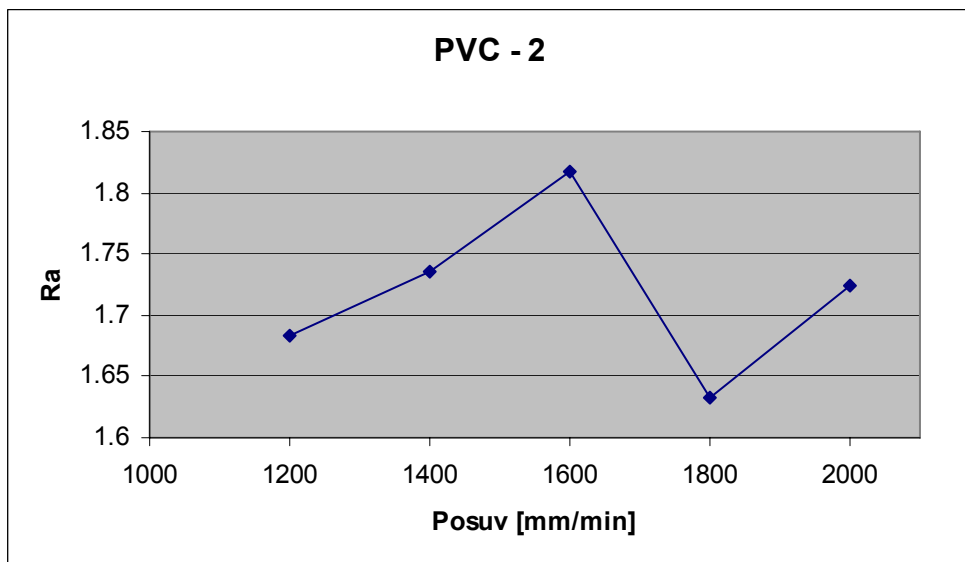


## 4.6 Materiál - PVC

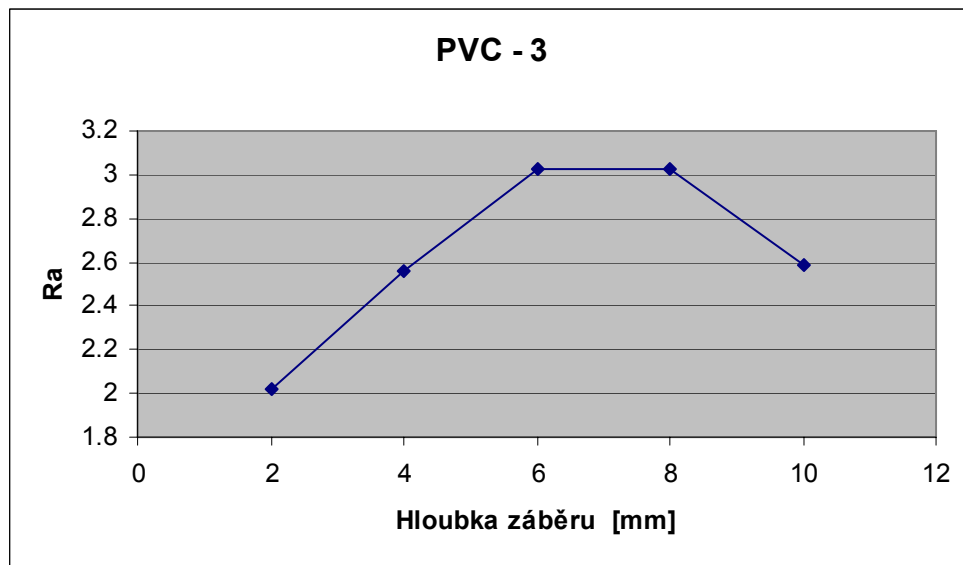
Graf 16: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PVC



Graf 17: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PVC

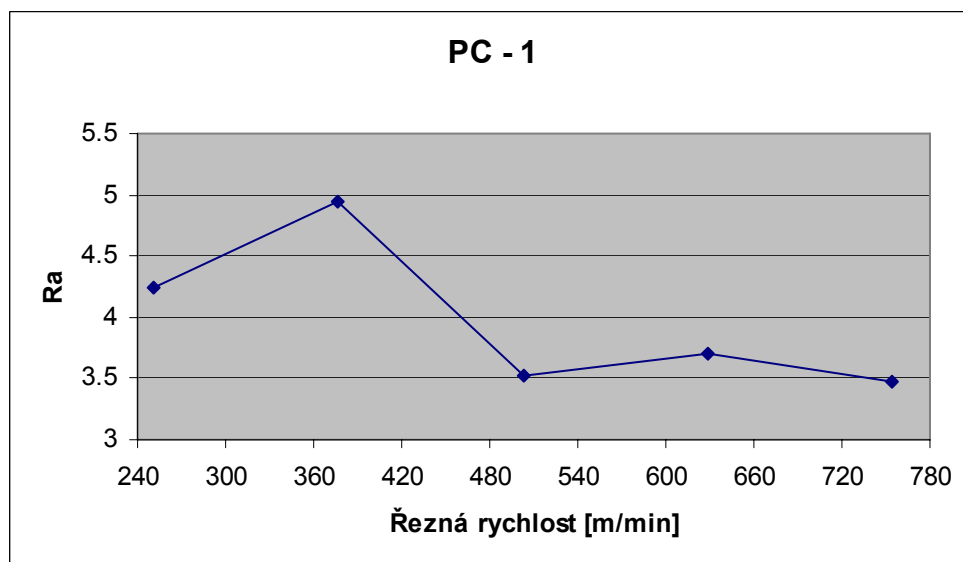


Graf 18: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PVC

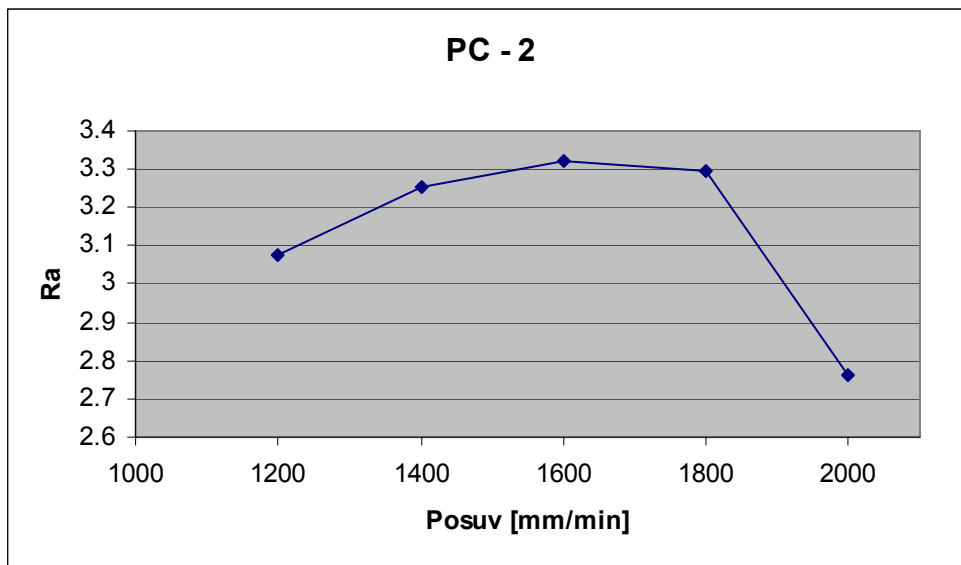


#### 4.7 Materiál - PC

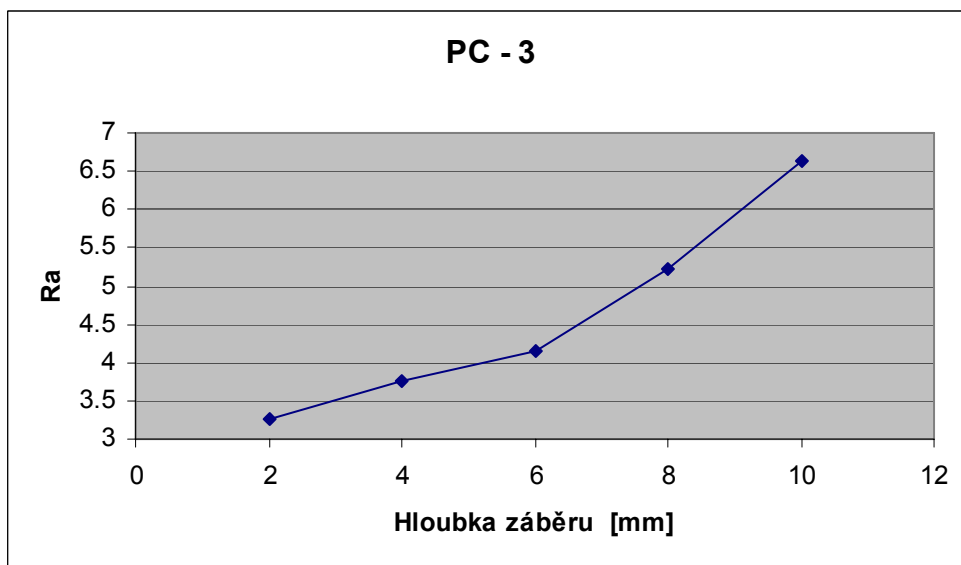
Graf 19: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PC



