

Hodnocení jakosti dílů forem v závislosti od podmínek výroby

Bc. Radim Mitáš

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim MITÁŠ**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Hodnocení jakosti dílů forem v závislosti od podmínek výroby**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z oblasti hodnocení jakosti výrobků
2. Charakterizujte jednotlivé metody výroby a dokončování forem
3. Porovnejte jakostní charakteristiky dílů forem vyráběných různou technologií

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Vačkář, J. – Perníkář, J.: **Jakost a metrologie**, CERM Brno, 2001
2. Vysloužil, Z. aj.: **Meranie v strojárstve**, Alfa Bratislava, 1986
3. Bumbálek, L.: **Deformační chování materiálu při řezání**, CERM Brno, 2003
4. ČSN EN ISO 4287: **Geometrické požadavky na výrobky -- Struktura povrchu**
5. Mádl, J. aj.: **Jakost obráběných povrchů**, UJEP, ÚTRV, 2003

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

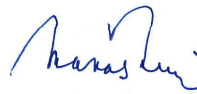
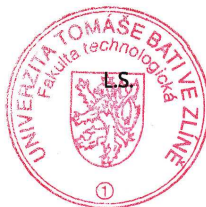
Datum zadání diplomové práce: **19. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2008**

Ve Zlíně dne 29. ledna 2008



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením jakosti povrchu v závislosti od podmínek výroby.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé parametry struktury povrchu a způsoby jejich vyhodnocování, hodnocení zbytkových napětí a dále jsou zde charakterizovány jednotlivé metody výroby a dokončování forem.

V praktické části je sledován, vyhodnocován vliv jednotlivých technologií obrábění a technologických podmínek obrábění na jakost povrchu.

Klíčová slova: jakost povrchu, zbytkové napětí, technologie obrábění

ABSTRACT

This diploma work deals with evaluation of surface depending on production conditions.

Theory describes certain parameters of surface texture and ways of their evaluation, evaluation of residual stress and also production methods and moulds completion.

In practical chapter there is watched, evaluated the influence on individual cutting technology and technology cutting conditions on surface quality.

Keywords: surface quality, residual stress, cutting technology

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během řešení mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalu Kružíkovi za pomoc při měření.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně, 23. 05. 2008

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 JAKOST	10
1.1 HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU	10
1.1.1 Drsnost povrchu	19
1.1.2 Posuzování drsnosti povrchu.....	20
1.1.3 Metody měření drsnosti povrchu.....	21
1.1.4 Přesnost a drsnost součástí forem.....	25
1.1.5 Tvarové úchyly.....	26
1.2 HODNOCENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ	27
1.2.1 Příčiny vzniku zbytkových napětí	28
1.2.2 Rozdělení zbytkových napětí	32
1.2.3 Metody pro zjišťování zbytkových napětí.....	32
1.2.4 Metoda vrtání děr	35
1.2.5 Metoda rentgenové difrakce.....	39
1.2.6 Metoda Barkhausenova šumu	40
2 TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	42
2.1 FRÉZOVÁNÍ.....	42
2.1.1 Technologická charakteristika frézování.....	42
2.2 BROUŠENÍ.....	42
2.2.1 Technologická charakteristika broušení.....	43
2.3 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	43
2.3.1 Technologická charakteristika elektroerozivního obrábění	43
2.3.2 Elektrojiskrové obrábění	46
2.3.3 Anodochemické obrábění.....	48
2.4 ELEKTROCHEMICKÉ LEŠTĚNÍ	49
3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	50
II PRAKTICKÁ ČÁST	51
4 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU ZKUŠEBNÍCH DESEK	52
4.1 ZKUŠEBNÍ DESKY.....	52
4.2 DOTYKOVÁ METODA MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU	53
4.2.1 Dotykový měřicí přístroj	53
4.2.2 Dotykové měření struktury povrchu.....	54
4.2.3 Grafické porovnání jednotlivých technologií obrábění z hlediska parametru drsnosti Ra a materiálového podílu Rmr.....	60
4.3 BEZDOTYKOVÁ METODA MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU	61
4.3.1 Bezdotykový měřicí přístroj	61
4.3.2 Bezdotykové snímání plochy ve 2D.....	63
4.3.3 Bezdotykové snímání plochy ve 3D.....	69

4.4	POROVNÁNÍ DOTYKOVÉ A BEZDOTYKOVÉ METODY MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU NA ZÁKLADĚ PARAMETRU DRSNOSTI Ra	74
5	OVLIVNĚNÍ JAKOSTI POVRCHU PŘI ZMĚNĚ TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK OBRÁBĚNÍ.....	75
5.1	VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	76
5.1.1	Polykarbonát PC.....	76
5.1.2	Polytetrafluoretylen PTFE.....	76
5.1.3	Polyamid PA	77
5.1.4	Polyetylen PE	77
5.1.5	Polyvinylchlorid PVC	78
5.2	SPECIÁLNÍ VLASTNOSTI PLASTŮ S OHLEDEM NA OPERACE OBRÁBĚNÍ	78
5.3	GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTI DRSNOSTI Ra A MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr NA ZMĚNU TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK.....	79
5.3.1	Závislost Ra a Rmr při změně posuvové rychlosti v_f pro jednotlivé materiály.....	79
5.3.2	Závislost Ra a Rmr při změně řezné rychlosti v_c pro jednotlivé materiály.....	81
5.3.3	Závislost Ra a Rmr při změně hloubky řezu h pro jednotlivé materiály.....	83
6	POROVNÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ Z HLEDISKA JAKOSTI POVRCHU	86
6.1	VLASTNOSTI MĚŘENÝCH MATERIÁLŮ	86
6.1.1	Ocel třídy 12 050.....	86
6.1.2	Ocel třídy 14 100.....	86
6.1.3	Ocel třídy 17 027.....	87
6.1.4	Ocel třídy 19 436.....	87
6.1.5	Hliník.....	87
6.1.6	Měď.....	88
6.1.7	Titan	88
6.2	NAMĚŘENÉ PARAMETRY TEXTURY POVRCHU PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY	89
6.2.1	Ocel třídy 12 050.....	89
6.2.2	Ocel třídy 14 100.....	90
6.2.3	Ocel třídy 17 027.....	91
6.2.4	Ocel třídy 19 436.....	92
6.2.5	Titan	93
6.2.6	Měď.....	94
6.2.7	Hliník.....	95
6.3	GRAFICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	96
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	101
	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
	SEZNAM TABULEK.....	105
	SEZNAM PŘÍLOH.....	108

ÚVOD

Jedním z důležitých úkolů technologie je zajištění požadované jakosti vyráběných součástí. Ta se projevuje především ve vlastnostech povrchové vrstvy.

Výsledky experimentů i praktické zkušenosti z provozů ukazují, že počátek degradace součásti nastává na povrchu anebo těsně pod ním. To jednoznačně ukazuje na význam sledování a hodnocení povrchové vrstvy a nutnosti řízení jejich vlastností.

Povaha povrchu jako výsledek výrobních procesů má výrazný význam a dopad na provoz součástí. Dnes je tato skutečnost zahrnována často do pojmu „INTEGRITA POVRCHU“, který v roce 1964 zavedl Field a Kahles [6], kteří ji definovali jako „podstatnou nebo zdokonalenou podmínku vyrobeného povrchu při obrábění, nebo jiných technologických operacích“. Změna povrchu může zahrnovat mechanické, metalurgické, chemické nebo jiné změny. Tyto změny, ohraničující malou povrchovou vrstvou, mohou ovlivnit jakost součástí a v některých případech způsobit i neúčinnost takové plochy. Základní pochopení změn v povrchové vrstvě je důležité pro budoucí zlepšení výrobku. Když rostou požadavky na jakost, potom je nutné využívat novou techniku pro hodnocení povrchové a podpovrchové integrity.

Řada používaných technik je úspěšně využívána při popisu ploch dokončených obráběním, broušením, leštěním apod.

V současné době jsou výrobní technologické procesy charakterizovány zvyšováním pracovních rychlostí, kdy dochází k růstu teploty – a to vše se promítá do změn vlastností povrchové vrstvy.

Také způsoby zatěžování součástí při jejich funkci v provozu vyžadují znalosti vlastností povrchové vrstvy, protože určují odolnost proti opotřebení, proti koroznímu napadení apod.

Otázkám vlivu jakosti povrchové vrstvy na funkční vlastnosti součástí je věnována stále větší pozornost. Ukazuje se, že aplikace znalostí o vlastnostech povrchu a jeho změnách vede k predikci chování součástí nebo zařízení v provozu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JAKOST

Jedním z nejdůležitějších úkolů technologie je *zajištění požadované jakosti výrobku*. Pod pojmem „jakost“ se původně rozuměla jen rozměrová přesnost. I když tato charakteristika výrobku je velmi důležitá, je pojem jakosti mnohem širší a zahrnuje v sobě nejen *rozměrovou a geometrickou přesnost, ale i vlastnosti povrchové vrstvy a všechny změny, které v povrchové vrstvě nastávají*. Jedná se o texturu povrchu, která se projevuje v drsnosti a vlnitosti a dále o změny, které nastávají po technologických operacích a směřují pod povrch materiálu. To jsou změny struktury, fázové přeměny, které jsou důsledkem mechanických a tepelných účinků na povrch součástí. Hodnocení těchto změn i směrem do materiálu, může být vyjádřeno hodnotami *zbytkových napětí*.

Funkční plocha dokončená některou technologickou operací má svou *jakost*, tj. *rozměr, tvar a drsnost*. Na každém povrchu je možné sledovat a vyhodnocovat průběh povrchových nerovností, tj. výšku jejich vrcholů a prohlubní, tvar nerovnosti nebo rozteče jednotlivých charakteristických bodů profilu. Všechny tyto údaje je možné zahrnout pod pojem „textura povrchu“.

1.1 Hodnocení textury povrchu

Řešení otázek vlivu jakosti povrchu na funkci součásti je v popředí zájmu konstruktérů i technologů. Znalost podmínek interakce ploch umožňuje totiž předem stanovit, jaké musí mít vlastnosti hodnocené plochy, aby byla zabezpečena jejich funkce.

Jednou z cest je dokonalé zvládnutí a optimalizace těch technologických operací, které se využívají pro dokončování funkčních ploch součástí.

To vede k tomu, že bude možné a nutné na základě provozních podmínek funkční plochy přesně a jasně specifikovat úchytky rozměru, tvaru, texturu povrchu, tj. její drsnost a vlnitost, zbytková napětí v povrchové vrstvě, a tak přispět ke splnění požadavků na zajištění spolehlivosti a životnosti vyráběných součástí.

Textura povrchu, tj. je jeho uspořádání z hlediska makro a mikrogeometrie představuje důležitý prvek, který určuje významné vlastnosti součástí. Textura povrchu zahrnuje *drsnost, vlnitost i tvarovou úchytku sledovaného povrchu*.

Rozdíly mezi těmito charakteristikami textury jsou dány poměrem rozteče nerovností k jejich výšce. U drsnosti je to poměr 1 – 50, u vlnitosti je to poměr 50 – 1000, u tvarové úchytky povrchu je to hodnota nad 1000.

Z geometrického hlediska je velikost, tvar a vzájemné rozložení nerovností povrchu určen tvarem ostří řezného nástroje a podmínkami, které určují trajektorie pohybu ostří nástroje vzhledem k obrobenému povrchu.

Běžné parametry drsnosti, které jsou nejvíce využívány, jsou uváděny jako 2D parametry, protože jsou počítány na základě jednoho profilu povrchu, který obsahuje informace ve dvou směrech (horizontálním a vertikálním). Textura povrchu byla úplně zrevidována a výsledky jsou uvedeny v normách ISO. Podle této nové ISO-terminologie obsahuje koncepce textury povrchu drsnost, vlnitost a nefiltrovaný profil nerovností.

Norma ČSN EN ISO 4287 [5] definuje následující parametry a charakteristiky drsnosti povrchu:

Základní délka l_r - délka ve směru osy X, která se používá na identifikování nepravidlostí, které charakterizují profil, který se hodnotí. Základní délka pro drsnost l_r a vlnitost profilu l_w jsou číselně rovny vlnovým délkám filtru profilu λ_c a λ_f . Základní délka primárního profilu l_p se rovná vyhodnocované délce.

Vyhodnocovaná délka l_n – délka ve směru osy X, na které se vyhodnocuje profil. Vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu nebo více základních délek.

Geometrické parametry drsnosti povrchu:

P-parametr – parametr vypočítaný z primárního profilu

R-parametr – parametr vypočítaný z profilu drsnosti

W-parametr – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

Výstupek profilu – část profilu spojující jeho dva sousední průřezky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem ven z materiálu (z materiálu do okolního prostředí).

Prohlubeň profilu – část profilu spojující jeho dva sousední průřezky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem do materiálu (z jeho okolního prostředí do materiálu). Poloha osy X je totožná s polohou střední čáry profilu v rozsahu základní délky.

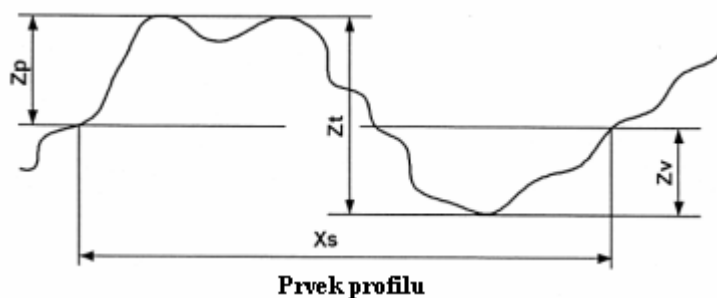
Hodnota souřadnice $Z(x)$ – výška profilu v libovolné poloze x .

Hodnota výstupku profilu Z_p – vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem výstupku profilu.

Hloubka prohlubně profilu Z_v – vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem výstupku profilu.

Výška prvku profilu Z_t – součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.

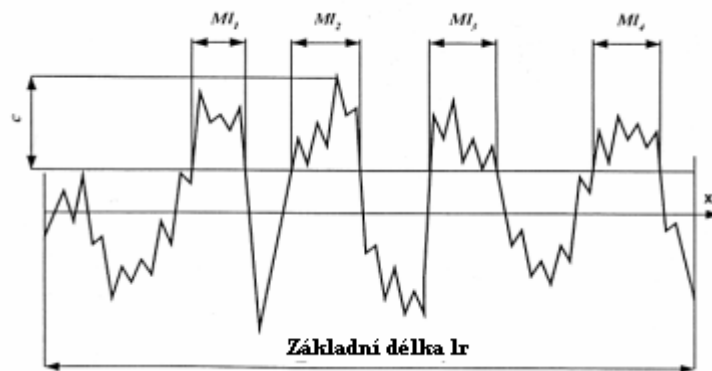
Šířka prvku profilu X_s – délka úseku střední čáry profilu obsahující prvek profilu.



Obr. 1. Základní čára profilu

Nosná délka profilu na úrovni c $MI(c)$ – součet délek úseků vytvořených řezem rovnoběžným se střední čarou profilu na úrovni c oddělením výstupků profilu v rozsahu základní délky.

$$MI(c) = MI_1 + MI_2 + MI_3 + MI_4 + \dots + MI_n$$

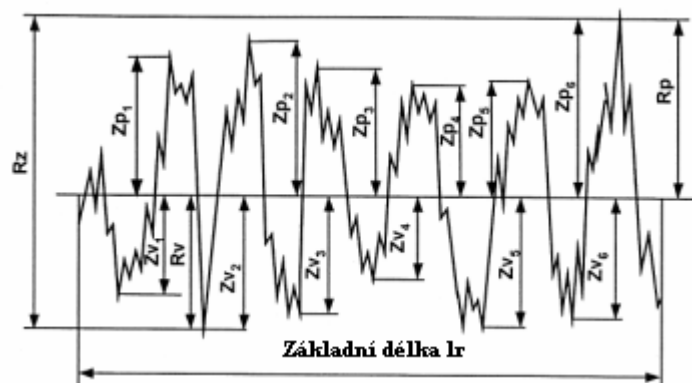


Obr. 2. Nosná délka profilu

Výška největšího výstupku profilu R_p – největší výška profilu Z_p v rozsahu základní délky.

Hloubka největší prohlubně profilu R_v – největší hloubka prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky.

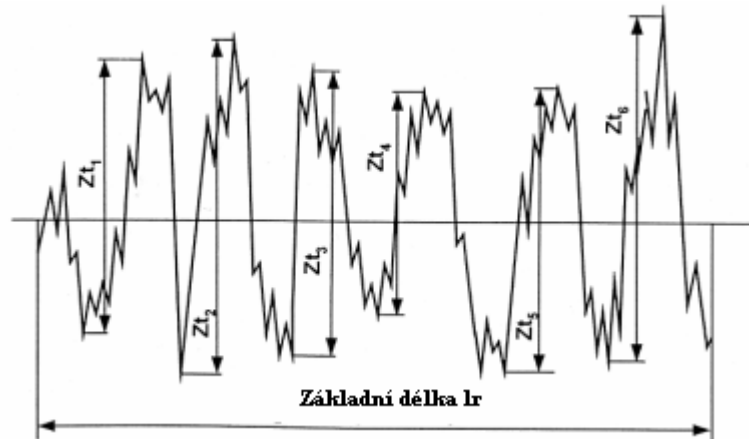
Největší výška profilu R_z – součet největší výšky profilu Z_p a největší prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky.



Obr. 3. Největší výška nerovností profilu

Střední výška prvku profilu R_c – střední hodnota prvků profilu Z_t v rozsahu základní délky.

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (\mu\text{m}) \quad (1)$$



Obr. 4. Střední aritmetická čára profilu

Celková výška profilu R_t – součet největší výšky profilu Z_p a největší prohlubně profilu Z_v na vyhodnocované délce.

Střední aritmetická odchylka posuzovaného profilu - R_a – střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu $Z(x)$ v rozsahu základní délky.

$$R_q = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (\mu\text{m}) \quad (2)$$

pro $l = l_r$

Střední kvadratická odchylka posuzovaného profilu R_q – střední kvadratická hodnota odchylek profilu $Z(x)$ v rozsahu základní délky.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z(x)^2 dx} \quad (\mu\text{m}) \quad (3)$$

pro $l = l_r$

Koeficient asymetrie posuzovaného profilu Rsk – míra asymetrie hustoty rozdělení odchylek profilu $Z(x)$ v rozsahu základní délky.

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^3(x) dx \right] \quad (\mu\text{m}) \quad (4)$$

Koeficient špičatosti posuzovaného profilu Rku – míra špičatosti hustoty rozdělení odchylek profilu $Z(x)$ v rozsahu základní délky.

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^4(x) dx \right] \quad (\mu\text{m}) \quad (5)$$

Střední šířka prvku profilu RSm – střední šířka prvku profilu v rozsahu základní délky.

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (\mu\text{m}) \quad (6)$$

Střední kvadratický sklon profilu $R\Delta q$ – střední kvadratická hodnota sklonu profilu v rozsahu základní délky.

Materiálový podíl profilu $Rmr(c)$ – podíl materiálem zaplněných prvků profilu $MI(c)$ v dané poloze c k vyhodnocované délce.

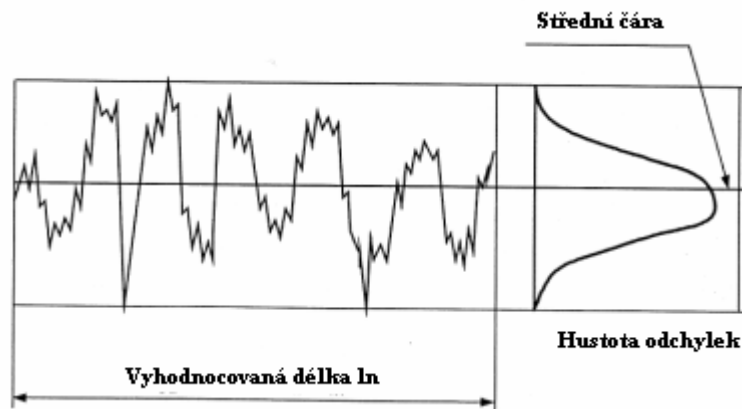
$$Rmr(c) = \frac{MI(c)}{\ln} \quad (\mu\text{m}) \quad (7)$$

Křivka materiálového podílu profilu (Abbot Firestone curve) – křivka reprezentující materiálový podíl profilu v závislosti od polohy c . Vyjadřuje kumulativní součet rozložení odchylek profilu $Z(x)$ na vyhodnocované délce.



Obr. 5. Profilová a nosná křivka drsnosti profilu

Rozdělení hustoty odchylek profilu – funkce hustoty pravděpodobnosti profilu $Z(x)$ v rozsahu vyhodnocované délky.



Obr. 6. Rozdělení hustoty odchylek profilu

Parametry založené na křivce materiálového podílu

Výškové charakteristiky pomocí lineární křivky materiálového podílu (ČSN EN ISO 13565-2) [16].

Druhá část mezinárodní normy ČSN EN ISO 13565-2 určuje způsob vyhodnocení parametrů z lineární křivky materiálového podílu (známé též jako Abbotova křivka), která opisuje zvyšování podílu materiálu povrchu se zvyšováním hloubky v profilu drsnosti. Cílem je pomoci při hodnocení povrchů při vysokém mechanickém namáhání.

Jádro profilu drsnosti tvoří profil drsnosti s vyloučením přesahujících výstupků a prohlubnění profilu (Obr. 7)

Hloubka jádra drsnosti R_k je hloubka jádra profilu drsnosti (Obr. 7)

Podíl materiálu $Mr1$: úroveň podílu materiálu v procentech pro řez přímkou, která odděluje výstupky přesahující hloubku jádra drsnosti

Podíl materiálu $Mr2$: úroveň podílu materiálu v procentech pro řez přímkou, která odděluje prohlubně přesahující hloubku jádra drsnosti

Redukovaná výška výstupků R_{pk} : průměrná výška výstupků přesahující jádro profilu drsnosti

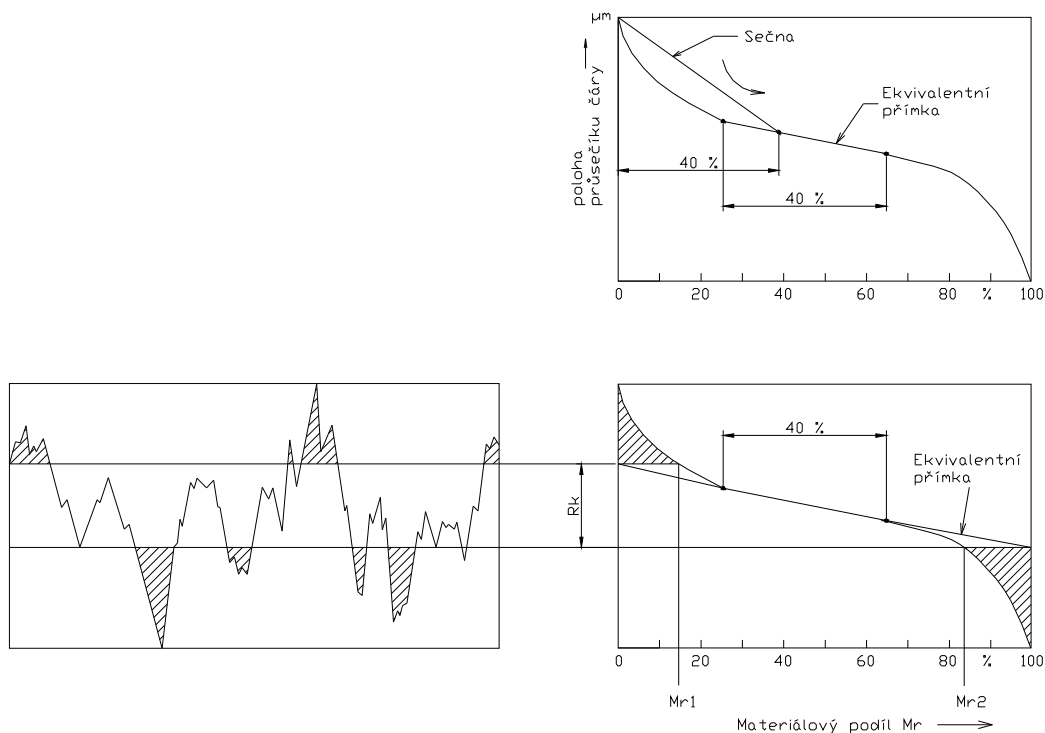
Redukovaná výška prohlubní Rvk : průměrná hloubka prohlubní přesahující jádro profilu drsnosti

Na **určení parametrů** uvedených v ČSN EN ISO 13565-2 se musí použít profil drsnosti stanovený podle ISO 13565-1.

Výpočet parametrů Rk , $Mr1$, $Mr2$

Ekvivalentní přímka protíná souřadnice $Mr = 0\%$ a $Mr = 100\%$ (Obr. 7). Z těchto bodů se vedou dvě přímky rovnoběžné s osou x, které vymezují jádro profilu drsnosti, oddělením přesahujících výstupků a prohlubní profilu. Vertikální vzdálenost mezi těmito přímkami je hloubka jádra drsnosti Rk . Jejich průsečíky s křivkou nosného podílu definuje podíl materiálu $Mr1$ a $Mr2$.

Ekvivalentní přímka se počítá pro střední část křivky materiálového podílu profilu tak, aby obsahovala 40 % naměřených bodů profilu. Tato „prostřední část“ se umístí tak, aby sečna křivky materiálového podílu profilu obsahující 40 % materiálového podílu měla co nejmenší sklon (Obr. 7).



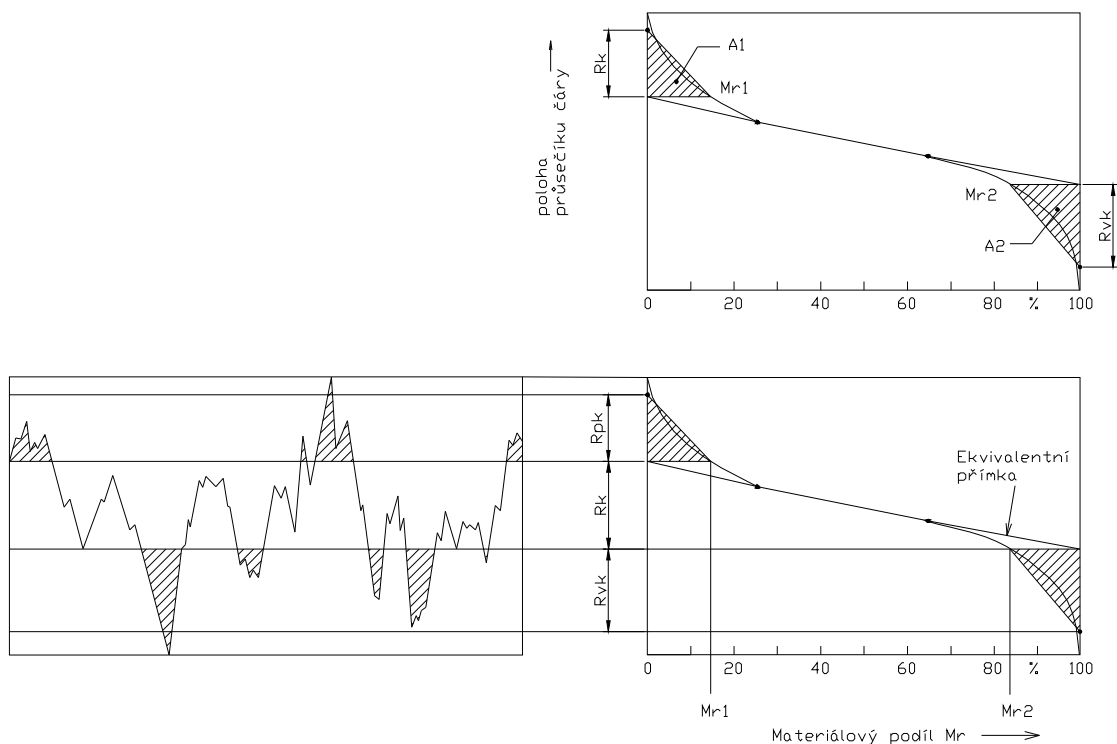
Obr. 7. Výpočet Rk , $Mr1$ a $Mr2$

Výpočet parametrů Rpk a Rvk

Plochy nad a pod oblastí křivky materiálového podílu, které omezují jádro profilu drsnosti Rk , jsou na (Obr. 8) šrafované. Ty odpovídají ploše příčného řezu výstupků a prohlubní povrchu, které přesahují jádro profilu drsnosti.

Každý z parametrů Rpk a Rvk se počítá jako výška pravoúhlého trojúhelníka, sestaveného tak, že má tu jistou plochu jako „plocha výstupků“, resp. „plocha prohlubní“ (Obr. 8). Pravoúhlý trojúhelník odpovídající „ploše výstupků“ $A1$ má základnu $Mr1$ a trojúhelník odpovídající „ploše prohlubní“ $A2$ má základnu $100\% - Mr2$.

Parametry podle této části ISO 13565 se můžou počítat jen tehdy, když křivka materiálového podílu má tvar „S“, jak je znázorněno na (Obr. 7,8), což značí, že má jen jeden inflexní bod.



Obr. 8. Výpočet Rpk a Rvk

1.1.1 Drsnost povrchu

Drsnosti povrchu se nazývá část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Na obrobeném povrchu jsou tyto nerovnosti stopami, které zanechává řezný nástroj, volné brusivo či jiskrový výboj.

Na neobrobených plochách zůstávají podle způsobu zpracování – otisk nerovností formy, průvlaků atd., okují a dalších nečistot.

Vady povrchu způsobené náhodným poškozením materiálu (póry, lunkry, trhliny) se do drsnosti povrchu nezahrnují.

Drsnost povrchu významně ovlivňuje funkční vlastnosti ploch, a to jak ploch stykových, tvořících uložení nebo dosedajících na jinou plochu, tak i některých ploch volných.

U stykových ploch závisí na drsnosti povrchu ztráty tření, odolnosti proti opotřebení a životnost součástí, jakost mazání, doba záběhu, pevnosti a tuhost jejich spojení aj.

U volných ploch mohou na ní záviset fyzikální a chemické děje při provozu strojů jako únava materiálu, obtékání tekutinami, přestup tepla, odraz světla, koroze aj. Drsnost povrchu do jisté míry podmiňuje dosažení určité přesnosti rozměru a tvaru ploch, a má nezanedbatelný vliv na výrobní náklady.

Sledování, hodnocení a využívání mikrogeometrie povrchu pro zvyšování jakosti a efektivnosti strojních součástí je jedním ze základních úkolů, které si vynutil řešení problémů kvantitativního hodnocení vlastností funkčních ploch.

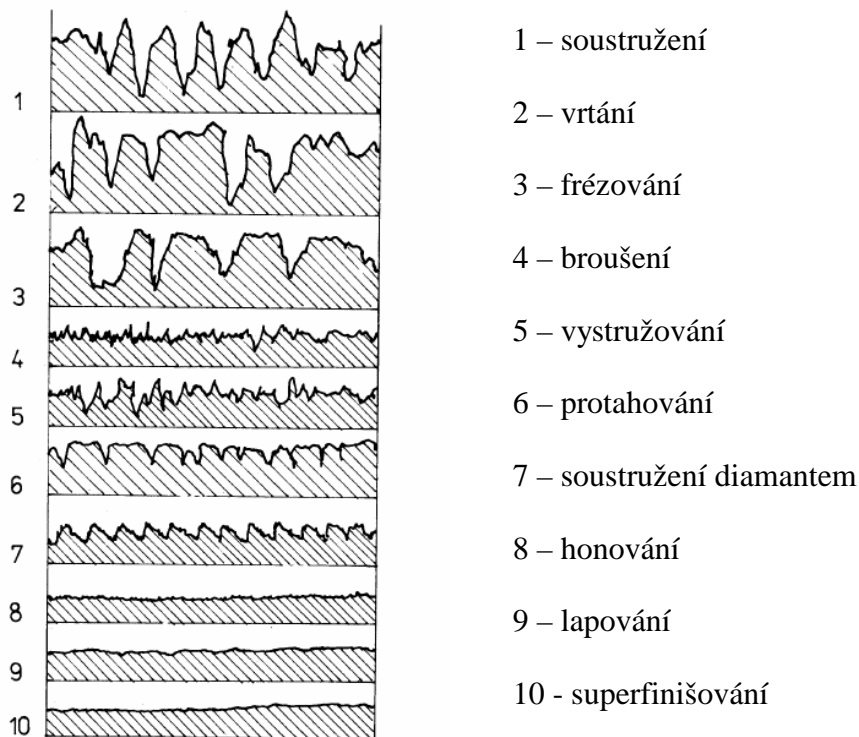
Měření jakosti, zvláště pak měření drsnosti povrchu zaznamenalo výrazný pokrok. Rozvíjí se měřicí technika, zavádějí se nové parametry, nové normy.

Vzrostly požadavky na:

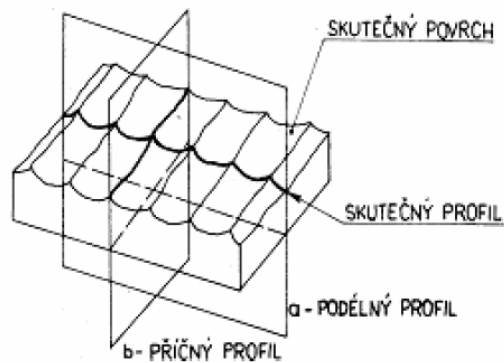
- hospodárnost měření
- větší univerzálnost přístrojů
- větší možnosti při měření
- možnost vyjadřovat vliv geometrie povrchu na funkční vlastnosti
- přesnější, spolehlivější měření lepší ověřování přesnosti měření.

1.1.2 Posuzování drsnosti povrchu

Drsnost povrchu nazýváme souhrn jemných nerovností (výstupků a prohlubní), které vznikají při každém zpracování materiálu. Na obrobeném povrchu to jsou nejčastěji poměrně pravidelně a směrově uspořádané stopy (rýhy) zanechávané řezným nástrojem, (Obr. 9). U některých způsobů obrábění, např. soustružení, frézování, hoblování není drsnost povrchu stejná ve všech směrech. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb (Obr. 10) a drsnost podélnou, tj. drsnost ve směru řezného pohybu.



Obr. 9. Drsnost povrchu základních způsobů obrábění



Obr. 10. Příčná a podélná drsnost profilu

Neobrobený povrch součásti nese některé typické stopy zpracování (stopy zanechané pískem odlévací formy, drsnými stěnami zápustky, válců, průvlaků apod.). Kromě těchto nerovností vznikají zejména na obrobených plochách také rozsáhlejší, periodicky se opakující nerovnosti, které se překrývají s drsností a nazývají se vlnitostí povrchu.

Vlnitost povrchu obráběných ploch je způsobena příliš velkým nebo proměnným tlakem řezného nástroje, nedostatečnou tuhostí nosných částí obráběcího stroje, chvěním soustavy, stroj – nástroj – obrobek a vnitřním pnutím a deformacemi obrobku.

Stupeň drsnosti plochy se určuje buď porovnáním nebo změřením profilu, který vznikne vhodně vedeným rovinným řezem (Obr. 10) přístroji založenými na optických nebo elektrických principech. Při určování stupně drsnosti porovnáním, srovnáváme obrobenou plochu s plochou, jejíž stupeň drsnosti známe nebo se speciálními vzorky, uspořádanými do vzorkovnice. Porovnává se buď přímo okem a hmatem nebo se použije mikroskopu. Neoptimálnější výsledky dává hodnocení nehtem.

1.1.3 Metody měření drsnosti povrchu

Dotyková metoda

Dotyková metoda je pro hodnocení povrchu nejrozšířenější. Její výhodou je možnost převádět analogový záznam do digitální formy, a také proto, že naměřené hodnoty slouží jako vztažné a srovnávací hodnoty pro jiné metody měření [14].

Výhodou této metody je její přesná reprodukovatelnost, tj. schopnost zobrazit měřený geometrický profil. Nicméně v důsledku tlaku na hrot snímače dochází k elastické (možná i plastické) deformaci v povrchové vrstvě. To závisí na tvrdosti povrchu. V některých případech může dojít k tomu, že hrot snímače poškodí měřený povrch, což je nevhodné nejen pro hodnocení povrchu, ale i pro přesný výsledek měření [8].

Whitehouse (2000) zavedl pojem možný index poškození, který sestavil pro rovinné plochy hladké, pro povrchy hrubé, náhodného charakteru a povrchy periodické. Tento index bere v úvahu statické a dynamické síly hrotu snímače, stejně jako smykové napětí nebo tvrdost materiálu. Aby se zmenšilo poškození povrchu, je zapotřebí volit malou statickou sílu. Na druhé straně, je-li tato síla příliš malá, snímač se při svém pohybu nedrží povrchu a měření ztrácí svoji věrohodnost [15].

Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Dotykové profiloměry jsou nejrozšířenějšími a nejdokonalejšími přístroji pro měření drsnosti povrchu. Patří do skupiny přístrojů s postupnou transformací profilu. Po měření povrchu se posouvá rovnoměrnou rychlostí měřící dotek s velmi malým zaoblením hrotu, případně se posouvá kontrolovaná plocha pod měřícím hrotem. Změny výškové polohy měřícího hrotu, způsobené nerovnostmi povrchu, mnohonásobně zvětšují některým z fyzikálních principů. Tyto změny se buď zaznamenávají ve tvaru profilografů, nebo se u elektrických metod převádějí na analogové změny napětí nebo indukčnosti. Změny elektrického signálu již umožňují snadné vyhodnocení jedné nebo libovolného počtu charakteristik drsnosti povrchu, definovaný v normách.

Profilograf – dotykový přístroj, u něhož je výsledkem měření grafický záznam profilu.

Profilometr – přístroj vyhodnocující automaticky některé z normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu..

Profiloměr – jednak kombinovaný přístroj profilometr-profilograf a jednak obecně dotykový přístroj na měření drsnosti povrchu.

Mechanicko-optické dotykové profilografy

Měřící hrot naklání při změně polohy přes pákový převod zrcátka a tím vychyluje odražený světelný paprsek, který vytváří na fotografickém materiálu zvětšený obraz profilu povrchu. Jedním z nejznámějších přístrojů tohoto druhu je Leitz-Forsterův profilograf.

Přístroj pracuje cyklickým krokovým způsobem. Safírový hrot je zdvihán elektromagnetem při frekvenci 50 až 100 Hz, synchronizaci posuvu stolku s měřenou součástí a posuv fotografického filmu řídí elektrický motorek.

Dotykové profiloměry s mechanicko-elektrickým převodem

Tyto profiloměry patří dnes mezi nejrozšířenější přístroje. Jsou velmi přesné, mají velkou citlivost, umožňují vyhodnocování různých normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu.

Bezdotyková metoda

Vhodnou alternativou měření povrchu dotykovými profilometry jsou *optické metody*. Jedná se o bezdotykové měření, čímž je vyloučeno poškození měřeného povrchu. Dotykový hrot je nahrazen světelným paprskem, který se odráží nebo rozptyluje na měřeném povrchu. Interakce mezi světelným paprskem a povrchem závisí na vlnové délce světla, drsnosti povrchu a vlastnostech měřeného tělesa. Hloubka vnikání světelného paprsku také ovlivňuje výsledek měření. Tato hloubka se mění podle součinitele absorpce materiálu.

Intenzita $\mathbf{E}(\mathbf{z})$ v hloubce \mathbf{z} je vyjádřena vztahem

$$\mathbf{E}(\mathbf{z}) = \mathbf{E}_0 \exp(-\alpha \mathbf{z}), \quad (8)$$

kde \mathbf{E}_0 – intenzita v hloubce \mathbf{z}

α - absorpční koeficient, který závisí na dopadající vlnové délce

Intenzita \mathbf{E}_0 v místě dopadu na povrch je poměr dopadajícího světla k jeho odrazu. U kovů jsou součinitelé absorpce a odrazu obecně vysoké. Pro jiné materiály jsou naopak oba součinitelé nízké tak, že velký podíl dopadajícího světla proniká do materiálu. Nicméně v případě vrstveného povrchu může dojít k vícenásobnému odrazu v různých hloubkách. Tato změna ovlivňuje optickou délku dráhy a tím i měření [4].

Jiná příčina nepřesnosti se může projevit přítomností malých nepravidelností, jako jsou výstupky s malým poloměrem vrcholů, nebo trhliny a díry. Tyto nepravidelnosti mohou vyvolat difrakční účinek, což může ovlivnit vlastní měření. Také sklony (úhly) textury povrchu jsou v důsledku odrazivosti kritickým místem měření.

Metoda světelného řezu

Ze zdroje světla procházejí paprsky zeleným filtrem a kondenzorem. Rovnoběžný svazek paprsků je omezen štěrbinou do tvaru velmi tenké světelné roviny a je promítán soustavou čoček objektivu pod úhlem 45° na měřený povrch. Průnikem světelné roviny nerovnostmi povrchu vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy, který se pozoruje druhým mikroskopem se stejnými optickými vlastnostmi, jaké má osvětlovací mikroskop. Měřicí okulár má skleněnou destičku s nitkovým křížem a pomocnou stupnicí s milimetrovým dělením, orientovanou k nitkovému kříži pod úhlem 45° . Natáčením měřicího okuláru lze nastavit různou polohu nitkového kříže k proměřovanému profilu. Vzhledem k tomu, že hloubka ostrosti mikroskopů je malá, zaostřuje se pouze jedna strana obrazu světelné štěrbinou a na tomto profilu se nitkovým křížem a mikrometrickým šroubem měřicího okuláru měří výšky nerovností povrchu.

Interferenční metody měření drsnosti povrchu

Při měření drsnosti jemně obrobených povrchů, např. broušených, superfinišovaných, leštěných apod., jsou profily zjištěné i nejdokonalejšími profiloměry vždy do určité míry zkreslené technicky použitelným zaoblením měřících hrotů. V takových případech lze nejpřesněji měřit nerovnosti povrchu menší než $1 \mu\text{m}$ jen optickými interferenčními metodami. Nejmenší výška nerovností povrchu měřitelná optickými interferenčními metodami je omezena vlnovou délkou použitého monochromatického světla, charakterem nerovností měřeného povrchu, drsnosti a porovnávací plochy. Základní podmínkou pro interferenční měření je malá drsnost povrchu a jeho dostatečná odrazivost světelných paprsků.

Použití plastických otisků pro měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu dotykovými profiloměry i optickými měřicími metodami je často omezeno nebo znemožněno celou řadou důvodů, např. hmotností a rozměry součástí, nepřístupnosti ploch pro metody, které jsou k dispozici, obrobek je upnut na stroji a mají být na něm provedeny další operace atd. Byl proto hledán nepřímý způsob stanovení drsnosti povrchu strojních součástí prostřednictvím negativních otisků nerovností.

Otisky reliéfů musí být: věrné až do zlomku mikrometru, dostatečně silné, aby se po oddělení od povrchu nedeformovaly, dostatečně tvrdé, aby měřící hrot alespoň při jednom měření nepoškodil jemnou strukturu otisknutých nerovností [2].

1.1.4 Přesnost a drsnost součástí forem

U vyráběných dílů forem je dána přesnost a jakost povrchu výrobním výkresem a technologickým postupem. Jednotlivé výrobní způsoby umožňují dosáhnout jen určitých hodnot drsnosti povrchu (vyjádřený v Ra, Tab. 1). Při znalosti hodnot požadovaných výkresem a dosažitelným výrobním způsobem, je pak už snadné stanovit výrobní technologie i s příslušným výrobním zařízením. Mezi drsností opracování a přesností je vzájemná vazba, jak ukazuje (Tab. 2) [1].

Tab. 1 Drsnost povrchu – informativní přehled hodnot drsnosti povrchu [1]

Způsob výroby		Dosažitelná drsnost Ra [μm]
Frézování		1,6 až 12,5
Vrtání		1,6 až 12,5
Vystružování		0,8 až 3,2
Zahlubování		0,8 až 6,3
Vyvrtávání		0,4 až 6,3
Broušení	čelní	0,4 až 3,2
	obvodové	0,1 až 3,2
Elektrojiskrové obrábění		1,6 až 3,2
Honování		0,1 až 0,8
Lapování		0,05 až 0,4
Superfinašování		0,05 až 0,2

Tab. 2. Optimální drsnost povrchu pro různé stupně přesnosti a obrábění [1]

Způsob obrábění		Stupeň přesnosti IT								
		4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frézování	čelní a válco- vou frézou							3,2	3,2	6,3- 12,5
	drážek						3,2	6,3	6,3- 12,5	
Vrtání v přípravku									12,5	12,5
Vystružování					0,8	0,8	1,6		3,2	
Vyvrtávání					1,6	1,6	3,2			
Broušení	na plocho ob- vod.			0,4	0,4	0,4- 0,8				
	na plocho čelní				0,4	0,4	0,4- 0,8			
Honování			0,1							
Lapování		0,05	0,1							

1.1.5 Tvarové úchytky

Geometrickou přesnost povrchů udává u rovinných ploch *úchytky rovinnosti*, u rotačních ploch je dána hodnotou *úchytky válcovitosti nebo kruhovitosti*. Tvarové úchytky jsou určovány jako rozdíl hodnoty nejvyššího a nejnižšího bodu profilu [9].

Měření rovinnosti ploch

Úchytky rovinnosti plochy je největší naměřená vzdálenost skutečné roviny od roviny obalové [10]. Stanovení úchytky rovinnosti lze provádět řadou metod, kdy jako nejčastější jsou používány:

- měření dvoubodovým měřícím můstkem a vodováhou,
- měření na souřadnicovém měřícím stroji,
- měření úchytkoměrem od přímé desky

Měření úchylek kruhovitosti

Úchylka kruhovitosti je definována jako největší naměřená vzdálenost skutečné kružnice příčného průřezu od obalové kružnice stejného průřezu. Ke stanovení úchyly se používají přístroje s vřetenem nebo otočným stolem (fy Taylor Hobson, Hommel Tester Form apod.) využívající radiální metody a dynamické metody, které jsou založené na principu chvění terénu vlny rotující součásti [10].

Měření úchylek válcovitosti

Úchylky válcovitosti definujeme jako největší vzdálenost mezi skutečným válcovým tělesem a tělesem vzniklým jako obalová válcová plocha. Stanovení válcovitosti se nejčastěji provádí dvěma způsoby:

- a) mezi hroty – při nastavení snímače na jmenovitý rozměr součásti se většinou zjišťují úchyly kruhovitosti v jednotlivých příčných řezech,
- b) přístroji s vřetenem nebo otočným stolem (Hobson-Taylor, Hommel-Tester); měření je obdobou stanovení kruhovitosti, rozdíl je v provedení měření, které se v tomto případě provádí v několika příčných řezech [10].

1.2 Hodnocení zbytkových napětí

Zbytková napětí vznikající po technologických operacích jsou jedním z kritérií pro posuzování stavu a vlastností povrchové vrstvy výrobku. Napětí mohou být **tahové (+)** nebo **tlakové (-)**. Znalost charakteru napěťového stavu, spolu se znalostí dalších vlastností, se stává základním předpokladem pro stanovení podmínek vysoké provozní spolehlivosti a životnosti součástí [4].

Účinek napěťového pole součásti ovlivňuje výrazným způsobem její funkční vlastnosti. Je proto nutné řešit problémy: charakter napěťového pole v povrchu při výrobních operacích a určení vlivu zbytkových napětí na odolnost součásti proti opotřebení, korozi, na zvýšení spolehlivosti – jinými slovy na jejich funkci.

Napětí, které zůstávají v součásti i po odstranění příčiny která je způsobila, jsou napětí *zbytková*. Po technologických operacích jsou tato napětí rozložena nerovnoměrně, tj. pouze v určitém objemu (vrstvě) materiálu součásti:

1.2.1 Příčiny vzniku zbytkových napětí

Zbytková napětí mohou vznikat pod obrobeným povrchem jen tehdy, jak dojde v povrchové vrstvě k plastické deformaci. Smysl zbytkových napětí (tah nebo tlak) závisí od toho jak k deformaci došlo.

Mohou zde působit následující faktory:

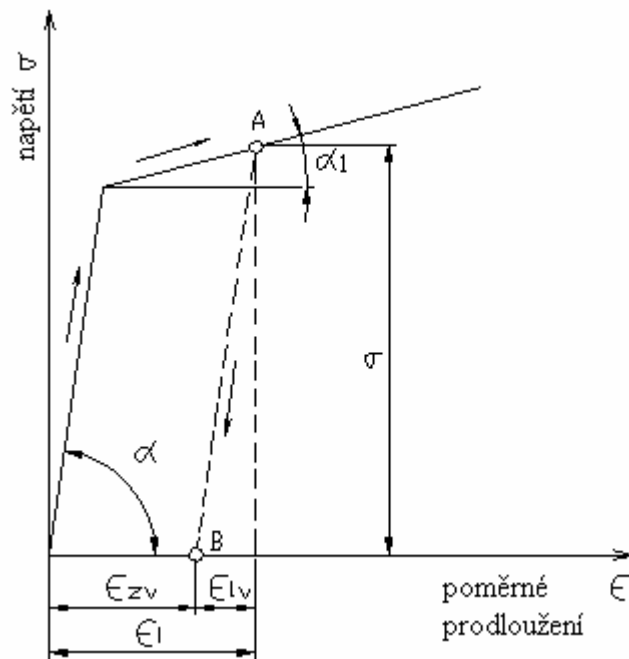
- *nerovnoměrná plastická deformace vyvolaná silovým účinkem řezného klínu,*
- *nerovnoměrné tepelné ovlivnění (ohřev nebo ochlazování) obrobku,*
- *nerovnoměrná fázová transformace nebo vylučování nových strukturních složek,*

Zbytková napětí vznikající nerovnoměrnou plastickou deformací. Tyto napětí jsou charakteristické pro technologické procesy, u kterých dochází k plastickému přetváření povrchové vrstvy, zatímco materiál jádra je jen pružně deformován. Při tomto procesu výrazně nedochází k výraznému zvýšení teploty. Tedy, jak působí řezný nástroj při nízkých teplotách na obráběný povrch, dochází v tenké povrchové vrstvě k plastickým deformacím. Zvýšení objemu plasticky deformované vrstvy způsobuje přitlačení dotykových nedeformovaných vrstev základního kovu (jádra), které se tím pružně deformuje. Po skončení procesu řezání se pružně deformované vrstvy snaží zaujmout původní polohu a působí tlakem na vrchní deformovanou plochu. Tím vyvolají v povrchových vrstvách tlakové zbytkové napětí [22].

Podstata vzniku těchto napětí se dá vyjádřit následovně. Na zjednodušeném tvaru pracovního diagramu většiny konstrukčních materiálů (Obr. 11). Možno hovořit o tom, že jako zatížení přesáhne mez kluzu (Obr. 11 bod A), po odlehčení deformace neprobíhá podle původní křivky, ale po křivce (přibližně přímce) AB, která je rovnoběžná s přímkovou částí čáry reálného diagramu.

V odlehčeném stavu je vzorek trvale deformován o hodnotu:

$$\varepsilon_{zv} = \varepsilon_l - \varepsilon_{lv} \quad (\text{mm}) \quad (9)$$



Obr. 11. Zjednodušený pracovní diagram materiálu s vyznačením trvalé deformace [23].

Vznik zbytkových napětí je možné přirovnat k pružně plastickému ohybu nosníku, kde střed je namáhaný elasticky a v krajních vláknech došlo k plastické deformaci a po odlehčení k trvalé existenci zbytkových napětí.

Zbytková napětí způsobené nerovnoměrným ohřevem. Vznikají jak je součástíka nerovnoměrně ohřátá nebo ochlazována. Představu o konkrétní velikosti napětí je možno vytvořit na základě zjednodušeného výpočtu napětí z teplotních dilatací. Při ohřevu povrchové vrstvy materiálu o délce l z teploty Θ_1 na teplotu Θ_2 dojde k jeho prodloužení o hodnotu Δl .

Matematické vyjádření prodloužení:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (\Theta_2 - \Theta_1) \quad (\text{m}) \quad (10)$$

kde: α - koeficient teplotní roztažnosti, ($^{\circ}\text{C}^{-1}$),

l – původní délka, (m),

Θ_1 – počáteční teplota, ($^{\circ}\text{C}$),

Θ_2 – konečná teplota, ($^{\circ}\text{C}$),

Protože povrchová vrstva je pevně spojená s materiálem jádra, které zůstává chladné a neroztahuje se, vznikají v ní tlakové napětí o velikosti:

$$\sigma = \varepsilon.E = \frac{\Delta l}{l} E = \alpha.E.(\Theta_2 - \Theta_1) \quad (\text{MPa}) \quad (11)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu (MPa).

Při dosažení určité teploty, je materiál v plném plastickém stavu a napětí jsou nulové. V procesu ochlazování povrchové vrstvy dojde k jejímu zmenšení, plastické deformaci a vzniku tahových vnitřních napětí. Tyto tahové napětí jsou větší jako vnitřní napětí vznikající při ohřevu, protože modul pružnosti ochlazené vrstvy je větší jako modul pružnosti v ohřátém stavu.

Rozdíl mezi hodnotou vnitřních tahových napětí při ochlazování a vnitřních tlakových napětí při ohřevu určuje hodnotu teplených zbytkových tahových napětí v povrchové vrstvě.

Výpočet tepelných napětí podle rovnice (11) je jen orientační, protože předpokládá mezi vnější zahřátou a přilehlou vnitřní vrstvou prudký tepelný spád. Ve skutečnosti se tu teplota plynule zmenšuje od nejvíce zahřáté vnější vrstvy k chladné přilehlé vrstvě. Stejně jako tepelný zdroj při obrábění nemá bodový, ale plošný charakter.

Podobně jako při silovém působení na povrchovou vrstvu vznikají zbytková napětí jen tehdy, jak:

$$\sigma_1 = \alpha.E.(\Theta_2 - \Theta_1), \quad \sigma_1 > R_e \quad (\text{MPa}) \quad (12)$$

kde: R_e – mez kluzu obráběného materiálu, (MPa).

Jak v tomto vztahu zanedbáme veličinu Θ_1 pro její poměrně malou hodnotu, je možno z něj vyjádřit teplotu ohřevu povrchové vrstvy:

$$\Theta = \frac{R_e}{\alpha.E} \quad (^\circ\text{C}) \quad (13)$$

která jak se překročí, vznikají tepelné tahové zbytková napětí.

Změna veličin R_e i $\alpha.E$, probíhající při ohřevu, téměř nezmění hodnotu poměru $R_e/\alpha.E$, což dovoluje při použití tohoto vztahu vliv ohřevu zanedbat.

Hodnota tepelných zbytkových tahových napětí v závislosti od teploty ohřevu povrchové vrstvy kovu může být určena ze vztahu:

$$\sigma = E \cdot \left(a_N \cdot \Theta - \frac{R_e}{E_N} \right) \quad (\text{MPa}) \quad (14)$$

kde: E - modul pružnosti v tahu obráběného materiálu, (MPa),

Θ - teplota ohřevu povrchové vrstvy, ($^{\circ}\text{C}$),

α - koeficient teplotní roztažnosti, ($^{\circ}\text{C}^{-1}$),

E_N – modul pružnosti obráběného materiálu při dané teplotě, (MPa),

R_e – mez kluzu povrchové vrstvy kovu (zpevněná), (MPa).

Tento vztah je použitelný jen tehdy, když při zahřátí kovu, povrchové vrstvy nevyvolávají se v ní fázové přeměny [22].

Zbytková napětí způsobené změnami struktury. V povrchové vrstvě vznikají z důvodů různých měrných objemů jednotlivých struktur. Samozřejmě se musí jednat o kovy a jejich slitiny, které jsou schopné fázových přeměn. Vytvoření nových struktur v povrchové vrstvě obrobku z oceli vede k vytvoření strukturních zbytkových napětí.

Každá technologická operace ovlivňuje vznik a přestavbu zbytkových napětí v takovém rozsahu a hloubce, v jakém je schopna vyvolat plastickou deformaci. Ve zbývajícím objemu dochází k superpozici těchto napětí se zbytkovými napětími, vyvolanými předchozími operacemi [4].

Obecně lze uvést, že zbytková napětí po technologické operaci jsou ovlivněna :

- vlastnostmi obráběného materiálu a změnami, které nastávají v materiálu během procesu řezání,
- silovými účinky vyvolanými řeznými silami, které působí v povrchové vrstvě obrobku
- teplotním polem, které vzniká při řezání v důsledku plastické deformace a tření.

1.2.2 Rozdělení zbytkových napětí

Z hlediska velikosti a rozsahu oblasti při posuzování zbytkových napětí je možné je rozdělit do následujících skupin:

- *zbytková napětí 1. druhu (makroskopická)*, která zahrnují oblast většího počtu zrn; vnitřní síly a momenty spojené se zbytkovým napětím jsou v celé oblasti v rovnováze a jakýkoliv zásah do této rovnováhy má za následek makroskopické změny rozměrů;
- *zbytková napětí 2. druhu* jsou pozorována v oblasti jednoho zrna nebo části zrna; vnitřní síly a momenty jsou v dostatečně velké oblasti v rovnováze a její porušení vede ke vzniku mikroskopické deformace;
- *zbytková napětí 3. druhu* jsou pozorována v mikroskopické oblasti zahrnující několik atomových vzdáleností; vnitřní síly a momenty ve sledované oblasti představující část zrna jsou v rovnováze a jejím porušením dochází k ultramikroskopickým změnám rozměru [4].

Ve skutečných součástech se vykytují současně všechny uvedené druhy zbytkových napětí. Z hlediska studia vlastností povrchových vrstev po obrábění jsou nejvíce významná zbytková napětí 1. druhu. Jejich znalost slouží k optimalizaci a predikci funkčních vlastností opracovaných součástí [4].

1.2.3 Metody pro zjišťování zbytkových napětí

Všechny metody zjišťování zbytkových je možné rozdělit na *destruktivní*, *polodestruktivní* a *nedestruktivní*. Metody zjišťování zbytkových napětí je možné také rozdělit podle způsobu určování napětí na *analytické – výpočtové* a *experimentální* (Tab. 3).

Destruktivní metody jsou založeny na měření deformace při odstraňování vrstvy materiálu se zbytkovým napětím. Polodestruktivní metody umožňují použít součást i po jejím změření. Nedestruktivní metody neovlivňují součást při jejím měření.

Podle principu je možné metody měření zbytkových napětí rozdělit na:

- *mechanické* (měření deformace),
- *fyzikální* (měření změn vlastností),
- *chemické* (změny vyvolané chemickými procesy).

Podle charakteru měřené veličiny se jedná o metody

- *přímé*
- *nepřímé* – zbytkové napětí se určí podle změny jiných veličin.

Zjišťování zbytkových napětí se provádí buď v těsné blízkosti od povrchu, nebo v celém průřezu součásti. Podle napjatosti je možné měřením stanovit napjatost *prostou, rovinnou, nebo prostorovou*

Tab. 3. Metody zjišťování zbytkových napětí [4].

Metody zjišťování zbytkových napětí	Tvar součásti	Způsob měření	
Mechanické	plochý tvar	deformace pásku	změna délky
			změna zakřivení
		vrtání děr	válcová díra
			mezikruží
	rotační tvar	změna rozměru válce	odstranění povrchové vrstvy
		trubka	rozříznutí trubky
			odstranění povrchové vrstvy
			odstranění vnitřní vrstvy
		kroužek	rozříznutí
			změna křivosti
			podélné pásy z kroužků
	obecný tvar	metoda sítí	deformace sítě
		křehké laky	vznik trhlin
		křehké modely	vznik trhlin
	Fyzikální RTG	obecný tvar	difrakce
Fyzikální ultrazvuk	šíření vln		změna rychlosti
			odraz vln
			vnitřní tlumení
Elektrické	obecný tvar	změna proudu	změna potenciálu procházejícího proudu
			změna velikosti vířivých proudů
			změna indukčního toku
Magnetické	obecný tvar	změna magnetizmu	magnetická indukce
			zbytkový magnetizmus
Akustické	obecný tvar	prozvučitelnost	četnost akustických emisí
Chemické	obecný tvar	difuze vodíku	trhliny na povrchu
		změna chemické aktivity	změna struktury

Mechanické metody stanovení zbytkových napětí jsou založeny na měření deformace vyvolané porušením rovnováhy vnitřních napětí při odstranění části objemu (vrstvy) součásti, tj. porušením jeho celistvosti. Ze změřené deformace se stanovuje průměrná hodnota napětí. Nevýhodou těchto metod je poškození součásti a určení pouze průměrných hodnot napětí 1. druhu. Některé metody oddělování vrstev nebo částí vzorku mohou vyvolat přídavná napětí, která potom zkreslují výsledek měření.

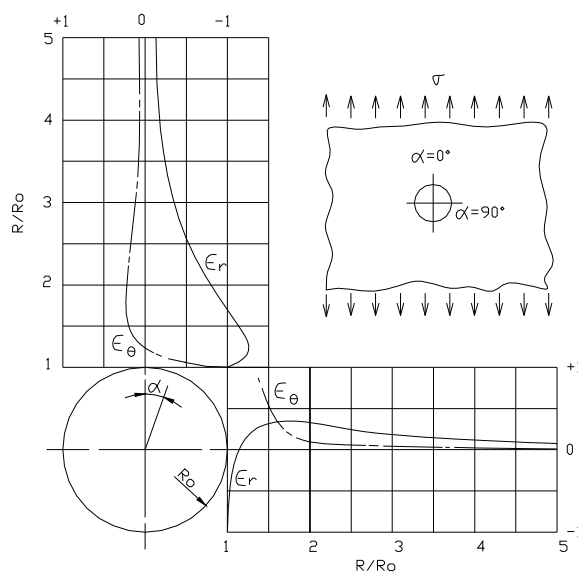
Jednotlivé metody se od sebe liší tvarem zkušebních vzorků, metodou výpočtu a možnostmi stanovení jednoosé nebo víceosé napjatosti.

Složky napětí pro stanovení stavu napjatosti a přetvoření měřené součásti se nedají měřit přímo, ale z jejich projevů. Nejčastěji to bývá poměrná deformace (poměrné prodloužení ε nebo skos γ). Pomocí vztahů mezi napětím a deformací lze určit napjatost ve sledovaném místě. K tomu je ale nutná znalost materiálových konstant, jako je modul pružnosti a Poissonovo číslo.

Nejznámější mechanickou metodou pro výpočet zbytkových napětí je metoda Sachsova, vypracována v r. 1927 pro rotační součásti. Tato metoda byla odvozena pro jednoosý stav napjatosti, ale později byla zpracována i pro určení napjatosti rovinné a prostorové. Na ploché součásti – desce – se zbytková napětí zjišťují tak, že se postupně odstraňují tenké vrstvy a měří se změna zakřivení, která ovlivňuje výsledky vlastního měření.

1.2.4 Metoda vrtání děr

Tato metoda umožňuje provádět analýzu rovinné napjatosti na povrchu součásti při postupném odvrtávání a také stanovení gradientu napětí v hloubce materiálu (Obr. 12)



Obr. 12. Změna uvolnění radiální a tečné deformace ve známé vzdálenosti od středu desky

Podstatou této metody je uvolnění zbytkových napětí vyvrtáním díry o průměru 1 až 4 mm do hloubky 1 až 1,5 násobku průměru vrtané díry. Narušením vnitřní rovnováhy napětí dojde k deformaci materiálu v okolí vrtané díry.

Uvedenou metodou lze měřit pouze napětí 1.druhu.

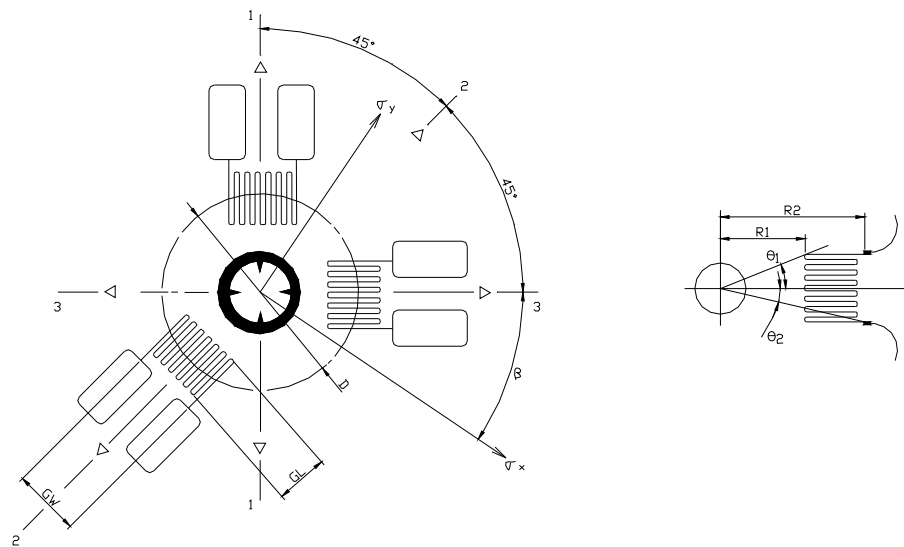
Po uvolnění zbytkového napětí je třeba určit velikost vzniklé deformace v okolí vyvrtané díry. Největší deformace je na jejím okraji a se zvětšováním vzdálenosti od jejího okraje klesá – viz Obr.12.

Pro měření velikosti deformace se používá ve většině případů *tenzometrů*. Pro tyto účely byly speciálně vyvinuty tenzometrické růžice tvořené třemi měřícími mřížkami pootočenými vůči sobě o 45° (Obr.13).

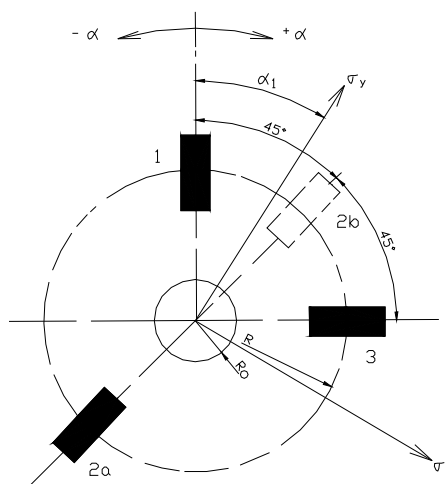
Po nalepení růžice je v průřezu jednotlivých tenzometrů vrtána díra pro uvolnění napětí. Podle uspořádání je zřejmé, že není možné měřit deformaci na okraji vyvrtané díry, ale až v určité vzdálenosti od jejího okraje. To ukazuje na menší citlivost této metody, pro-

tože v závislosti na průměru vrtané díry, vzdálenosti a rozměru měřicí mřížky je měřeno pouze 25-40% uvolněné deformace.

Tato zkušební metoda využívá postupy pro stanovení zbytkových napětí v povrchové vrstvě odvrtáním díry ve středu tenzometrické růžice o hloubce $Z = 0,4D$, kde D je střední průměr kružnice (Obr.14).



Obr. 13. Rozmístění tenzometrů



Obr. 14. Tenzometrická růžice

Je-li tloušťka zkoušeného materiálu menší než $1,2D$, potom vrtaná díra prochází přes celou jeho tloušťku. Rozměry tenzometrické růžice a doporučené průměry díry jsou uvedeny v (Tab. 4).

Tab. 4. Rozměry tenzometrické růžice a doporučené průměry díry (symboly D , GW , GL , R_1 , R_2 , D_0 – průměr vrtané díry) [4]

Rozměr růžice	D	GW = GL	R_1	R_2	min D_0
Základní vztah	D	0,309 D	0,3455 D	0,654 D	0,3 D
Jmenovitý rozměr	2,57	0,79	0,89	1,68	0,77
	5,13	1,59	1,77	3,36	1,54
	10,26	3,18	3,54	6,72	3,08

Významná je soustřednost vrtané díry se středem tenzometrické růžice. Ta by měla být $\pm 0,004 D$, což odpovídá hodnotě $\pm 0,025$ mm. Chyby nesouostoty obou děr mohou významně ovlivnit vypočtené napětí [4].

Tato zkušební metoda se využívá pro zjištění zbytkových napětí v blízkosti povrchu součásti. Obecně se dá použít všude, kde nedochází k výrazným změnám vlastností materiálu v jeho hloubce. Protože se jedná o vyvrtané díry o malém průměru, nemohou pak ovlivnit funkční vlastnosti zkoušené součásti. Případně je možné tuto díru odstranit.

Stanovení zbytkových napětí je ovlivněno řadou činitelů, jako je např. samotné zhotovení díry, změření deformace pomocí tenzometrů, použitým měřicím zařízením a výpočetní technikou.

Důležité je také příprava povrchu součásti před nalepením tenzometrické růžice, protože tato může ovlivnit stav zbytkových vnesením napětí dalších, také změna teploty v okolí vrtané díry může ovlivnit hodnoty naměřených deformací.

U této metody je významné *zhotovení díry* tak, aby byla v průsečíku os jednotlivých mřížek tenzometrické růžice. vyvrtaná díra by měla mít přesný kruhový tvar, ostré okraje, rovné dno a její střed by měl být totožný se středem tenzometrické růžice.

Jako optimální se jeví vytvoření díry *čelní stopkovou frézou při vysokých obvodových rychlostech*.

Celková chyba v sobě zahrnuje chyby vrtání (10%), chyby měření napětí (20%), chyby použité výpočetní metody (10%), chyby materiálových konstant (10%).

Celková chyba uvedenými vlivy je 28% [11].

1.2.5 Metoda rentgenové difrakce

Patří mezi *nedestruktivní metody měření zbytkových napětí*. Tyto mají tu výhodu, že při jejich použití nedochází k poškození součástí, ale jsou náročnější na přístrojové vybavení.

Difrakce může měřit změny mřížkové vzdálenosti jen do hloubky několika mikrometrů, tj. jen ve velmi malé povrchové vrstvě materiálu.

Metoda umožňuje zjišťovat napětí ze změn vzdálenosti atomových rovin krystalů, které nastávají v důsledku plastické deformace. Změny vzdálenosti atomových rovin jsou ovlivňovány všemi druhy napjatosti, takže rentgenografickou metodou se zjišťuje celkové napětí, včetně napětí 2. a 3. druhu, zatímco mechanické metody určují pouze napětí 1. druhu.

Základní podmínkou pro difrakci je, aby pro náhodně orientované krystaly splňovaly jejich krystalické roviny Braggovu rovnici:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \theta \quad (15)$$

kde λ - vlnová délka záření

n – řád reflexe (násobná konstanta)

d – vzdálenost krystalografických rovin

θ - úhel difrakce

Z materiálu po dopadu RTG záření jsou paprsky difraktovány ve svazku, který tvoří kuželové plochy. Změna mřížkové vzdálenosti vyvolaná působením vnějších sil, nebo jiným mechanickým stavem, nutně vyvolá změnu difrakčního úhlu. Toto záření je zachyceno

váno pomocí detektoru a převedeno na signál, který se dále zpracovává digitálními metodami.

Spolehlivé výsledky měření je možné získat za následujících předpokladů:

- provádět větší počet měření
- jemnozrnná struktura
- vhodně upravit povrch součásti v místě měření.

1.2.6 Metoda Barkhausenova šumu

Jinou nedestruktivní metodou měření zbytkových napětí je využití *magneticko-akustické emise a Barkhausenova šumu* [4].

Barkhausenův šum je vyvolán v magnetických materiálech pohybem stěn domén. Tento pohyb může být vyvolán uplatněním měnícího se magnetického pole ve zkoušeném vzorku. Šum může být zaznamenán ve formě akustického šumu, nebo ve formě napěťových impulzů, které jsou indukovány v cívce umístěné v blízkosti povrchu vzorku materiálu. Magnetický Barkhausenův šum vzniká od vratných *přemístění doménových stěn, nebo trhaným otáčením vektorů magnetizace domén při vysoké magnetické energii*. Šum vzniká proto, že pohyb u některých stěn je vyvolán napětím a u jiných ne. Akustické impulzy vyvolané napětím i způsobujícími pohyb stěn domén mohou být zaznamenány a vyhodnoceny.

Žádná další napětí nejsou vyvolána pohybem nebo otáčením stěn domén, protože deformace podél jednotlivých os je nezávislá na směru magnetických momentů, jsou-li tyto podél os. Magnetická metoda Barkhausenova šumu je často využívána pro měření napětí, i když není průmyslově dost rozšířena.

Každá doména je magnetizována podél určitého krystalografického směru magnetizace. Domény jsou odděleny od sebe hranicemi, označovanými jako *doménové stěny*. Magnetická energie způsobí, že stěny domén se pohybují dopředu a zpět. Aby došlo k pohybu

stěny domény, musí tato na jedné straně zvětšit svůj rozměr, zatímco na opačné straně stěny dojde ke smrštění. Výsledkem je změna v celkové magnetizaci vzorku.

Když se umístí v blízkosti vzorku cívka vodivého drátu a stěna domény se pohybuje, jsou výsledné změny magnetizace indukovány v cívce jako elektrické impulzy.

Magnetizační proces je charakterizován hysterezí křivkou, která není plynulá, ale je tvořena malými, přerušovanými stupni, vyvolanými pohybem magnetických domén při zavedení magnetické energie. Když jsou elektrické impulzy vyvolané pohybem domén spojeny, vzniká *šumový signál*, nazývaný Barkhausenův šum.

Barkhausenův šum má výkonové spektrum, které začíná od magnetizační frekvence až do 250 kHz pro většinu materiálů. *Důležitá je hloubka měření.*

Činitelé ovlivňující hloubku měření jsou: rozsah frekvencí analyzovaného signálu šumu, vodivost a permeabilita zkoušeného materiálu. Měřená hloubka se pro praktická měření mění mezi 0,01 až 1,5 mm [4].