Graf 20: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PC

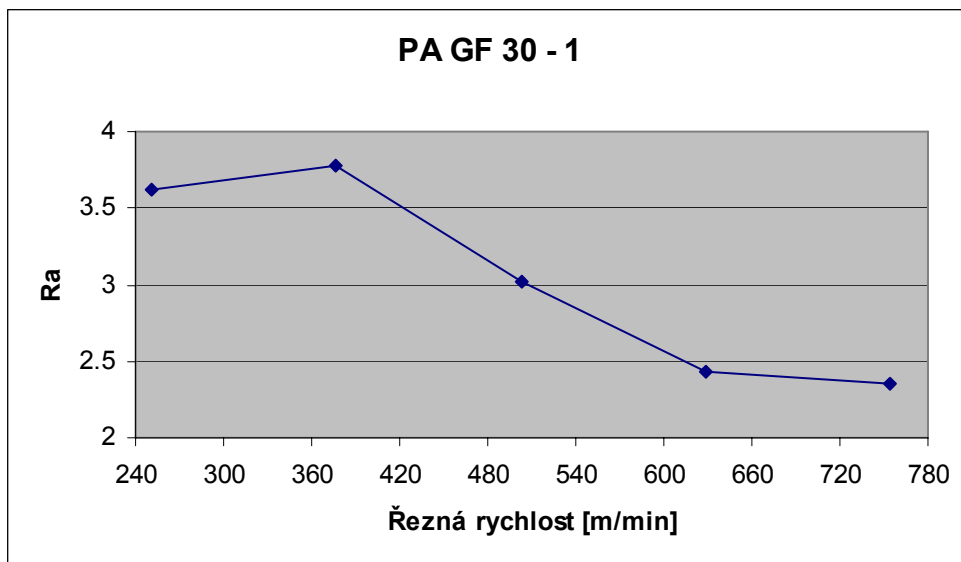


Graf 21: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PC

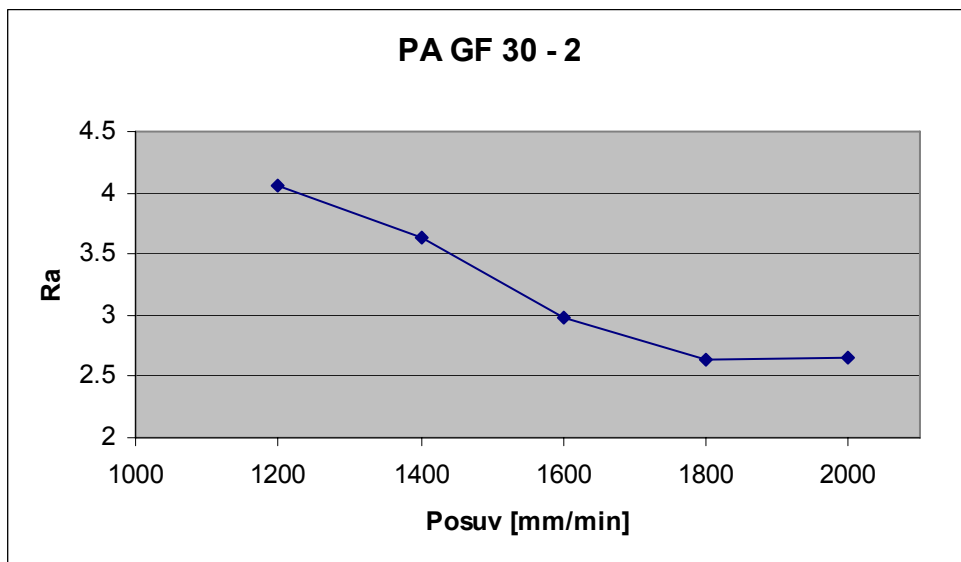


## 4.8 Materiál – PA GF 30

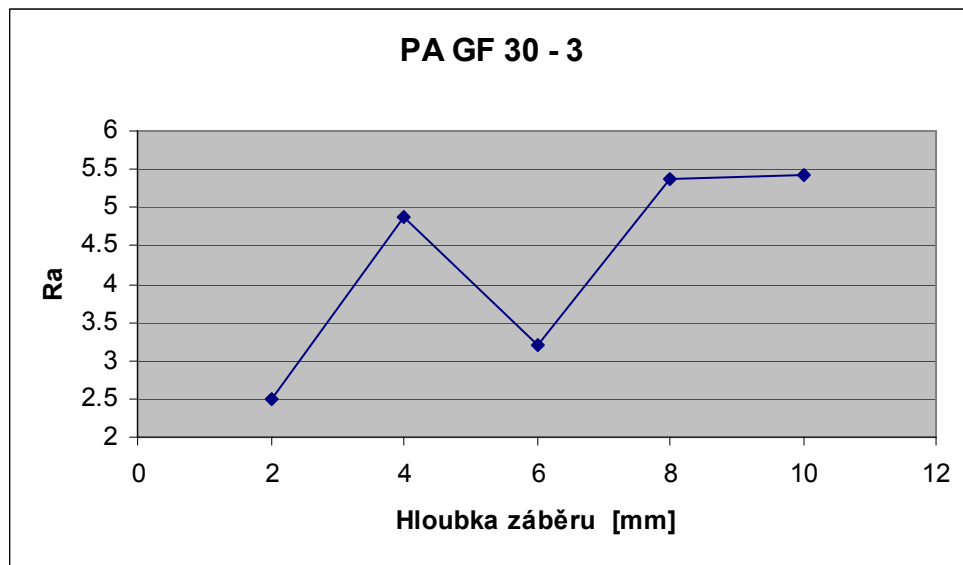
Graf 22: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PA GF 30



Graf 23: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PA GF 30

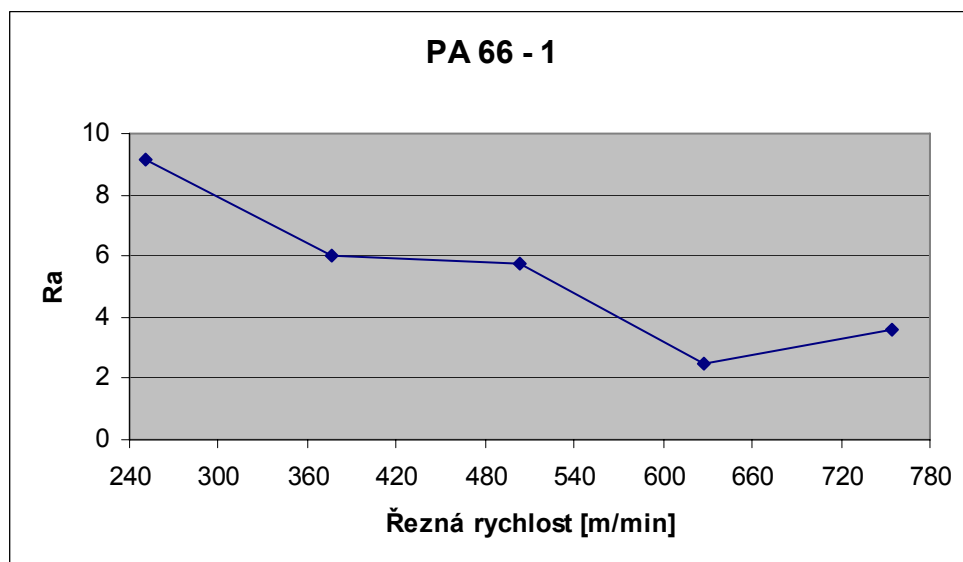


Graf 24: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PA GF 30

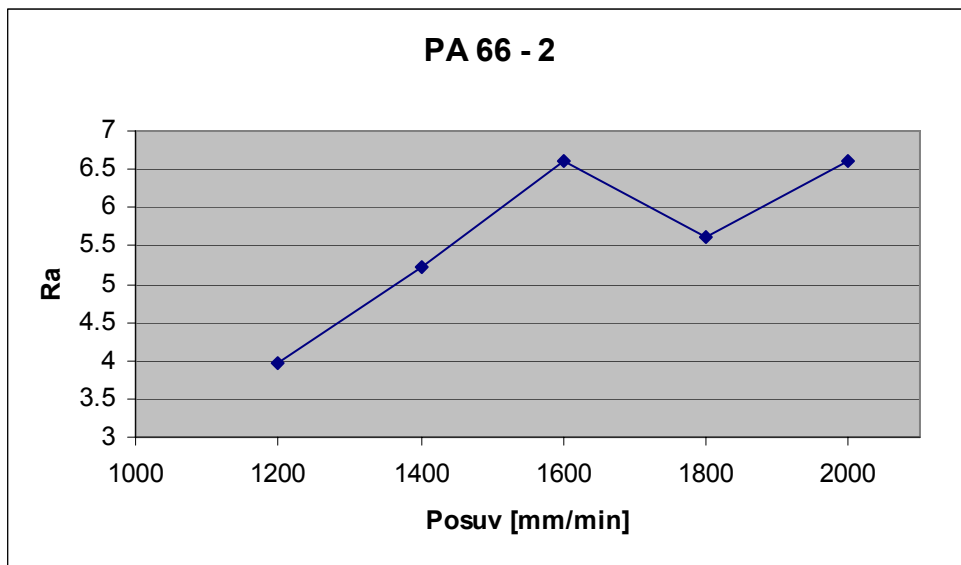


#### 4.9 Materiál – PA 66

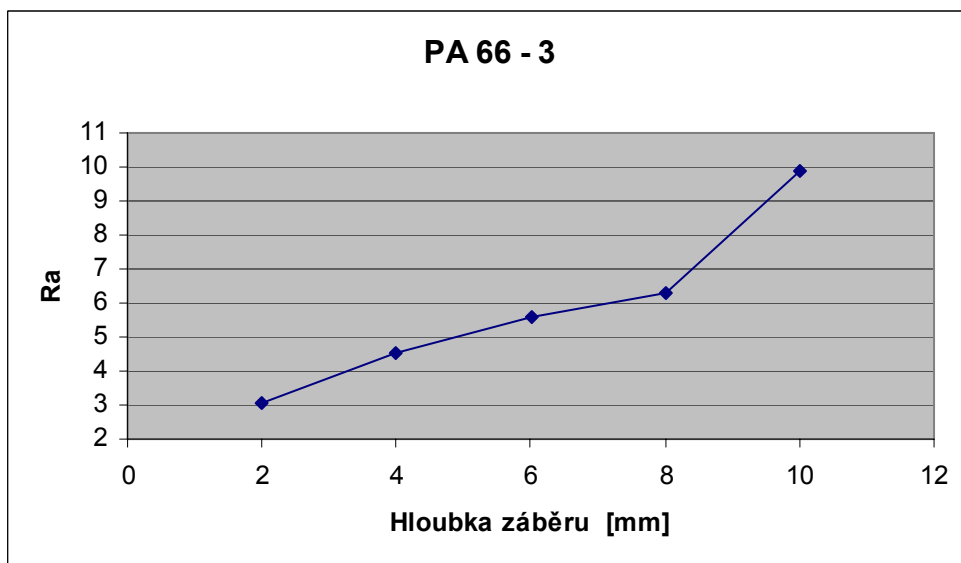
Graf 25: Závislost drsnosti povrchu Ra na řezné rychlosti, materiál PA 66



Graf 26: Závislost drsnosti povrchu Ra na posuvu, materiál PA 66



Graf 27: Závislost drsnosti povrchu Ra na hloubce řezu, materiál PA 66



## ZÁVĚR

Obrábění plastů zůstává i v současnosti nezastupitelnou zpracovatelskou technologií pro jejich aplikace. Přichází v úvahu především u kusové a malosériové výroby, kde výroba forem pro klasické plastikářské technologie je nerentabilní, u výroby velkorozměrných dílů, přesahujících kapacitu zpracovatelských strojů, a při použití plastů, jejichž chemická struktura neumožňuje použít obvyklé zpracovatelské postupy. V praxi jde např. o modely, prototypové ověřovací díly pro pozdější přechod na sériovou výrobu a součásti unikátních zařízení, zejména výrobní sféry. Velmi žádaná je i výroba náhradních plastových dílů pro havarovaná zařízení nebo těžko dostupné součástky zahraničních strojů.

Na základě výsledků měření, které byly provedeny, budou voleny nové technologické podmínky u jednotlivých materiálů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Karel Kocman, Speciální technologie – obrábění, Fakulta strojní VUT Brno, 1995
- [2] Imrich Lukovics, Konstrukční materiály a technologie, Fakulta technologická VUT Brno, 1992
- [3] BEŇO, J.: Teória rezania kovov. Strojnícka fakulta TU v Košiciach, Vienaľa Košice, 1999. ISBN 80-7099-429-0
- [4] Lukáš Sed'a, Bezkontaktní 3D digitalizace dat, MM průmyslové spektrum, 2005
- [5] LUKOVICS, I.: Konstrukční materiály a technologie [Skripta]. 1.vyd. Brno 1992 - Vysoké učení technické v Brně, 1992 ISBN - 80-214-0399-3.
- [6] KOVÁŘ, J., Ovlivnění kvality a jakosti obrobené plochy při frézování, MM Průmyslové Spektrum, 04/2004.
- [7] HENKEL, M., Třískové obrábění technických dílů z plastů, MM průmyslové spektrum, 01/2005.
- [8] Kocman,K., Aplikace HSC obrábění při frézování. In.: Frézování II. VUT FSI v Brně, ISBN 80-214-1728-5, 2000.
- [9] Kocman, K, Prokop, J., Technologie obrábění. CERM, Brno, 2001. ISBN 80-214-1996-2

**INTERNETOVÉ ZDROJE**

[www.tribon.cz](http://www.tribon.cz)

[www.zps-fn.cz](http://www.zps-fn.cz)

[www.unitool.cz](http://www.unitool.cz)

[www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

L	délka
H	výška
s	posuv
F	síla
B	šířka
z	počet zubů
M <sub>k</sub>	kroučící moment
v	řezná rychlost
n	otáčky
P	výkon
Q	objem
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
PA 6	Polyamid 6
PA 66	Polyamid 66
POM	Polyoxymethylen
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Plochy při soustružení a hoblování.....	10
Obr. 2. Hloubka řezu při obrábění rovinných ploch.....	13
Obr. 3. Hloubka řezu při obrábění drážek .....	14
Obr. 4. Rozměry průřezů odebrané vrstvy .....	15
Obr. 5. Řezný pohyb při frézování .....	17
Obr. 6. Sousedné frézování.....	18
Obr. 7. Nesousedné frézování.....	19
Obr. 8. Frézování čelní a válcovou frézou.....	20
Obr. 9. Tepelné chování amorfních termoplastů .....	32
Obr. 10. Tepelné chování semi-krytalických termoplastů .....	33
Obr. 11. Rozdělení plastů pro technické aplikace .....	35
Obr. 12. Frézka HWT řady C profi.....	53
Obr. 13. Válcová čelní fréza 1104 .....	55