Jako výsledek magneticko-elastické interakce v materiálech s pozitivní magnetickou anizotropií vyvolávají tlaková napětí snížení intenzity Barkhausenova šumu, zatímco tahová napětí tuto intenzitu zvyšují. Tato skutečnost je využívána pro měření zbytkových napětí. Toto měření umožňuje definovat směr hlavního napětí.

Další důležité charakteristiky ovlivňující Barkhausenův šum jsou ve *struktuře materiálu*. Intenzita se plynule snižuje se změnami v mikrostruktuře a roste s tvrdostí materiálu.

Pomocí magneto-elastické metody je možné také hodnotit popálená místa, měkká místa, měkké hrany na kalených plochách, oduhličené povrchy atd.

Praktická uplatnění Barkhausenova šumu je možné v těchto směrech :

- pro hodnocení zbytkových napětí,
- pro hodnocení mikrostrukturálních změn,
- pro kontrolu defektů, které vyvolají buď zbytková napětí, nebo změny mikrostruktury.

2 TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM

Nejběžnější výrobní metodou je třískové obrábění, které lze použít pro výrobu 80% forem. Způsob obrábění se volí podle tvaru a rozměru obráběných ploch, podle předepsané přesnosti a drsnosti, podle obrobitelnosti materiálu, sériovosti výroby.

2.1 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posunové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky [7].

2.1.1 Technologická charakteristika frézování

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozliší *frézování válcové* (frézování obvodem) a *frézování čelní* (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako frézování *okružní* a *planetové*.

Rychlořeznými frézami se dosahuje běžné drsnosti $R_a = 6,3$ až $12 \mu\text{m}$, při malé hloubce řezu a malém posuvu jsou nejmenší drsnosti $R_a = 1,6$ až $3,2 \mu\text{m}$. Obrábí-li se však frézami se slinutým karbidem, mají frézované plochy nejčastěji drsnost $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$. Jakostním frézováním jednonožovou frézovací hlavou lze pak dosáhnout povrchu s drsností $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$, ve speciálních případech i drsnosti menší než $0,8 \mu\text{m}$.

2.2 Broušení

Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů a tvarů a jakost povrchu. Dále se broušení uplatňuje při obrábění materiálů, které nelze jinými obráběcími metodami obrobit, nebo je brousící metoda hospodárnější než jiné. S rozvojem výkonných brousících nástrojů a strojů se význam broušení rozšiřuje z původní oblasti dokončovacích operací také na produkční obrábění [7].

2.2.1 Technologická charakteristika broušení

Brousící proces má základní charakteristiky podobné jako jiné obráběcí procesy a zvláště je blízký frézování. Při broušení však dochází ke kvantitativním i kvalitativním odlišnostem, které souvisí zejména s vlastnostmi brousícího kotouče a řeznými podmínkami. Broušení se od frézování odlišuje především různorodostí geometrického tvaru brousících zrn a jejich nepravidelným rozmístěním po ploše brousícího nástroje. Úhel čela zrn se mění a bývá vesměs záporný. Brousící proces se uskutečňuje při vysokých řezných rychlostech (30 až 100 m.s⁻¹) a při malých průřezech třísky (10⁻³ až 10⁻⁵ mm²) [7].

Od jiných způsobů obrábění se práce brousícího kotouče liší schopnosti tzv. samoostření. Tato vlastnost brousícího kotouče souvisí s poměrně málo pevným zakotvením brousícího zrna ve vazbě kotouče. V důsledku zvýšení řezných sil na otupených zrnech se tato zrna vyloží a jejich funkci přebírají zrna neotupená.

2.3 Elektroerozivní obrábění

2.3.1 Technologická charakteristika elektroerozivního obrábění

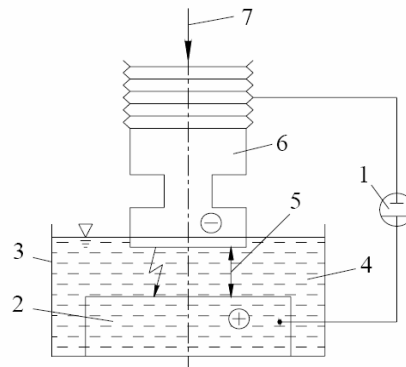
Elektroerozivní obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak – *úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popř. obloukovými výboji* [7].

Fyzikální pochod úběru materiálu je velmi komplexní jev. Obrábění probíhá na dvou elektrodách oddělených jiskrovou mezerou velikosti 0,01 až 0,5 mm a ponořených v dielektrické kapalině. Výboj mezi elektrodami vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole, které vytváří ionizovaný (vodivý) kanál umožňující přechod jiskry mezi nástrojem a obrobkem – (Obr.15).

Každá jiskra produkuje teplo dostatečné k roztavení nebo odpaření malého množství materiálu. Na povrchu zůstávají mikroskopické krátery.

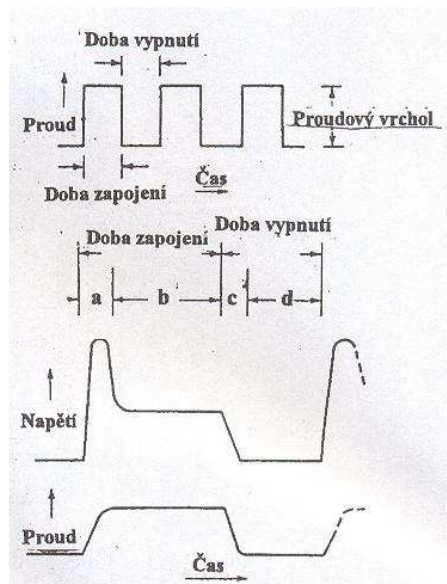
Celkový proces odebrání materiálu se pak skládá ze střídajících se impulsních výbojů, statisticky rozložených po celé ploše.

Charakteristické parametry elektroeroze jsou určeny tvarem a velikostí energie impulzů, pracovní mezerou a dielektrikem – (Obr.16).



Obr. 15. Princip elektroerozivního obrábění

1 - generátor; 2 - obrobek; 3 – pracovní vana; 4 – pracovní kapalina; 5 – pracovní mezera; 6 – nástrojová elektroda; 7 – posuv nástrojové elektrody



Obr. 16. Časový průběh impulzů při elektroerozivním obrábění

a – čas ionizace; b – čas vybíjení;
c – čas deionizace; d – čas doběhu

Obrábění materiálu probíhá tak, že stejnoměrný proud je dodáván do pracovního okruhu v pulzech, které mají čtvercový průběh. Přitom každý pulz vytváří jiskru. Narušení materiálu nastává v místech vzniku výboje mezi obrobkem a elektrodou. Když je elektroda vzdálena od obrobku, má napětí obvykle hodnotu 100 V. Když se elektrody přiblíží k obrobku, nastane ionizace oddělující kapaliny. Když nastane výboj, napětí klesne na nižší hodnotu. To se stane při vzdálenosti elektrod 0,01 – 0,4 mm.

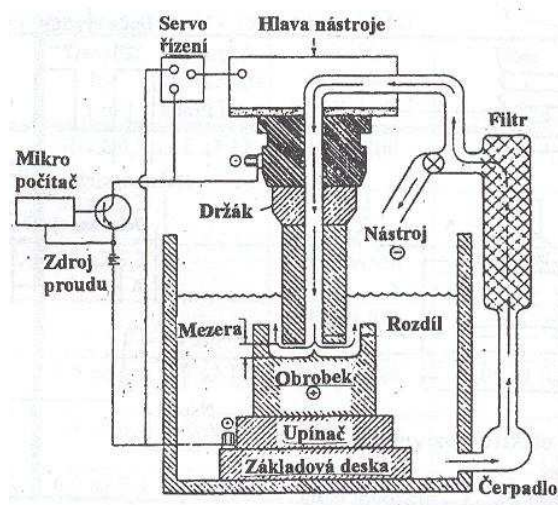
Materiál je narušen při každém výboji, a to natavením a odpařením, na obrobku i elektrodě se vytvoří kráter.

Doba vypnutí (přerušení) umožní, aby narušené částice byly odplaveny z místa narušení proudící kapalinou. Čas přerušení musí být delší než čas deionizace, aby bylo zabráněno plynulému tvoření výboje ve stejném místě.

Nástroj je neustále přibližován posunovým mechanismem k ploše obrobku a současně vibruje. Vibrační pohyb vytváří podmínky pro výboj a umožňuje odstraňování zplodin odebraného materiálu a výměnu dielektrika v mezeře.

Výboje jsou vyvolávány stejnosměrným proudem, posunový a vibrační pohyb je obvykle vyvozen střídavým proudem. Jako dielektrikum mohou být použity lehké strojní nebo transformátorové oleje či petrolej; přední firmy působící v této oblasti dodávají i speciální dielektrika pro elektroerozivní stroje.

Dispozice uspořádání elektroerozivního obrábění je na (Obr.17).



Obr. 17. Obecná dispozice elektroerozivního obrábění

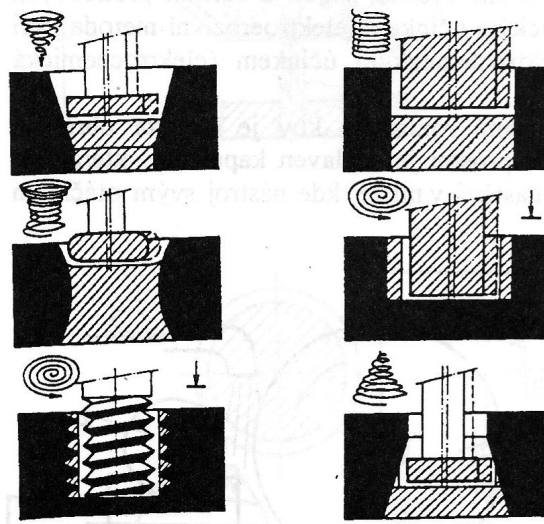
2.3.2 Elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění představuje základní typ elektroerozivních metod. Uplatňuje se při výrobě tvářecích zápustek, forem pro lití, střížných nástrojů, obrábění SK, nástrojů pro lisování plastů atd. [7].

Při tomto způsobu se využívá výboje elektrické jiskry mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem.

Elektrojiskrové obrábění vnitřních tvarových ploch se provádí standardním postupem tak, že tvar nástrojové elektrody je negativním tvarem obráběné plochy.

Výrazného zlepšení možnosti elektrojiskrového obrábění bylo dosaženo zavedením tzv. *vychylovačů elektrod*, které umožní vychylování elektrod do všech směrů. Toto přídatné zařízení umožňuje zhotovení složitějších tvarů pomocí jednoduchých elektrod, snižuje spotřebu elektrod korekcí jejich úbytku (např. díru $\varnothing 10H7$ je možno vyjiskřit trubkovou elektrodou průměru 6 mm). Různé aplikace realizované vychylovačem elektrod jsou na (Obr. 18). Pro řízení obráběcího procesu se výhodně uplatní CNC řídicí systémy.

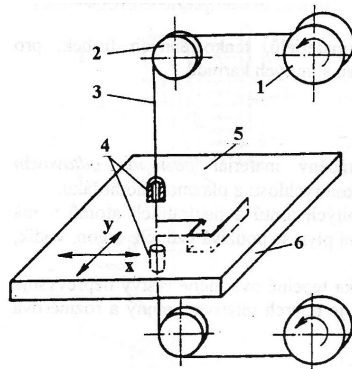


Obr.18. Elektrojiskrové obrábění – aplikace vychylovače elektrod

Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou nachází uplatnění zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení ultratvrdých materiálů s minimální šířkou řezu. Princip metody je na (Obr. 19).

Nástrojovou elektrodou vytváří tenký drát, který se po vyloučení opotřebení odvíjí pomocí speciálního zařízení a přes vodící zařízení prochází místem řezu.

Prostor mezi obrobkem a drátem je zaléván dielektrickou kapalinou – ionizovanou vodou. Jako materiál pro drátové elektrody se používá měď a mosaz, pro velmi jemné řezy pak molybdenový drát o průměru 0,03 až 0,07 mm. Pohyb suportů stroje je řízen CNC systémem, který zajišťuje přesnost odpovídající nástrojařským pracím. Stroje jsou rovněž vybaveny CNC řízeným nakláněním drátové elektrody v rozsahu 0 až 30°, což umožňuje vyřezávání kónických tvarů.



Obr. 19. Schéma elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou

1 – cívka; 2 – napínací kladka; 3 – drátová elektroda; 4 - vedení; 5 - obrobek; 6 – řízený pohyb obrobku

Elektrojiskrové obrábění je vhodné pro obrábění komplikovaných dutin, opracování tvrdých a kalených součástí forem, opravu a úpravu kalených dutin a jader. Lze vyrobit i komplikované tvary, které není možno vyrobit klasickým třískovým obráběním nebo jen velmi obtížně.

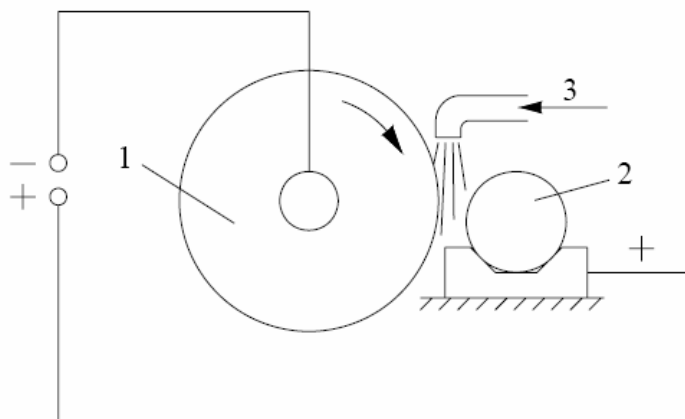
Při řešení nástrojové elektrody je třeba vzít v úvahu její materiál, výrobu a opotřebením během daného procesu. Materiál elektrody má mít vysokou elektrickou vodivost, dobrou obrobiteľnosť, vysoký bod tavení a dostatečnou pevnost, aby se při vlastní práci nedeformoval. Typické materiály na elektrody jsou měď, wolfram, grafit.

Na opotřebením elektrody má největší vliv teplota tavení použitého materiálu. U elektroerozivního obrábění se na elektrodě hodnotí opotřebením boků, opotřebením rohů a opotřebením konce elektrody. Z těchto druhů opotřebením je opotřebením rohů elektrody nejvýznamnější kritérium pro její úpravu (orovnání).

K základním metodám zhotovování nástrojových elektrod patří obrábění, lisování, lití, prášková metalurgie, stříkání a galvanoplastika [7].

2.3.3 Anodochemické obrábění

Princip metody spočívá v tom, že obrobek je zapojen na kladný pól stejnosměrného proudu a malou silou přitlačován k hladkému povrchu rotujícího kotouči (záporné elektrodě). Do místa styku obou elektrod se přivádí elektrolyt, který vytváří pasivační vrstvu, brání přímému kontaktu obrobku s nástrojem. Rotující kotouč stírá vytvořený anodový film pouze v místě obrábění. Na tomto místě dochází na mikrovývýšeninách obrobku k jiskrovým výbojům a ke vzniku elektrických malých oblouků, které rozrušují obráběný materiál svým tepelným a tlakovým účinkem. Rozrušený materiál je z místa obrábění odváděn povrchem kotouče. Přiváděnou kapalinou se anodový film stále obnovuje a výboje opakují.



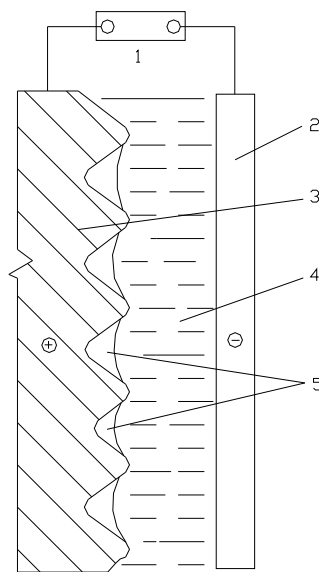
Obr. 20. Principiální schéma anodochemického obrábění

1 – nástroj, 2 – obrobek, 3 – přívod pracovní kapaliny

2.4 Elektrochemické leštění

Elektrochemické leštění je proces anodického rozpouštění materiálu. Obráběný materiál (anoda) a katodová elektroda jsou ponořeny do elektrolytu – (Obr. 21).

Hustota proudu je v místech výstupků vyšší (velký odpor anodové vrstvy v prohlubních) než v místech prohlubní a proto dochází k intenzivnímu rozpouštění a vrcholky nerovností se postupně vyhlazují. Množství rozpuštěného materiálu závisí na hustotě proudu, teplotě a složení elektrolytu, druhu obráběného materiálu a na umístění obrobku v elektrolytu [7].



Obr. 21. Schéma elektrochemického leštění

*1 – zdroj stejnosměrného proudu,
2 – katoda, 3 – anoda (obrobek),
4 – elektrolyt, 5 - anodová vrstva*

3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je porovnání jakostních charakteristik dílů forem vyráběných různou technologií, a hodnocení vlivu technologických podmínek na jakost povrchu.

Měření budou prováděná pomocí dotykové a bezdotykové metody měření na pěti zkušebních deskách vstřikovací formy s různě obroběným povrchem, což umožňuje vyhodnocovat, porovnávat parametry drsnosti povrchu na jednotlivých technologiích obrábění.

Další hodnocení jakosti povrchu budou prováděná na pěti plastových vzorcích z různých materiálu obroběných frézováním, u nichž bude sledován vliv technologických podmínek na jakost povrchu. Měření budou prováděná pomocí dotykového měřicího přístroje.

Pro porovnání kovových materiálu z hlediska jakosti povrchu budou na dotykovém měřicím přístroji měřeny parametry drsnosti u sedmi vzorků dokončených broušením za stejných technologických podmínek.

Veškeré naměřené hodnoty budou dále zpracovány pomocí statistického a grafického vyhodnocení.

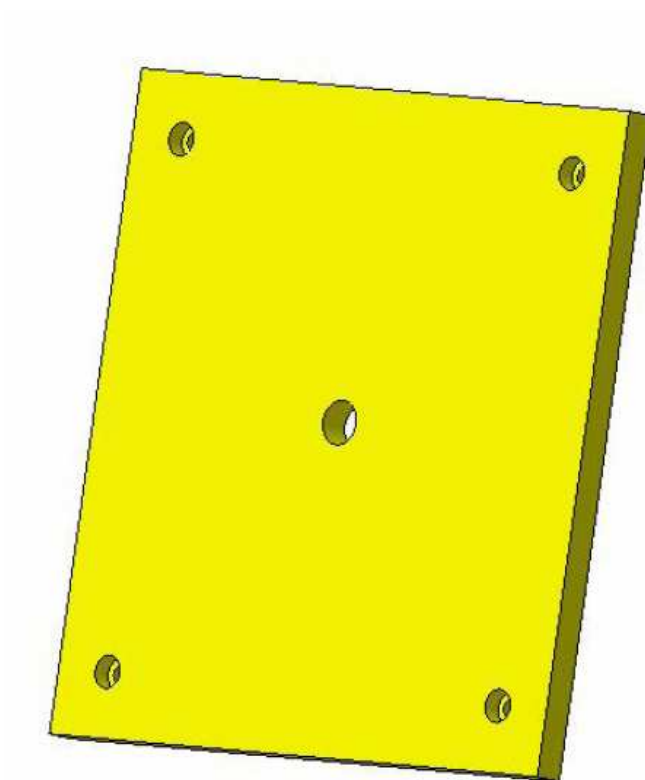
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU ZKUŠEBNÍCH DESEK

4.1 Zkušební desky

Funkční plochy zkušebních desek byly obrobena čtyřmi různými technologiemi: leštěním, broušením, frézováním a elektrojiskrovým obráběním.

Při elektrojiskrovém obrábění byly použity grafitové elektrody. Změnou velikosti proudu při obrábění bylo dosaženo dvou různých dezénů na deskách (jemnější dezén, hrubší dezén).



Obr. 22. Zkušební deska

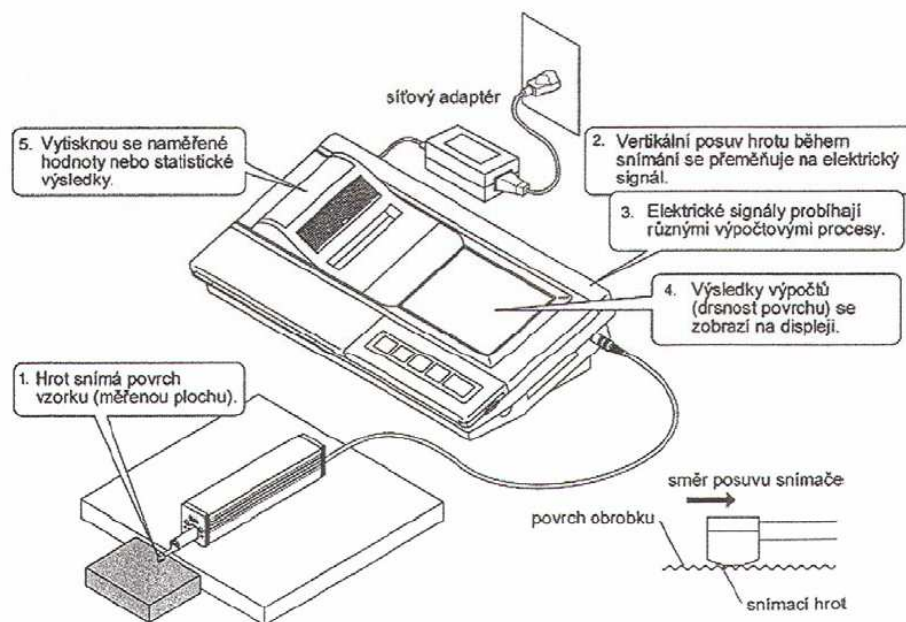
4.2 Dotyková metoda měření struktury povrchu

Pro účely měření a vyhodnocování struktury povrchu dotykovým přístrojem byla zvolena profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovnosti skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu. Z profilu se pomocí přístroje odvodí profil drsnosti (R-profil, DIN 4776). Profil drsnosti je pak základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti povrchu, tzv. R – parametrů. Profil DIN 4776 je základem pro hodnocení parametrů založených na křivce materiálového podílu.

4.2.1 Dotykový měřicí přístroj

Surftest SJ-301 od firmy Mitutoyo je přístroj na měření struktury povrchu. SJ-301 dokáže svým snímacím hrotem měřit strukturu povrchu a charakterizovat ji pomocí řady parametrů podle různých národních a mezinárodních norem. Výsledky měření se zobrazí digitálně a graficky na speciální na dotek citlivé ovládací obrazovce (Touchscreen) a pomocí vestavěné tiskárny se vytisknou.

Hodnoty odečteny z tohoto přístroje jsou popsány v kap. 1.1.



Obr. 23. Schéma měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

Tab. 5. Základní specifikace měřícího přístroje Mitutoyo Surftek SJ-301 [21].

Parametr	Hodnota
Max. měřicí rozsah	300 μm ($\pm 150 \mu\text{m}$)
Měřený profil	P, R, DIN 4776, MOTIF
Parametry měření	Ra, Rz, Ry, Rt, Rp, Rq, R3Z, Pc, Sm, S, mr, dc, Rpk, Rvk, Rk, Mr1, Mr2, A1, A2, R, AR, Rx, Lo, PPI
Filtr	2RC, PC75, GAUSS
Délka měření	0,25; 0,8; 2,5; 8 mm
Počet vzorových délek	1, 3, 5 a L
Rozlišení	0,01 μm (10 bitu)
Nastavení stat. dat	Střední hodnota, max., min., sm. odchylka, vyhodnocení GO/NG

4.2.2 Dotykové měření struktury povrchu

Měření bylo provedeno na 10 různých místech desky. Na naměřené hodnoty se dále aplikovala jednoduchá statistika, a to aritmetický průměr \bar{X} , směrodatná odchylka σ a rozpětí R .

Leštěná deska

Tab. 6. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro leštěnou desku

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,10	0,82	0,14	0,82	89,00	0,80	4,00
2	0,10	1,01	0,13	1,01	96,00		
3	0,13	1,14	0,17	1,14	90,00		
4	0,11	0,73	0,14	0,73	73,00		
5	0,07	0,57	0,09	0,57	81,00		
6	0,08	0,70	0,10	0,70	92,00		
7	0,09	0,60	0,11	0,60	70,00		
8	0,08	0,62	0,10	0,62	85,00		
9	0,10	1,01	0,14	1,01	95,00		
10	0,10	0,87	0,13	0,87	92,00		
X	0,096	0,807	0,125	0,807	86,300		
σ	0,017	0,197	0,025	0,197	8,994		
R	0,06	0,57	0,08	0,57	26,00		

Tab. 7. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro leštěnou desku (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	82,00	0,13	0,19	0,21
2	20,00	92,00	0,54	0,42	0,45
3	21,00	91,00	0,62	0,22	0,34
4	8,00	85,00	0,06	0,15	0,19
5	3,00	80,00	0,04	0,19	0,24
6	11,00	88,00	0,06	0,12	0,17
7	4,00	88,00	0,06	0,23	0,25
8	6,00	89,00	0,07	0,18	0,27
9	3,00	82,00	0,05	0,20	0,26
10	11,00	77,00	0,17	0,22	0,24
X	9,600	85,400	0,180	0,212	0,262
σ	6,467	4,993	0,215	0,080	0,081
R	18,00	15,00	0,58	0,30	0,28

Broušená deska

Tab. 8. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro broušenou desku

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,31	2,29	0,42	2,29	73,00	0,80	4,00
2	0,37	2,36	0,45	2,36	57,00		
3	0,29	2,15	0,38	2,15	46,00		
4	0,36	2,34	0,45	2,34	46,00		
5	0,30	1,64	0,37	1,64	61,00		
6	0,36	2,44	0,44	2,44	60,00		
7	0,31	2,01	0,39	2,01	40,00		
8	0,39	2,13	0,47	2,13	51,00		
9	0,33	1,83	0,40	1,83	50,00		
10	0,26	1,53	0,31	1,53	54,00		
X	0,328	2,072	0,408	2,072	53,800		
σ	0,041	0,314	0,048	0,314	9,449		
R	0,13	0,91	0,16	0,91	33,00		

Tab. 9. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro broušenou desku (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	5,00	93,00	0,17	0,48	1,14
2	16,00	88,00	0,41	0,45	0,90
3	13,00	88,00	0,49	0,45	0,92
4	10,00	85,00	0,32	0,59	0,92
5	7,00	89,00	0,23	0,55	1,05
6	17,00	91,00	0,60	0,35	0,99
7	12,00	90,00	0,33	0,42	1,11
8	8,00	93,00	0,30	0,25	1,26
9	7,00	84,00	0,42	0,41	0,85
10	12,00	90,00	0,26	0,42	0,97
X	10,700	89,100	0,353	0,437	1,011
σ	4,001	2,998	0,129	0,096	0,128
R	12,00	9,00	0,43	0,34	0,41

Frézovaná deska

Tab. 10. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro frézovanou desku

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,27	32,40	6,64	32,40	31,00	2,50	12,50
2	4,58	26,59	5,80	26,59	44,00		
3	3,09	17,38	3,78	17,38	40,00		
4	5,08	22,33	6,13	22,33	46,00		
5	5,00	30,27	6,40	30,27	22,00		
6	4,21	19,69	5,01	19,69	39,00		
7	5,13	23,34	6,00	23,34	63,00		
8	5,33	25,25	6,39	25,25	61,00		
9	2,64	17,17	3,53	17,17	43,00		
10	4,81	22,72	5,91	22,72	36,00		
X	4,514	23,714	5,559	23,714	42,500		
σ	0,937	5,069	1,098	5,069	12,430		
R	2,69	15,23	3,11	15,23	41,00		

Tab. 11. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro frézovanou desku (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	10,00	91,00	4,95	3,86	13,84
2	10,00	87,00	4,02	10,29	16,95
3	19,00	94,00	7,18	5,14	15,68
4	7,00	97,00	3,60	2,04	19,07
5	11,00	88,00	3,75	11,48	20,49
6	8,00	86,00	2,45	3,95	15,28
7	9,00	86,00	3,23	3,93	17,12
8	11,00	63,00	4,46	8,64	6,23
9	9,00	86,00	3,16	5,29	15,90
10	10,00	89,00	11,30	5,47	16,72
X	10,400	86,700	4,810	6,009	15,728
σ	3,273	9,117	2,622	3,085	3,834
R	12,00	34,00	8,85	9,44	14,26

Elektrojiskrové obrábění (deska s jemným dezénem)

Tab. 12. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro vyjiskřenou desku s jemným dezénem

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,79	26,74	4,74	26,74	44,00	2,50	12,50
2	4,82	24,39	5,81	24,39	53,00		
3	3,95	25,72	4,93	25,72	45,00		
4	3,63	23,82	4,55	23,82	32,00		
5	3,81	20,75	4,65	20,75	41,00		
6	3,72	22,59	4,70	22,59	42,00		
7	3,87	26,99	5,12	26,99	28,00		
8	4,04	28,01	5,11	28,01	41,00		
9	3,80	24,53	4,59	24,53	59,00		
10	4,40	27,21	5,45	27,21	55,00		
X	3,983	25,075	4,965	25,075	44,000		
σ	0,363	2,291	0,412	2,291	9,718		
R	1,19	7,26	1,26	7,26	31,00		

Tab. 13. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro vyjiskřenou desku s jemným dezénem (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	88,00	9,08	4,00	11,94
2	7,00	94,00	7,33	2,99	14,73
3	17,00	93,00	8,11	2,60	12,70
4	13,00	90,00	7,72	4,98	12,00
5	16,00	93,00	6,33	2,40	13,79
6	10,00	86,00	10,40	6,18	13,96
7	6,00	93,00	5,89	4,31	21,34
8	9,00	93,00	11,27	4,01	20,23
9	4,00	86,00	5,72	7,06	12,82
10	8,00	91,00	5,92	3,89	16,70
X	9,800	90,700	7,777	4,242	15,021
σ	4,264	3,057	1,956	1,496	3,358
R	13,00	8,00	5,55	4,66	9,40

Elektrojiskrové obrábění (deska s hrubým dezénem)

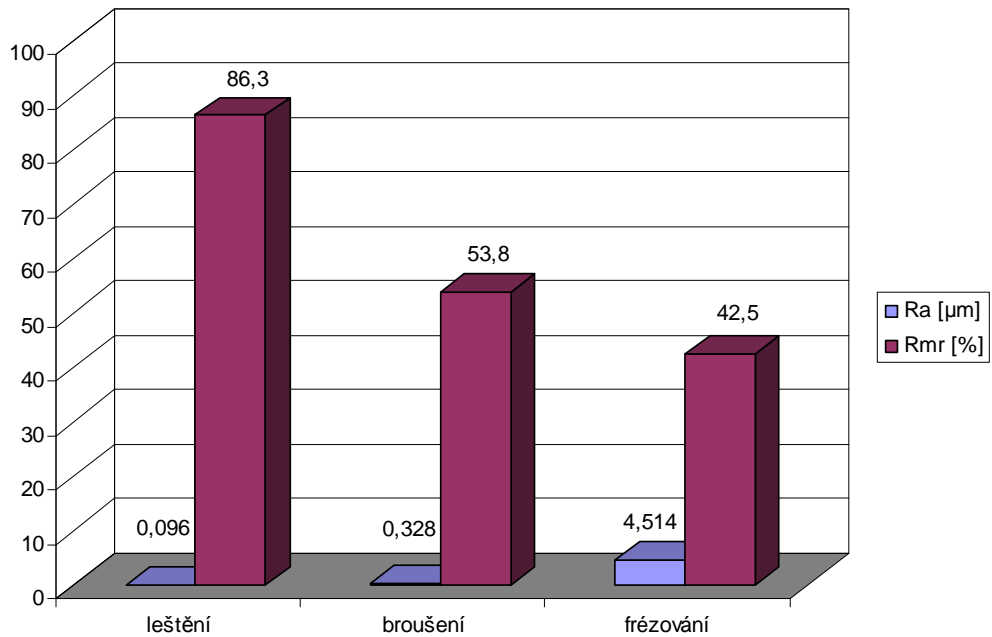
Tab. 14. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro vyjiskřenou desku s hrubým dezénem

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	13,52	96,15	17,05	96,15	27,00	8,00	40,00
2	15,60	115,50	20,41	115,50	16,00		
3	9,90	72,03	12,80	72,03	37,00		
4	12,04	89,31	15,51	89,31	16,00		
5	12,17	94,30	16,78	94,30	15,00		
6	11,66	66,14	14,75	66,14	19,00		
7	13,47	95,31	17,46	95,31	27,00		
8	12,17	77,72	15,16	77,72	39,00		
9	12,82	74,93	15,73	74,93	31,00		
10	14,73	88,95	17,76	88,95	29,00		
X	12,808	87,034	16,341	87,034	25,600		
σ	1,620	14,600	2,056	14,600	8,784		
R	5,70	49,36	7,61	49,36	24,00		

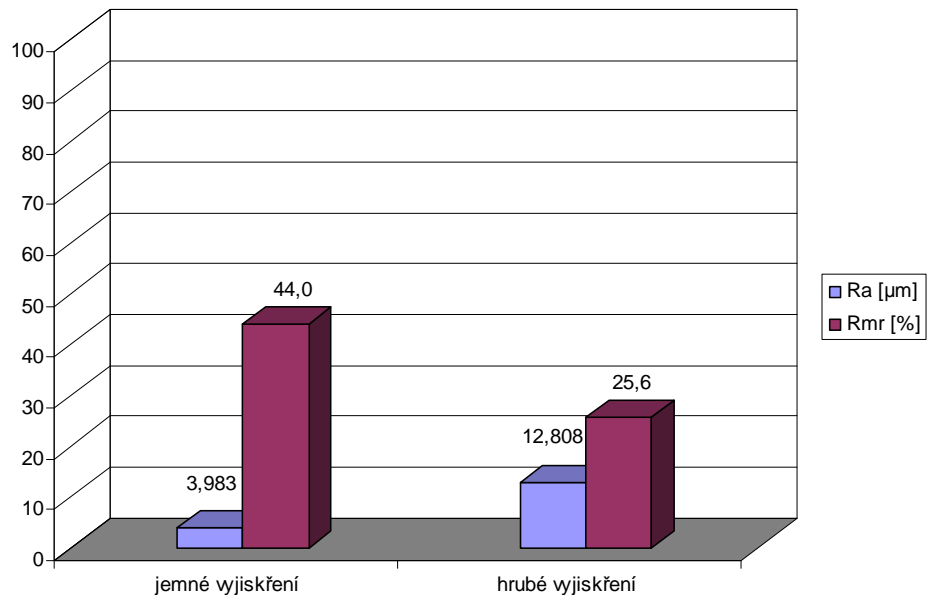
Tab. 15. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro vyjiskřenou desku s hrubým dezénem (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	93,00	12,95	13,10	36,18
2	20,00	93,00	30,74	14,82	35,83
3	12,00	89,00	20,93	10,92	42,46
4	14,00	92,00	16,84	14,37	36,05
5	20,00	94,00	32,68	17,75	42,41
6	14,00	93,00	24,07	16,96	42,16
7	12,00	94,00	19,17	9,06	44,16
8	8,00	90,00	23,63	13,58	39,43
9	18,00	91,00	19,03	10,17	27,23
10	15,00	87,00	21,62	16,94	38,70
X	14,200	91,600	22,166	13,767	38,461
σ	4,185	2,319	5,998	3,005	4,976
R	12,00	7,00	19,73	8,69	16,93

4.2.3 Grafické porovnání jednotlivých technologií obrábění z hlediska parametru drsnosti Ra a materiálového podílu Rmr



Obr. 24. Porovnání technologií leštění, broušení, frézování z hlediska parametru drsnosti Ra a materiálového podílu Rmr



Obr. 25. Porovnání technologií jemného, hrubého vyjiskření z hlediska parametru drsnosti Ra a materiálového podílu Rmr

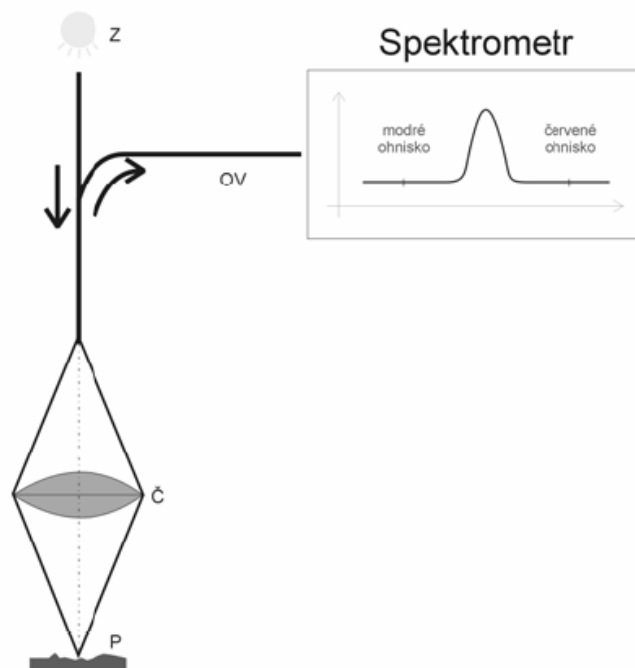
4.3 Bezdotyková metoda měření struktury povrchu

Drsnosti zkušebních desek byly měřeny bezdotykovým snímáním plochy ve 2D, tak ve 3D režimu na náhodně vybrané ploše bezdotykovým optickým profilometrem *MicroProf FRT* od firmy **Fries Research & Technology**.