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Přehled vlastností PVC .....	36
Tab. 2. Přehled vlastností PMMA .....	36
Tab. 3. Přehled vlastností PP .....	37
Tab. 4. Přehled vlastností PTFE .....	38
Tab. 5. Přehled vlastností rozvětveného PE .....	39
Tab. 6. Přehled vlastností lineárního PE .....	40
Tab. 7. Přehled vlastností lehčeného PS .....	40
Tab. 8. Přehled vlastností houževnatého PS .....	41
Tab. 9. Přehled vlastností PA .....	41
Tab. 10. Přehled vlastností Ertalonu 6 SA .....	42
Tab. 11. Přehled vlastností Nylatronu GSM .....	42
Tab. 12. Přehled vlastností Nylatronu NSM .....	43
Tab. 13. Přehled vlastností Ertacetalu - H .....	43
Tab. 14. Přehled vlastností Ertalytu .....	44
Tab. 15. Přehled vlastností Cesticoloru HD 500X .....	44
Tab. 16. Přehled vlastností Celazole .....	45
Tab. 17. Přehled vlastností Torlonu .....	45
Tab. 18. Doporučená geometrie, rachlosti a posuvy pro frézování plastů .....	48
Tab. 19. Základní parametry stroje .....	54
Tab. 20. Srovnání základních vlastností použitých materiálů .....	55
Tab. 21. Vzorek č. 1 .....	56
Tab. 22. Vzorek č. 2 .....	56
Tab. 23. Vzorek č. 3 .....	56

## **SEZNAM PŘÍLOH**

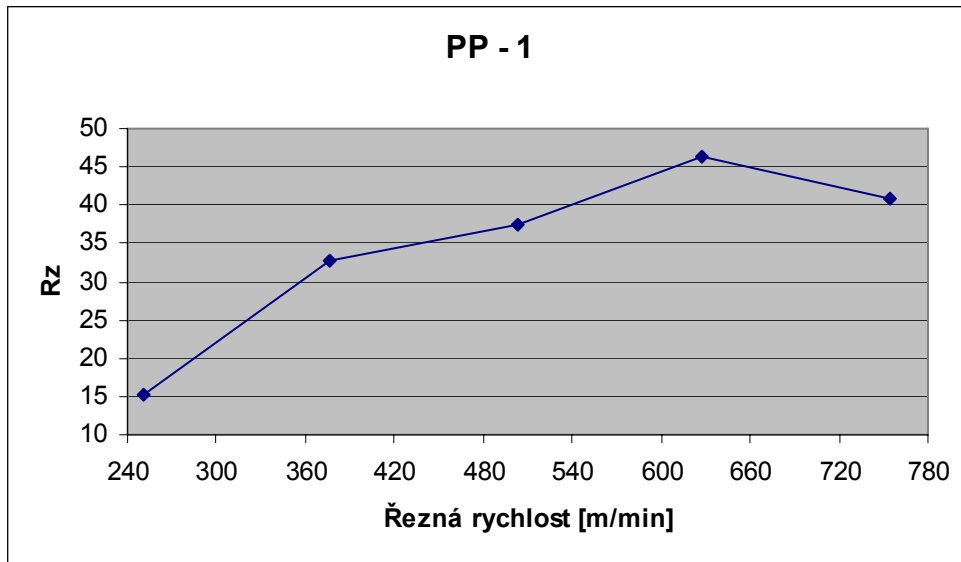
Příloha P I: Grafy největších výšek profilů

Příloha P II: Tabulky hodnot drsností

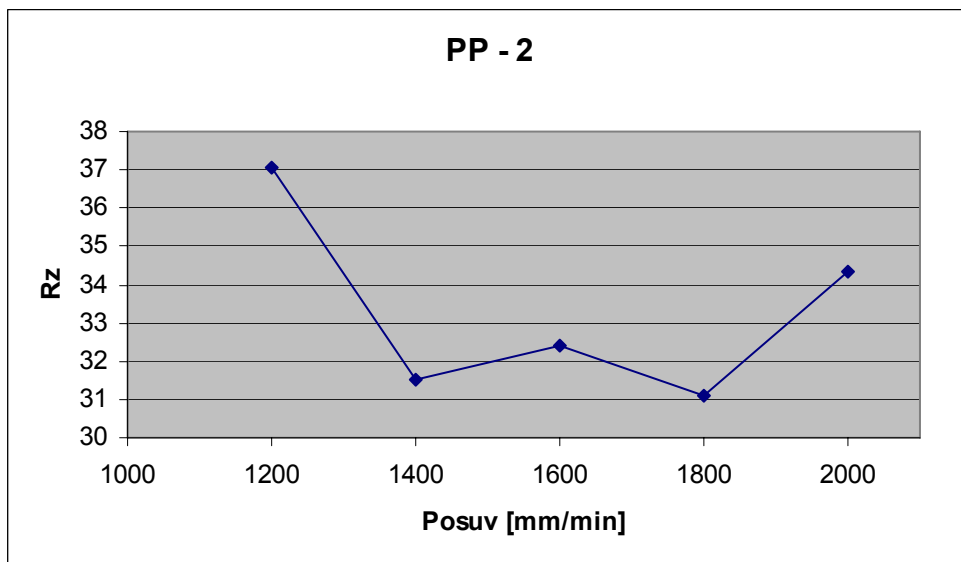
Příloha P III: Tabulky hodnot největších výšek profilů

## PŘÍLOHA P I: GRAFY NEJVĚTŠÍCH VÝŠEK PROFILŮ

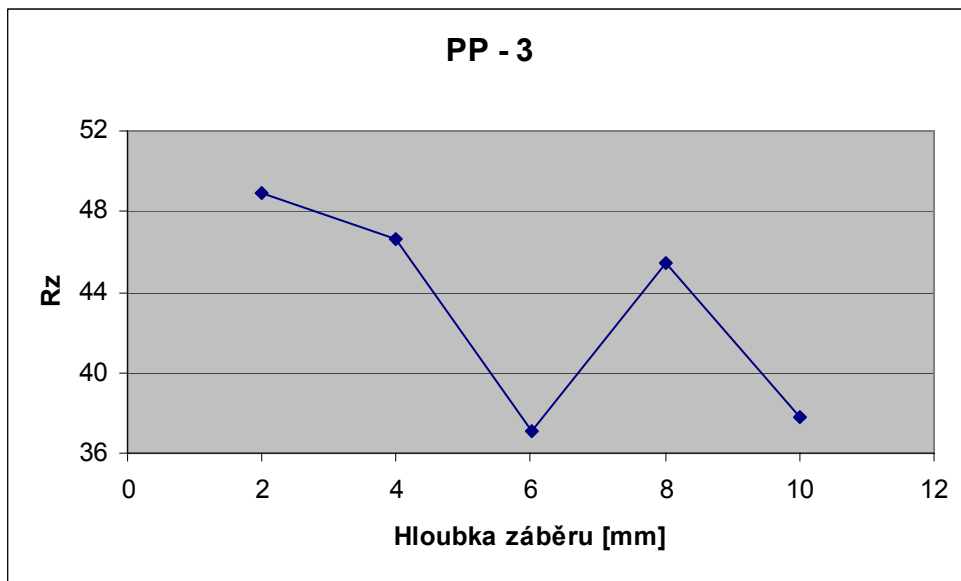
Graf 1: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PP



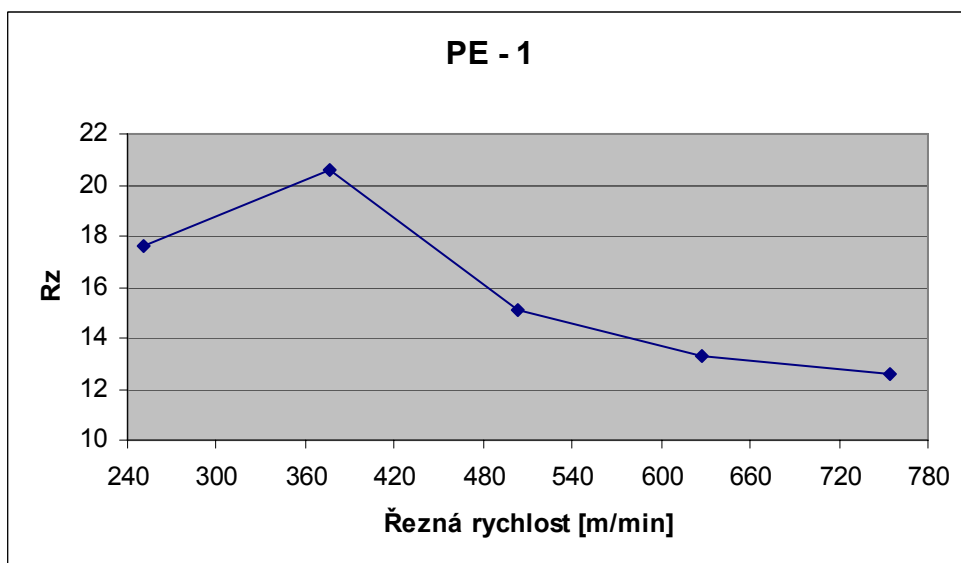
Graf 2: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PP



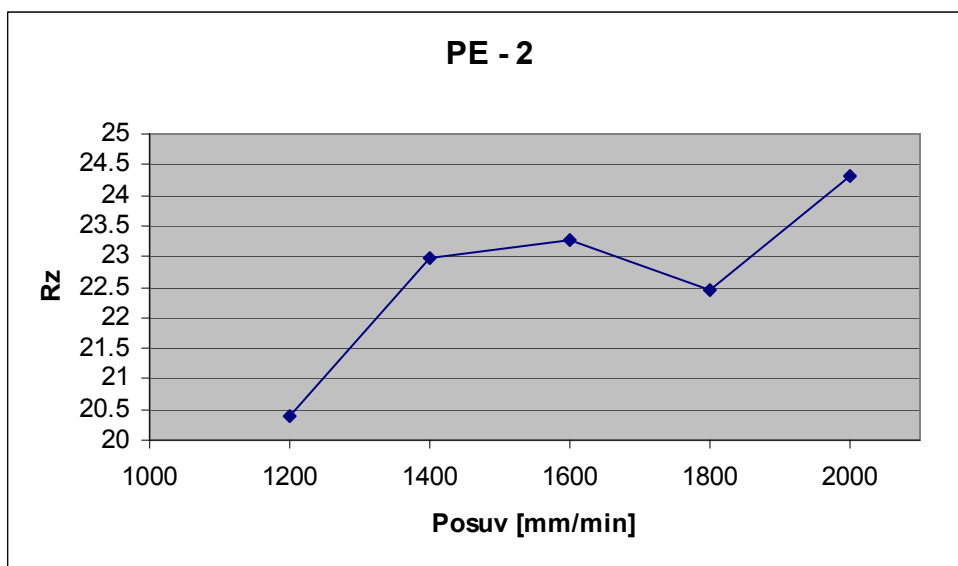
Graf 3: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PP



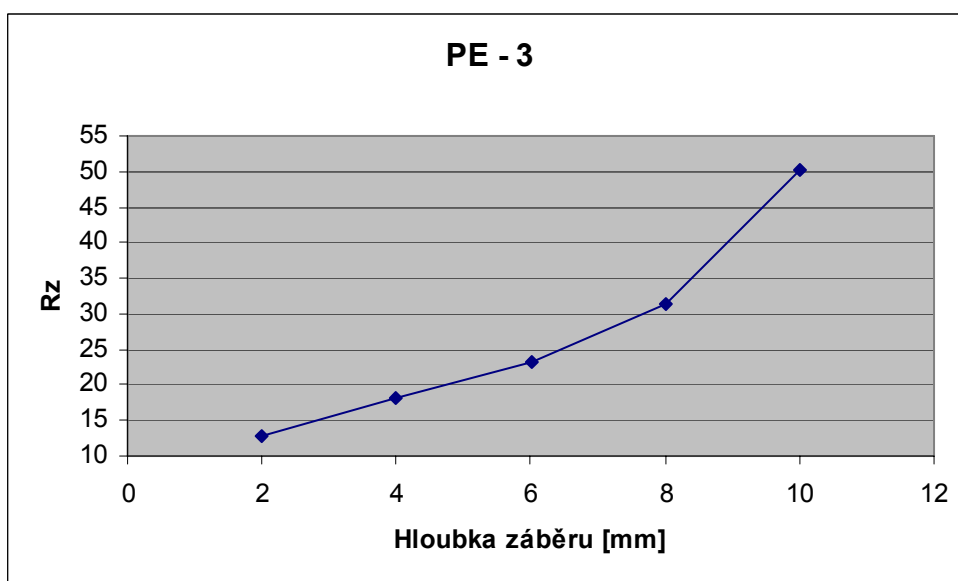
Graf 4: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PE