4.3.1 Bezdotykový měřicí přístroj

Optický profilometr *MicroProf FRT* využívá při měření metodu chromatické aberace, která patří mezi metody koherentní optiky. Optické zařízení *MicroProf FRT* může měřit studovaný povrch jak podél vybrané linie povrchu (v tomto případě pracuje jako optický profilometr), tak na vybrané ploše (v tomto případě pracuje jako zařízení pro měření 3D topografie povrchu).

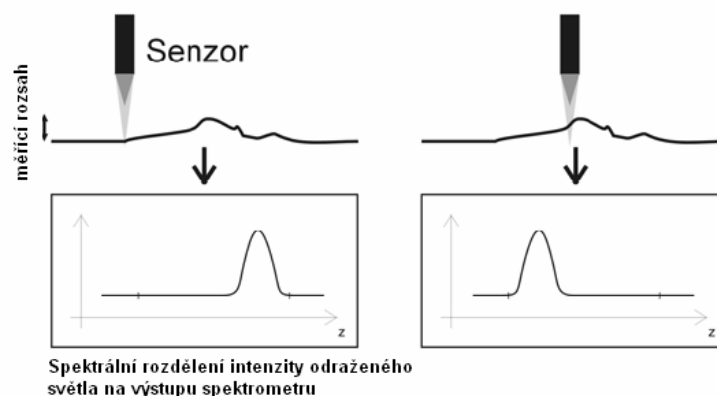
Princip činnosti optického profilometru *MicroProf FRT* v základním provedení s optickým senzorem *CHR 150 N* je následující (Obr. 26):



Obr. 26. princip činnosti optického profilometru *MicroProf FRT*

Z – zdroj bílého světla (halogenová výbojka), *OV* – optické vlákno, *Č* – čočka s velkou chromatickou aberací, *P* – studovaný povrch, *Spektrometr* – analyzuje spektrální rozdělení intenzity světla odraženého od povrchu

Bílé světlo ze zdroje Z je optickým vláknem OV přivedeno ke spojné čočce Č, která v důsledku své velké chromatické aberace fokusuje jednotlivé monochromatické složky bílého světla do různé výšky nad vztažnou rovinou. Po dopadu na studovaný povrch P vzorku je fokusované světlo optimálně odraženo zpět do zmíněné čočky a optickým vláknem přivedeno do miniaturního spektrometru. Hodnota vlnové délky maxima intenzity světla vystupujícího ze spektrometru je pomocí kalibrační tabulky převedena na hodnotu vzdálenosti mezi senzorem a povrchem vzorku (Obr. 27).



Obr. 27. princip činnosti senzoru CHR 150 N

V této vzdálenosti jsou zahrnuty nejen výškové nerovnosti povrchu, ale i tzv. pracovní vzdálenost senzoru od vztažné roviny.

Vzorek je umístěn na skenovacím stolku, jehož velmi rychlý a přesný pohyb (který je řízen speciálně naprogramovaným procesorem) v definovaných liniích pod nepohybujícím se senzorem umožňuje získat údaje o topografii studovaného povrchu nejen podél zvolené linie, ale z celé plochy. Z popsaného principu činnosti optického profilometru je zřejmé, že senzor nesleduje svým pohybem profil povrchu, ale získává potřebná data nezávisle z každého měřicího bodu. Tato skutečnost vede k vysoké rychlosti měření.

Výsledek měření má formu vektoru či matice hodnot výškových nerovností povrchu. Získává se v rámci měřicího softwaru „Acquire“, který umožňuje:

- vybrat měřenou linii či oblast povrchu (v této souvislosti je velmi užitečná vizuální kontrola povrchu, kterou poskytuje se senzorem spjatá CCD kamera)
- manipulaci se senzorem či skenujícím stolkem
- nastavení parametru snímání

Základní parametry optického profilometru MicroProf FRT v provedení s optickým senzorem CHR 150 N jsou následující:

- Minimální rozsah xy: 200 μm x 200 μm
- Maximální rozsah xy: 100 mm x 100 mm
- Měřicí rozsah z: 300 μm – 3 mm
- Vertikální rozlišení: 3 nm
- Laterální rozlišení: 2 μm
- Maximální úhel sklonů povrchových nerovností ke střední rovině povrchu: 30°.

Tab. 16. Základní a vyhodnocovaná délka při měření v závislosti na R_a

R_a (μm)	Základní délka l_r (mm)	Vyhodnocovaná délka l_n (mm)
0,101 ÷ 2,000	0,80	4
2,001 ÷ 10,00	2,50	12.5

4.3.2 Bezdotykové snímání plochy ve 2D

Běžné parametry drsnosti, které jsou nejvíce využívány, jsou uváděny jako 2D parametry, protože jsou počítány na základě jednoho profilu povrchu, který obsahuje informace ve dvou směrech (horizontálním a vertikálním).

Nastavení přístroje:

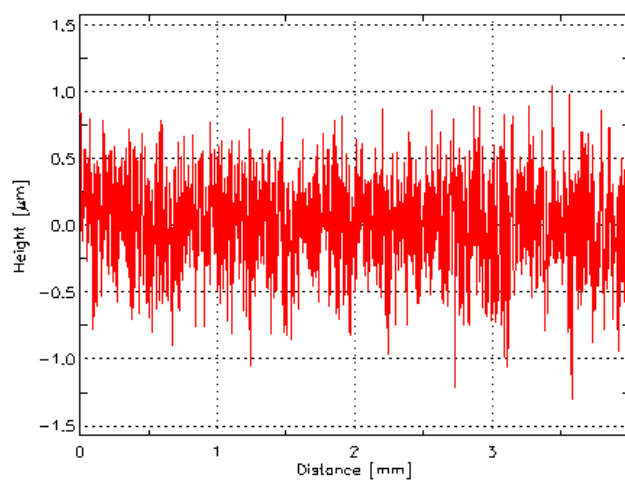
krok:	2 μm
One Section:	2 000 bodů/ 4 mm
krok:	6.25 μm
One Section:	2 000 bodů/ 12.5 mm
frekvence:	300 Hz
Strength:	50

Leštěná deska

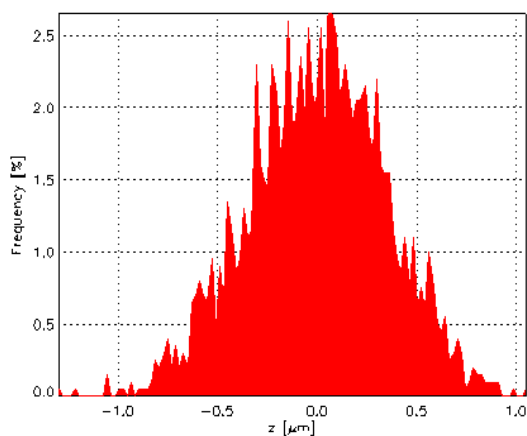
$x = [0.800 \text{ mm}, 4.800 \text{ mm}]$

Tab. 17. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro leštěnou desku

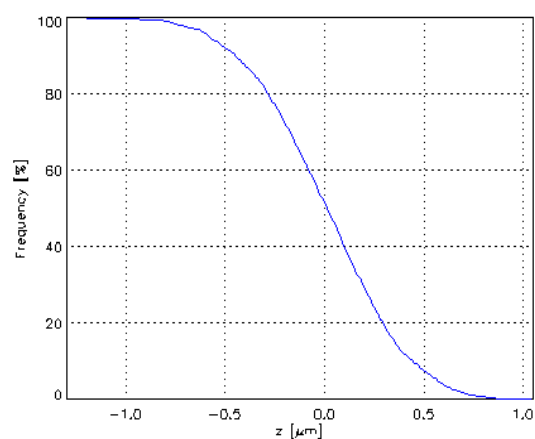
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
0,275	2,073	0,343	2,353	9,350	90,450	0,273	0,337	0,918



Obr. 28. Drsnost povrchu 2D



Obr. 29. Histogram



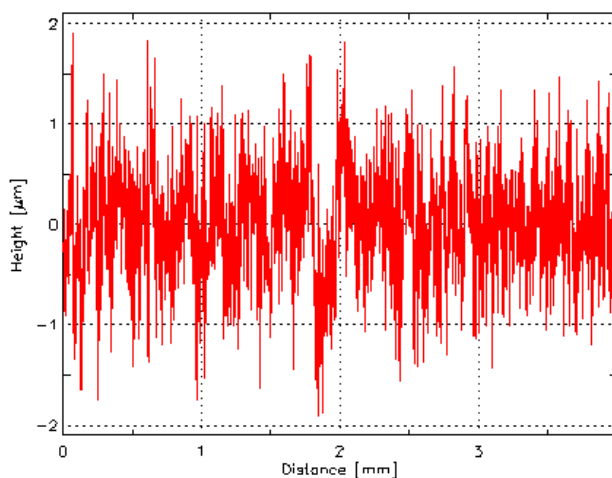
Obr. 30. Nosná křivka

Broušená deska

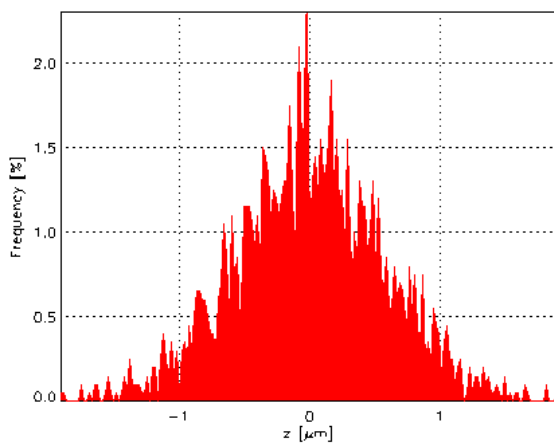
x = [0.800 mm, 4.800 mm]

Tab. 18. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro broušenou desku

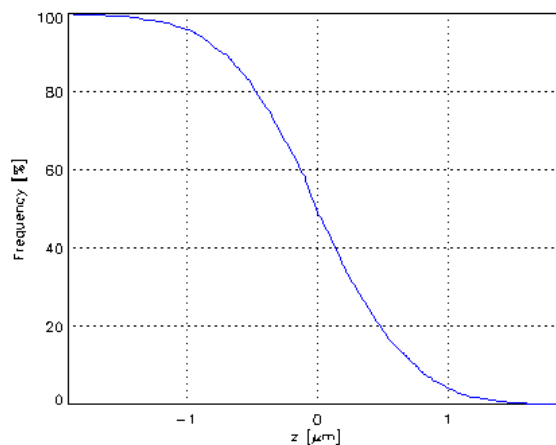
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
0,453	3,568	0,576	3,814	11,750	90,550	0,553	0,583	1,443



Obr. 31. Drsnost povrchu 2D



Obr. 32. Histogram



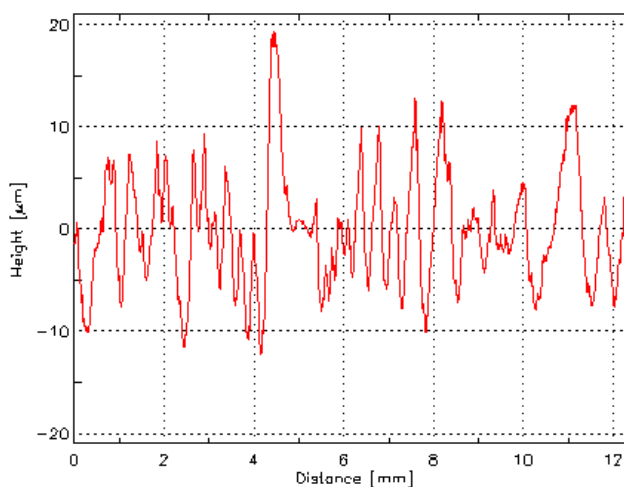
Obr. 33. Nosná křivka

Frézovaná deska

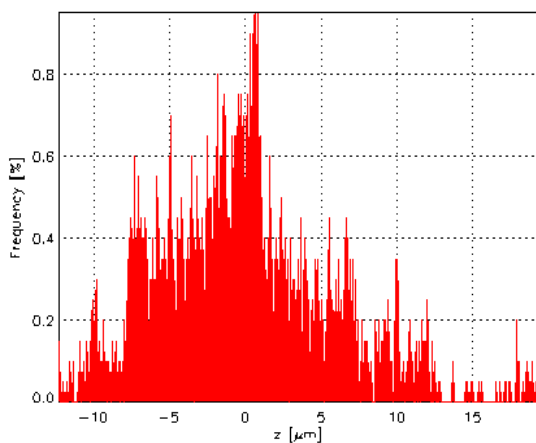
x = [2.500 mm, 15.000 mm]

Tab. 19. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro frézovanou desku

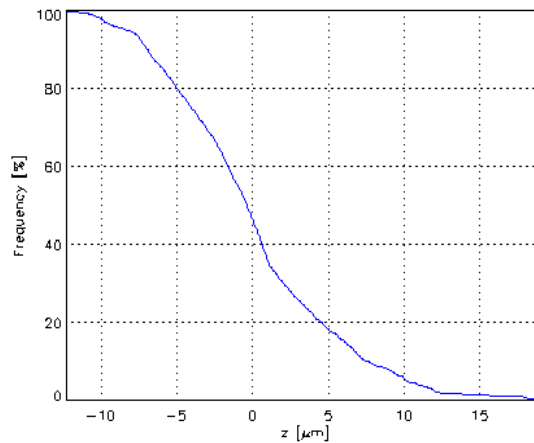
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
4,393	23,757	5,683	31,628	17,200	92,100	7,629	3,665	12,663



Obr. 34. Drsnost povrchu 2D



Obr. 35. Histogram



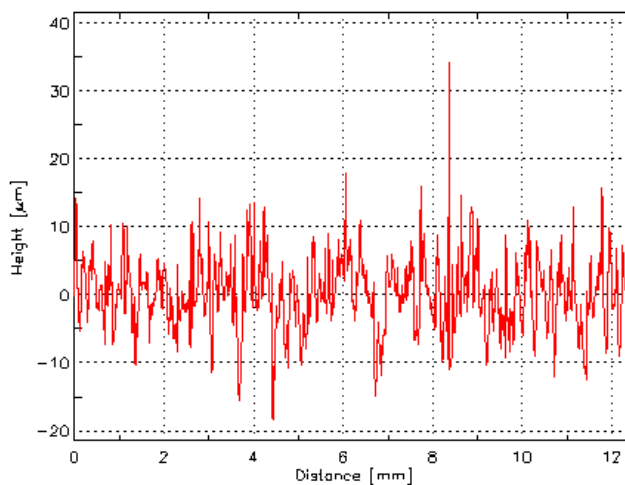
Obr. 36. Nosná křivka

Elektrojiskrové obrábění (deska s jemným dezénem)

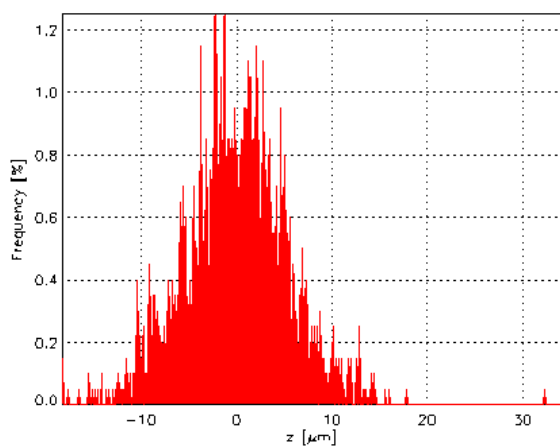
$x = [2.500 \text{ mm}, 15.000 \text{ mm}]$

Tab. 20. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro jemný dezén

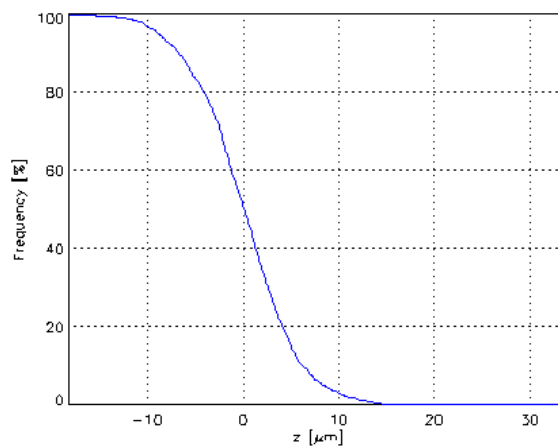
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
4,069	38,275	5,272	52,388	9,550	87,850	6,039	5,835	12,274



Obr. 37. Drsnost povrchu 2D



Obr. 38. Histogram



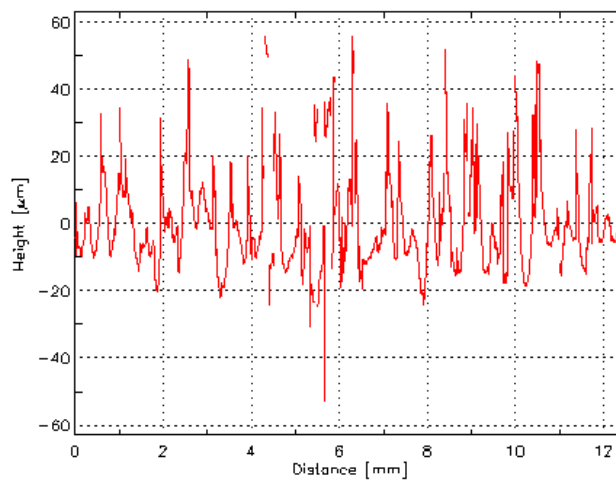
Obr. 39. Nosná křivka

Elektrojiskrové obrábění (deska s hrubým dezénem)

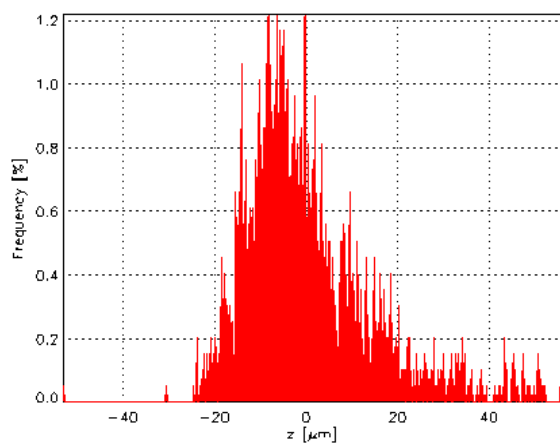
$x = [2.500 \text{ mm}, 15.000 \text{ mm}]$

Tab. 21. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro hrubý dezén

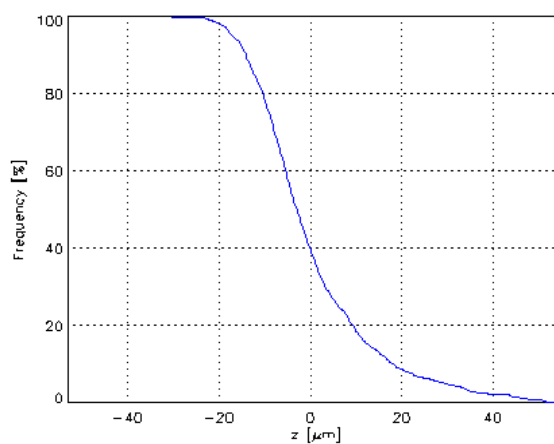
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
10,386	89,694	13,954	109,065	19,685	93,912	25,805	6,751	25,478



Obr. 40. Drsnost povrchu 2D



Obr. 41. Histogram



Obr. 42. Nosná křivka

4.3.3 Bezdotykové snímání plochy ve 3D

Parametry 3D jsou počítány z celé plochy, což nám umožňuje lépe kvantifikovat mikrogeometrii povrchu. Tyto parametry jsou odvozeny od parametrů 2D.

Nastavení přístroje:

plocha:	1 x 1 mm ² / 250 000 bodů
krok:	2 μm
frekvence:	300 Hz
Strength:	50

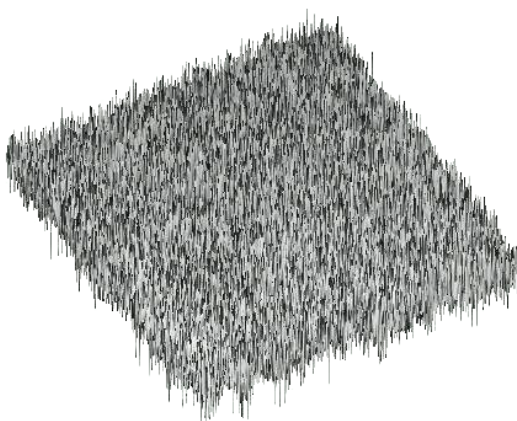
Leštěná deska

x = [0.200 mm, 1.200 mm]

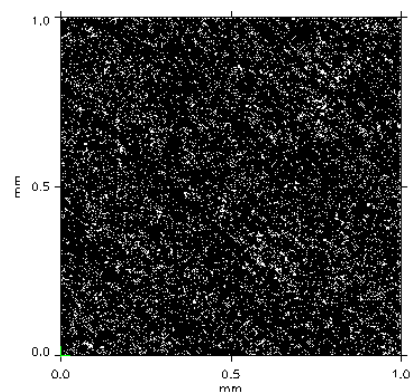
y = [0.200 mm, 1.200 mm]

Tab. 22. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro leštěnou desku

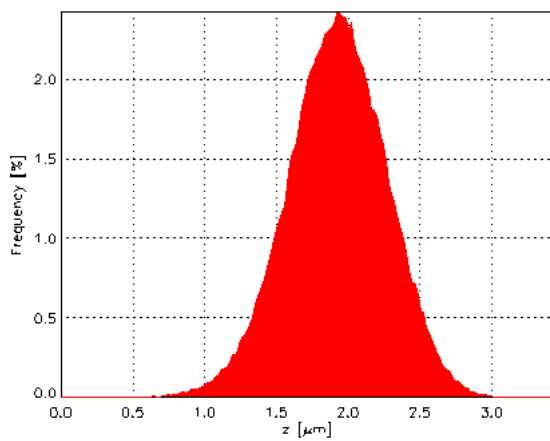
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
0,272	3,092	0,342	3,435	9,662	90,764	0,298	0,363	0,891



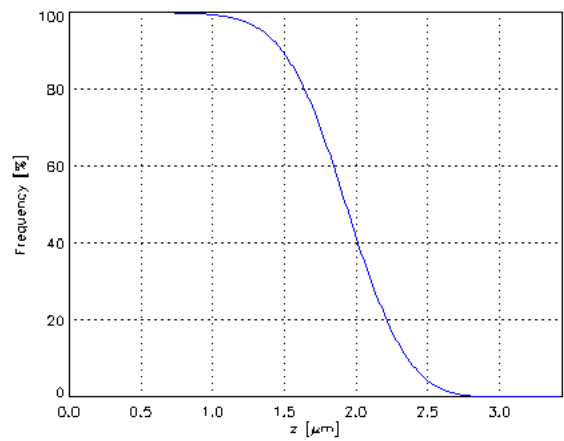
Obr. 43. Drsnost povrchu 3D



Obr. 44. Snímek plochy



Obr. 45. Histogram



Obr. 46. Nosná křivka

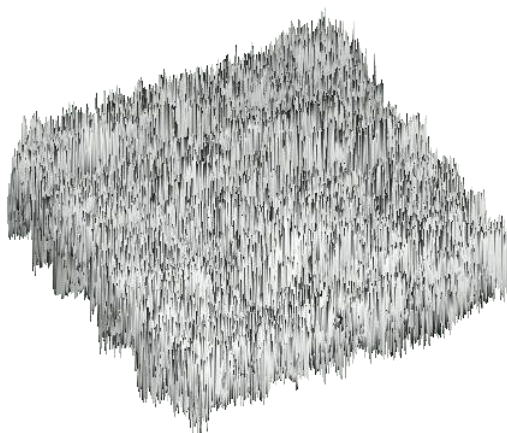
Broušená deska

x = [0.200 mm, 1.200 mm]

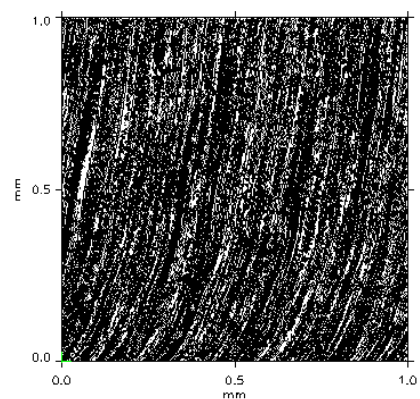
y = [0.200 mm, 1.200 mm]

Tab. 23. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro broušenou desku

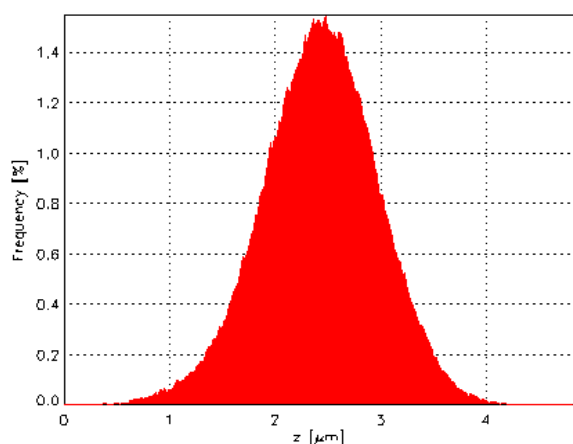
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
0,431	4,320	0,545	4,839	9,573	90,377	0,499	0,593	1,400



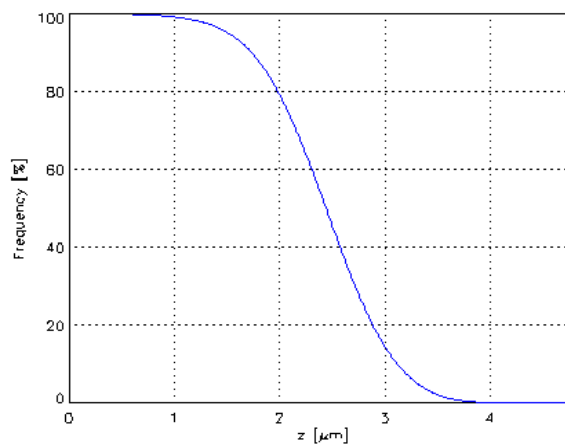
Obr. 47. Drsnost povrchu 3D



Obr. 48. Snímek plochy



Obr. 49. Histogram



Obr. 50. Nosná křivka

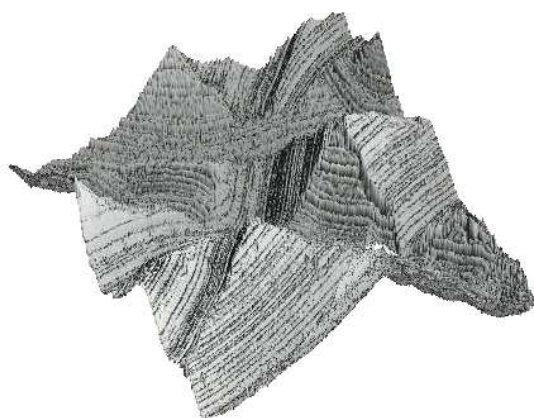
Frézovaná deska

x = [0.500 mm, 1.500 mm]

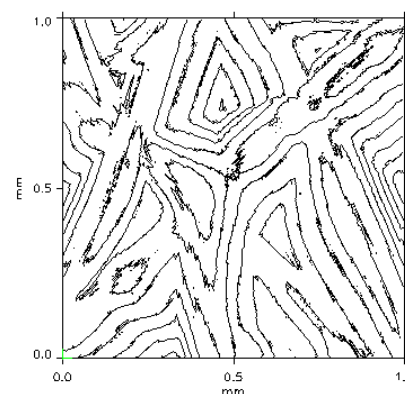
y = [0.500 mm, 1.500 mm]

Tab. 24. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro frézovanou desku

Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
3,824	23,773	4,739	30,868	12,761	94,707	5,945	2,788	12,347

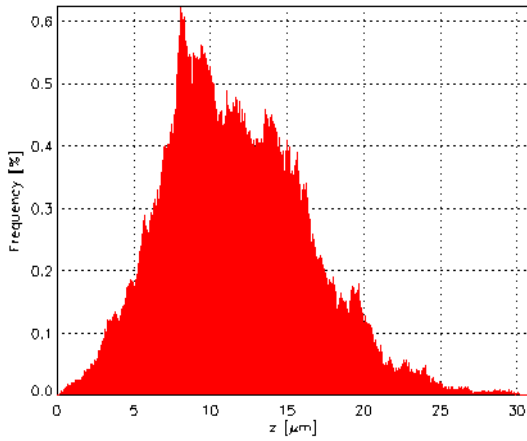


51. Drsnost povrchu 3D

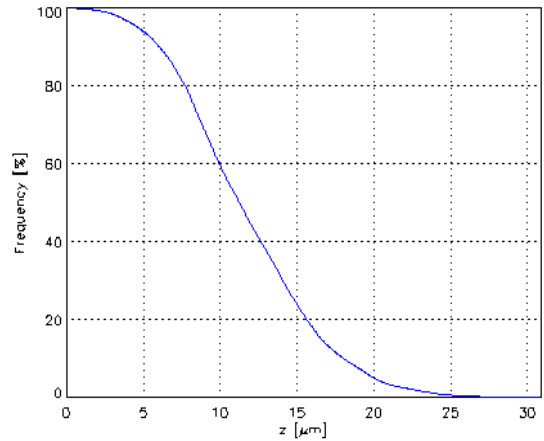


Obr.

Obr. 52. Snímek plochy



Obr. 53. Histogram



Obr. 54. Nosná křivka

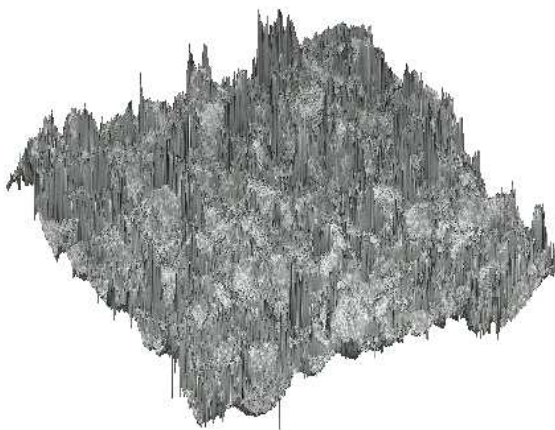
Elektrojiskrové obrábění (deska s jemným dezénem)

x = [0.625 mm, 1.625 mm]

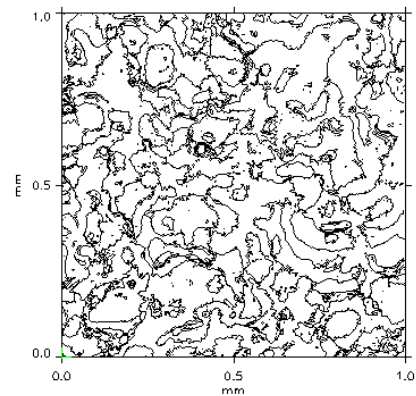
y = [0.625 mm, 1.625 mm]

Tab. 25. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro jemný dezén

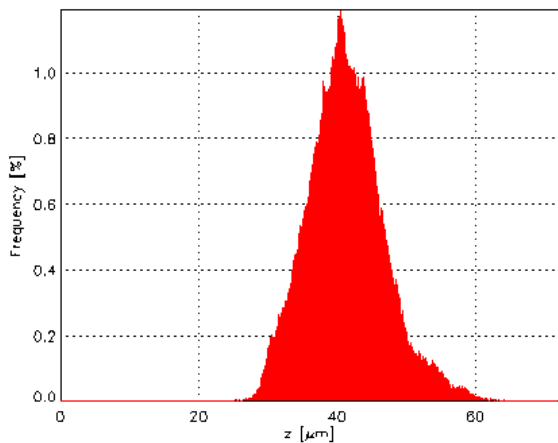
Ra	Rz	Rq	Rt	Mr1	Mr2	Rpk	Rvk	Rk
[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[%]	[%]	[μm]	[μm]	[μm]
4,373	57,617	5,617	72,106	11,258	91,306	7,727	4,409	13,810



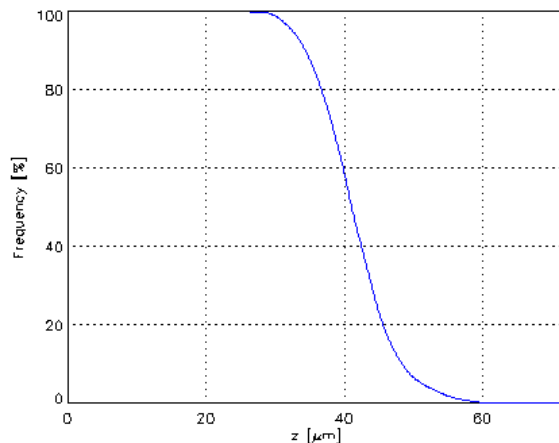
Obr. 55. Drsnost povrchu 3D



Obr. 56. Snímek plochy



Obr. 57. Histogram



Obr. 58. Nosná křivka

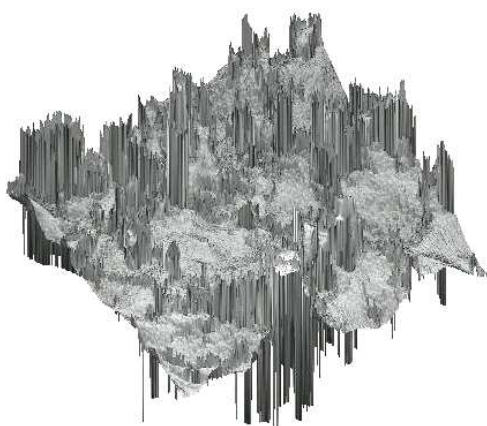
Elektrojiskrové obrábění (deska s hrubým dezénem)

x = [0.625 mm, 1.625 mm]

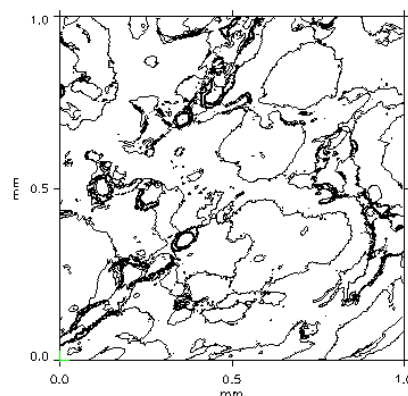
y = [0.625 mm, 1.625 mm]

Tab. 26. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro hrubý dezén

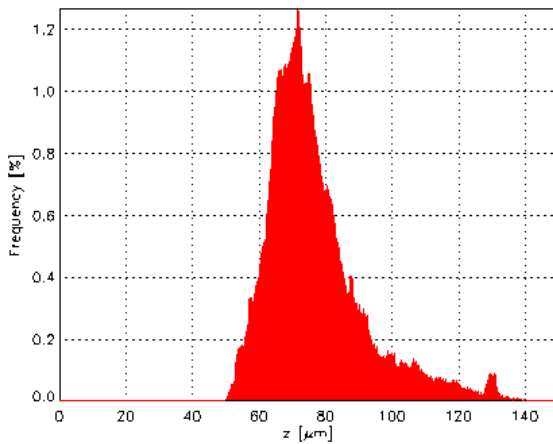
Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
11,039	118,703	14,919	149,753	18,580	93,575	29,958	6,627	27,013



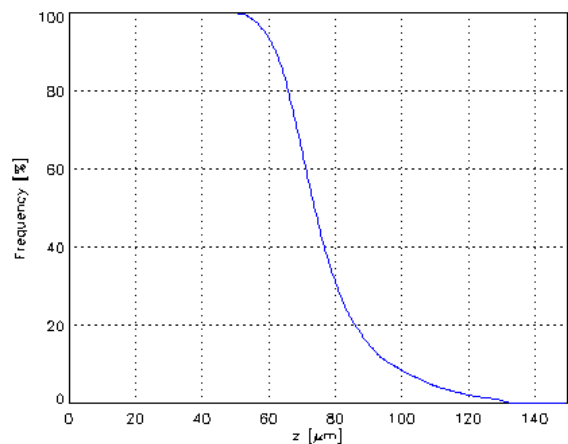
Obr. 59. Drsnost povrchu 3D



Obr. 60. Snímek plochy

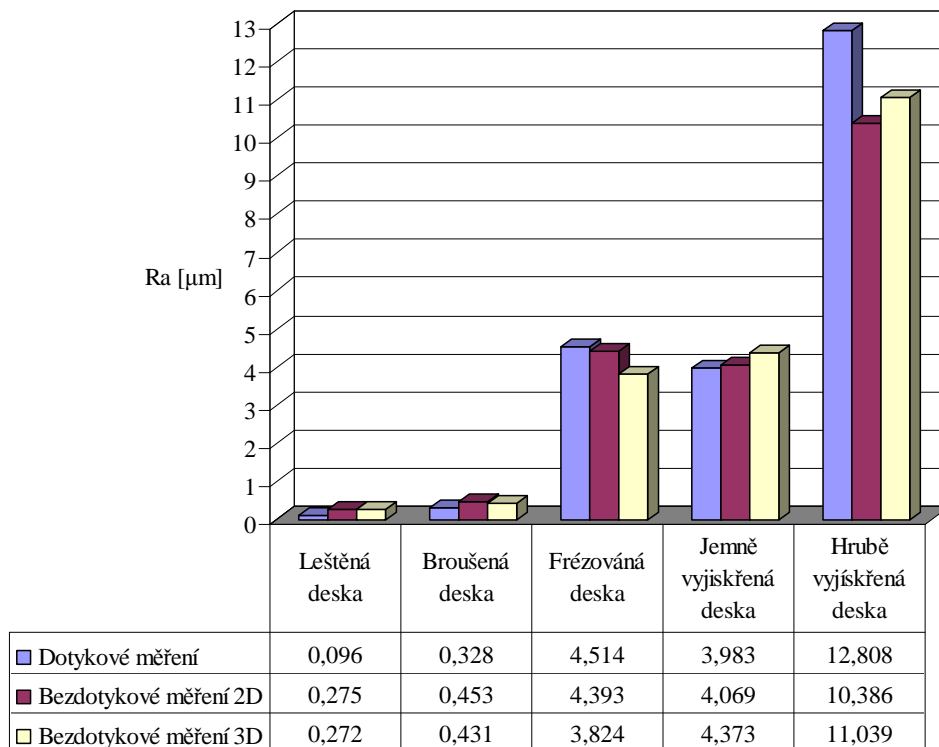


Obr. 61. Histogram



Obr. 62. Nosná křivka

4.4 Porovnání dotykové a bezdotykové metody měření struktury povrchu na základě parametru drsnosti Ra



Obr. 63. Porovnání dotykové a bezdotykové metody měření

5 OVLIVNĚNÍ JAKOSTI POVRCHU PŘI ZMĚNĚ TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK OBRÁBĚNÍ

Pro hodnocení vlivu jakosti na změnu technologických podmínek byly měřeny frézované plastové desky vyrobené z 5 různých materiálu (PC, PTFE, PA6, PE, PVC).