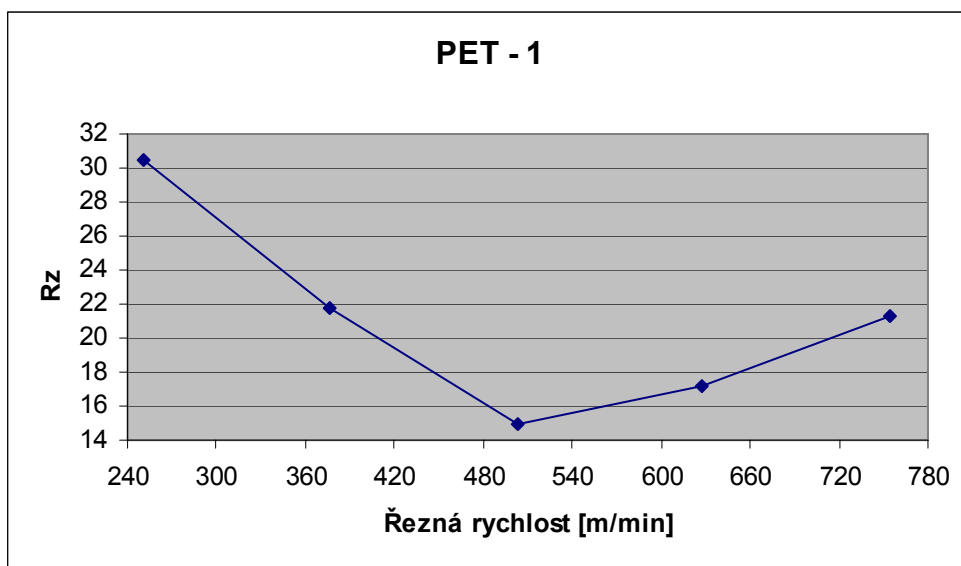
Graf 5: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PE



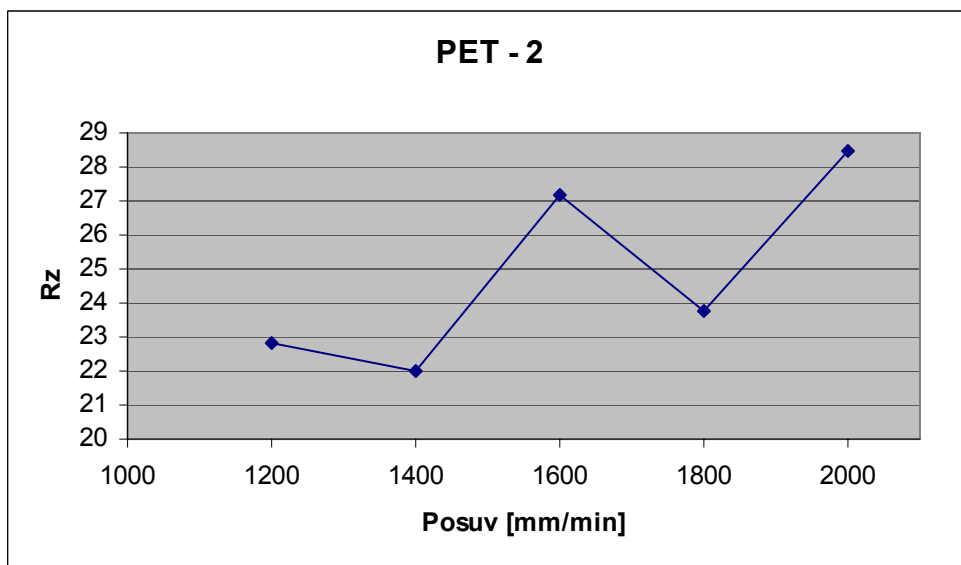
Graf 6: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PE



Graf 7: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PET

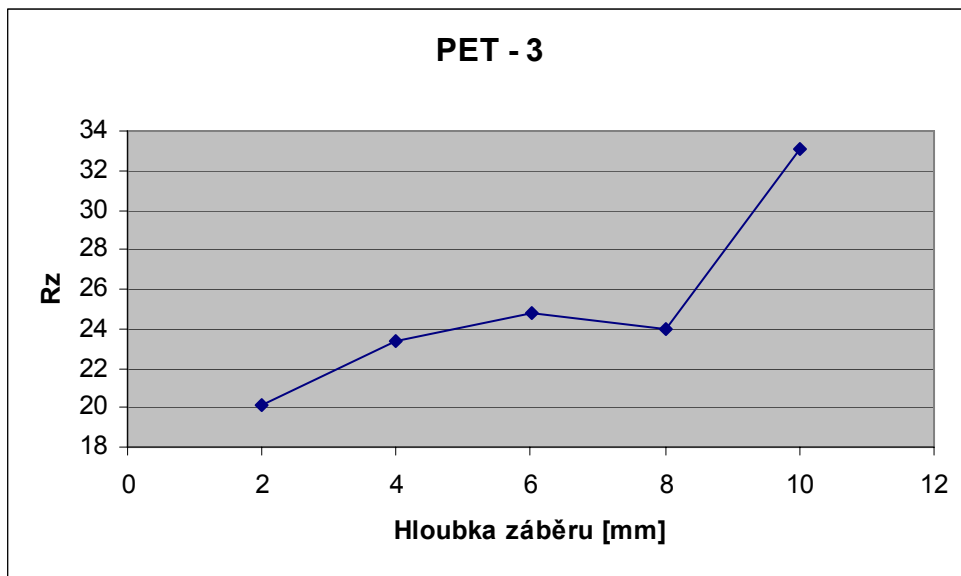


Graf 8: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PET

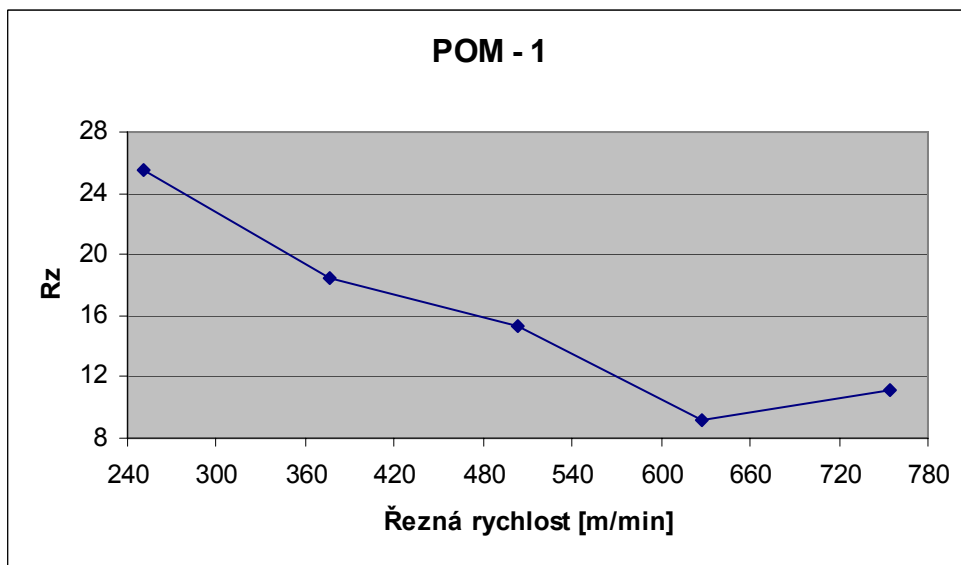




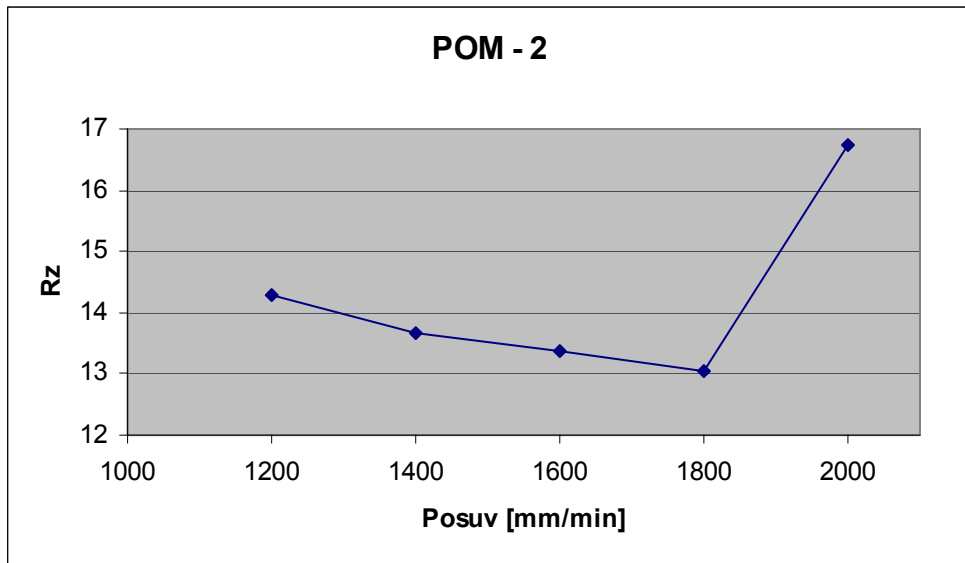
Graf 9: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PET



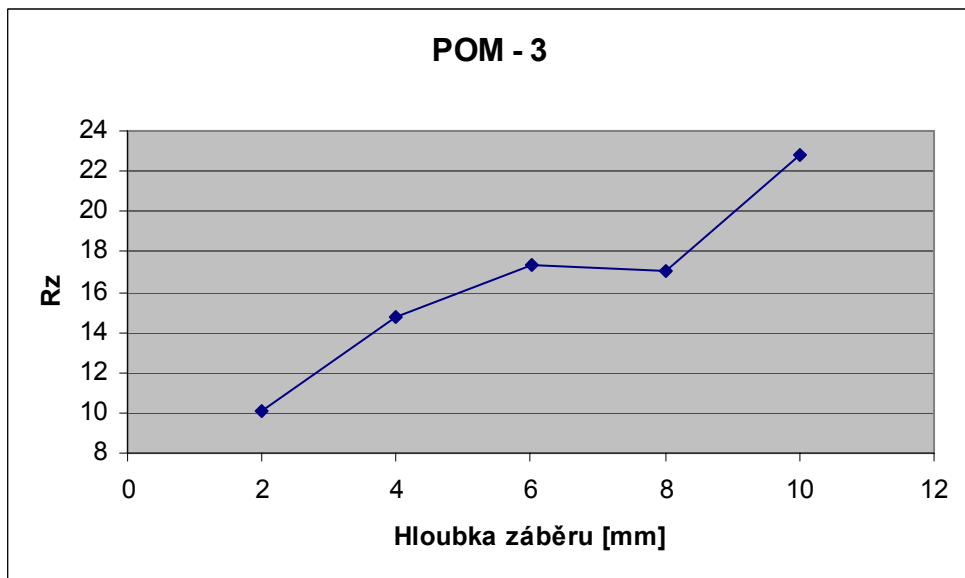
Graf 10: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál POM



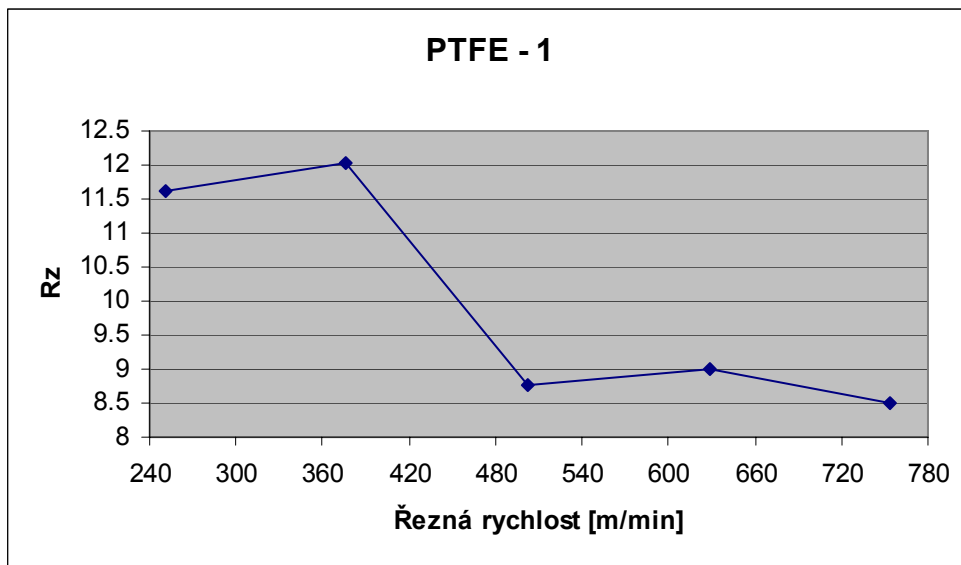
Graf 11: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál POM



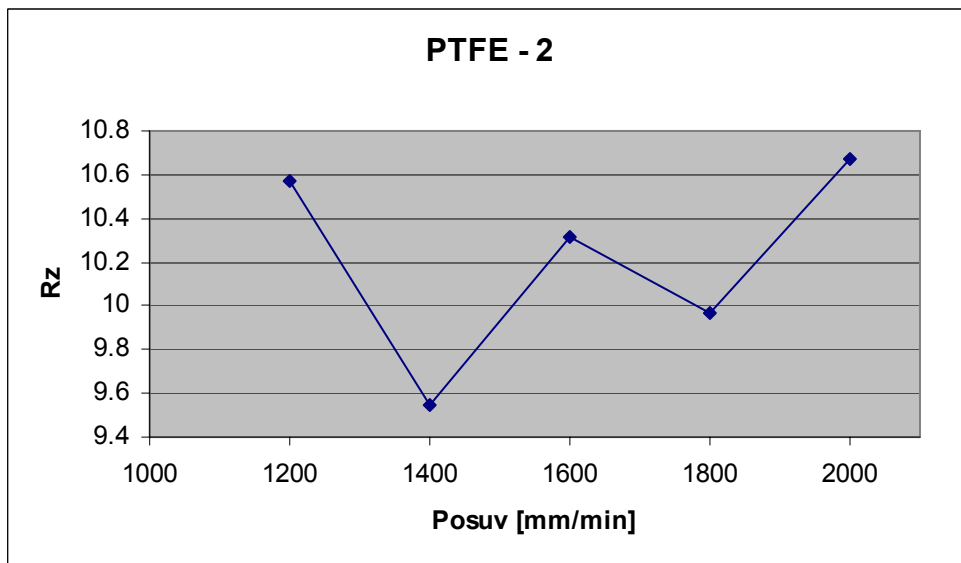
Graf 12: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál POM



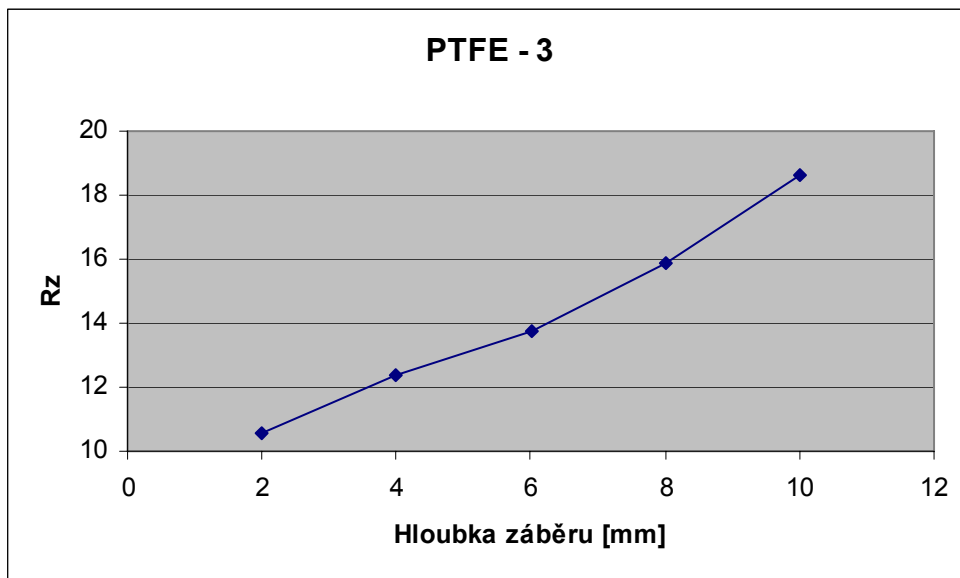
Graf 13: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PTFE



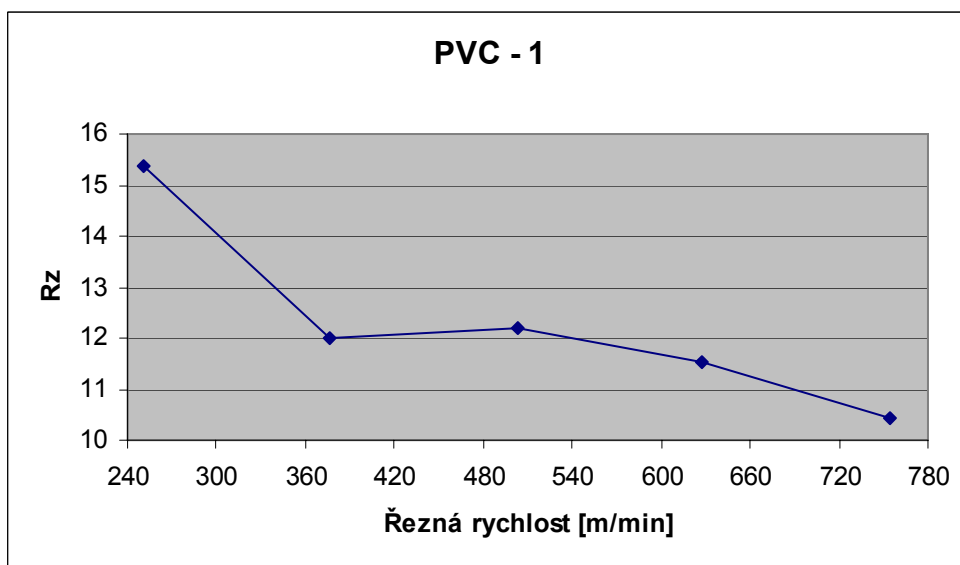
Graf 14: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PTFE



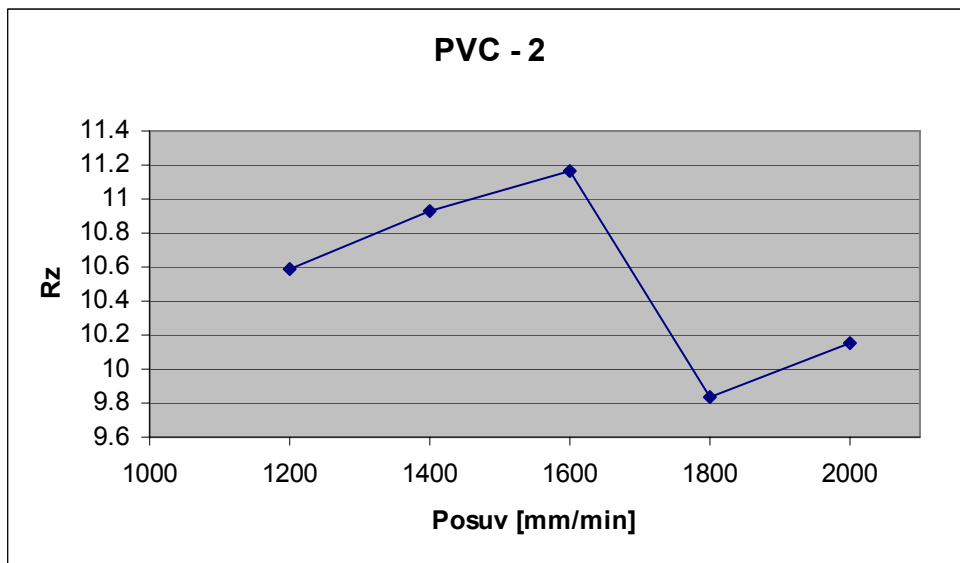
Graf 15: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PTFE



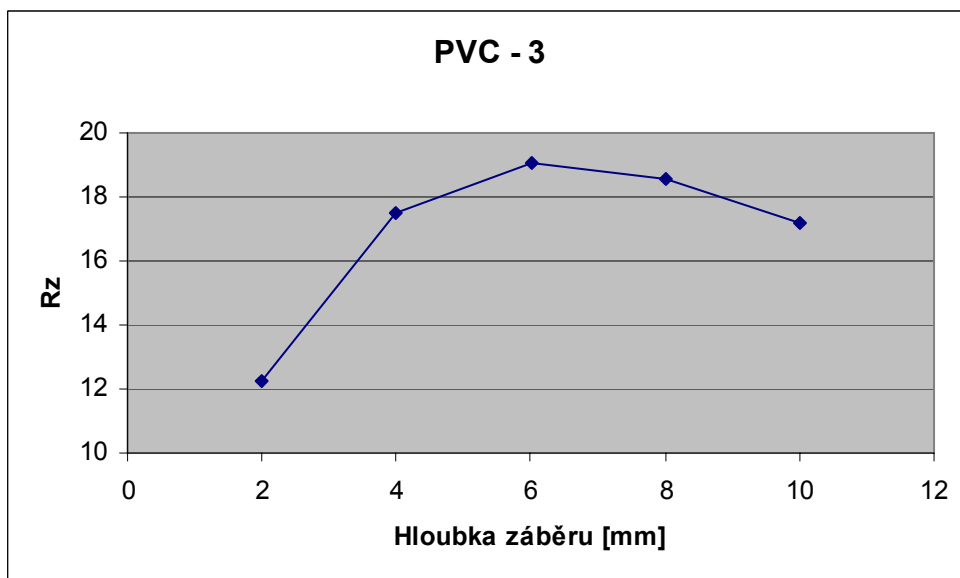
Graf 16: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PVC



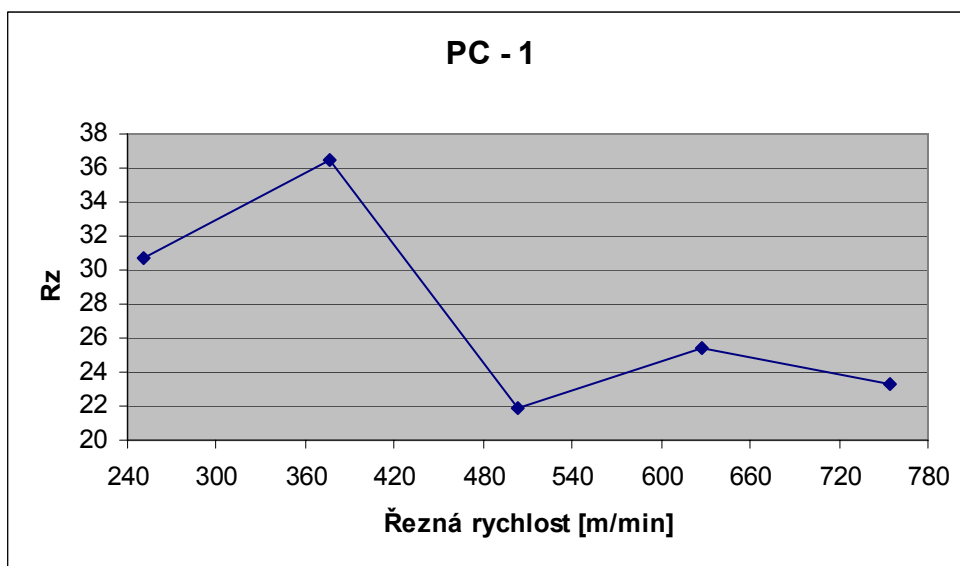
Graf 17: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PVC