Každý materiál byl frézován sousledně stopkovou válcovou frézou \varnothing 10mm:

- při posuvových rychlostech $v_f = 1200, 1400, 1600, 1800$ a 2000 mm/min, a konstantní řezné rychlosti $v_c = 502,4$ m/min, hloubce řezu $h = 6$ mm.
- při řezných rychlostech $v_c = 251,2; 376,8; 502,4; 628$ a $753,6$ m/min a konstantní posuvové rychlosti $v_f = 1600$ mm/min, hloubce řezu $h = 6$ mm.
- při hloubce řezu $h = 2, 4, 6, 8, 10$ mm a konstantní posuvové rychlosti $v_f = 1600$ mm/min, řezné rychlosti $v_c = 502,4$ m/min.

Měření parametrů drsnosti povrchu bylo prováděno na deseti různých místech desky, při změně posuvové rychlosti, řezné rychlosti a hloubce řezu na dotykovém měřicím přístroji Surftest SJ-301 od firmy Mitutoyo. Na naměřené hodnoty se dále aplikovala jednoduchá statistika, a to aritmetický průměr X , směrodatná odchylka σ a rozpětí R .

Vyhodnocované parametry byly měřeny jak z profilu drsnosti R tak z profilu DIN 4776.

Naměřené hodnoty a grafické vyjádření parametrů textury povrchu pro vybraný materiál polyamid PA6 při změně technologických podmínek jsou uvedeny v přílohách, pro ostatní materiály na přiloženém CD.

Souhrnné grafické vyhodnocení měření závislosti drsnosti povrchu R_a a materiálového podílu R_{mr} na změnu technologických podmínek je uvedeno v kapitole 5.3.

5.1 Vlastnosti použitých materiálů

5.1.1 Polykarbonát PC

Tyto termoplastické materiály vynikajících mechanických vlastností jsou polyestery, ve kterých tvoří kyselou složku kyselina uhličitá. Alkoholickou složku tvoří převážně aromatické dvojfunkční alkoholy.

Polykarbonáty jsou nažloutlé barvy, velmi transparentní a propouští až 90% světla ve viditelné oblasti. Teplota skelného přechodu T_g u PC je 150 °C a jeho trvalá teplota použití je v rozmezí 115-125 °C.

Mechanickými vlastnostmi patří polykarbonáty k nejlepším typům plastů. Jsou zajímavé tím, že i když jsou velmi tvrdé a mají vysoké pevnosti, jsou i pozoruhodně houževnaté, pružné a rozměrově stálé. Je možné je svařovat i lepit. Svařují se obvykle hořícím vzduchem, lepí rozpouštědly nebo epoxidy.

Polykarbonáty vynikají vysokou rozměrovou stabilitou. I když patří k dražším polymerům, nalézají rozsáhle aplikace v oblasti elektrotechniky i obalové techniky [18,19].

5.1.2 Polytetrafluoretylen PTFE

Připravuje se polymerací fluorových derivátů etylénu (monofluoretylénu, difluoretylénu, tetrafluoretylénu) za přítomnosti katalyzátorů. Charakteristické vlastnosti polytetrafluoretylénu, jako nerozpustnost a vysoká teplota tavení, zapříčiňují těžkosti při jeho zpracování.

Některé vlastnosti PTFE nelze stanovit jako například pevnost v ohybu, protože vzorek se jen deformuje. Tvrdost není vysoká, povrch se snadno poškrábe. Teplota tání PTFE je 327 °C, prakticky je použitelný do 260 °C. Má vynikající kluzné vlastnosti v důsledku velmi nízké povrchové energie. Elektrické vlastnosti polymeru jsou rovněž vynikající a nemění se s teplotou od -100 do 300 °C.

I když jeho zpracování je obtížné (sintrování, resp. pultruze), rozšiřuje se rychle zvláště ve formě tenkých nánosů na kovech, kde zajišťuje vynikající kluzné vlastnosti [18,19].

5.1.3 Polyamid PA

Polyamidy jsou lineární polymery. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou PA s alifatickými řetězci. K jednoduchému označení alifatických PA byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězců: PA6, PA66, PA610.

Polyamidy se dají dobře mechanicky obrábět různými způsoby, např. soustružením, řezáním, frézováním atd. Polyamidové součásti se také dají navzájem spojovat lepením nebo svařováním teplem (tepelným impulsem). Typické PA jsou v tuhé stavu 30 až 50 % krystalické a neprůhledné a zpracovávají se ze 74 % vstřikováním, 22% vytlačováním, zbytek litím a ostatními postupy.

PA mají úzký rozsah teplot tání a tuhnutí (teplota tání PA6 je 218 °C). Mají vysokou houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a jejich dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití PA jako polymerního materiálu. Mechanické vlastnosti polyamidu jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody [18,19].

5.1.4 Polyetylen PE

Polyetylen se vyrábí polymerací etylénu různou polymerizační technikou. Při vysokotlakém způsobu přípravy polyetylenu se etylen stlačí na tlak 500 až 3000 at v reaktoru vyhřátém na 200 až 400 °C za přítomnosti kyslíku.

Nízkotlaký polyetylen, vyráběný podle Zieglera je na trhu od r. 1955. Namísto vysokých tlaků se pracuje se směsí katalyzátorů titántri- nebo tetrachloridu s trietylalumiinem v prostředí nasyceného uhlovodíku.

PE je nejsnáze a tudíž i nejlevnější dostupný polymer z ropy. Je to látka částečně krystalická podobná svou molekulární strukturou parafínům, od kterých se odlišuje větší délkou řetězců, tedy i větší molekulovou hmotností a určitým obsahem amorfních podílů v amorfní i krystalické oblasti.

Téměř všechny vlastnosti PE závisí ve značné míře na teplotě. Předměty z PE zůstávají trvalé stále do teplot okolo 100 °C.

Polyetylen je hořlavý, proti působení vody celkem stálý, teplota tání rozvětveného polyetylenu (rPE) je 110 °C, lineárního polyetylenu (lPE) 130 °C [18,19].

5.1.5 Polyvinylchlorid PVC

Je snad nejznámější plastickou hmotou. Její monomer vinylchlorid se nejčastěji vyrábí adicí chlorovodíku na acetylén. Vinylchlorid se polymeruje převážně v suspenzi, starší emulsní polymerace byla většinou opuštěná.

PVC je termoplastický polymer, při teplotách 145 – 170 °C počíná téci pod tlakem, při vyšších teplotách se rozkládá. Jeho rozklad urychlují kovy jako železo, zinek apod. Před

zpracováním se musí chránit stabilizací. Při rozkladu uvolňuje HCl, a produkt se zbarvuje dohněda. Rozklad je podporován účinkou světla. Je nerozpustný ve vodě, kyselinách i zásadách, v benzínu a olejích. Rozpuští se v ketonech, chlorovaných uhlovodících.

Prakticky se PVC zpracovává ve směsích poskytujících tvrdý PVC ($T_g = 85 \text{ °C}$), který téměř neobsahuje změkčovadla a měkký typ PVC ($T_g = -40 \text{ °C}$), často se značným obsahem změkčovadel. Samotný PVC se nezpracovává, mísí se z mnoha přísadami, z nichž nejdůležitější jsou změkčovadla, které mění pronikavě původní vlastnosti hmoty [18,19].

5.2 Speciální vlastnosti plastů s ohledem na operace obrábění

Oproti obrábění kovů se jedná o tyto odlišnosti:

- větší tepelná roztažnost plastů způsobuje změnu rozměrů obráběné součásti při obrábění;
- malá tepelná vodivost způsobuje větší tepelné zatížení břitu nástroje, a tím i jeho intenzivnější opotřebení;
- některé plasty mají velkou adhezi k materiálu břitu nástroje, proto při optimálních řezných podmínkách dochází k opotřebení břitu nástroje především adhezním otěrem;
- při obrábění vystužených plastů dochází k opotřebením břitu nástroje především abrazivním otěrem;
- menší hodnoty měrných řezných odporů plastů umožňují volit větší úhel čela a úhel hřbetu;

- tvoření třísky je ovlivněno strukturou materiálu:
 - u nevystužených plastů se třísky tvoří principem plastické deformace, tedy obdobným způsobem jako u ocelí,
 - u vystužených plastů dochází k tvoření třísky křehkým lomem nebo štěpením, tj. obdobně jako u litiny;
- anizotropní plasty jsou v některých směrech špatně obrobitelné a dochází k vyštipování materiálu, zejména na hranách obrobku;
- různé druhy plastů se při vyšších teplotách chovají různě: termoplasty měknou, reaktoplasty uhebnatí;
- ve styku s chladicími kapalinami může u některých plastů dojít k bobtnání nebo k chemickému narušení povrchu součásti;

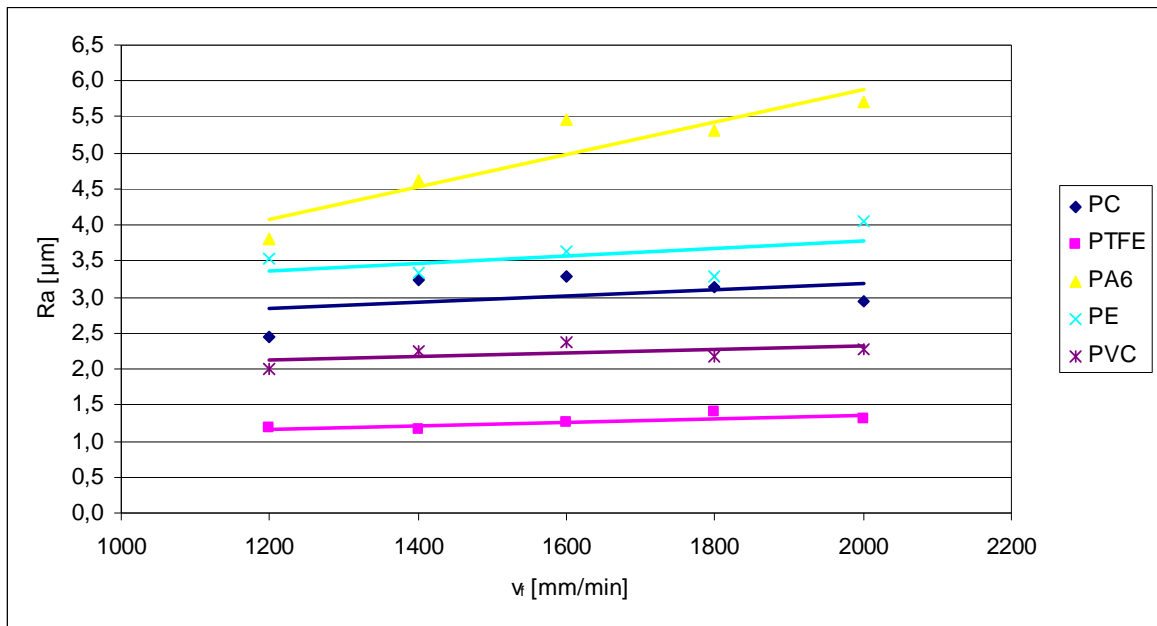
5.3 Grafické vyhodnocení závislosti drsnosti R_a a materiálového podílu R_{mr} na změnu technologických podmínek

Pro grafické vyhodnocování parametrů drsnosti povrchu byly použity jejich vypočítané průměrné hodnoty. Vynesené body u grafů pro jednotlivé plasty byly proloženy logaritmickými křivkami.

5.3.1 Závislost R_a a R_{mr} při změně posuvové rychlosti v_f pro jednotlivé materiály

Tab. 27. Drsnosti povrchů R_a při různých posuvových rychlostech, při konstantní řezné rychlosti a při konstantní hloubce řezu

R_a [μm]	1200 mm/min	1400 mm/min	1600 mm/min	1800 mm/min	2000 mm/min
PC	2,449	3,229	3,290	3,128	2,930
PTFE	1,185	1,163	1,266	1,417	1,305
PA6	3,807	4,632	5,451	5,321	5,712
PE	3,540	3,327	3,642	3,292	4,060
PVC	2,000	2,245	2,375	2,179	2,277



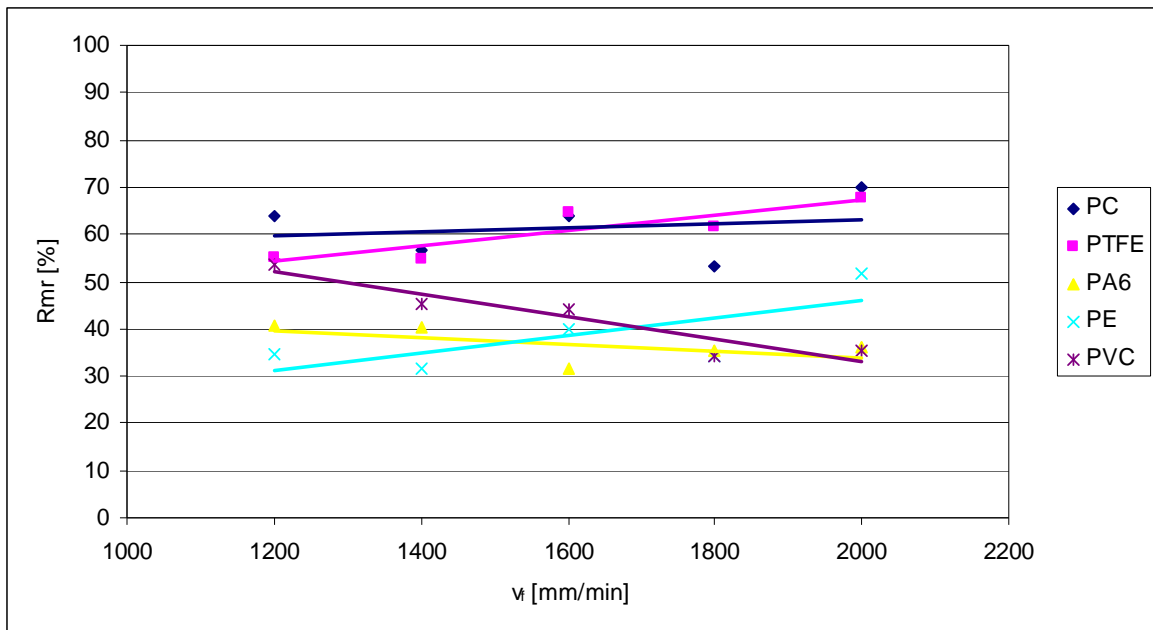
Obr. 64. Závislost parametru drsnosti R_a při změně posuvové rychlosti v_f

Graf na (Obr. 64) zobrazuje závislost drsnosti R_a na změnu posuvové rychlosti v_f . Logaritmické křivky ukazují mírný nárůst hodnoty drsnosti R_a , až na PA6, u nějž je nárůst drsnosti strmější v závislosti na rostoucí posuvové rychlosti v_f .

Při zvyšování posuvové rychlosti docházelo k natavování materiálu pod nástrojem a začaly se tvořit rýhy, což vedlo k zhoršení drsnosti povrchu zejména u PA6.

Tab. 28. Materiálový podíl R_{mr} při různých posuvových rychlostech, při konstantní řezné rychlosti a při konstantní hloubce řezu

Rmr [%]	1200 mm/min	1400 mm/min	1600 mm/min	1800 mm/min	2000 mm/min
PC	64,0	56,5	63,9	53,1	69,9
PTFE	55,1	54,9	64,7	61,7	67,7
PA6	40,7	40,2	31,7	35,2	36,2
PE	34,7	31,4	40,0	34,4	51,7
PVC	53,7	45,3	44,2	34,2	35,2



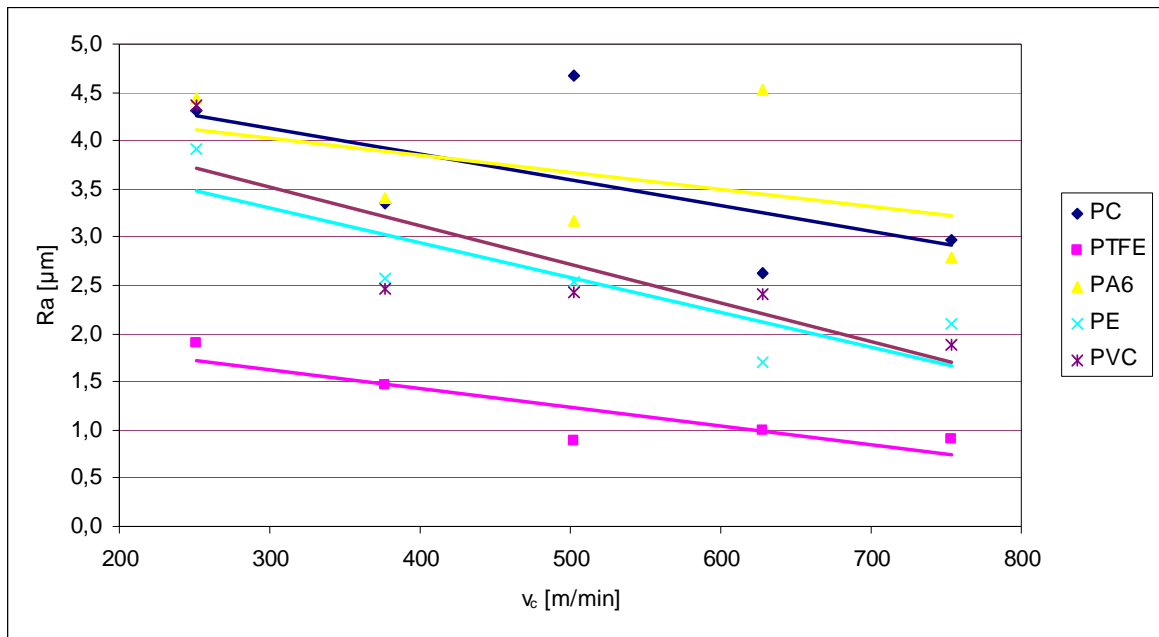
Obr. 65. Závislost materiálového podílu Rmr při změně posuvové rychlosti v_f

Graf na (Obr. 65) zobrazuje závislost materiálového podílu Rmr na změnu posuvové rychlosti. Z průběhu logaritmických křivek lze vyčíst, že materiálový podíl klesá s rostoucí posuvovou rychlostí u PVC a PA6. U ostatních plastů můžeme sledovat mírný nárůst materiálového podílu.

5.3.2 Závislost Ra a Rmr při změně řezné rychlosti v_c pro jednotlivé materiály

Tab. 29. Drsnosti povrchů Ra při různých řezných rychlostech, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní hloubce řezu

Ra [μm]	251,2 m/min	376,8 m/min	502,4 m/min	628 m/min	753,6 m/min
PC	4,304	3,347	4,680	2,624	2,978
PTFE	1,898	1,476	0,882	0,999	0,907
PA6	4,440	3,413	3,170	4,524	2,792
PE	3,919	2,581	2,532	1,701	2,104
PVC	4,357	2,466	2,428	2,408	1,876



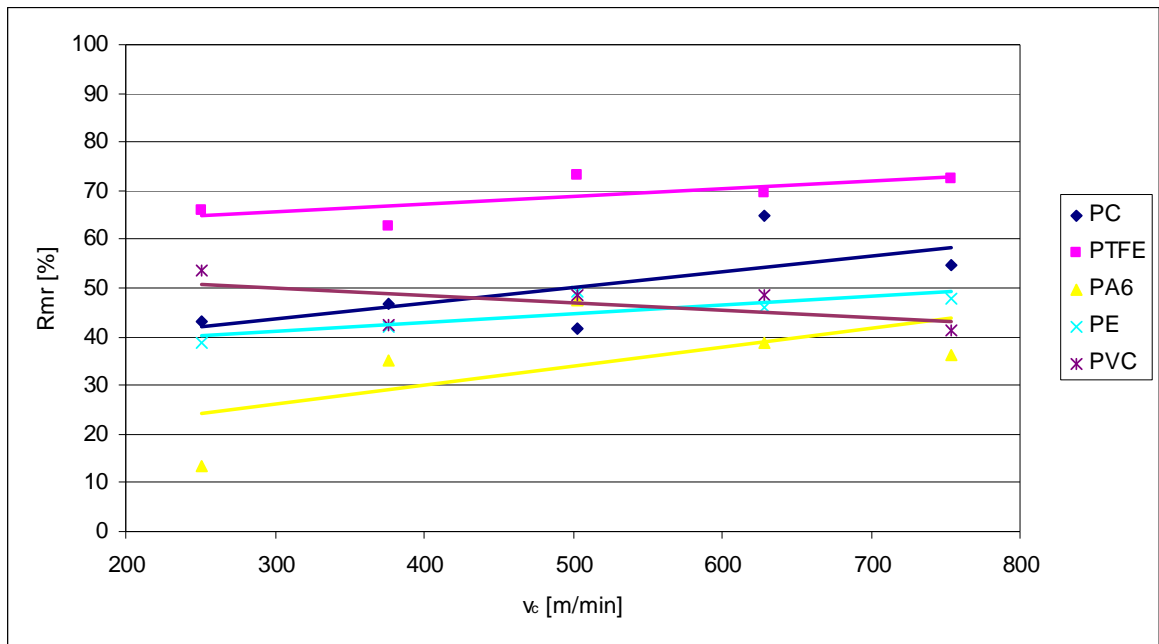
Obr. 66. Závislost parametru drsnosti R_a při změně řezné rychlosti v_c

Graf na (Obr. 66) ukazuje závislost drsnosti R_a na změnu řezné rychlosti v_c . Logaritmické křivky u všech měřených plastů mají klesající tendenci hodnoty R_a v závislosti na rostoucí řezné rychlosti, což odpovídá i teoretickým předpokladům.

Nejvyšší hodnoty drsnosti byly naměřeny u polykarbonátu při řezné rychlosti $v_c = 502,4$ m/min a u polyamidu při řezné rychlosti $v_c = 628$ m/min.

Tab. 30. Materiálový podíl R_{mr} při různých řezných rychlostech, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní hloubce řezu

R_{mr} [%]	251,2 m/min	376,8 m/min	502,4 m/min	628 m/min	753,6 m/min
PC	43,1	46,6	41,6	64,7	54,7
PTFE	66,1	62,8	73,2	69,6	72,5
PA6	13,5	35,3	47,3	38,6	36,3
PE	38,7	41,9	49,4	46,0	47,7
PVC	53,7	42,3	48,4	48,5	41,2



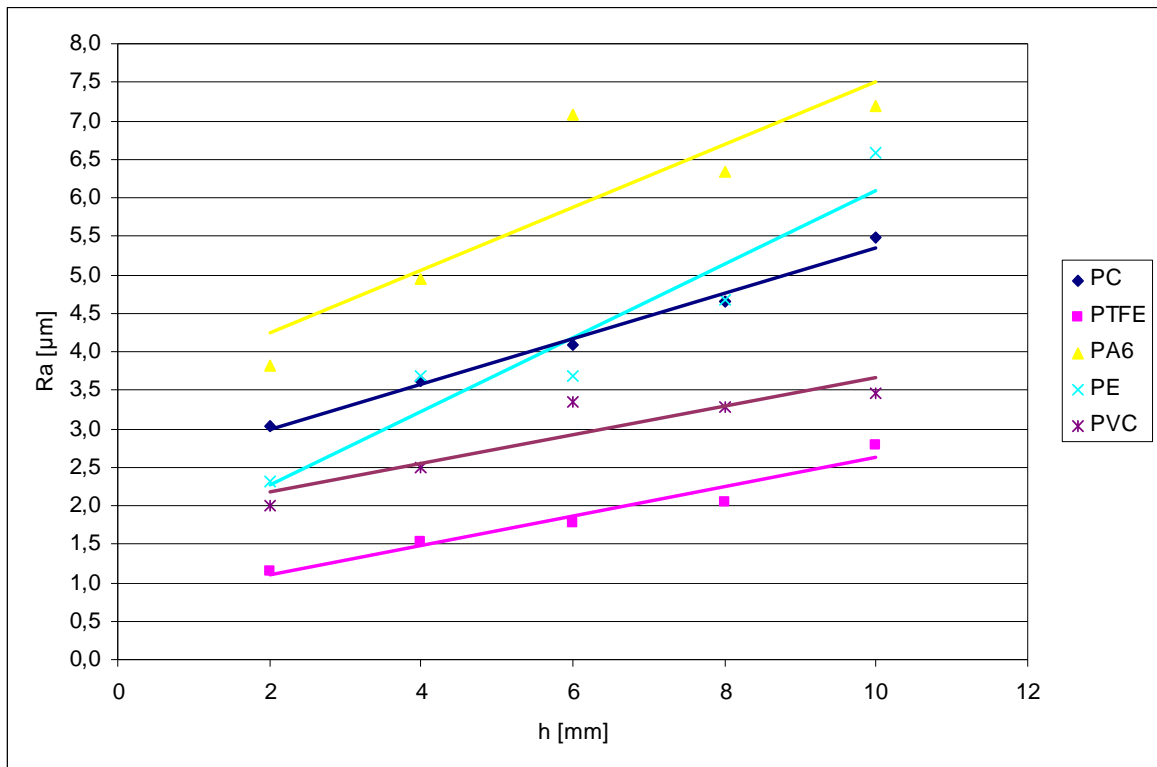
Obr. 67. Závislost materiálového podílu Rmr při změně řezné rychlosti v_c

Graf na (Obr. 67) zobrazuje závislost materiálového podílu Rmr na změnu řezné rychlosti. Materiálový podíl u PVC s rostoucí řeznou rychlostí mírně klesá. U ostatních materiálu má mírně stoupající tendenci. Nejmenší hodnota materiálového podílu byla naměřena u PA6 při řezné rychlosti $v_c = 251,2$ m/min.

5.3.3 Závislost Ra a Rmr při změně hloubky řezu h pro jednotlivé materiály

Tab. 31. Drsnosti povrchů Ra při různých hloubkách řezu, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní řezné rychlosti

Ra [μm]	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
PC	3,039	3,619	4,083	4,643	5,476
PTFE	1,155	1,534	1,784	2,044	2,794
PA6	3,830	4,939	7,083	6,343	7,199
PE	2,313	3,681	3,676	4,668	6,593
PVC	2,007	2,485	3,355	3,278	3,453



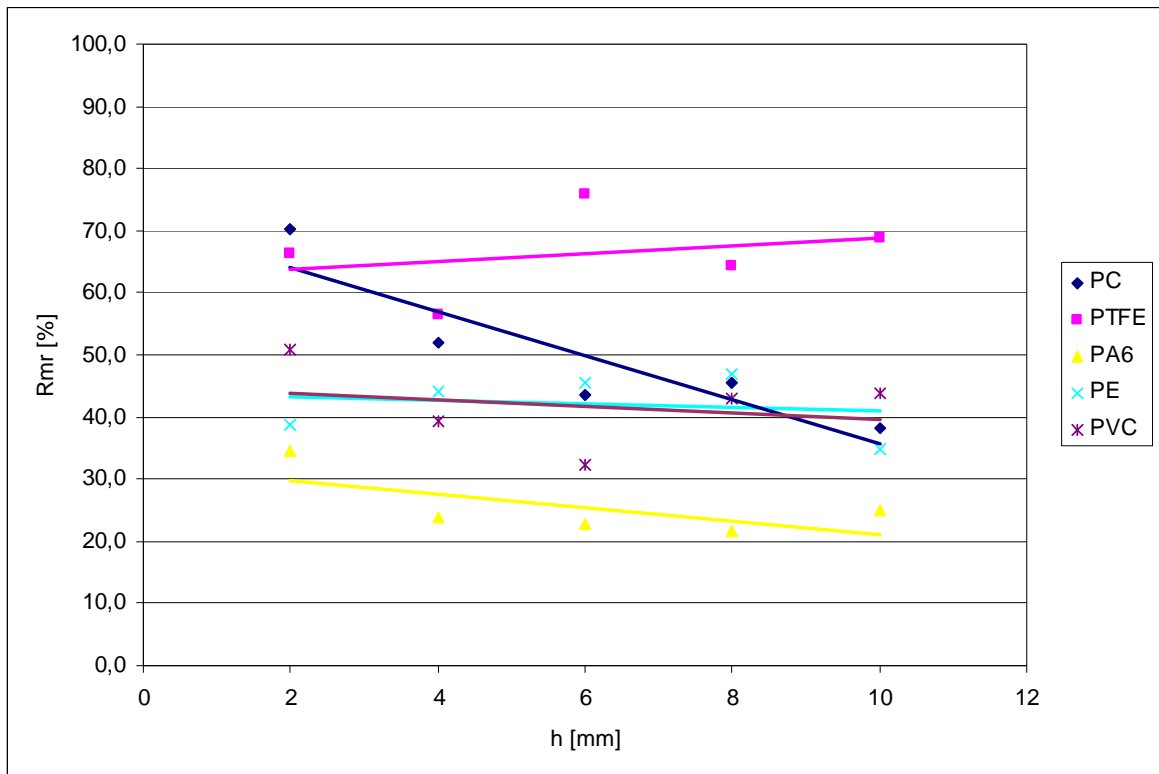
Obr. 68. Závislost parametru drsnosti Ra při změně hloubky řezu h

Graf na (Obr. 68) zobrazuje závislost drsnosti Ra na změnu hloubky řezu h. Křivky u všech materiálů mají rostoucí tendenci hodnot Ra v závislosti na zvětšující se hloubce řezu.

Při zvyšování hloubky řezu h dochází k odebrání většího množství materiálu, což vede k tzv. vytrhávání materiálu z obráběného povrchu a jeho natavování pod nástrojem. Tím potom dochází k vytváření drsnějšího povrchu.

Tab. 32. Materiálový podíl Rmr při různých hloubkách řezu, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní řezné rychlosti

Rmr [%]	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
PC	70,3	52,1	43,5	45,5	38,1
PTFE	66,3	56,6	75,8	64,2	68,8
PA6	34,6	23,8	22,8	21,5	24,9
PE	38,9	44,2	45,4	46,8	34,9
PVC	50,8	39,2	32,4	42,9	43,7



Obr. 69. Závislost materiálového podílu Rmr při změně hloubky řezu h

Graf na (Obr. 69) zobrazuje závislost hodnoty Rmr na hloubce řezu h . Logaritmická křivka u PTFE nám ukazuje mírný nárůst materiálového podílu se zvětšující se hloubkou řezu. U ostatních materiálu je vidět mírný pokles. Jen u PC je logaritmická křivka poklesu materiálového podílu strmější.

6 POROVNÁNÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ Z HLEDISKA JAKOSTI POVRCHU

Při porovnávání materiálu z hlediska jakosti povrchu, byly měřeny broušené vzorky tvaru kvádrů ze sedmi různých materiálů: oceli třídy – 12 050, 14 100, 17 027, 19 436, dále titan, měď, hliník.

U všech uvedených materiálů byly měřené plochy broušeny za stejných technologických podmínek při posuvu 16 m/min a hloubce odebírané vrstvy 0,04 mm.

Měření parametrů textury povrchu bylo prováděno na deseti různých místech vzorků, na dotykovém měřícím přístroji SurfTest SJ-301 od firmy Mitutoyo. Na naměřené hodnoty se dále aplikovala jednoduchá statistika, a to aritmetický průměr \bar{X} , směrodatná odchylka σ a rozpětí R .

Vyhodnocované parametry byly měřeny jak z profilu drsnosti R , tak z profilu DIN 4776.

6.1 Vlastnosti měřených materiálů

6.1.1 Ocel třídy 12 050

Oceli třídy 12 ... jsou konstrukční oceli uhlíkové určené k zušlechťování. Obsah uhlíku u těchto ocelí bývá od 0,3 % C po 0,7 % C. Při kalení je však nutno počítat s jejich malou prokalitelností. Pokud je tloušťka stěny větší než 20 mm, jsou již prokalené vrstvy slabé.

Ocel 12 050 má obsah uhlíku 0,4 – 0,5 % C a kalící teplotu 820 – 850 °C do vody a 830 – 860 °C do oleje. Popouštěcí teplota je 530 – 670 °C [20].

6.1.2 Ocel třídy 14 100

Oceli třídy 14 ... jsou oceli chromové, chromomanganové a chromokřemíkové určené k zušlechťování. Obsahují obvykle 0,35 - 0,4 % C a od 0,8 - 1,6 % Cr a 1,6 - 1,9 % Mn a to podle účelu použití. Obsahují-li Si asi 1 - 1,3 % jsou používány na pružiny. Chromomanganové pak hlavně na jakostní ruční nářadí.

Kalící teplota 840 – 880 °C do oleje i vody. Popouštěcí 550 – 600 °C rovněž olej nebo voda. Rovněž se u těchto ocelí používá i cementování [20].

6.1.3 Ocel třídy 17 027

Oceli třídy 17 ... jsou nerezavějící oceli a žáruvzdorné a oceli na trvalé magnety. Ocel 17 027 má obsah hlavních přísad 0,15 – 0,25 % C a 14 – 16 % Cr. Kalící teplota je 1000 – 1050 °C a chladí se do oleje. Popouštění se provádí při teplotě 650 – 710 °C a na vzduchu [20].

6.1.4 Ocel třídy 19 436

Oceli třídy 19 ... jsou nástrojové oceli a to jako nástrojové oceli uhlíkové a nástrojové oceli slitinové.

Ocel 19 436 je nástrojová ocel slitinová a má hlavní přísady: 1,8 – 2,1 % C, max. 0,5 % Mn, max. 0,5 % Si a max. 11 – 13 % Cr. Ocel se používá na hlubokotažné nástroje, lisovací trny, závitové nástroje řezné i tlačené, výstružníky, protahovací trny, frézy, strojní pilky na kov, nože k nůžkám, nože na výrobu hřebíků, malé průvlaky, trny na válcování ocelových trubek za studena, kladiva drtičů, soustružnické nože. Lisovací nářadí na vysekováání zubů pil na dřevo. Kalení se provádí při teplotě 920 – 950 °C [20].