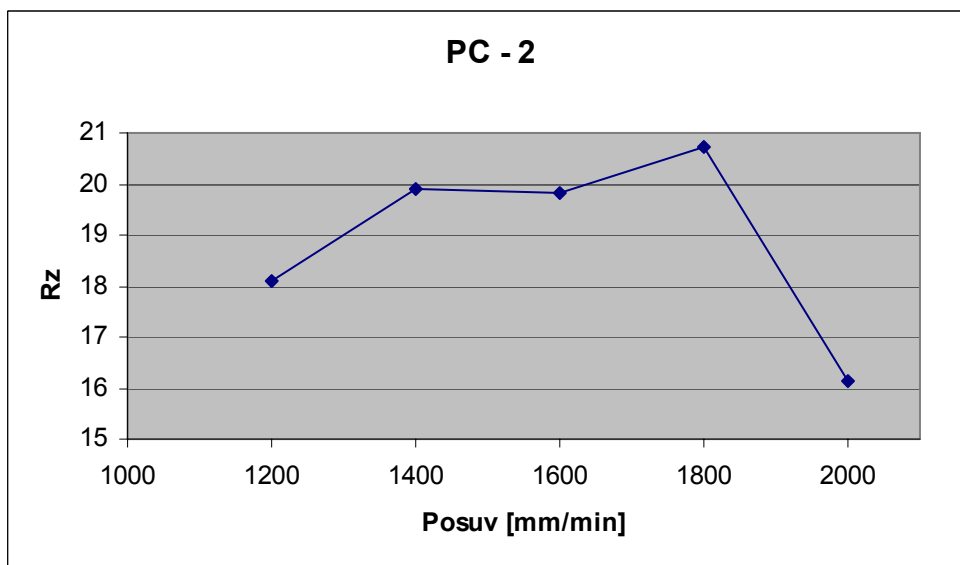
Graf 18: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PVC



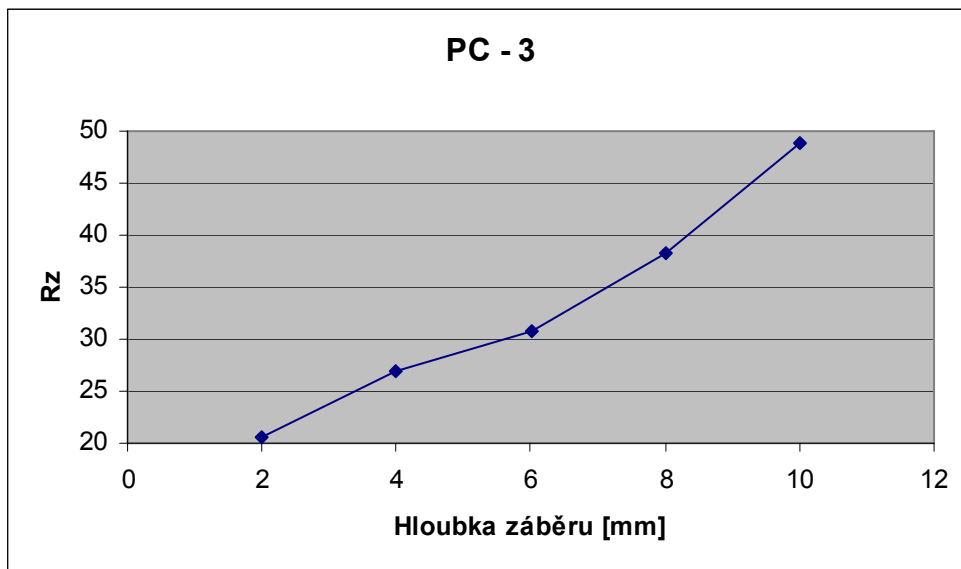
Graf 19: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PC



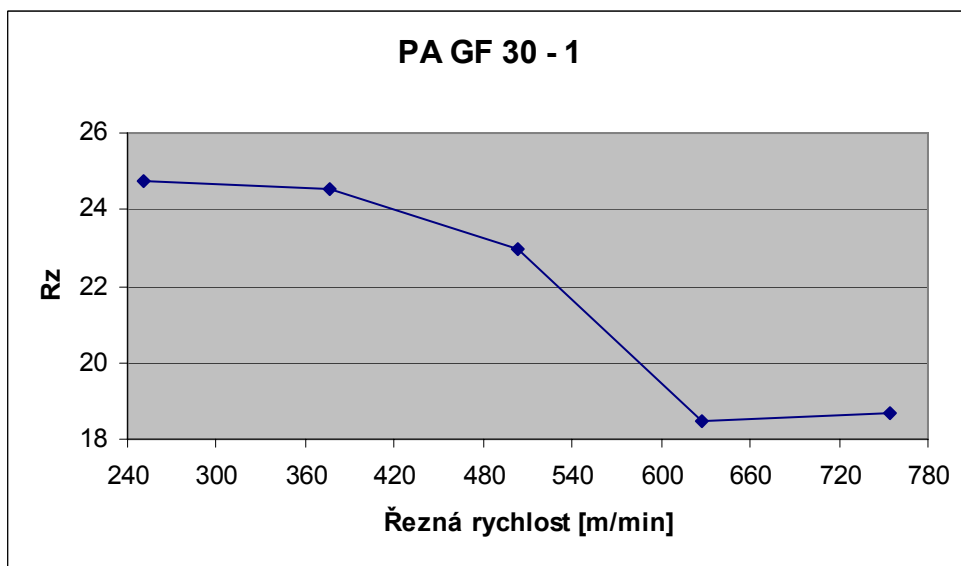
Graf 20: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PC



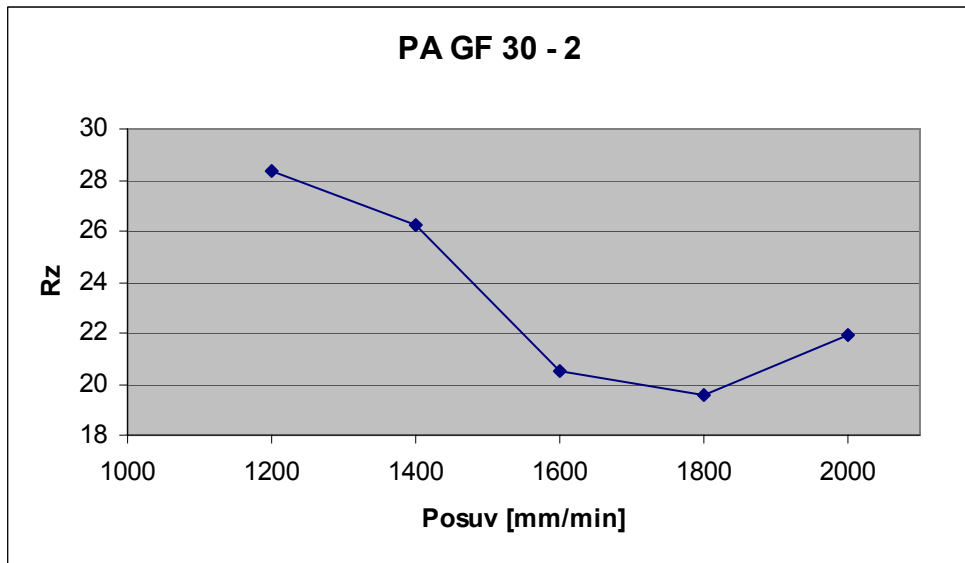
Graf 21: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PC



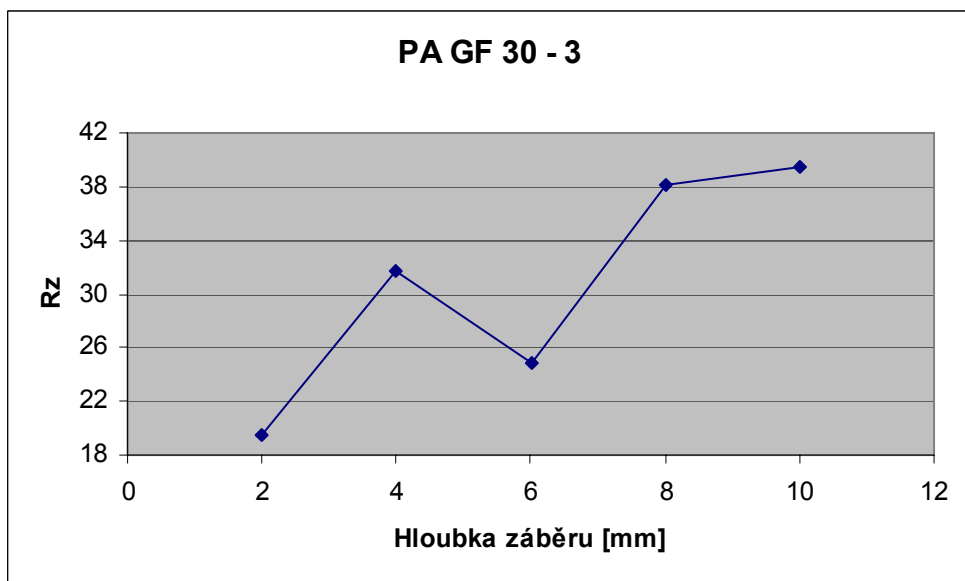
Graf 22: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PA GF 30



Graf 23: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PA GF 30

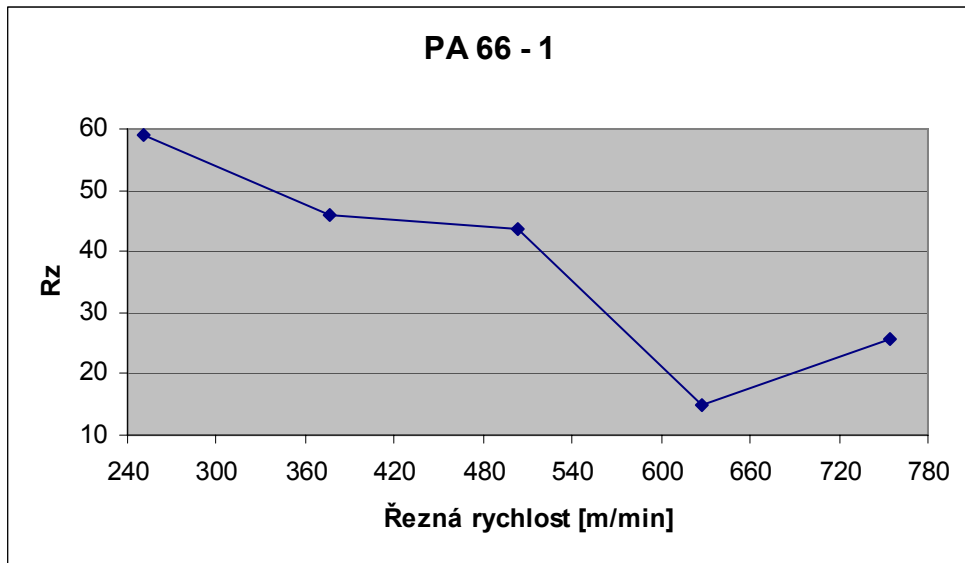


Graf 24: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PA GF 30

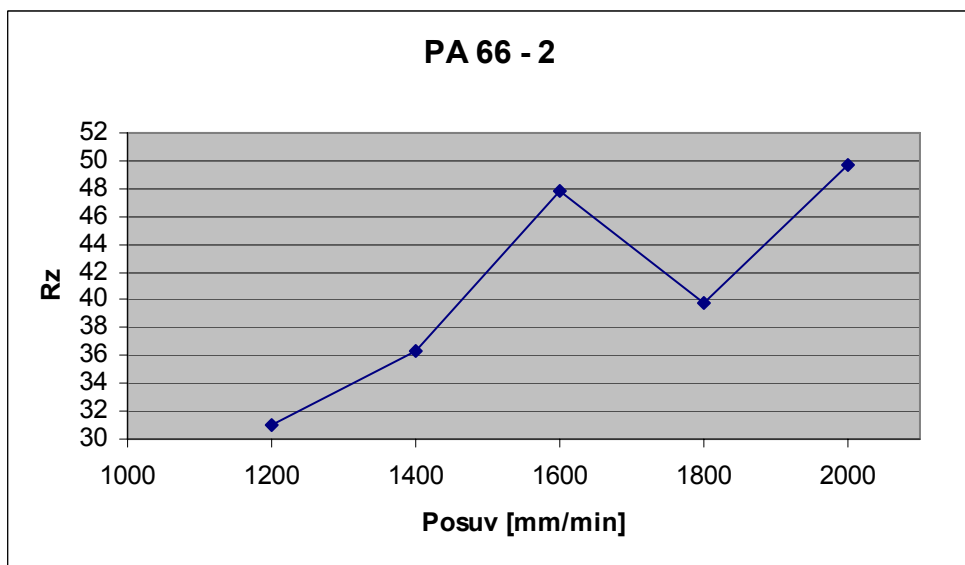


Graf 25: Závislost největší výšky profilu Rz na řezné rychlosti, materiál PA 66



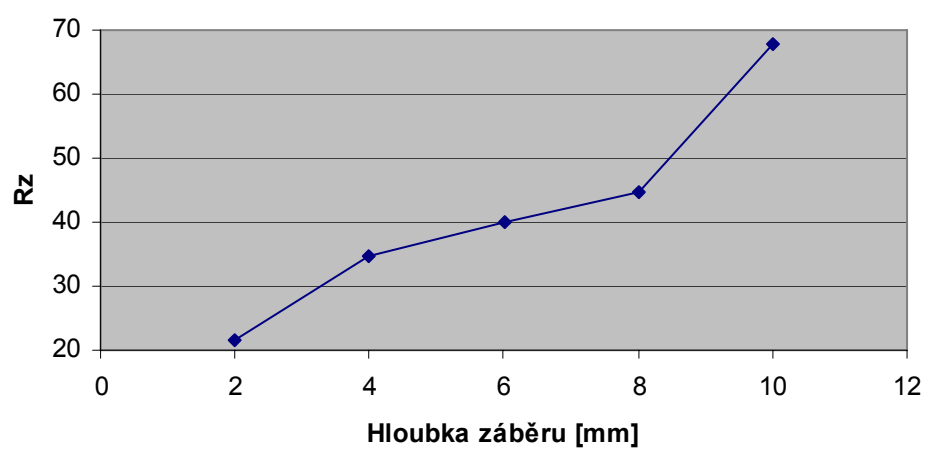


Graf 26: Závislost největší výšky profilu Rz na posuvu, materiál PA 66



Graf 27: Závislost největší výšky profilu Rz na hloubce záběru, materiál PA 66

### PA 66 - 3



## PŘÍLOHA P II: TABULKY HODNOT DRSNOSTÍ - PP

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	2.74	2.61	2.31	2.55	2.35	2.512	0.180333
376	4.92	4.02	3.84	3.95	3.73	4.092	0.475784
503	5.72	5.6	5.97	6.5	5.2	5.798	0.480957
628	7.9	7.5	8.2	5.57	5.73	6.98	1.240544
754	6.05	5.72	5.22	7.43	6.96	6.276	0.904837

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	4.95	5.53	5.84	5.87	6.35	5.708	0.515286
1400	4.94	4.58	4.71	4.99	4.85	4.814	0.168612
1600	4.39	5.16	4.41	4.84	4.63	4.686	0.322227
1800	4.66	4.25	4.38	4.7	4.55	4.508	0.190184
2000	4.32	5.65	4.93	4.27	5.23	4.88	0.592368

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	7.22	6.23	7.25	10.09	8.12	7.782	1.453331
4	5.14	7.23	6.59	5.41	7.61	6.396	1.090495
6	5.82	4.97	5.38	5.93	5.72	5.564	0.390679
8	5.12	5.23	6.38	7.05	6.82	6.12	0.896465
10	6	4.17	6.18	4.44	5.71	5.3	0.928574

## PE

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	3.19	2.45	2.8	2.57	2.73	2.748	0.282347
376	3	2.61	2.79	3.06	2.71	2.834	0.191128
503	2.56	1.96	2.61	2.45	2.33	2.382	0.259365
628	2.62	2.68	2.4	2.55	2.45	2.54	0.115974
754	2.04	2.05	2.47	2.35	2.18	2.218	0.1886

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	3.56	3.54	3.92	3.41	3.65	3.616	0.190342
1400	3.3	3.98	4.49	3.49	3.75	3.802	0.462893
1600	4.46	3.49	4.43	3.63	3.89	3.98	0.448219
1800	3.29	3.37	4.6	3.96	3.81	3.806	0.526906
2000	5.17	3.32	2.78	3.97	3.78	3.804	0.891196

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	2.21	2.25	2.39	2.45	2.24	2.308	0.105451
4	3.2	3.17	3.68	3.51	4.15	3.542	0.401584
6	3.56	3.31	4.51	3.12	4.17	3.734	0.587222
8	5.02	4.86	4.72	5.58	4.92	5.02	0.331361
10	7.18	7.46	7.98	6.29	7.13	7.208	0.614223

## PET

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	4.38	4.45	5.82	5.64	5.32	5.122	0.670239
376	2.75	2.62	2.99	3.18	2.68	2.844	0.234585
503	1.49	1.65	1.59	4.13	3.49	2.47	1.245311
628	1.89	1.82	2.21	4.05	3.98	2.79	1.128162
754	3.54	3.2	2.98	3.21	3.01	3.188	0.223316

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	4.13	3.78	3.89	4.01	3.82	3.926	0.143631
1400	3.86	3.41	3.45	3.76	3.68	3.632	0.195627
1600	3.88	4.05	3.34	4.81	3.98	4.012	0.526374
1800	3.2	3.56	3.94	4.08	4.2	3.796	0.41095
2000	4.54	4.74	4.17	4.28	4.63	4.472	0.23952

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	3.02	2.57	3.99	2.86	4.07	3.302	0.684449
4	3.04	3.51	3.42	3.53	3.37	3.374	0.197813
6	3.45	3.34	3.73	3.79	3.4	3.542	0.203887
8	3.43	3.49	3.55	3.68	3.35	3.5	0.1249
10	5.03	6.17	4.4	4.36	4.65	4.922	0.746907

## POM

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	3.52	2.89	4.04	3.73	3.68	3.572	0.425288
376	3.29	2.96	3.02	1.97	2.79	2.806	0.500729
503	1.85	1.84	2.05	2.29	2.14	2.034	0.192691
628	0.92	0.91	0.93	1.79	1.81	1.272	0.4821
754	1.48	1.39	1.55	1.81	1.57	1.56	0.156525

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	1.85	1.96	1.76	2.05	2.3	1.984	0.207918
1400	1.68	1.45	1.91	1.76	2.13	1.786	0.254224
1600	1.62	1.74	1.95	2.22	1.9	1.886	0.227991
1800	1.79	1.76	1.81	1.89	2.01	1.852	0.100598
2000	2.24	1.78	1.93	2.04	3.17	2.232	0.550518

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	1.66	1.64	1.48	1.46	1.44	1.536	0.105262
4	2.03	1.78	2.27	1.97	1.74	1.958	0.213237
6	2.48	2.18	2.8	2.21	2.33	2.4	0.252883
8	2.38	2.2	2.41	2.49	2.05	2.306	0.178129
10	3.4	2.99	3.55	3.16	3.35	3.29	0.21806

## PTFE

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	1.87	2.06	2.6	2.41	2.06	2.2	0.296732
376	2.29	1.94	2.01	1.89	2.23	2.072	0.178101
503	1.67	1.13	1.18	1.13	1.25	1.272	0.22786
628	1.19	1.73	1.62	1.18	1.19	1.382	0.270315
754	1.24	1.21	0.82	1.16	1.13	1.112	0.168731

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	1.8	1.37	1.31	1.38	1.45	1.462	0.195371
1400	1.69	1.44	1.74	1.37	1.52	1.552	0.158965
1600	1.57	1.51	1.32	1.67	1.39	1.492	0.139714
1800	1.47	1.61	1.35	1.43	1.37	1.446	0.103344
2000	1.38	1.51	1.67	1.69	1.55	1.56	0.126491

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	1.8	1.74	1.33	1.58	1.42	1.574	0.201196
4	1.89	1.76	1.78	1.79	1.82	1.808	0.050695
6	2.35	2.09	2.52	2.03	1.93	2.184	0.24368
8	2.61	2.11	2.29	2.11	2.32	2.288	0.204988
10	1.95	2.83	3.57	2.51	3.41	2.854	0.662933

## PVC

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	2.42	2.47	2.2	2.76	2.64	2.498	0.214756
376	1.77	1.86	1.73	2.24	2.13	1.946	0.226561
503	1.87	2.03	2.06	2.51	1.72	2.038	0.296934
628	2.03	2.05	2.25	2.33	1.62	2.056	0.275463
754	1.69	1.67	1.62	2.07	1.76	1.762	0.17936

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	1.71	1.72	1.71	1.44	1.84	1.684	0.147071
1400	1.14	1.75	1.7	1.99	2.1	1.736	0.372062
1600	1.66	1.43	2.08	1.55	2.37	1.818	0.393916
1800	1.53	1.36	1.55	2.04	1.68	1.632	0.254892
2000	1.56	1.83	1.49	1.7	2.04	1.724	0.219841

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	1.81	2.06	2.08	2.16	1.98	2.018	0.13274
4	2.81	2.26	2.37	2.59	2.78	2.562	0.243865
6	3.42	3.25	2.44	3.38	2.65	3.028	0.45152
8	3.02	2.58	3.06	2.97	3.5	3.026	0.327078
10	2.19	3.6	2.41	2.4	2.35	2.59	0.571446



## PC

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	4.27	4.35	3.38	4.53	4.71	4.248	0.514121
376	5.7	4.2	6.01	4.25	4.56	4.944	0.850076
503	3.72	3.48	3.47	3.51	3.46	3.528	0.10895
628	4.26	3.5	3.16	4.16	3.41	3.698	0.484995
754	3.23	2.98	3.52	4.2	3.47	3.48	0.456235

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	3.13	2.88	2.77	3.43	3.16	3.074	0.258515
1400	3.06	3.17	3.46	3.38	3.19	3.252	0.163615
1600	3.18	3.46	3.79	3.14	3.03	3.32	0.306839
1800	3.48	2.66	3.63	3.35	3.37	3.298	0.373591
2000	3.07	2.25	3.08	2.69	2.73	2.764	0.340705

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	3.17	3.25	3.21	3.42	3.3	3.27	0.096695
4	3.9	4.11	3.42	3.45	3.96	3.768	0.31364
6	4.38	3.78	4.29	4.15	4.21	4.162	0.230369
8	5.04	4.75	5.55	5.28	5.52	5.228	0.337446
10	5.79	7.46	8.53	5.3	6.05	6.626	1.333203

## PA GF 30

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	3.54	3.4	3.97	3.85	3.34	3.62	0.277759
376	3.75	4.7	4.53	2.41	3.51	3.78	0.916461
503	3.02	2.98	2.91	3.15	3.05	3.022	0.088713
628	2.04	2.33	2.64	2.75	2.41	2.434	0.277903
754	2.61	2.15	2.16	2.35	2.51	2.356	0.205621

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	3.28	5.13	3.91	3.81	4.19	4.064	0.681014
1400	3.19	3.75	3.65	3.51	4.08	3.636	0.326006
1600	2.86	3.25	3.03	2.98	2.77	2.978	0.182948
1800	2.58	2.59	2.9	2.75	2.4	2.644	0.189288
2000	2.61	2.49	2.52	2.92	2.75	2.658	0.177961