6.1.5 Hliník

Číselné označování hliníku je řadou 424 Hliník je nepolymorfní kov, krystaluje v krychlové plošně středěné mřížce, má nízkou měrnou hmotnost ($2,69 \text{ g.cm}^{-3}$). Jeho tavící teplota je 660 °C, bod varu je 2060 °C. Má vysokou tepelnou a elektrickou vodivost. Mechanické hodnoty jsou závislé na chemické čistotě a způsobu zpracování (tváření za studena, za tepla apod.).

Má dobrou stálost na vzduchu, je dobře tvárný za studena i za tepla a proto se používá k tažení složitých profilů pro stavební účely. Slévatelné vlastnosti jsou však špatné, ale přísadovými prvky (např. ve slitinách Al-Si) získává velmi dobrou slévatelnost. Hlavní výhodou slitin hliníku je jejich měrná hmotnost, dobrá tepelná i elektrická vodivost a pomalý pokles houževnatosti při záporných teplotách [20].

6.1.6 Měď

Číselné označení mědi a jejích slitin je v řadě 423 Čistá měď je nepolymorfní kov červené barvy o měrné hmotnosti $8,9 \text{ g.cm}^{-3}$. Krystaluje v krychlové soustavě, tavní teplota je $1083 \text{ }^\circ\text{C}$, bod varu $2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro výbornou elektrickou a tepelnou vodivost a tvárnost za studena i za tepla je důležitým konstrukčním materiálem v elektrotechnice, tepelné technice, potravinářském a chemickém průmyslu.

Nejčastějšími slitinami mědi je mosaz a bronz. Legovacími prvky u slitin jsou olovo, mangan, nikl, křemík železo, kobalt, cín a zinek [20].

6.1.7 Titan

Titan je polymorfní kov bílé barvy s měrnou hmotností $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$, taví se za teploty $1668 \text{ }^\circ\text{C}$. V tuhém stavu má dvě modifikace, do teploty $882 \text{ }^\circ\text{C}$ existuje krystalická mřížka šesterečná s těsným uspořádáním (α -Ti) při vyšších teplotách krychlová, prostorově středěná (β -Ti). V měkkém stavu (žíhaný) má titan pevnost 550 MPa , tažnost 20% a tvrdost asi 17 HB . Dobře tvárný je za tepla od 880 do $980 \text{ }^\circ\text{C}$. Za vysokých teplot intenzivně oxiduje. Obrobitelnost titanu je špatná, svařitelnost vyhovující.

Titan tvoří základ mnoha technických slitin, jako legujících přísad se používá nejčastěji Mn, Al, Cr, Fe, V, Mo, a Cu.

Slitiny titanu se používají především v leteckém a raketovém průmyslu, ale začínají se rozšiřovat ve strojírenství (parní turbíny, lopatky, rotory aj.) a v chemické průmyslu (chladiče, kondenzátory, destilační kolony aj.) [20].

6.2 Naměřené parametry textury povrchu pro jednotlivé materiály

6.2.1 Ocel třídy 12 050

Tab. 33. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 12 050

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,41	2,79	0,52	2,79	69,00	0,80	4,00
2	0,43	2,81	0,54	2,81	61,00		
3	0,31	2,41	0,38	2,41	83,00		
4	0,34	2,18	0,44	2,18	61,00		
5	0,43	4,08	0,61	4,08	93,00		
6	0,31	2,24	0,38	2,24	49,00		
7	0,31	2,44	0,40	2,44	71,00		
8	0,42	3,12	0,53	3,12	63,00		
9	0,35	2,63	0,45	2,63	62,00		
10	0,42	3,31	0,54	3,31	79,00		
X	0,373	2,801	0,479	2,801	69,100		
σ	0,054	0,578	0,080	0,578	12,862		
R	0,12	1,90	0,23	1,90	44,00		

Tab. 34. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 12 050 (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	3,00	89,00	0,36	1,94	1,58
2	7,00	90,00	0,53	0,59	1,32
3	13,00	89,00	0,54	0,82	1,15
4	6,00	85,00	0,24	1,04	1,13
5	16,00	88,00	0,42	0,60	0,96
6	3,00	87,00	0,29	0,67	1,48
7	8,00	84,00	0,49	0,72	1,04
8	8,00	92,00	0,31	0,36	1,23
9	7,00	80,00	0,34	0,55	0,97
10	6,00	91,00	0,42	0,50	1,60
X	7,700	87,500	0,394	0,779	1,246
σ	4,057	3,629	0,103	0,448	0,240
R	13,00	12,00	0,30	1,58	0,64

6.2.2 Ocel třídy 14 100

Tab. 35. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 14 100

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,42	3,04	0,53	3,04	74,00	0,80	4,00
2	0,41	3,20	0,54	3,20	79,00		
3	0,31	1,88	0,39	1,88	42,00		
4	0,44	3,18	0,57	3,18	48,00		
5	0,47	3,14	0,59	3,14	66,00		
6	0,44	2,91	0,53	2,91	67,00		
7	0,48	2,79	0,58	2,79	61,00		
8	0,50	3,98	0,66	3,98	61,00		
9	0,46	3,56	0,61	3,56	76,00		
10	0,49	3,31	0,62	3,31	66,00		
X	0,442	3,099	0,562	3,099	64,000		
σ	0,055	0,545	0,073	0,545	11,757		
R	0,19	2,10	0,27	2,10	37,00		

Tab. 36. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 14 100 (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	81,00	0,41	1,13	1,19
2	13,00	84,00	0,32	0,42	1,08
3	4,00	85,00	0,44	7,45	1,67
4	5,00	86,00	0,33	0,72	1,42
5	9,00	83,00	0,37	0,78	1,55
6	7,00	79,00	0,54	0,82	1,22
7	7,00	87,00	0,64	0,58	1,40
8	9,00	93,00	0,53	0,48	1,44
9	9,00	93,00	0,72	0,56	1,74
10	6,00	83,00	0,44	0,87	1,43
X	7,700	85,400	0,474	1,381	1,414
σ	2,541	4,624	0,132	2,143	0,208
R	9,00	14,00	0,40	7,03	0,66

6.2.3 Ocel třídy 17 027

Tab. 37. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 17 027

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,69	4,85	0,88	4,85	46,00	0,80	4,00
2	0,94	6,50	1,24	6,50	58,00		
3	0,67	3,77	0,82	3,77	69,00		
4	0,84	5,25	1,02	5,25	69,00		
5	0,73	4,90	0,94	4,90	56,00		
6	0,87	5,47	1,08	5,47	50,00		
7	1,15	5,96	1,39	5,96	59,00		
8	0,93	5,12	1,11	5,12	48,00		
9	0,63	4,56	0,81	4,56	71,00		
10	0,82	4,85	1,02	4,85	66,00		
X	0,827	5,123	1,031	5,123	59,200		
σ	0,157	0,751	0,184	0,751	9,271		
R	0,52	2,73	0,58	2,73	25,00		

Tab. 38. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 17 027 (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	86,00	0,40	2,26	2,76
2	13,00	92,00	1,24	1,60	2,86
3	8,00	86,00	1,50	1,28	2,13
4	8,00	86,00	0,87	1,28	3,32
5	7,00	88,00	2,93	1,61	2,76
6	7,00	92,00	0,69	0,87	2,42
7	7,00	92,00	0,60	0,91	2,73
8	7,00	89,00	1,37	0,97	2,75
9	9,00	84,00	0,99	2,26	2,40
10	8,00	85,00	0,42	1,29	2,04
X	7,800	88,000	1,101	1,433	2,617
σ	2,251	3,091	0,748	0,505	0,377
R	9,00	8,00	2,53	1,39	1,28

6.2.4 Ocel třídy 19 436

Tab. 39. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 19 436

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,39	2,35	0,48	2,35	52,00	0,80	4,00
2	0,34	1,90	0,42	1,90	65,00		
3	0,42	2,64	0,51	2,64	44,00		
4	0,30	2,18	0,38	2,18	62,00		
5	0,33	2,49	0,41	2,49	56,00		
6	0,39	2,99	0,50	2,99	85,00		
7	0,34	2,78	0,45	2,78	22,00		
8	0,38	2,96	0,49	2,96	53,00		
9	0,35	2,70	0,46	2,70	55,00		
10	0,41	3,23	0,53	3,23	61,00		
X	0,365	2,622	0,463	2,622	55,500		
σ	0,039	0,403	0,048	0,403	16,009		
R	0,12	1,33	0,15	1,33	63,00		

Tab. 40. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 19 436 (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	90,00	0,54	0,92	1,50
2	6,00	85,00	0,46	0,54	1,27
3	10,00	88,00	0,42	0,50	1,33
4	8,00	91,00	0,32	0,37	1,20
5	8,00	88,00	0,36	0,39	1,02
6	7,00	86,00	0,32	0,51	1,17
7	10,00	87,00	0,39	0,52	1,27
8	11,00	90,00	0,62	0,79	1,70
9	17,00	91,00	0,39	0,61	1,19
10	9,00	89,00	0,67	0,75	1,23
X	9,500	88,500	0,449	0,590	1,288
σ	3,028	2,068	0,123	0,178	0,190
R	11,00	6,00	0,35	0,55	0,68

6.2.5 Titan

Tab. 41. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro titan

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,37	2,62	0,49	2,62	28,00	0,80	4,00
2	0,40	3,91	0,55	3,91	20,00		
3	0,43	5,21	0,66	5,21	96,00		
4	0,44	2,94	0,56	2,94	58,00		
5	0,39	2,34	0,48	2,34	66,00		
6	0,40	3,22	0,52	3,22	66,00		
7	0,42	2,78	0,53	2,78	54,00		
8	0,55	3,46	0,67	3,46	46,00		
9	0,38	3,13	0,48	3,13	45,00		
10	0,45	2,56	0,54	2,56	51,00		
X	0,423	3,217	0,548	3,217	53,000		
σ	0,052	0,840	0,068	0,840	21,197		
R	0,18	2,87	0,19	2,87	76,00		

Tab. 42. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro titan (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	92,00	0,47	0,40	1,10
2	4,00	90,00	0,86	0,60	1,77
3	14,00	89,00	0,58	0,56	1,07
4	14,00	93,00	0,66	0,42	1,10
5	8,00	89,00	0,87	0,37	1,42
6	11,00	96,00	0,82	0,42	1,53
7	7,00	95,00	0,55	0,57	1,74
8	13,00	93,00	0,72	0,31	1,23
9	7,00	84,00	0,35	0,59	1,20
10	9,00	95,00	0,52	0,43	1,74
X	9,900	91,600	0,640	0,467	1,390
σ	3,414	3,658	0,176	0,103	0,287
R	10,00	12,00	0,52	0,29	0,70

6.2.6 Měď

Tab. 43. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro měď

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,89	6,10	1,11	6,10	68,00	0,80	4,00
2	0,68	6,51	1,02	6,51	93,00		
3	1,05	11,01	1,60	11,01	95,00		
4	0,77	7,15	1,05	7,15	80,00		
5	0,88	8,28	1,19	8,28	87,00		
6	0,66	4,70	0,84	4,70	67,00		
7	0,85	7,22	1,10	7,22	68,00		
8	0,53	5,89	0,71	5,89	98,00		
9	0,84	8,43	1,25	8,43	95,00		
10	0,85	6,40	1,07	6,40	72,00		
X	0,800	7,169	1,094	7,169	82,300		
σ	0,146	1,747	0,238	1,747	12,737		
R	0,52	6,31	0,89	6,31	31,00		

Tab. 44. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro měď (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	14,00	91,00	1,00	0,98	3,25
2	11,00	93,00	1,24	0,96	3,69
3	9,00	84,00	0,94	2,36	2,12
4	7,00	88,00	0,52	1,90	2,08
5	5,00	81,00	0,67	3,23	2,28
6	10,00	87,00	0,70	1,67	2,10
7	15,00	84,00	0,79	2,84	1,65
8	8,00	80,00	0,92	2,21	2,05
9	6,00	86,00	0,72	0,81	3,04
10	7,00	87,00	0,79	1,50	2,56
X	8,667	85,556	0,810	1,942	2,397
σ	3,041	3,909	0,206	0,808	0,619
R	10,00	13,00	0,72	2,42	2,04

6.2.7 Hliník

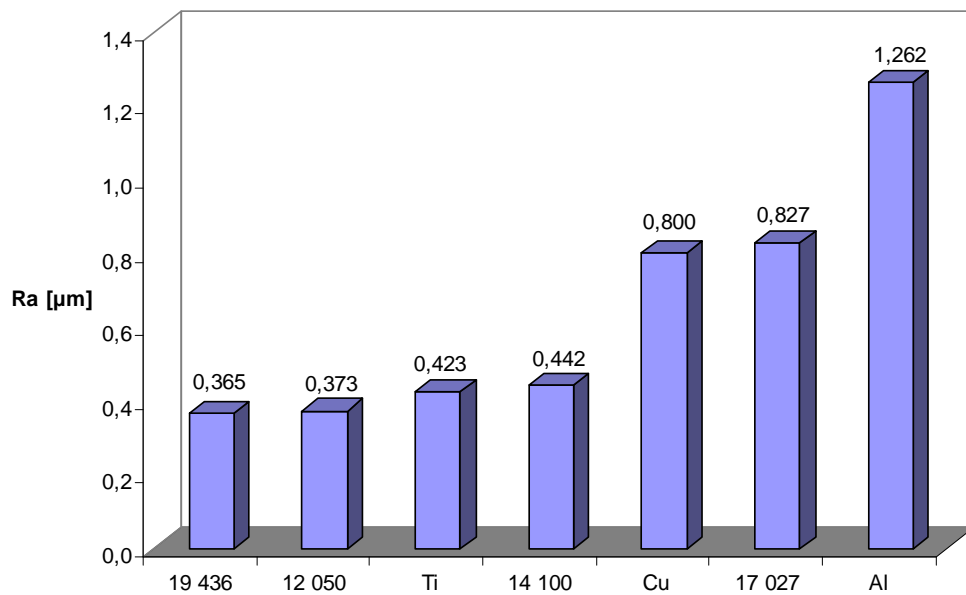
Tab. 45. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro hliník

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,14	7,73	1,46	7,73	39,00	0,80	4,00
2	1,17	11,40	1,62	11,40	81,00		
3	0,86	6,25	1,10	6,25	78,00		
4	1,43	6,85	1,68	6,85	49,00		
5	1,23	7,34	1,56	7,34	52,00		
6	1,41	6,73	1,71	6,73	33,00		
7	1,28	11,93	1,87	11,93	88,00		
8	1,87	9,13	2,28	9,13	67,00		
9	1,26	7,21	1,59	7,21	70,00		
10	0,97	7,55	1,30	7,55	56,00		
X	1,262	8,212	1,617	8,212	61,300		
σ	0,277	1,977	0,318	1,977	18,415		
R	1,01	5,68	1,18	5,68	55,00		

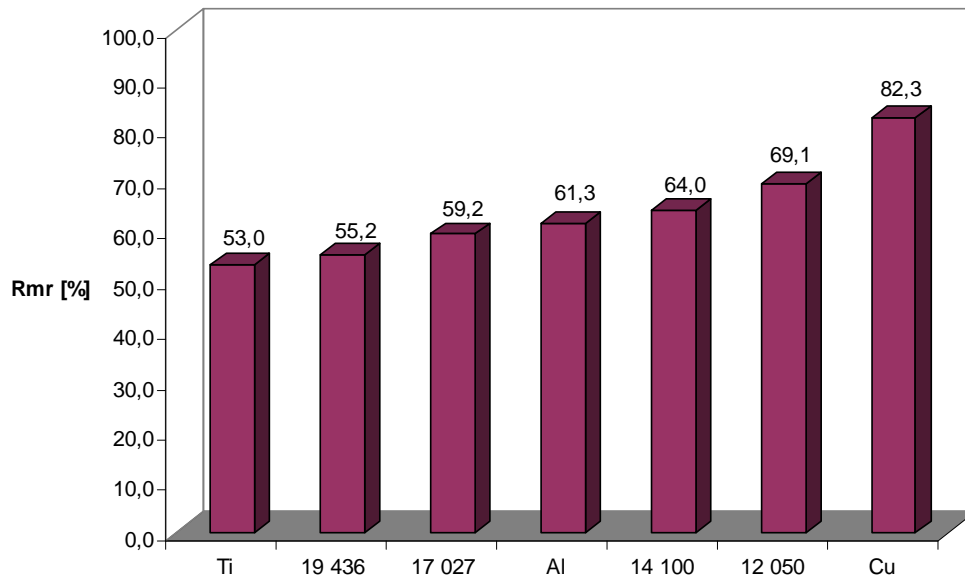
Tab. 46. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro hliník (profil DIN 4776)

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	18,00	92,00	3,09	4,80	6,65
2	12,00	85,00	1,48	1,06	3,26
3	12,00	80,00	1,93	1,96	5,59
4	14,00	89,00	2,65	2,34	6,27
5	14,00	81,00	2,90	2,83	4,69
6	11,00	80,00	0,79	2,00	2,98
7	22,00	91,00	1,79	1,96	3,88
8	12,00	90,00	1,60	1,70	3,29
9	4,00	82,00	0,64	3,80	3,34
10	12,00	89,00	2,09	2,29	2,52
X	13,100	85,900	1,896	2,474	4,247
Σ	4,677	4,818	0,824	1,090	1,464
R	18,00	12,00	2,45	3,74	4,13

6.3 Grafické porovnání jednotlivých materiálů



Obr. 70. Seřazení materiálů z hlediska drsnosti Ra dosažených za stejných technologických podmínek



Obr. 71. Seřazení materiálů z hlediska materiálového podílu Rmr dosaženého za stejných technologických podmínek

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala hodnocením jakosti povrchů. Pro hodnocení povrchů byly měřeny vybrané parametry drsnosti dle ČSN EN ISO 4287-1997, tak také parametry založené na křivce materiálového podílu dle ČSN EN ISO 13565. Pro grafické hodnocení byla nejvíce využívána střední aritmetická odchylka profilu R_a , a materiálový podíl R_{mr} na 50% hloubce profilu drsnosti.

Na základě porovnání naměřených výsledků parametrů drsnosti povrchu u zkušebních desek formy lze konstatovat:

S rostoucí hodnotou drsnosti klesala hodnota materiálového podílu R_{mr} . Z naměřených hodnot získaných z dotykové a bezdotykové metody měření lze desky seřadit z pohledu nejnižší hodnoty drsnosti v pořadí: leštěná, broušená, jemně vyjiskřená, frézovaná a hrubě vyjiskřená deska. Při porovnání výsledků drsnosti R_a z dotykového a bezdotykového 2D měření, byl zjištěn největší procentuální rozdíl u leštěné desky ($R_a = 0,096; 0,275 \mu\text{m}$) a to 65 %. Naopak nejmenší rozdíl a to okolo 2 % byl zaznamenán u frézované a jemně vyjiskřené desky, u nichž se naměřená drsnost R_a pohybovala okolo $4 \mu\text{m}$.

Na základě výsledků vlivu jakosti povrchu na změnu technologických podmínek u frézovaných plastových desek je možno formulovat následující závěry:

S rostoucí posuvovou rychlostí by se drsnost povrchu měla zvyšovat. Při zvyšování posuvové rychlosti nedocházelo k výraznému zhoršení drsnosti povrchu, až na PA6, u nějž byly naměřeny nejvyšší hodnoty drsnosti R_a ze všech měřených materiálů, a jeho závislost R_a na rostoucí posuvové rychlosti byla strmější.

Závislost materiálového podílu na zvyšující se posuvové rychlosti byla téměř konstantní, nebo mírně se zvyšující. U PVC byl zaznamenán pokles materiálového podílu s rostoucí posuvovou rychlostí.

S rostoucí řeznou rychlostí by se drsnost měla snižovat, což se potvrdilo při měření. Materiály s nejhoršími drsnostmi povrchu v závislosti na řezné rychlosti byly PC a PA6.

Při zvyšování řezné rychlosti mírně rostla hodnota materiálového podílu R_{mr} , jen u PVC byl zaznamenán mírný pokles.

Se zvyšováním hloubky řezu by se drsnost povrchu měla zhoršovat, což se potvrdilo při měření, kdy docházelo k největšímu nárůstu hodnot drsnosti. Tento nárůst drsnosti je způsoben tím, že při odebrání většího množství materiálu dochází k jeho vytrhávání z obráběného povrchu a taky k jeho natavování pod nástrojem.

Materiálový podíl s rostoucí hloubkou řezu byl téměř konstantní, k výraznějšímu poklesu docházelo jen u PC.

Co se týká porovnání jednotlivých materiálů, tak nejlepší hodnoty drsnosti a materiálového podílu byly zjištěny u PTFE, což je spojeno s jeho vynikajícími kluznými vlastnostmi v důsledku velmi nízké povrchové energie. Naopak materiál s nejhoršími jakostními charakteristikami byl PA6.

Při frézování mohlo docházet ke změně drsnosti také otupením nástroje. Otupení nástroje se v této práci zanedbávalo.

Shrnutím výsledků při porovnávání kovových materiálů z hlediska jakosti povrchu lze konstatovat:

Z pohledu velikosti hodnoty drsnosti R_a dosaženou při stejných technologických podmínkách broušení, lze seřadit materiály v následujícím pořadí. Materiál s nejnižší hodnotou drsnosti je nástrojová ocel (19 436), pak následuje ušlechtilá ocel uhlíková (12 050), titan, chrommanganová ocel pružinová (14 100), měď, nerezavějící ocel (17 027) a jako poslední materiál s nejvyšší hodnotou drsnosti hliník.

Co se týká materiálového podílu R_{mr} , tak nejmenší materiálový podíl byl naměřen u titanu (Ti), pak následovala nástrojová ocel (19 436), nerezavějící ocel (17027), hliník, chrommanganová ocel pružinová (14 100), ušlechtilá ocel uhlíková (12 050) a jako poslední materiál s největší nosnou plochou, tedy s nejvyšším materiálovým podílem byla měď.

Závěrem lze konstatovat, že požadavky na kvalitu povrchů v posledních letech extrémně rostou nejen z hlediska splnění přísnějších kvantitativních požadavků, ale i z hlediska existence nových typů zajímavých povrchů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bobčík, L. a kol. : Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů, UNIPLAST Brno, 1999
- [2] Bumbálek, B., Obvody, V., Ošřádal, B. : Drsnost povrchu, SNTL Praha, 1989
- [3] Bumbálek, L. : Deformační chování materiálu při řezání, CERM Brno, 2003
- [4] Bumbálek, L. : Vlastnosti povrchové vrstvy a jejich vliv na únavu, CERM Brno, 2004
- [5] ČSN EN ISO 4287: 1999 Geometrické specifikace výrobků (GPS) Charakter povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry charakteru povrchu
- [6] Field, M. – Kahles, J. F. : The surface Integrity of Machined and Ground High Strength Steels, OMIC Report 210, 1964, s. 54 – 77
- [7] Kocman, K., Prokop, J.: Technologie obrábění, Brno, VUT 2001, ISBN 80-214-1996-2
- [8] Leonardo, P. M. – Trumpold, H. – De Chiffre, L. : Progress in 3D surface microtopography characterization. Annals of CIRP, Vol. 45/2, 1996, s. 589 -598
- [9] Mádl, J. aj. : Jakost obráběných povrchů, UJEP, ÚTRV, 2003
- [10] Mlčoch : Řízení kvality a strojírenská metrologie, SNTL/ALFA, Praha, 1987
- [11] Shaw, M. C. : Metal Cutting Principles, 13rd Edition, MIT Press, Cambridge, 1954
- [12] Vačkář, J. - Perníkář, J. : Metrologie, CERM Brno, 2001
- [13] Vysloužil, Z. aj. : Meranie v strojárstve, Alfa Bratislava, 1986
- [14] Whitehouse, D. J. : Comparison between stylus and optical methods for measuring surfaces. Annals of CIRP, Vol. 37/2, 1988, s. 649 – 653
- [15] Whitehouse, D. J. : Stylus damage prevention index. Proc. Ind. Mech. Engrs., 214/C, 2000, s. 975 – 980

- [16] ČSN EN ISO 1365-2: 2000 Geometrické specifikace výrobků (GPS) Charakter povrchu: Profilová metoda – Povrchy, které mají funkční vlastnosti závislé od úrovně Část 2: Výšková charakterizace pomocí lineární části křivky materiálového podílu
- [17] Neslušen, M., Turek, S., Brychta, J. : Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní, EDIS Žilina, 2007
- [18] Veselý, K. : Polymery - struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování, Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992
- [19] Kovačič, L., Bína, J. : Plasty, Bratislava, ALFA 1974
- [20] Lukovics, I. : Konstrukční materiály a technologie, Brno: ES VUT, 1986
- [21] Mitutoyo SJ – 301, Přístroj na měření drsnosti povrchu. Návod k použití.
- [22] Martikáň, J. : Obrábanie kalených materiálov sústružením, Disertační práce, Žilina, 2007
- [23] Beňo, J. : Teória rezania kovov, Vienela Košice, 1999

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

E	Modul pružnosti v tahu.
E_0	Intenzita v hloubce z.
E_N	Modul pružnosti v tahu při dané teplotě.
ln	Vyhodnocovaná délka.
lr	Základní délka.
MI(c)	Nosná délka profilu na úrovni c.
Mr1	Podíl materiálu.
Mr2	Podíl materiálu.
R	Rozpětí.
Ra	Střední aritmetická odchylka posuzovaného profilu.
Rc	Střední výška prvku profilu.
R_e	Mez kluzu.
Rk	Hloubka jádra drsnosti.
Rku	Koeficient špičatosti posuzovaného profilu
Rmr	Materiálový podíl profilu.
Rp	Výška největšího výstupku profilu.
Rpk	Redukovaná výška vrcholů.
Rq	Střední kvadratická odchylka posuzovaného profilu.
Rsk	Koeficient asymetrie posuzovaného profilu.
RSm	Střední šířka prvku profilu.
Rt	Celková výška profilu.
Rv	Hloubka největší prohlubně profilu.
Rvk	Redukovaná hloubka prohlubní.
Rz	Největší výška profilu.

T_g	Teplota skelného přechodu.
T_m	Teplota tání
X	Aritmetický průměr.
X_s	Šířka prvku profilu.
$Z(x)$	Hodnota souřadnice.
Z_p	Výška výstupku profilu.
Z_t	Výška prvku profilu.
Z_v	Hloubka prohlubni profilu.
α	Koeficient teplotní roztažnosti.
ε	Poměrné prodloužení.
ε_r	Radiální deformace
ε_θ	Tečná deformace
Θ_1	Počáteční teplota.
Θ_2	Konečná teplota.
σ	Napětí.
$\sigma(x)$	Směrodatná odchylka.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Základní čára profilu.....</i>	12
<i>Obr. 2. Nosná délka profilu</i>	13
<i>Obr. 3. Největší výška nerovností profilu</i>	13
<i>Obr. 4. Střední aritmetická čára profilu</i>	14
<i>Obr. 5. Profilová a nosná křivka drsnosti profilu.....</i>	15
<i>Obr. 6. Rozdělení hustoty odchylek profilu.....</i>	16
<i>Obr. 7. Výpočet R_k, Mr_1 a Mr_2</i>	17
<i>Obr. 8. Výpočet R_{pk} a R_{vk}</i>	18
<i>Obr. 9. Drsnost povrchu základních způsobů obrábění</i>	20
<i>Obr. 10. Příčná a podélná drsnost profilu.....</i>	21
<i>Obr. 11. Zjednodušený pracovní diagram materiálu s vyznačením trvalé deformace [23]......</i>	29
<i>Obr. 12. Změna uvolnění radiální a tečné deformace ve známé vzdálenosti od středu desky</i>	36
<i>Obr. 13. Rozmístění tenzometrů.....</i>	37
<i>Obr. 14. Tenzometrická růžice.....</i>	37
<i>Obr. 15. Princip elektroerozivního obrábění.....</i>	44
<i>Obr. 16. Časový průběh impulzů při elektroerozivním obrábění</i>	44
<i>Obr. 17. Obecná dispozice elektroerozivního obrábění</i>	45
<i>Obr.18. Elektrojiskrové obrábění – aplikace vychylovače elektrod</i>	46
<i>Obr. 19. Schéma elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou</i>	47
<i>Obr. 20. Principiální schéma anodochemického obrábění</i>	48
<i>Obr. 21. Schéma elektrochemického leštění</i>	49
<i>Obr. 22. Zkušební deska</i>	52
<i>Obr. 23. Schéma měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301</i>	53
<i>Obr. 24. Porovnání technologií leštění, broušení, frézování z hlediska parametru drsnosti R_a a materiálového podílu R_{mr}</i>	60
<i>Obr. 25. Porovnání technologií jemného, hrubého vyjiskření z hlediska parametru drsnosti R_a a materiálového podílu R_{mr}</i>	60
<i>Obr. 26. princip činnosti optického profilometru MicrProf FRT.....</i>	61
<i>Obr. 27. princip činnosti senzoru CHR 150 N.....</i>	62

<i>Obr. 28. Drsnost povrchu 2D</i>	64
<i>Obr. 29. Histogram</i> <i>Obr. 30. Nosná křivka</i>	64
<i>Obr. 31. Drsnost povrchu 2D</i>	65
<i>Obr. 32. Histogram</i> <i>Obr. 33. Nosná křivka</i>	65
<i>Obr. 34. Drsnost povrchu 2D</i>	66
<i>Obr. 35. Histogram</i> <i>Obr. 36. Nosná křivka</i>	66
<i>Obr. 37. Drsnost povrchu 2D</i>	67
<i>Obr. 38. Histogram</i> <i>Obr. 39. Nosná křivka</i>	67
<i>Obr. 40. Drsnost povrchu 2D</i>	68
<i>Obr. 41. Histogram</i> <i>Obr. 42. Nosná křivka</i>	68
<i>Obr. 43. Drsnost povrchu 3D</i> <i>Obr. 44. Snímek plochy</i>	69
<i>Obr. 45. Histogram</i> <i>Obr. 46. Nosná křivka</i>	70
<i>Obr. 47. Drsnost povrchu 3D</i> <i>Obr. 48. Snímek plochy</i>	70
<i>Obr. 49. Histogram</i> <i>Obr. 50. Nosná křivka</i>	71
<i>Obr. 51. Drsnost povrchu 3D</i> <i>Obr. 52. Snímek plochy</i>	71
<i>Obr. 53. Histogram</i> <i>Obr. 54. Nosná křivka</i>	72
<i>Obr. 55. Drsnost povrchu 3D</i> <i>Obr. 56. Snímek plochy</i>	72
<i>Obr. 57. Histogram</i> <i>Obr. 58. Nosná křivka</i>	73
<i>Obr. 59. Drsnost povrchu 3D</i> <i>Obr. 60. Snímek plochy</i>	73
<i>Obr. 61. Histogram</i> <i>Obr. 62. Nosná křivka</i>	74
<i>Obr. 63. Porovnání dotykové a bezdotykové metody měření</i>	74
<i>Obr. 64. Závislost parametru drsnosti Ra při změně posuvové rychlosti v_f</i>	80
<i>Obr. 65. Závislost materiálového podílu Rmr při změně posuvové rychlosti v_f</i>	81
<i>Obr. 66. Závislost parametru drsnosti Ra při změně řezné rychlosti v_c</i>	82
<i>Obr. 67. Závislost materiálového podílu Rmr při změně řezné rychlosti v_c</i>	83
<i>Obr. 68. Závislost parametru drsnosti Ra při změně hloubky řezu h</i>	84
<i>Obr. 69. Závislost materiálového podílu Rmr při změně hloubky řezu h</i>	85
<i>Obr. 70. Seřazení materiálů z hlediska drsnosti Ra dosažených za stejných technologických podmínek</i>	96
<i>Obr. 71. Seřazení materiálů z hlediska materiálového podílu Rmr dosaženého za stejných technologických podmínek</i>	96

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Drsnost povrchu – informativní přehled hodnot drsnosti povrchu [1]</i>	25
<i>Tab. 2. Optimální drsnost povrchu pro různé stupně přesnosti a obrábění [1]</i>	26
<i>Tab. 3. Metody zjišťování zbytkových napětí [4].</i>	34
<i>Tab. 4. Rozměry tenzometrické růžice a doporučené průměry díry (symboly D, GW, GL, R₁, R₂, D₀ – průměr vrtané díry) [4].</i>	38
<i>Tab. 5. Základní specifikace měřicího přístroje Mitutoyo Surfjet SJ-301 [21].</i>	54
<i>Tab. 6. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro leštěnou desku.....</i>	55
<i>Tab. 7. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro leštěnou desku (profil DIN 4776)</i>	55
<i>Tab. 8. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro broušenou desku</i>	56
<i>Tab. 9. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro broušenou desku (profil DIN 4776).....</i>	56
<i>Tab. 10. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro frézovanou desku</i>	57
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro frézovanou desku (profil DIN 4776).....</i>	57
<i>Tab. 12. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro vyjiskřenou desku s jemným dezénem</i>	58
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro vyjiskřenou desku s jemným dezénem (profil DIN 4776)</i>	58
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro vyjiskřenou desku s hrubým dezénem</i>	59
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro vyjiskřenou desku s hrubým dezénem (profil DIN 4776).....</i>	59
<i>Tab. 16. Základní a vyhodnocovaná délka při měření v závislosti na Ra</i>	63
<i>Tab. 17. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro leštěnou desku.....</i>	64
<i>Tab. 18. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro broušenou desku</i>	65
<i>Tab. 19. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro frézovanou desku</i>	66
<i>Tab. 20. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro jemný dezén.....</i>	67
<i>Tab. 21. Vybrané charakteristiky textury povrchu 2D pro hrubý dezén.....</i>	68

Tab. 22. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro leštěnou desku.....	69
Tab. 23. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro broušenou desku	70
Tab. 24. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro frézovanou desku	71
Tab. 25. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro jemný dezén.....	72
Tab. 26. Vybrané charakteristiky textury povrchu 3D pro hrubý dezén.....	73
Tab. 27. Drsnosti povrchů R_a při různých posuvových rychlostech, při konstantní řezné rychlosti a při konstantní hloubce řezu	79
Tab. 28. Materiálový podíl R_{mr} při různých posuvových rychlostech, při konstantní řezné rychlosti a při konstantní hloubce řezu.....	80
Tab. 29. Drsnosti povrchů R_a při různých řezných rychlostech, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní hloubce řezu	81
Tab. 30. Materiálový podíl R_{mr} při různých řezných rychlostech, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní hloubce řezu	82
Tab. 31. Drsnosti povrchů R_a při různých hloubkách řezu, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní řezné rychlosti	83
Tab. 32. Materiálový podíl R_{mr} při různých hloubkách řezu, při konstantní posuvové rychlosti a při konstantní řezné rychlosti	84
Tab. 33. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 12 050	89
Tab. 34. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 12 050 (profil DIN 4776).....	89
Tab. 35. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 14 100	90
Tab. 36. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 14 100 (profil DIN 4776).....	90
Tab. 37. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 17 027	91
Tab. 38. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 17 027 (profil DIN 4776).....	91
Tab. 39. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro ocel 19 436	92
Tab. 40. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro ocel 19 436 (profil DIN 4776).....	92
Tab. 41. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro titan.....	93
Tab. 42. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro titan (profil DIN 4776)	93
Tab. 43. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro měď.....	94

<i>Tab. 44. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro měď (profil DIN 4776).....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 45. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu profilu R pro hliník.....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 46. Naměřené hodnoty parametrů založené na křivce materiálového podílu pro hliník (profil DIN 4776).....</i>	<i>95</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při posuvové rychlosti

$$v_f = 1200 \text{ mm/min}$$

P II: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při posuvové rychlosti

$$v_f = 1400 \text{ mm/min}$$

P III: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA 6 při posuvové rychlosti

$$v_f = 1600 \text{ mm/min}$$

P IV: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při posuvové rychlosti

$$v_f = 1800 \text{ mm/min}$$

P V: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při posuvové rychlosti

$$v_f = 2000 \text{ mm/min}$$

P VI: Závislost parametrů textury povrchu u PA6 při změně posuvové rychlosti

P VII: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA při řezné rychlosti

$$v_c = 251,2 \text{ m/min}$$

P VIII: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při řezné rychlosti

$$v_c = 376,8 \text{ m/min}$$

P IX: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při řezné rychlosti

$$v_c = 502,4 \text{ m/min}$$

P X: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při řezné rychlosti

$$v_c = 628 \text{ m/min}$$

P XI: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při řezné rychlosti

$$v_c = 753,6 \text{ m/min}$$

P XII: Závislost parametrů textury povrchu u PA6 při změně řezné rychlosti

P XIII: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při hloubce řezu $h = 2 \text{ mm}$

P XIV: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při hloubce řezu $h = 4 \text{ mm}$