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	2.38	2.31	2.64	2.51	2.65	2.498	0.152217
4	5.05	4.72	4.96	4.81	4.88	4.884	0.12818
6	4.03	2.84	3.15	2.82	3.2	3.208	0.491192
8	4.72	5.25	5.55	5.94	5.41	5.374	0.446016
10	5.61	5.7	4.86	5.51	5.47	5.43	0.330983

## PA 66

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	8.91	9.65	10.11	8.29	8.8	9.152	0.723063
376	6.32	5.43	5.76	5.87	6.77	6.03	0.522063
503	5.44	6.83	5.68	4.9	5.91	5.752	0.709838
628	2.16	2.38	2.64	2.13	2.97	2.456	0.352746
754	3.53	3.42	4.1	3.17	3.76	3.596	0.352746

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	3.75	3.55	4.46	3.95	4.19	3.98	0.35819
1400	5.6	4.47	4.92	5.84	5.25	5.216	0.543627
1600	7.68	5.55	6.67	6.35	6.82	6.614	0.771965
1800	6.69	4.91	5.37	5.21	5.92	5.62	0.701712
2000	6.25	7.14	6.52	6.33	6.75	6.598	0.359124

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	3.38	3.53	3.06	2.5	2.92	3.078	0.404623
4	4.82	4.84	3.59	4.75	4.79	4.558	0.54219
6	5.59	5.41	5.66	5.72	5.69	5.614	0.123814
8	7.78	6.67	5.3	5.14	6.52	6.282	1.086241
10	10.65	7.72	11.8	10.35	8.95	9.894	1.583487

## PŘÍLOHA P III: TABULKY HODNOT NEJ. VÝŠEK PROFILŮ

### PP

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	19.07	15.39	13.58	14.87	13.71	15.324	2.229883
376	34.25	32.51	31.78	32.55	32.16	32.65	0.946916
503	35.42	34.21	36.11	43.6	38.4	37.548	3.711168
628	54.84	50.49	48.8	39.31	37.85	46.258	7.365315
754	40.33	34.6	35.64	49.01	44.58	40.832	6.061639

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	31.07	38.75	36.56	37.97	41.03	37.076	3.727396
1400	34.07	29.13	30.24	32.59	31.49	31.504	1.936332
1600	34.6	36.33	28.57	33.23	29.23	32.392	3.379766
1800	32.49	30.02	30.07	31.61	31.17	31.072	1.051247
2000	29.31	38.4	35.47	31.42	37.17	34.354	3.859913

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	43.08	43.6	47.78	55.51	54.69	48.932	5.925114
4	36.07	56.31	42.37	39.29	58.89	46.586	10.33849
6	39.48	34.76	37.25	36.61	37.26	37.072	1.689991
8	37.07	37.99	45.92	57.45	48.71	45.428	8.377381
10	44.98	31.62	41.93	30.73	39.65	37.782	6.328655

## PE

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	22.1	15.91	16.71	16.12	17.05	17.578	2.568496
376	17.73	15.58	25.94	18.4	25.32	20.594	4.718875
503	14.74	12.64	16.91	15.38	15.81	15.096	1.584276
628	12.32	13.98	12.66	14.62	12.89	13.294	0.967306
754	11.94	12.34	13.2	12.92	12.51	12.582	0.492971

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	19.46	20.22	22.81	18.15	21.28	20.384	1.771985
1400	22.77	23.13	25.32	21.03	22.61	22.972	1.539584
1600	25.1	20.79	31.13	19.11	20.21	23.268	4.948436
1800	17.61	18.16	34.25	21.44	20.77	22.446	6.79912
2000	29.81	21.32	18.4	26.99	25.12	24.328	4.526452

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	12.19	13.1	13.15	13.07	12.42	12.786	0.447471
4	18.71	19.34	10.95	20.07	21.61	18.136	4.16013
6	23.75	20.73	25.04	19.08	27.93	23.306	3.50286
8	28.25	27.04	32.19	38.29	31.4	31.434	4.388124
10	44.14	57.91	57.44	48.13	44.02	50.328	6.909788

## PET

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	25.36	27.91	37.68	36.21	25.18	30.468	6.032858
376	21.23	20.44	26.69	21.25	19.42	21.806	2.830783
503	9.62	11.06	10.31	23.16	20.78	14.986	6.450913
628	12.09	13.21	14.09	23.99	22.52	17.18	5.614909
754	29.65	19.54	18.25	20.01	19.25	21.34	4.689915

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	24.65	23.27	21.5	23.59	21.17	22.836	1.466963
1400	24.7	22.82	21.75	20.61	20.12	22	1.836532
1600	30.71	25.91	21.71	26.25	31.26	27.168	3.921265
1800	26.47	20.97	26.05	22.35	23.12	23.792	2.385628
2000	30.65	26.37	30.02	29.52	25.92	28.496	2.188979

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	17.84	16.67	22.33	17.3	26.55	20.138	4.221394
4	20.9	22.91	24.55	24.33	24.21	23.38	1.527383
6	22.65	23.72	27.6	27.91	21.84	24.744	2.8305
8	22.4	22.63	26.28	25.35	23.35	24.002	1.723389
10	36.01	37.97	30.49	29.76	31.05	33.056	3.685971

## POM

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	22.42	21.97	24.58	29.43	29.05	25.49	3.56513
376	21.49	18.62	19.05	14.99	18.35	18.5	2.323768
503	12.89	15.46	15.58	16.83	15.71	15.294	1.450941
628	6.23	7.06	7.3	13.23	11.78	9.12	3.157364
754	10.26	9.43	9.79	11.88	14.62	11.196	2.130922

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	13.64	13.81	11.78	16.12	16.14	14.298	1.852301
1400	13.03	9.67	12.84	13.37	19.44	13.67	3.552513
1600	11.23	12.5	14.46	14.67	13.99	13.37	1.466203
1800	11.53	12.34	12.92	14.05	14.46	13.06	1.20613
2000	14.94	17.99	15.65	15.87	19.27	16.744	1.813031

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	10.89	10.98	10.07	9.67	9.05	10.132	0.818792
4	16.21	14.62	16.9	14.31	11.88	14.784	1.949084
6	19.6	14.61	20.25	15.38	16.93	17.354	2.501865
8	16.27	16.6	18.42	17.83	16.13	17.05	1.017669
10	22.9	21.63	26.44	20.41	22.71	22.818	2.255387

## PTFE

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	9.58	11.18	13.03	12.62	11.67	11.616	1.355149
376	14.61	13.28	12.44	10.49	9.32	12.028	2.127362
503	9.47	8.39	8.79	8.24	8.92	8.762	0.484221
628	9.35	9.58	8.96	8.63	8.42	8.988	0.48298
754	9.22	9.25	7.02	8.62	8.35	8.492	0.909379

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	12.07	10.08	9.35	10.04	11.3	10.568	1.094564
1400	9.85	9.97	9.27	8.94	9.72	9.55	0.431799
1600	10.82	13.52	8.41	9.8	9.01	10.312	2.007752
1800	10.54	10.06	9.72	9.88	9.65	9.97	0.355668
2000	8.79	9.88	10.45	14.31	9.91	10.668	2.123328

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	12.01	11.54	8.9	9.48	10.88	10.562	1.331097
4	12.93	11.91	12.06	12.5	12.37	12.354	0.399036
6	16.19	13.93	13.79	12.53	12.17	13.722	1.578645
8	18.71	14.09	15.34	15.38	15.92	15.888	1.714342
10	12.21	17.67	22.35	19.06	21.73	18.604	4.054871



## PVC

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	15.52	14.47	13.06	17.41	16.31	15.354	1.674255
376	10.98	11.72	11.27	13.04	13.08	12.018	0.987178
503	10.64	11.52	11.42	16.32	10.99	12.178	2.342033
628	11.36	10.41	12.73	12.24	10.96	11.54	0.942311
754	9.91	9.66	10.44	11.5	10.68	10.438	0.719458

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	10.66	10.04	11.12	10.27	10.83	10.584	0.43247
1400	7.35	11.22	10.47	12.47	13.15	10.932	2.258986
1600	10.56	8.78	12.37	9.99	14.13	11.166	2.102268
1800	9.23	8.1	10.35	11.74	9.74	9.832	1.349026
2000	9.86	10.54	9.79	9.49	11.09	10.154	0.649022

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	11.28	13.9	12.4	12.07	11.48	12.226	1.037825
4	18.94	16.92	15.74	18.41	17.63	17.528	1.259829
6	21.35	19.4	15.98	21.28	17.33	19.068	2.385743
8	19.06	17.7	17.24	18.2	20.71	18.582	1.367633
10	13.13	20.75	17.23	17.7	17.15	17.192	2.712032

## PC

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	28.31	33.7	21.77	29.24	40.25	30.654	6.851652
376	45.9	35.23	39.83	30.52	31.02	36.5	6.458572
503	24.64	19.94	22.59	21.36	20.75	21.856	1.832329
628	28.96	24.35	27.32	24.63	21.9	25.432	2.752285
754	22.66	19.91	21.98	28.25	23.82	23.324	3.098956

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	17.48	16.55	16.98	20.35	19.17	18.106	1.600665
1400	19.41	20.07	20.76	18.29	21.01	19.908	1.099145
1600	19.74	20.36	20.02	19.34	19.58	19.808	0.395373
1800	20.55	19.26	21.18	21.61	21.1	20.74	0.909203
2000	17.24	15.13	17.79	14.68	15.89	16.146	1.336649

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	21.59	21.69	19.47	20.84	19.14	20.546	1.185297
4	28.52	32.3	23.6	21.84	28.55	26.962	4.212519
6	31.42	25.83	32.12	31.82	32.28	30.694	2.738719
8	35.9	40.03	37.8	36.71	41.17	38.322	2.222919
10	44.37	48.59	69.21	36.08	46.29	48.908	12.29103

## PA GF 30

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	24.85	23.76	26.78	25.71	22.51	24.722	1.661797
376	24.16	33.4	28.03	13.28	23.82	24.538	7.384614
503	24.21	21.93	22.41	25.21	20.98	22.948	1.725404
628	15.08	18.46	19.93	19.84	19.05	18.472	1.989791
754	20.32	17.49	17.22	18.21	20.12	18.672	1.460435

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	24.69	38.6	26.25	25.76	26.6	28.38	5.758346
1400	24.8	26.75	25.81	24.82	28.99	26.234	1.73906
1600	18.1	22.17	21.72	18.82	21.7	20.502	1.890746
1800	19.46	18.27	20.32	19.63	20.16	19.568	0.808746
2000	25.58	18.68	17.06	24.43	23.89	21.928	3.797811

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	16.52	16.91	20.19	18.67	24.96	19.45	3.411473
4	27.77	30.61	32.38	31.76	36.24	31.752	3.069897
6	28.18	22.31	24.94	23.54	25.33	24.86	2.207634
8	31.37	36.71	42.3	39.32	41.09	38.158	4.338107
10	39.49	46.24	35.8	38.62	37.32	39.494	4.020085

## PA 66

Řezná rychlost:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
251	52.54	63.45	64.75	56.79	57.87	59.08	5.018107
376	44.73	44.66	43.19	44.18	52.86	45.924	3.925803
503	42.82	53.83	43.65	32.55	45.68	43.706	7.609805
628	12.37	15.7	16.3	12.61	16.97	14.79	2.148802
754	24.46	25.78	30.89	20.95	26.14	25.644	3.578426

Posuv:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
1200	25.82	23.07	48.67	26.35	30.78	30.938	10.29075
1400	41.18	30.65	32.71	39.33	37.63	36.3	4.460235
1600	58.76	39.74	49.98	44.65	46.23	47.872	7.109836
1800	46.53	37.27	38.61	37.42	39.31	39.828	3.840914
2000	49.83	56.5	51.3	44.55	46.22	49.68	4.675676

Hloubka záběru:

	1	2	3	4	5	Průměr	Sm. odch.
2	22.72	25.73	21.22	17.39	21.05	21.622	3.019929
4	35.04	37.49	26.65	36.62	37.05	34.57	4.522903
6	37.52	44.29	39.06	39.87	39.35	40.018	2.543417
8	56.83	44.51	38.4	40.63	43.71	44.816	7.14739
10	73.08	61.46	67.83	72.15	65.31	67.966	4.823373