P XV: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při hloubce řezu $h = 6$ mm

P XVI: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při hloubce řezu $h = 8$ mm

P XVII: Naměřené hodnoty parametrů textury povrchu u PA6 při hloubce řezu $h = 10$ mm

P XVIII: Závislost parametrů textury povrchu u PA6 při změně hloubky řezu

P XIX: Záznam a průběh drsnosti z dotykového měřicího zařízení Mitutoyo SurfTest SJ-301 pro PA6 při frézování ($v_c = 753,6$ m/min, $v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm)

**PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI POSUVOVÉ RYCHLOSTI $v_f = 1200$ mm/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,76	24,01	4,67	24,01	42,00	2,50	12,50
2	4,14	29,58	5,26	29,58	26,00		
3	3,88	22,09	4,74	22,09	43,00		
4	3,54	22,48	4,32	22,48	38,00		
5	3,56	25,44	4,56	25,44	36,00		
6	3,75	24,76	4,73	24,76	53,00		
7	3,55	24,71	4,54	24,71	43,00		
8	4,15	27,59	5,23	27,59	34,00		
9	3,91	22,74	4,77	22,74	48,00		
10	3,83	24,06	4,74	24,06	44,00		
X	3,807	24,746	4,756	24,746	40,700		
σ	0,224	2,337	0,291	2,337	7,587		
R	0,61	7,49	0,94	7,49	27,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	90,00	5,38	3,88	12,69
2	13,00	91,00	9,31	3,62	13,04
3	11,00	88,00	5,17	5,62	13,01
4	10,00	95,00	8,07	3,45	15,72
5	12,00	92,00	7,28	2,40	14,17
6	15,00	89,00	5,32	3,53	10,78
7	13,00	91,00	7,52	3,79	13,06
8	12,00	88,00	7,86	3,96	13,42
9	10,00	90,00	5,40	2,89	9,93
10	10,00	90,00	6,05	4,06	13,30
X	11,400	90,400	6,736	3,720	12,912
σ	2,011	2,066	1,458	0,841	1,613
R	7,00	7,00	4,14	3,22	5,79

**PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI POSUVOVÉ RYCHLOSTI $v_f = 1400$ mm/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,75	35,68	7,13	35,68	35,00	2,50	12,50
2	4,73	30,58	5,98	30,58	41,00		
3	4,37	26,14	5,38	26,14	41,00		
4	4,36	25,99	5,34	25,99	46,00		
5	4,06	24,24	4,92	24,24	49,00		
6	4,65	25,99	5,68	25,99	39,00		
7	4,59	26,98	5,49	26,98	42,00		
8	4,17	23,87	5,12	23,87	49,00		
9	4,80	28,49	5,97	28,49	38,00		
10	4,84	31,00	6,15	31,00	22,00		
X	4,632	27,896	5,716	27,896	40,200		
σ	0,473	3,629	0,634	3,629	7,871		
R	1,69	11,81	2,21	11,81	27,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	94,00	9,31	2,75	16,63
2	13,00	90,00	7,84	3,35	12,98
3	7,00	92,00	3,94	4,88	15,86
4	12,00	90,00	6,89	4,44	13,57
5	10,00	90,00	4,80	4,47	16,08
6	10,00	89,00	5,45	3,50	15,01
7	12,00	91,00	5,56	4,79	14,10
8	17,00	92,00	10,64	3,67	15,13
9	10,00	91,00	9,13	5,23	14,48
10	10,00	88,00	6,41	3,64	13,21
X	11,300	90,700	6,997	4,072	14,705
σ	2,627	1,703	2,182	0,799	1,253
R	10,00	6,00	6,70	2,48	3,65

**PŘÍLOHA P III: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI POSUVOVÉ RYCHLOSTI $v_f = 1600$ mm/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	6,11	37,13	7,42	37,13	35,00	2,50	12,50
2	5,59	34,50	6,89	34,50	44,00		
3	5,43	32,67	6,64	32,67	44,00		
4	5,72	41,64	7,41	41,64	22,00		
5	6,18	39,14	7,91	39,14	29,00		
6	5,42	39,07	7,30	39,07	20,00		
7	4,79	30,70	5,96	30,70	35,00		
8	5,11	35,31	6,57	35,31	31,00		
9	5,52	43,19	7,33	43,19	19,00		
10	4,64	32,66	5,93	32,66	38,00		
X	5,451	36,601	6,936	36,601	31,700		
σ	0,503	4,130	0,657	4,130	9,214		
R	1,54	12,49	1,98	12,49	25,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	15,00	88,00	14,03	5,37	17,55
2	10,00	91,00	7,55	6,03	16,55
3	8,00	87,00	5,76	8,27	16,42
4	14,00	89,00	11,86	5,67	19,72
5	11,00	89,00	11,61	5,53	14,75
6	12,00	88,00	8,28	5,12	12,98
7	12,00	89,00	8,94	4,64	14,00
8	10,00	93,00	9,64	3,27	20,06
9	17,00	86,00	12,31	6,29	15,65
10	11,00	88,00	11,78	4,63	21,61
X	12,000	88,800	10,176	5,482	16,929
σ	2,667	1,989	2,553	1,301	2,806
R	9,00	7,00	8,27	5,00	8,63

**PŘÍLOHA P IV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI POSUVOVÉ RYCHLOSTI $v_f = 1800$ mm/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,09	29,92	6,24	29,92	53,00	2,50	12,50
2	5,14	34,11	6,67	34,11	40,00		
3	5,19	34,00	6,57	34,00	37,00		
4	5,09	32,54	6,45	32,54	36,00		
5	5,61	35,30	6,92	35,30	43,00		
6	5,69	42,89	7,37	42,89	29,00		
7	5,31	32,80	6,79	32,80	31,00		
8	4,86	32,29	5,98	32,29	38,00		
9	6,09	46,45	7,74	46,45	15,00		
10	5,14	38,82	6,37	38,82	30,00		
X	5,321	35,912	6,710	35,912	35,200		
σ	0,367	5,223	0,528	5,223	10,020		
R	1,23	16,53	1,76	16,53	38,00		

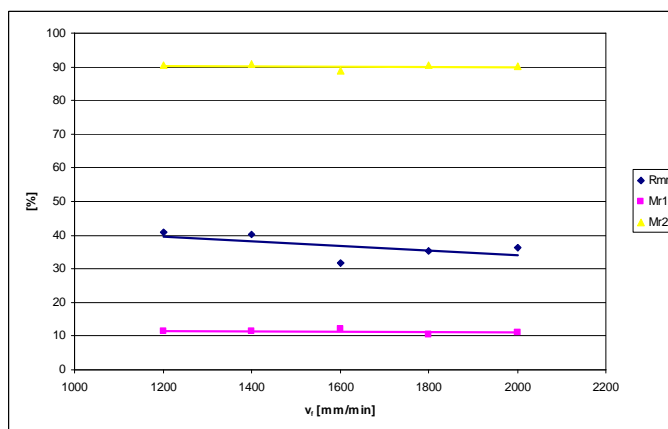
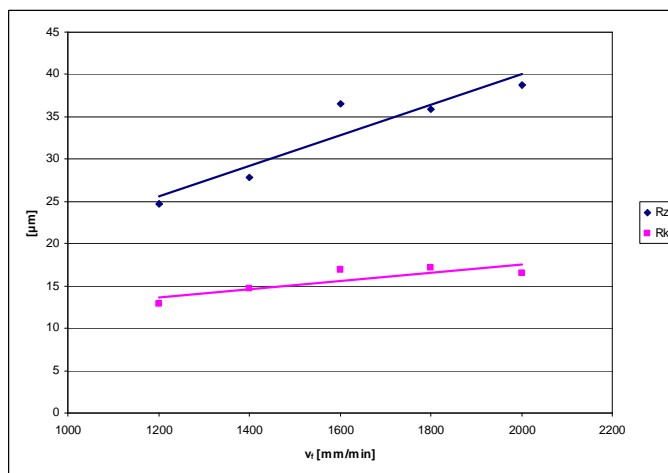
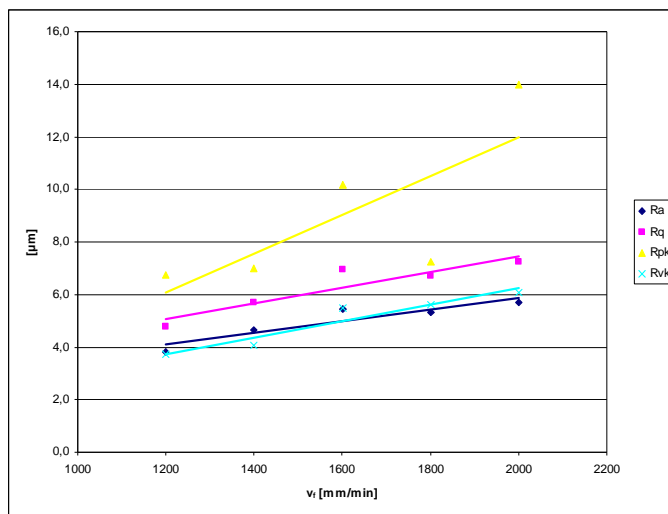
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	91,00	7,65	6,06	14,71
2	8,00	82,00	7,21	6,61	13,97
3	9,00	90,00	8,14	6,19	18,01
4	9,00	90,00	8,77	6,55	16,92
5	8,00	88,00	7,35	6,18	16,22
6	18,00	94,00	9,96	5,87	21,35
7	8,00	94,00	6,63	2,85	17,10
8	14,00	94,00	7,31	4,42	20,21
9	11,00	93,00	4,32	5,02	18,35
10	9,00	90,00	5,33	6,40	15,29
X	10,600	90,600	7,267	5,615	17,213
σ	3,273	3,688	1,608	1,194	2,347
R	10,00	12,00	5,64	3,76	7,38

**PŘÍLOHA P V: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI POSUVOVÉ RYCHLOSTI $v_f = 2000$ mm/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,26	40,38	6,85	40,38	32,00	2,50	12,50
2	4,32	27,75	5,40	27,75	44,00		
3	4,49	39,05	6,05	39,05	39,00		
4	6,08	41,53	7,54	41,53	27,00		
5	8,23	51,18	10,23	51,18	25,00		
6	6,16	35,39	7,57	35,39	42,00		
7	6,26	38,03	7,66	38,03	40,00		
8	6,10	41,09	7,56	41,09	60,00		
9	5,02	30,46	6,19	30,46	40,00		
10	5,20	43,21	7,28	43,21	13,00		
X	5,712	38,807	7,233	38,807	36,200		
σ	1,131	6,598	1,311	6,598	12,752		
R	3,91	23,43	4,83	23,43	47,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	87,00	36,92	6,22	15,08
2	10,00	92,00	10,70	6,10	17,71
3	7,00	89,00	6,34	5,27	14,65
4	15,00	90,00	38,31	8,68	16,33
5	8,00	92,00	6,55	6,91	17,99
6	9,00	92,00	5,44	6,31	20,46
7	13,00	90,00	6,16	5,13	14,66
8	14,00	91,00	7,37	5,51	15,36
9	11,00	92,00	9,21	5,15	14,87
10	12,00	86,00	13,05	5,31	18,34
X	11,100	90,100	14,005	6,059	16,545
σ	2,601	2,183	12,666	1,098	1,987
R	8,00	6,00	32,87	3,55	5,81

PŘÍLOHA P VI: ZÁVISLOST PARAMETRŮ TEXTURY POVRCHU U PA6 PŘI ZMĚNĚ POSUVOVÉ RYCHLOSTI



**PŘÍLOHA P VII: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI ŘEZNÉ RYCHLOSTI $v_c = 251,2$ m/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,09	34,06	6,29	34,06	8,00	2,50	12,50
2	4,01	32,74	5,37	32,74	13,00		
3	4,55	44,60	6,56	44,60	4,00		
4	3,64	26,21	4,43	26,21	45,00		
5	4,74	40,18	6,54	40,18	8,00		
6	3,71	37,34	6,02	37,34	5,00		
7	3,10	26,44	4,20	26,44	19,00		
8	5,82	41,83	8,52	41,83	16,00		
9	5,10	39,21	7,05	39,21	11,00		
10	5,64	47,93	7,60	47,93	6,00		
X	4,440	37,054	6,258	37,054	13,500		
σ	0,892	7,229	1,339	7,229	12,085		
R	2,72	21,72	4,32	21,72	41,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	92,00	17,15	4,58	7,29
2	12,00	92,00	9,42	3,35	10,60
3	12,00	93,00	7,56	1,85	9,30
4	10,00	83,00	18,37	5,45	11,98
5	14,00	90,00	13,73	3,42	11,47
6	15,00	96,00	16,69	3,14	8,45
7	6,00	91,00	6,63	4,80	8,16
8	7,00	83,00	8,73	4,22	13,23
9	17,00	94,00	18,78	2,09	13,95
10	13,00	93,00	17,12	3,45	11,84
X	11,700	90,700	13,418	3,635	10,627
σ	3,401	4,373	4,831	1,148	2,250
R	11,00	13,00	12,15	3,60	6,66

**PŘÍLOHA P VIII: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI ŘEZNÉ RYCHLOSTI $v_c = 376,8$ m/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,60	22,94	4,43	22,94	48,00	2,50	12,50
2	3,36	26,18	4,32	26,18	25,00		
3	3,88	30,50	5,22	30,50	24,00		
4	3,93	27,39	5,03	27,39	24,00		
5	3,38	22,85	4,20	22,85	34,00		
6	3,47	25,89	4,60	25,89	35,00		
7	2,51	15,48	3,04	15,48	54,00		
8	3,60	20,40	4,33	20,40	55,00		
9	3,17	25,00	4,09	25,00	30,00		
10	3,23	51,14	4,19	51,14	24,00		
X	3,413	26,777	4,345	26,777	35,300		
σ	0,404	9,490	0,589	9,490	12,553		
R	1,42	35,66	2,18	35,66	31,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	86,00	7,28	3,13	9,65
2	11,00	85,00	8,18	5,25	9,73
3	5,00	85,00	1,61	4,12	8,51
4	7,00	87,00	2,77	5,54	9,26
5	11,00	93,00	5,46	4,77	9,71
6	10,00	89,00	5,78	2,76	9,83
7	13,00	88,00	3,09	5,26	9,56
8	8,00	84,00	2,71	4,14	7,61
9	9,00	84,00	2,20	2,93	7,35
10	9,00	87,00	2,79	4,14	9,65
X	9,200	86,800	4,187	4,204	9,086
σ	2,251	2,741	2,300	1,011	0,929
R	8,00	9,00	6,57	2,78	2,48

**PŘÍLOHA P IX: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI ŘEZNÉ RYCHLOSTI $v_c = 502,4$ m/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,09	23,09	3,94	23,09	46,00	2,50	12,50
2	3,00	19,47	3,74	19,47	44,00		
3	3,07	22,28	4,01	22,28	67,00		
4	2,95	20,53	3,72	20,53	57,00		
5	3,12	24,00	4,14	24,00	31,00		
6	3,45	23,41	4,40	23,41	47,00		
7	3,10	21,93	3,79	21,93	58,00		
8	3,15	22,33	3,91	22,33	26,00		
9	3,65	23,70	4,49	23,70	54,00		
10	3,12	19,16	3,85	19,16	43,00		
X	3,170	21,990	3,999	21,990	47,300		
σ	0,214	1,728	0,268	1,728	12,437		
R	0,70	4,84	0,77	4,84	41,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	91,00	4,00	2,70	10,17
2	8,00	90,00	2,49	5,42	10,66
3	10,00	89,00	3,13	4,87	8,85
4	7,00	88,00	3,76	4,74	14,21
5	9,00	88,00	5,43	4,63	9,35
6	13,00	92,00	4,12	2,18	9,21
7	8,00	91,00	4,14	5,52	10,89
8	15,00	85,00	40,92	10,04	21,00
9	11,00	88,00	5,51	4,85	9,10
10	11,00	88,00	3,51	5,30	7,73
X	10,300	89,000	7,701	5,025	11,117
σ	2,452	2,055	11,709	2,093	3,885
R	8,00	7,00	38,43	7,86	13,27

**PŘÍLOHA P X: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI ŘEZNÉ RYCHLOSTI $v_c = 628$ m/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,81	34,31	6,21	34,31	41,00	2,50	12,50
2	4,33	25,19	5,36	25,19	54,00		
3	3,48	22,87	4,27	22,87	33,00		
4	4,89	29,05	5,98	29,05	43,00		
5	5,02	31,54	6,23	31,54	45,00		
6	5,32	35,02	6,84	35,02	19,00		
7	4,68	26,50	5,65	26,50	44,00		
8	3,76	24,98	4,75	24,98	28,00		
9	3,47	24,35	4,28	24,35	52,00		
10	5,48	35,07	6,74	35,07	27,00		
X	4,524	28,888	5,631	28,888	38,600		
σ	0,735	4,758	0,945	4,758	11,423		
R	2,01	12,20	2,57	12,20	35,00		

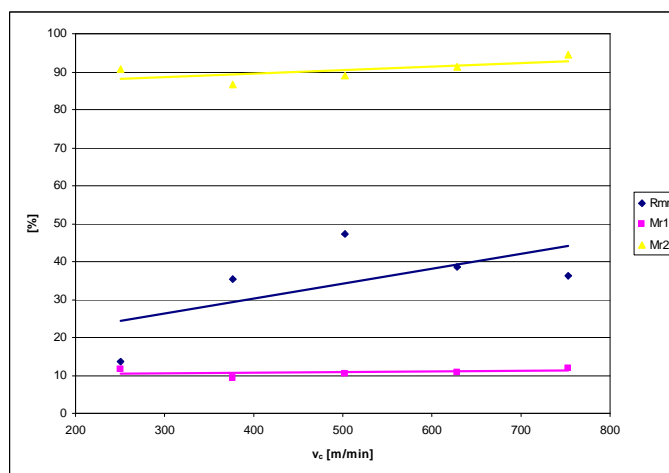
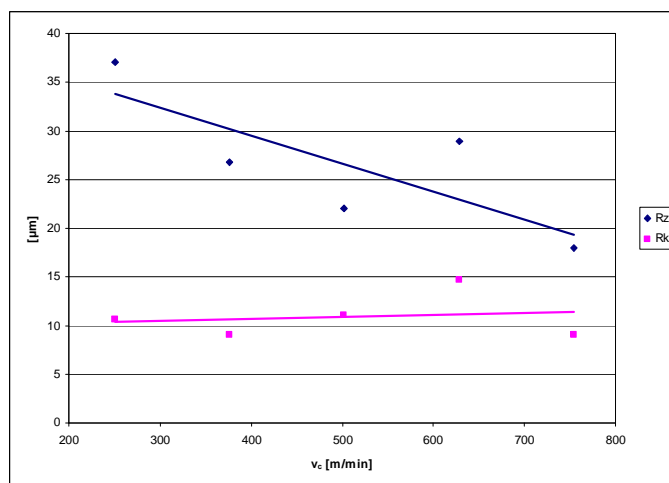
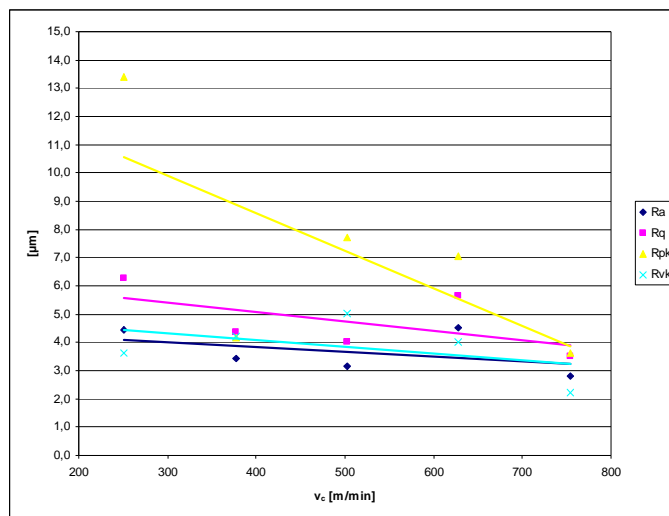
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	93,00	7,80	4,46	16,56
2	11,00	89,00	3,69	3,72	15,18
3	14,00	89,00	14,47	6,24	14,78
4	9,00	92,00	3,95	3,75	13,51
5	17,00	96,00	8,46	1,38	13,21
6	10,00	93,00	9,59	5,26	18,43
7	4,00	92,00	3,62	3,70	15,20
8	12,00	86,00	5,24	4,84	12,36
9	9,00	93,00	9,78	3,11	15,07
10	9,00	90,00	3,73	3,77	13,13
X	10,700	91,300	7,033	4,023	14,743
σ	3,466	2,830	3,628	1,311	1,812
R	13,00	10,00	10,85	4,86	6,07

**PŘÍLOHA P XI: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI ŘEZNÉ RYCHLOSTI $v_c = 753,6$ m/min**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,58	16,59	3,23	16,59	37,00	2,50	12,50
2	2,74	14,70	3,31	14,70	41,00		
3	3,35	26,11	4,53	26,11	28,00		
4	2,44	14,87	2,99	14,87	38,00		
5	2,93	16,25	3,54	16,25	45,00		
6	3,31	20,41	4,22	20,41	32,00		
7	2,27	14,75	2,81	14,75	56,00		
8	2,41	18,54	3,16	18,54	24,00		
9	2,80	16,82	3,46	16,82	39,00		
10	3,09	20,59	3,93	20,59	23,00		
X	2,792	17,963	3,518	17,963	36,300		
σ	0,377	3,594	0,550	3,594	10,067		
R	1,08	11,41	1,72	11,41	33,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	15,00	96,00	5,26	1,79	9,48
2	13,00	97,00	2,37	1,67	10,45
3	11,00	92,00	3,47	2,68	7,96
4	9,00	92,00	2,39	3,76	8,61
5	8,00	95,00	2,89	1,79	9,48
6	12,00	95,00	3,23	2,66	9,24
7	12,00	97,00	3,18	1,47	10,95
8	13,00	93,00	4,42	2,31	8,55
9	10,00	93,00	4,33	2,07	7,66
10	17,00	95,00	4,80	1,97	7,98
X	12,000	94,500	3,634	2,217	9,036
σ	2,708	1,900	1,011	0,675	1,089
R	9,00	5,00	2,89	2,29	3,29

PŘÍLOHA P XII: ZÁVISLOST PARAMETRŮ TEXTURY POVRCHU U PA6 PŘI ZMĚNĚ ŘEZNÉ RYCHLOSTI



**PŘÍLOHA P XIII: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI HLOUBCE ŘEZU $h = 2 \text{ mm}$**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,40	25,68	4,46	25,68	30,00	2,50	12,50
2	3,62	25,51	4,67	25,51	39,00		
3	4,02	26,50	5,18	26,50	27,00		
4	3,60	22,63	4,53	22,63	42,00		
5	3,76	24,86	4,80	24,86	51,00		
6	4,13	28,02	5,17	28,02	35,00		
7	4,30	34,01	5,67	34,01	17,00		
8	3,69	24,16	4,55	24,16	57,00		
9	3,50	26,14	4,54	26,14	27,00		
10	4,28	30,65	5,60	30,65	21,00		
X	3,830	26,816	4,917	26,816	34,600		
σ	0,327	3,331	0,457	3,331	12,808		
R	0,90	11,38	1,21	11,38	40,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	91,00	9,21	3,58	12,90
2	9,00	91,00	14,26	3,92	12,03
3	10,00	87,00	8,47	3,75	12,43
4	7,00	85,00	2,29	3,78	9,80
5	13,00	90,00	13,39	3,60	13,61
6	13,00	90,00	8,93	3,90	13,25
7	11,00	93,00	7,24	3,81	13,24
8	7,00	89,00	3,71	3,54	9,85
9	11,00	92,00	4,98	3,57	12,61
10	9,00	91,00	3,70	4,57	13,17
X	10,200	89,900	7,618	3,802	12,289
σ	2,201	2,378	4,062	0,304	1,377
R	6,00	8,00	11,97	1,03	3,81

**PŘÍLOHA P XIV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA6 PŘI HLOUBCE ŘEZU $h = 4 \text{ mm}$**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,78	28,13	5,95	28,13	30,00	2,50	12,50
2	4,53	42,64	6,28	42,64	9,00		
3	5,03	33,07	6,42	33,07	28,00		
4	3,50	24,60	4,36	24,60	37,00		
5	5,14	33,12	6,46	33,12	31,00		
6	4,42	35,65	5,86	35,65	21,00		
7	5,31	31,94	6,59	31,94	23,00		
8	5,37	43,27	7,25	43,27	16,00		
9	6,25	46,49	8,50	46,49	9,00		
10	5,06	32,75	6,23	32,75	34,00		
X	4,939	35,166	6,390	35,166	23,800		
σ	0,718	6,960	1,047	6,960	9,964		
R	2,75	21,89	4,14	21,89	28,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	93,00	5,47	3,79	19,05
2	11,00	97,00	19,11	4,28	20,66
3	11,00	91,00	8,71	5,34	14,24
4	21,00	93,00	10,59	5,85	14,99
5	17,00	91,00	12,40	6,87	14,02
6	11,00	89,00	15,49	5,08	16,32
7	12,00	88,00	4,95	6,83	10,61
8	17,00	88,00	9,13	4,86	11,55
9	11,00	97,00	8,23	3,33	12,68
10	15,00	93,00	15,18	3,80	17,99
X	13,500	92,000	10,926	5,003	15,211
σ	3,808	3,266	4,583	1,244	3,279
R	12,00	9,00	14,16	3,54	10,05

**PŘÍLOHA P XV: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA 6 PŘI HLOUBCE ŘEZU $h = 6 \text{ mm}$**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	6,28	39,94	7,92	39,94	39,00	2,50	12,50
2	7,28	54,40	10,53	54,40	11,00		
3	7,09	54,20	9,42	54,20	17,00		
4	8,35	59,11	10,90	59,11	21,00		
5	5,84	38,18	7,27	38,18	20,00		
6	6,53	41,36	8,01	41,36	35,00		
7	6,73	54,51	8,93	54,51	13,00		
8	7,48	48,71	9,74	48,71	24,00		
9	7,37	52,39	9,72	52,39	17,00		
10	7,88	43,31	9,35	43,31	31,00		
X	7,083	48,611	9,179	48,611	22,800		
σ	0,756	7,369	1,161	7,369	9,390		
R	2,51	20,93	3,63	20,93	28,00		

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	14,00	89,00	19,93	7,05	22,25
2	17,00	89,00	15,58	4,79	17,88
3	11,00	91,00	23,45	7,19	27,52
4	15,00	90,00	14,69	5,57	19,57
5	14,00	91,00	15,20	9,33	18,75
6	10,00	94,00	13,00	3,43	24,29
7	16,00	90,00	19,30	7,38	23,65
8	10,00	92,00	6,90	6,74	21,35
9	21,00	93,00	14,80	4,85	24,47
10	13,00	92,00	14,75	4,65	27,47
X	14,100	91,100	15,760	6,098	22,720
σ	3,414	1,663	4,455	1,744	3,385
R	11,00	5,00	16,55	5,90	9,64

**PŘÍLOHA P XVI: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ TEXTURY
POVRCHU U PA 6 PŘI HLOUBCE ŘEZU $h = 8 \text{ mm}$**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,86	40,84	7,58	40,84	29,00	2,50	12,50
2	7,01	41,83	8,78	41,83	35,00		
3	5,76	41,99	7,61	41,99	14,00		
4	5,94	44,01	7,92	44,01	21,00		
5	5,56	39,35	7,31	39,35	13,00		
6	5,69	42,76	7,19	42,76	32,00		
7	6,64	49,44	8,65	49,44	32,00		
8	7,11	56,93	9,33	56,93	17,00		
9	7,95	64,88	11,57	64,88	9,00		
10	5,91	47,59	7,98	47,59	13,00		
X	6,343	46,962	8,392	46,962	21,500		
σ	0,793	8,164	1,311	8,164	9,641		
R	2,39	25,53	4,38	25,53	26,00		

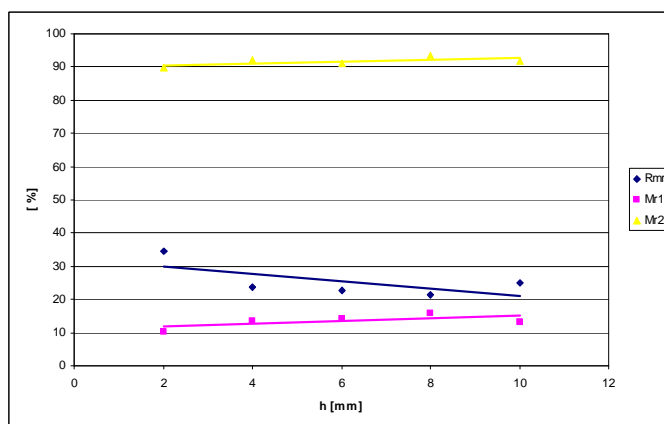
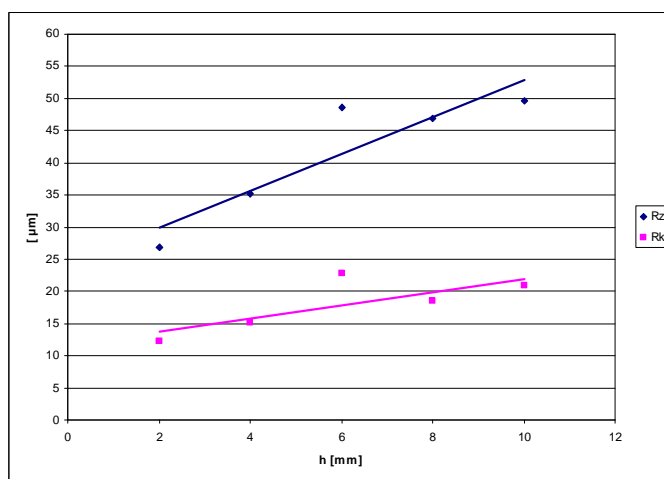
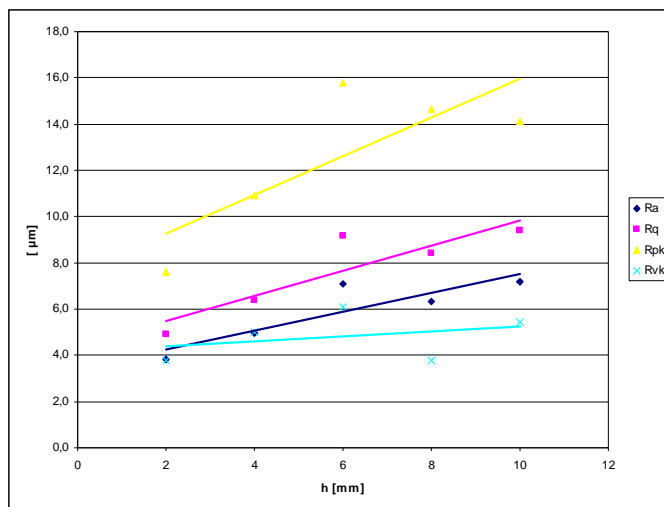
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	18,00	95,00	12,63	2,79	13,70
2	18,00	90,00	26,63	5,71	21,05
3	11,00	93,00	8,74	4,92	20,53
4	15,00	92,00	10,39	3,00	21,89
5	19,00	93,00	12,74	4,15	14,93
6	18,00	91,00	23,09	7,91	28,63
7	14,00	95,00	15,00	1,30	19,81
8	20,00	97,00	14,90	2,15	16,38
9	15,00	95,00	13,98	2,59	13,56
10	10,00	94,00	8,39	3,24	15,06
X	15,800	93,500	14,649	3,776	18,554
σ	3,393	2,121	5,920	1,953	4,749
R	10,00	7,00	18,24	6,61	15,07

**PŘÍLOHA P XVII: NAMĚŘENÉ HODNOTY PARAMETRŮ
TEXTURY POVRCHU U PA 6 PŘI HLOUBCE ŘEZU $h = 10$ mm**

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	7,77	54,98	10,53	54,98	13,00	2,50	12,50
2	6,38	43,48	8,17	43,48	30,00		
3	8,97	55,35	11,43	55,35	21,00		
4	6,02	44,66	8,17	44,66	19,00		
5	8,42	64,98	11,78	64,98	20,00		
6	6,17	39,36	7,74	39,36	31,00		
7	7,60	73,68	10,88	73,68	4,00		
8	6,05	36,53	7,49	36,53	31,00		
9	8,51	49,81	10,37	49,81	36,00		
10	6,10	33,23	7,43	33,23	44,00		
X	7,199	49,606	9,399	49,606	24,900		
σ	1,178	12,841	1,748	12,841	11,742		
R	2,95	40,45	4,35	40,45	40,00		

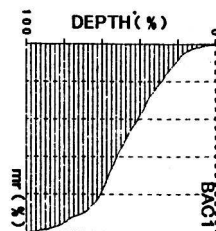
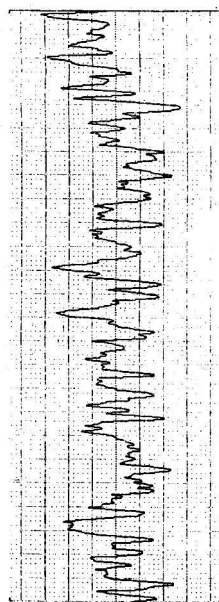
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	10,00	86,00	27,49	12,76	24,67
2	13,00	91,00	8,73	4,65	17,47
3	14,00	93,00	6,84	5,56	15,69
4	12,00	95,00	6,09	2,30	20,81
5	12,00	95,00	8,30	2,98	26,09
6	11,00	87,00	19,35	6,72	20,83
7	21,00	95,00	19,61	3,30	22,02
8	13,00	92,00	15,20	4,64	15,19
9	14,00	93,00	16,62	4,75	19,45
10	12,00	91,00	13,03	6,58	26,10
X	13,200	91,800	14,126	5,424	20,832
σ	3,011	3,190	6,874	2,958	3,986
R	11,00	9,00	21,40	10,46	10,91

PŘÍLOHA P XVIII: ZÁVISLOST PARAMETRŮ TEXTURY POVRCHU U PA6 PŘI ZMĚNĚ HLOUBKY ŘEZU

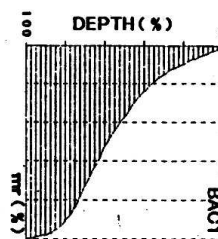
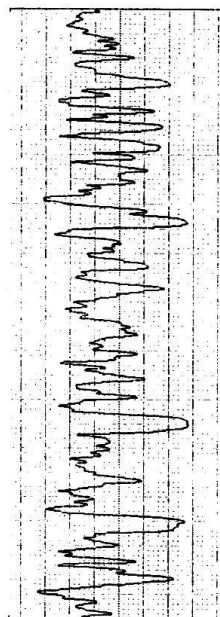


**PŘÍLOHA P XIX: ZÁZNAM A PRŮBĚH DRSNOSTI
Z DOTYKOVÉHO MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ MITUTOYO SurfTest SJ-301 PRO PA6 PŘI FRÉZOVÁNÍ ($v_c = 753,6$ m/min, $v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm)**

Mitutoyo SurfTest SJ-301
 DATE 2008/03/26
 TIME 19:58:41
 STANDARD ISO1997
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 λ_c 2.5mm
 N 1
 RANGE AUTO
 ESC
 SPEED 0.5mm/s
 PRE/POST ON
 PARAMETER
 REF PEAK
 C.LEVEL 50%
 R_{Pc}, R_{Sm}
 C.LEVEL 10%
R-PROFILE
 λ_c 2.5mm
 N 1
 Ra 2.27 μ m
 Rz 14.75 μ m
 Rq 2.81 μ m
 Rt 14.75 μ m
 RSm (10%) 138 μ m
 Rmr (P.50%) 56%
R-PROFILE
 $\lambda_c = 2.5\text{mm} \times 1$
 → x 2K
 × 50
 Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



Mitutoyo SurfTest SJ-301
 DATE 2008/03/26
 TIME 20:07:22
 STANDARD ISO1997
 PROFILE DIN4776
 FILTER GAUSS
 λ_c 2.5mm
 N 1
 RANGE AUTO
 ESC
 SPEED 0.5mm/s
 PRE/POST ON
DIN4776
 λ_c 2.5mm
 N 1
 Rpk 4.80 μ m
 Rvk 1.97 μ m
 Rk 7.98 μ m
 Mr1 17%
 Mr2 95%
 A1 40
 A2 5
DIN4776
 $\lambda_c = 2.5\text{mm} \times 1$
 → x 2K
 × 50
 Ver. 5.0 μ m/cm
 Hor. 200.0 μ m/cm



NAMĚŘENÉ PARAMETRY DRSNOSTI PRO JEDNOTLIVÉ PLASTY

PC při změně posuvové rychlosti

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,80	13,64	3,27	13,64	55,00	2,50	12,50
2	2,37	14,50	2,90	14,50	59,00	2,50	12,50
3	2,38	13,29	2,87	13,29	70,00	2,50	12,50
4	2,30	13,25	2,78	13,25	61,00	2,50	12,50
5	2,27	12,87	2,77	12,87	73,00	2,50	12,50
6	2,44	13,97	2,91	13,97	65,00	2,50	12,50
7	2,70	12,69	3,15	12,69	64,00	2,50	12,50
8	2,31	15,12	2,82	15,12	59,00	2,50	12,50
9	2,43	15,15	2,99	15,15	66,00	2,50	12,50
10	2,49	12,44	2,94	12,44	68,00	2,50	12,50
X	2,449	13,692	2,940	13,692	64,000		
σ	0,174	0,972	0,160	0,972	5,558		
R	0,53	2,71	0,50	2,71	18,00		

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	1,00	89,00	0,32	2,70	8,66
2	6,00	88,00	1,14	2,88	8,89
3	7,00	93,00	1,72	2,20	9,08
4	9,00	85,00	1,66	3,43	7,05
5	3,00	91,00	0,56	1,88	9,28
6	4,00	90,00	0,84	2,56	8,98
7	1,00	88,00	0,35	2,94	8,78
8	3,00	87,00	2,00	2,83	8,25
9	1,00	90,00	0,13	3,11	9,75
10	5,00	88,00	1,41	3,28	8,49
X	4,000	88,900	1,013	2,781	8,721
σ	2,749	2,234	0,667	0,474	0,720
R	8,00	8,00	1,87	1,55	2,70

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,39	17,19	4,03	17,19	51,00	2,50	12,50
2	3,29	19,12	3,93	19,12	51,00	2,50	12,50
3	3,37	19,09	3,94	19,09	54,00	2,50	12,50
4	3,10	16,56	3,72	16,56	53,00	2,50	12,50
5	3,24	15,99	3,82	15,99	60,00	2,50	12,50
6	3,18	19,48	3,86	19,48	60,00	2,50	12,50
7	3,17	18,28	3,78	18,28	61,00	2,50	12,50
8	3,08	16,65	3,74	16,65	62,00	2,50	12,50
9	3,07	16,22	3,68	16,22	59,00	2,50	12,50
10	3,40	18,42	4,04	18,42	54,00	2,50	12,50
X	3,229	17,700	3,854	17,700	56,500		
σ	0,129	1,323	0,128	1,323	4,301		
R	0,33	3,49	0,36	3,49	11,00		

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	89,00	1,43	3,34	11,55
2	7,00	90,00	2,29	2,69	10,66
3	2,00	90,00	1,14	2,89	11,51
4	5,00	95,00	1,14	2,01	12,92
5	8,00	93,00	2,37	3,79	11,88
6	7,00	91,00	1,74	3,53	10,79
7	3,00	91,00	1,99	3,37	11,26
8	6,00	85,00	1,69	4,06	9,66
9	7,00	92,00	1,25	2,63	11,54
10	8,00	91,00	2,13	3,54	11,69
X	5,700	90,700	1,717	3,185	11,346
σ	2,111	2,627	0,468	0,620	0,857
R	6,00	10,00	1,23	2,05	3,26

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,48	18,26	4,08	18,26	63,00	2,50	12,50
2	2,70	17,68	3,34	17,68	70,00	2,50	12,50
3	3,44	20,09	4,13	20,09	65,00	2,50	12,50
4	3,49	22,61	4,26	22,61	60,00	2,50	12,50
5	3,12	17,72	3,82	17,72	61,00	2,50	12,50
6	3,38	19,06	4,09	19,06	62,00	2,50	12,50
7	3,41	19,14	4,04	19,14	61,00	2,50	12,50
8	3,30	18,74	3,97	18,74	73,00	2,50	12,50
9	3,02	16,88	3,68	16,88	61,00	2,50	12,50
10	3,56	19,07	4,23	19,07	63,00	2,50	12,50
X	3,290	18,925	3,964	18,925	63,900		
σ	0,267	1,588	0,281	1,588	4,306		
R	0,86	5,73	0,92	5,73	13,00		

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	3,00	93,00	1,19	3,87	13,12
2	8,00	92,00	6,13	2,90	12,72
3	9,00	94,00	2,94	3,55	12,82
4	8,00	86,00	2,62	3,66	9,89
5	11,00	88,00	3,48	3,89	10,61
6	11,00	88,00	3,08	3,28	10,40
7	4,00	89,00	3,60	3,11	11,53
8	3,00	90,00	1,24	2,91	12,26
9	12,00	88,00	2,44	3,26	9,78
10	7,00	92,00	3,00	2,77	10,16
X	7,600	90,000	2,972	3,320	11,329
σ	3,340	2,625	1,383	0,407	1,312
R	9,00	8,00	4,94	1,12	3,34

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,08	23,11	3,85	23,11	36,00	2,50	12,50
2	3,09	18,01	3,76	18,01	63,00	2,50	12,50
3	2,74	16,54	3,37	16,54	70,00	2,50	12,50
4	3,60	20,05	4,33	20,05	48,00	2,50	12,50
5	3,22	19,53	3,92	19,53	57,00	2,50	12,50
6	3,29	22,98	4,09	22,98	58,00	2,50	12,50
7	3,33	20,52	4,05	20,52	45,00	2,50	12,50
8	2,80	23,92	3,70	23,92	42,00	2,50	12,50
9	3,00	18,15	3,68	18,15	51,00	2,50	12,50
10	3,13	16,55	3,74	16,55	61,00	2,50	12,50
X	3,128	19,936	3,849	19,936	53,100		
σ	0,253	2,700	0,266	2,700	10,525		
R	0,86	7,38	0,96	7,38	34,00		

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	7,00	90,00	1,78	3,40	10,42
2	10,00	89,00	2,23	4,25	11,55
3	13,00	92,00	4,67	3,77	10,92
4	11,00	92,00	3,47	3,52	12,37
5	7,00	90,00	2,68	3,13	10,99
6	3,00	89,00	1,70	2,94	10,79
7	10,00	89,00	2,74	3,80	12,26
8	2,00	89,00	1,81	3,44	10,25
9	8,00	91,00	2,94	3,27	12,62
10	5,00	92,00	1,71	2,96	12,19
X	7,600	90,300	2,573	3,448	11,436
σ	3,534	1,337	0,955	0,409	0,873
R	11,00	3,00	2,97	1,31	2,37

$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

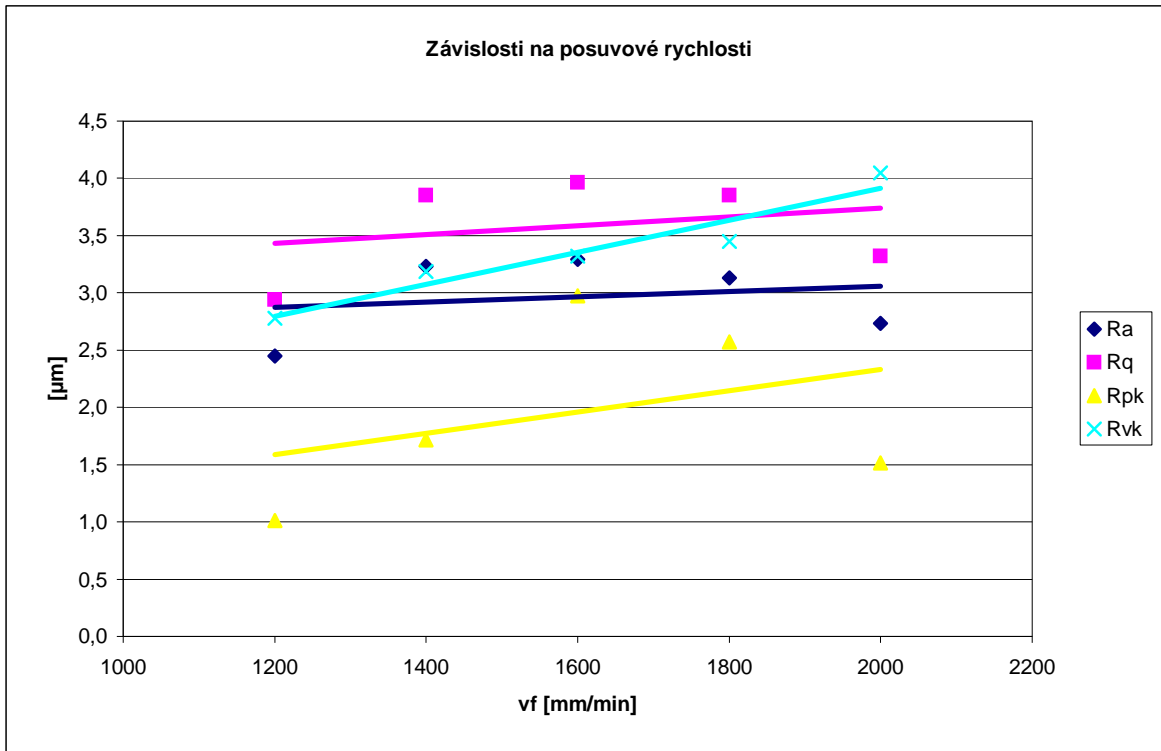
$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,93	16,89	3,63	16,89	72,00	2,50	12,50
2	2,89	16,37	3,53	16,37	65,00	2,50	12,50
3	2,75	16,77	3,32	16,77	68,00	2,50	12,50
4	2,33	13,47	2,92	13,47	71,00	2,50	12,50
5	2,96	17,19	3,57	17,19	63,00	2,50	12,50
6	2,60	16,15	3,19	16,15	76,00	2,50	12,50
7	2,54	13,91	3,06	13,91	75,00	2,50	12,50
8	2,79	14,83	3,33	14,83	70,00	2,50	12,50
9	2,77	15,66	3,35	15,66	72,00	2,50	12,50
10	2,78	15,45	3,32	15,45	67,00	2,50	12,50
X	2,734	15,669	3,322	15,669	69,900		
σ	0,194	1,266	0,223	1,266	4,175		
R	0,63	3,72	0,71	3,72	13,00		

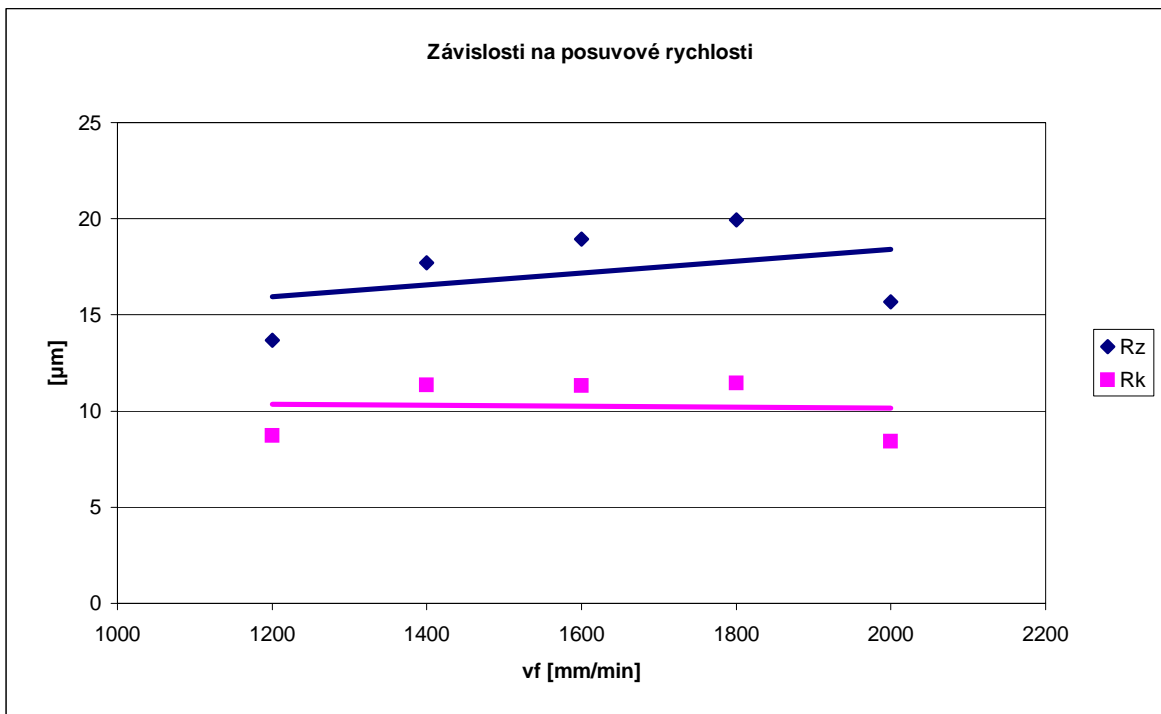
$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	2,00	87,00	0,71	3,67	9,11
2	4,00	86,00	3,02	3,68	8,21
3	4,00	83,00	0,74	4,49	8,58
4	6,00	89,00	1,23	2,98	8,03
5	8,00	88,00	1,61	4,45	9,37
6	5,00	81,00	1,52	4,56	6,41
7	3,00	85,00	0,67	3,88	8,79
8	7,00	87,00	1,34	4,34	7,78
9	7,00	85,00	3,10	4,42	9,86
10	5,00	83,00	1,20	3,99	8,23
X	5,100	85,400	1,514	4,046	8,437
σ	1,912	2,503	0,879	0,505	0,960
R	6,00	8,00	2,43	1,58	3,45

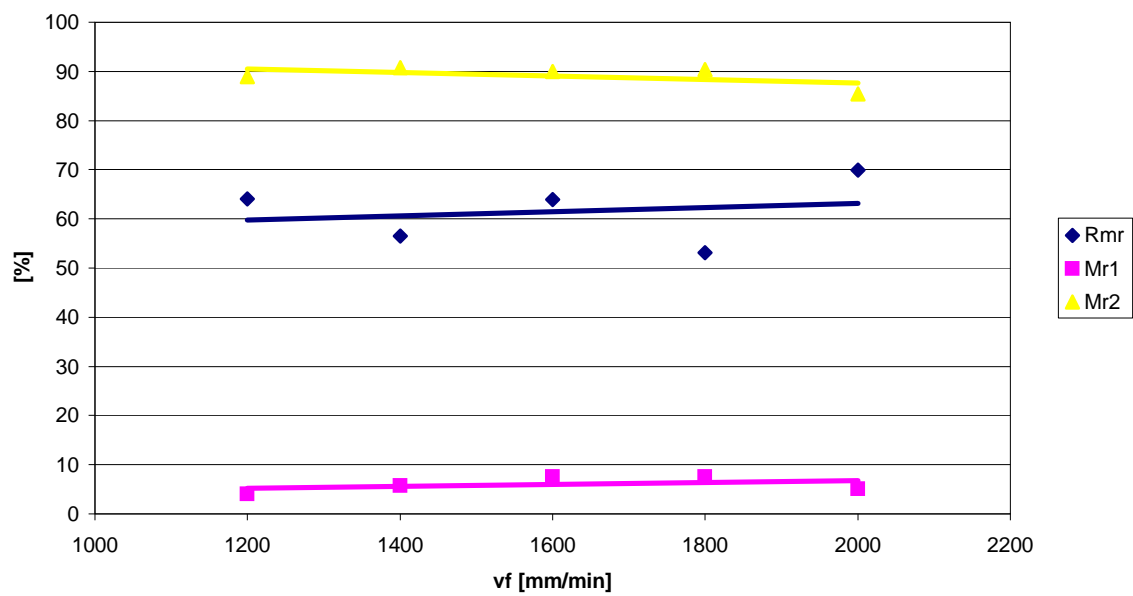


1200 1400 1600 1800 2000



1200 1400 1600 1800 2000

Závislosti na posuvové rychlosti



PC při změně řezné rychlosti

$n = 8000 \text{ ot/min}$; $v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,19	22,25	5,03	22,25	53,00	2,50	12,50
2	4,58	25,47	5,54	25,47	31,00	2,50	12,50
3	3,68	25,36	4,67	25,36	28,00	2,50	12,50
4	5,20	23,67	6,14	23,67	41,00	2,50	12,50
5	3,73	19,74	4,53	19,74	41,00	2,50	12,50
6	4,16	24,19	5,10	24,19	63,00	2,50	12,50
7	4,43	22,87	5,31	22,87	44,00	2,50	12,50
8	4,72	23,40	5,64	23,40	39,00	2,50	12,50
9	3,67	20,89	4,53	20,89	47,00	2,50	12,50
10	4,68	27,49	5,83	27,49	44,00	2,50	12,50
X	4,304	23,533	5,232	23,533	43,100		
σ	0,512	2,277	0,559	2,277	10,060		
R	1,53	7,75	1,61	7,75	35,00		

$n = 8000 \text{ ot/min}$; $v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	94,00	4,37	4,10	16,78
2	9,00	96,00	3,15	4,18	15,88
3	5,00	94,00	1,72	3,72	15,09
4	10,00	87,00	4,34	3,59	13,56
5	10,00	88,00	5,60	4,75	13,78
6	5,00	89,00	7,05	5,51	16,31
7	9,00	92,00	3,08	4,80	13,62
8	9,00	97,00	1,34	1,51	15,43
9	6,00	92,00	4,04	3,08	14,75
10	14,00	93,00	3,79	3,18	13,98
X	8,600	92,200	3,848	3,842	14,918
σ	2,716	3,327	1,692	1,118	1,172
R	9,00	10,00	5,71	4,00	3,22

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,22	25,50	5,21	25,50	26,00	2,50	12,50
2	2,92	20,24	3,76	20,24	54,00	2,50	12,50
3	3,96	24,22	4,78	24,22	44,00	2,50	12,50
4	4,26	21,56	5,10	21,56	58,00	2,50	12,50
5	2,95	15,72	3,54	15,72	47,00	2,50	12,50
6	2,64	16,01	3,17	16,01	59,00	2,50	12,50
7	2,05	18,17	2,65	18,17	65,00	2,50	12,50
8	3,20	19,65	4,03	19,65	29,00	2,50	12,50
9	3,70	22,33	4,49	22,33	44,00	2,50	12,50
10	3,57	21,34	4,34	21,34	40,00	2,50	12,50
X	3,347	20,474	4,107	20,474	46,600		
σ	0,722	3,219	0,837	3,219	12,773		
R	2,21	9,78	2,56	9,78	39,00		

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	11,00	92,00	3,61	3,54	11,05
2	7,00	91,00	4,40	3,17	10,01
3	6,00	92,00	2,59	2,17	12,17
4	11,00	95,00	2,95	1,96	12,58
5	14,00	94,00	6,58	4,41	15,44
6	11,00	90,00	3,21	2,91	9,72
7	12,00	92,00	4,33	1,65	11,10
8	13,00	89,00	2,74	2,78	8,37
9	6,00	84,00	3,41	3,23	7,38
10	9,00	91,00	2,71	2,82	10,13
X	10,000	91,000	3,653	2,864	10,795
σ	2,867	3,018	1,211	0,807	2,275
R	8,00	11,00	3,99	2,76	8,06

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,47	30,45	6,41	30,45	44,00	2,50	12,50
2	5,54	27,14	6,55	27,14	45,00	2,50	12,50
3	5,05	31,28	6,26	31,28	47,00	2,50	12,50
4	4,37	22,64	5,53	22,64	26,00	2,50	12,50
5	3,78	20,87	4,78	20,87	31,00	2,50	12,50
6	3,88	21,89	4,64	21,89	51,00	2,50	12,50
7	5,12	28,79	6,18	28,79	45,00	2,50	12,50
8	3,64	22,56	4,59	22,56	33,00	2,50	12,50
9	5,67	26,59	6,59	26,59	38,00	2,50	12,50
10	4,28	26,00	5,26	26,00	56,00	2,50	12,50
X	4,680	25,821	5,679	25,821	41,600		
σ	0,779	3,699	0,815	3,699	9,407		
R	2,03	10,41	2,00	10,41	30,00		

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	8,00	93,00	4,54	4,09	15,29
2	10,00	90,00	3,32	5,84	13,05
3	10,00	91,00	6,42	2,70	13,65
4	9,00	95,00	5,57	3,57	15,84
5	3,00	85,00	2,00	5,26	13,00
6	13,00	95,00	6,56	2,22	13,12
7	14,00	86,00	7,77	8,96	13,11
8	12,00	97,00	5,40	1,67	17,30
9	12,00	91,00	3,70	5,67	16,13
10	7,00	86,00	1,85	4,91	12,37
X	9,800	90,900	4,713	4,489	14,286
σ	3,259	4,202	1,984	2,142	1,697
R	11,00	12,00	5,92	7,29	4,93

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,02	15,94	3,57	15,94	62,00	2,50	12,50
2	2,20	12,95	2,81	12,95	62,00	2,50	12,50
3	2,53	15,59	3,05	15,59	63,00	2,50	12,50
4	2,47	13,85	2,95	13,85	65,00	2,50	12,50
5	2,60	15,67	3,18	15,67	68,00	2,50	12,50
6	3,11	17,42	3,83	17,42	57,00	2,50	12,50
7	2,83	15,17	3,34	15,17	63,00	2,50	12,50
8	2,65	16,95	3,23	16,95	65,00	2,50	12,50
9	2,29	15,88	2,97	15,88	77,00	2,50	12,50
10	2,54	15,60	3,18	15,60	65,00	2,50	12,50
X	2,624	15,502	3,211	15,502	64,700		
σ	0,292	1,313	0,306	1,313	5,187		
R	0,91	4,47	1,02	4,47	20,00		

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	9,00	90,00	2,80	4,10	8,70
2	6,00	87,00	1,95	3,66	11,30
3	6,00	88,00	1,61	3,60	9,04
4	3,00	86,00	1,64	3,47	12,05
5	9,00	87,00	2,05	2,92	8,18
6	7,00	87,00	2,09	3,47	8,94
7	14,00	87,00	5,35	3,34	7,81
8	6,00	87,00	2,20	4,18	9,99
9	11,00	89,00	1,67	2,84	8,72
10	7,00	84,00	2,50	4,15	7,87
X	7,800	87,200	2,386	3,573	9,260
σ	3,084	1,619	1,109	0,475	1,431
R	11,00	6,00	3,74	1,34	4,24

n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

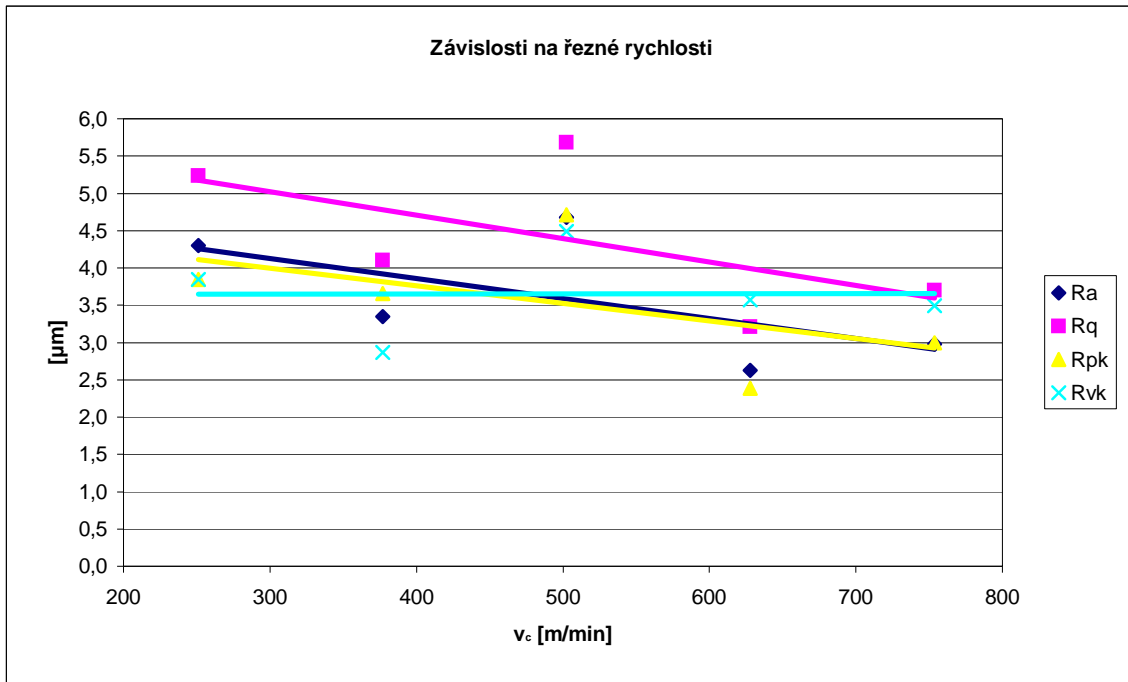
$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,72	18,95	3,49	18,95	36,00	2,50	12,50
2	2,73	19,30	3,55	19,30	49,00	2,50	12,50
3	3,13	18,18	3,78	18,18	58,00	2,50	12,50
4	2,71	18,14	3,45	18,14	75,00	2,50	12,50
5	3,70	22,15	4,45	22,15	50,00	2,50	12,50
6	2,94	16,52	3,57	16,52	55,00	2,50	12,50
7	3,50	19,79	4,31	19,79	64,00	2,50	12,50
8	2,87	21,99	3,77	21,99	41,00	2,50	12,50
9	2,55	14,74	3,10	14,74	67,00	2,50	12,50
10	2,93	15,79	3,56	15,79	52,00	2,50	12,50
X	2,978	18,555	3,703	18,555	54,700		
σ	0,367	2,441	0,404	2,441	11,833		
R	1,15	7,41	1,35	7,41	39,00		

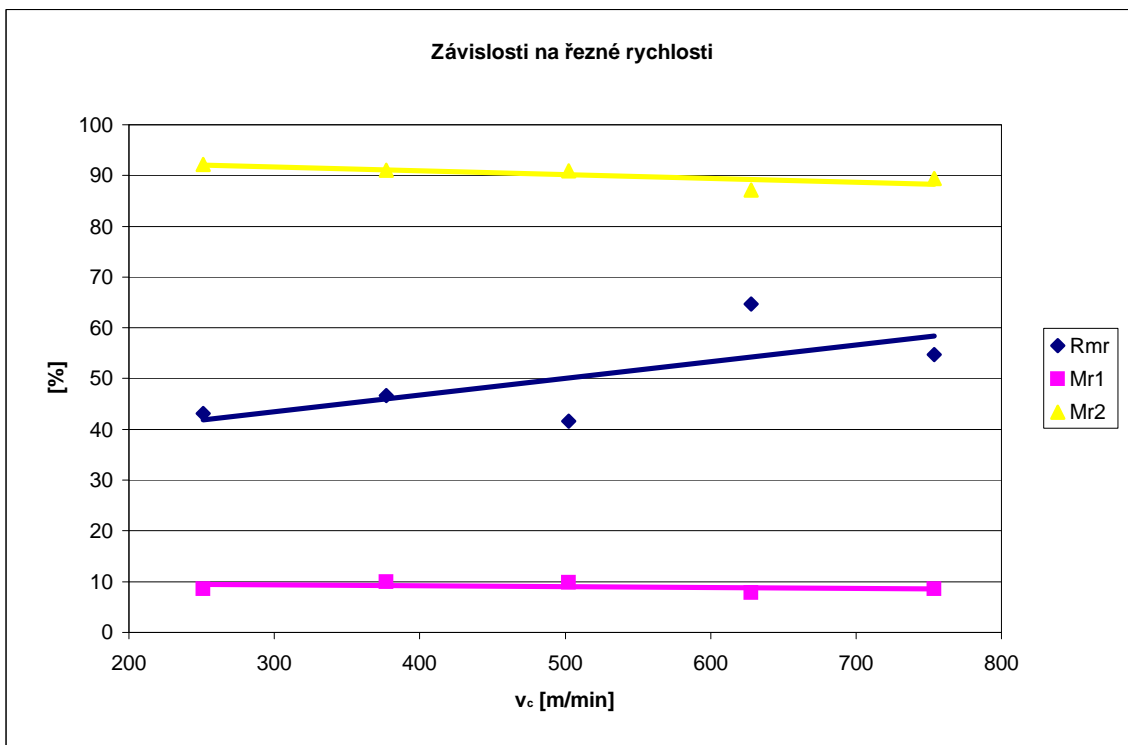
n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

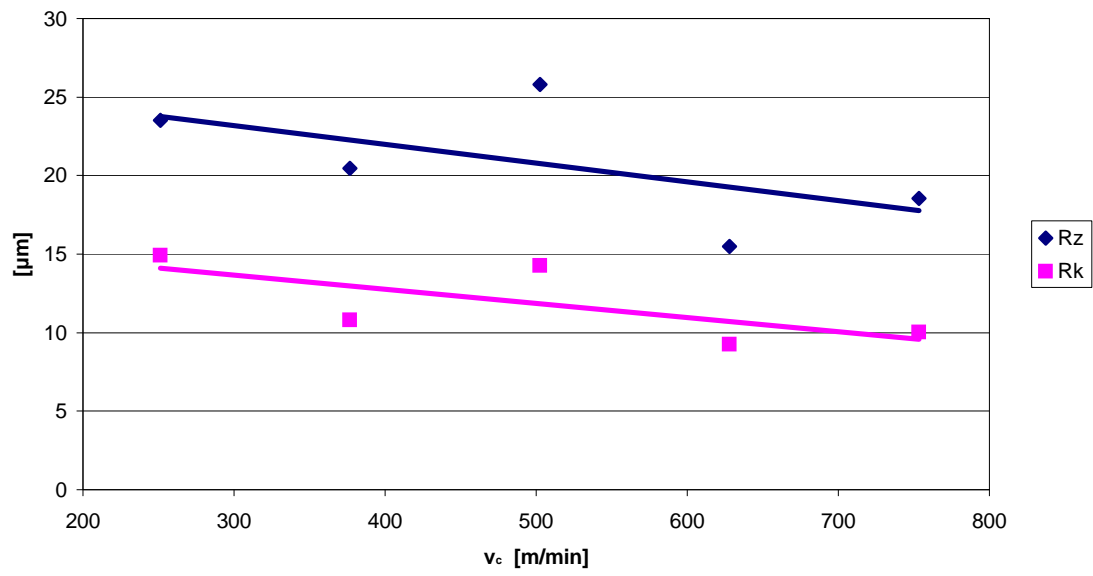
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	14,00	82,00	3,42	3,49	8,15
2	7,00	86,00	1,31	4,32	8,99
3	10,00	88,00	6,77	5,05	12,50
4	8,00	90,00	5,22	2,82	10,62
5	8,00	95,00	1,41	1,53	9,97
6	6,00	87,00	1,01	6,64	8,56
7	7,00	94,00	2,55	3,87	11,20
8	6,00	91,00	2,40	2,43	10,02
9	14,00	92,00	4,20	2,75	9,71
10	6,00	89,00	1,69	2,03	10,50
X	8,600	89,400	2,998	3,493	10,022
σ	3,098	3,893	1,897	1,538	1,288
R	8,00	13,00	5,76	5,11	4,35



251,2 376,8 502,4 628 753,6



Závislosti na řezné rychlosti



PC při změně hloubky řezu

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,08	17,89	3,68	17,89	68,00	2,50	12,50
2	3,16	18,77	3,82	18,77	74,00	2,50	12,50
3	3,05	18,58	3,70	18,58	75,00	2,50	12,50
4	3,05	19,01	3,69	19,01	77,00	2,50	12,50
5	3,16	19,40	3,81	19,40	70,00	2,50	12,50
6	3,01	19,78	3,62	19,78	50,00	2,50	12,50
7	2,69	16,28	3,24	16,28	71,00	2,50	12,50
8	2,95	18,99	3,59	18,99	74,00	2,50	12,50
9	3,06	19,28	3,69	19,28	75,00	2,50	12,50
10	3,18	19,03	3,78	19,03	69,00	2,50	12,50
X	3,039	18,701	3,662	18,701	70,300		
σ	0,142	0,990	0,166	0,990	7,718		
R	0,49	3,50	0,58	3,50	27,00		

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	1,00	86,00	0,12	4,52	9,84
2	2,00	86,00	1,35	4,67	9,86
3	3,00	83,00	1,07	3,94	8,74
4	3,00	87,00	1,25	4,42	9,32
5	2,00	87,00	1,05	3,95	9,74
6	2,00	83,00	0,31	4,41	8,35
7	1,00	83,00	0,73	4,07	9,51
8	2,00	86,00	0,32	3,51	10,20
9	1,00	84,00	0,27	4,07	8,43
10	2,00	84,00	0,56	4,41	9,70
X	1,900	84,900	0,703	4,197	9,369
σ	0,738	1,663	0,450	0,350	0,645
R	2,00	4,00	1,23	1,16	1,85

$h = 4\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,17	19,81	3,95	19,81	70,00	2,50	12,50
2	4,11	22,06	5,01	22,06	56,00	2,50	12,50
3	3,14	17,85	3,78	17,85	58,00	2,50	12,50
4	4,19	25,33	5,18	25,33	36,00	2,50	12,50
5	3,55	22,28	4,38	22,28	69,00	2,50	12,50
6	4,20	23,23	5,07	23,23	46,00	2,50	12,50
7	3,31	22,66	4,24	22,66	47,00	2,50	12,50
8	4,00	23,25	4,98	23,25	40,00	2,50	12,50
9	3,40	26,16	4,36	26,16	55,00	2,50	12,50
10	3,12	21,07	3,77	21,07	44,00	2,50	12,50
X	3,619	22,370	4,472	22,370	52,100		
σ	0,457	2,438	0,550	2,438	11,542		
R	1,08	8,31	1,41	8,31	34,00		

$h = 4\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	94,00	5,07	2,98	12,81
2	13,00	88,00	4,75	3,80	12,22
3	14,00	93,00	5,46	3,97	11,52
4	13,00	89,00	3,85	5,03	11,25
5	12,00	89,00	7,15	5,17	9,86
6	11,00	91,00	4,11	4,05	11,84
7	8,00	95,00	3,57	4,18	12,12
8	7,00	92,00	2,42	3,85	11,17
9	7,00	94,00	3,02	4,60	11,37
10	7,00	89,00	2,51	4,04	10,98
X	10,400	91,400	4,191	4,167	11,514
σ	2,836	2,547	1,464	0,637	0,808
R	7,00	7,00	4,73	2,19	2,95

$h = 6\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,03	28,48	5,06	28,48	78,00	2,50	12,50
2	4,04	24,36	5,03	24,36	34,00	2,50	12,50
3	4,20	31,91	5,50	31,91	22,00	2,50	12,50
4	3,80	22,60	4,64	22,60	37,00	2,50	12,50
5	4,24	25,56	5,21	25,56	48,00	2,50	12,50
6	4,14	27,30	5,26	27,30	50,00	2,50	12,50
7	3,83	29,49	4,87	29,49	20,00	2,50	12,50
8	3,72	23,08	4,50	23,08	61,00	2,50	12,50
9	4,66	32,30	5,94	32,30	41,00	2,50	12,50
10	4,17	25,34	5,07	25,34	44,00	2,50	12,50
X	4,083	27,042	5,108	27,042	43,500		
σ	0,271	3,451	0,413	3,451	17,361		
R	0,94	9,70	1,44	9,70	58,00		

$h = 6\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	93,00	4,24	3,25	13,88
2	10,00	88,00	6,85	4,68	12,78
3	8,00	88,00	2,61	3,25	12,69
4	9,00	91,00	3,14	4,64	12,53
5	12,00	94,00	4,02	3,41	13,23
6	17,00	94,00	6,59	2,05	14,31
7	6,00	90,00	4,06	3,49	11,78
8	5,00	90,00	4,66	3,76	13,34
9	14,00	93,00	5,43	3,52	13,54
10	12,00	86,00	3,55	5,60	11,15
X	10,200	90,700	4,515	3,765	12,923
σ	3,645	2,791	1,398	0,983	0,953
R	12,00	8,00	4,24	3,55	3,16

h = 8mm $v_f = 1600 \text{ mm/min}$, $v_c = 502,4 \text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,86	38,43	7,25	38,43	52,00	2,50	12,50
2	4,36	33,45	5,56	33,45	22,00	2,50	12,50
3	4,42	24,77	5,41	24,77	59,00	2,50	12,50
4	5,06	30,86	6,19	30,86	64,00	2,50	12,50
5	4,88	27,48	5,91	27,48	58,00	2,50	12,50
6	3,82	23,82	4,65	23,82	46,00	2,50	12,50
7	4,43	28,34	5,49	28,34	49,00	2,50	12,50
8	4,50	32,85	5,71	32,85	32,00	2,50	12,50
9	4,66	30,96	6,10	30,96	35,00	2,50	12,50
10	4,44	27,00	5,33	27,00	38,00	2,50	12,50
X	4,643	29,796	5,760	29,796	45,500		
σ	0,540	4,422	0,683	4,422	13,485		
R	2,04	14,61	2,60	14,61	42,00		

h = 8mm $v_f = 1600 \text{ mm/min}$, $v_c = 502,4 \text{ m/min}$

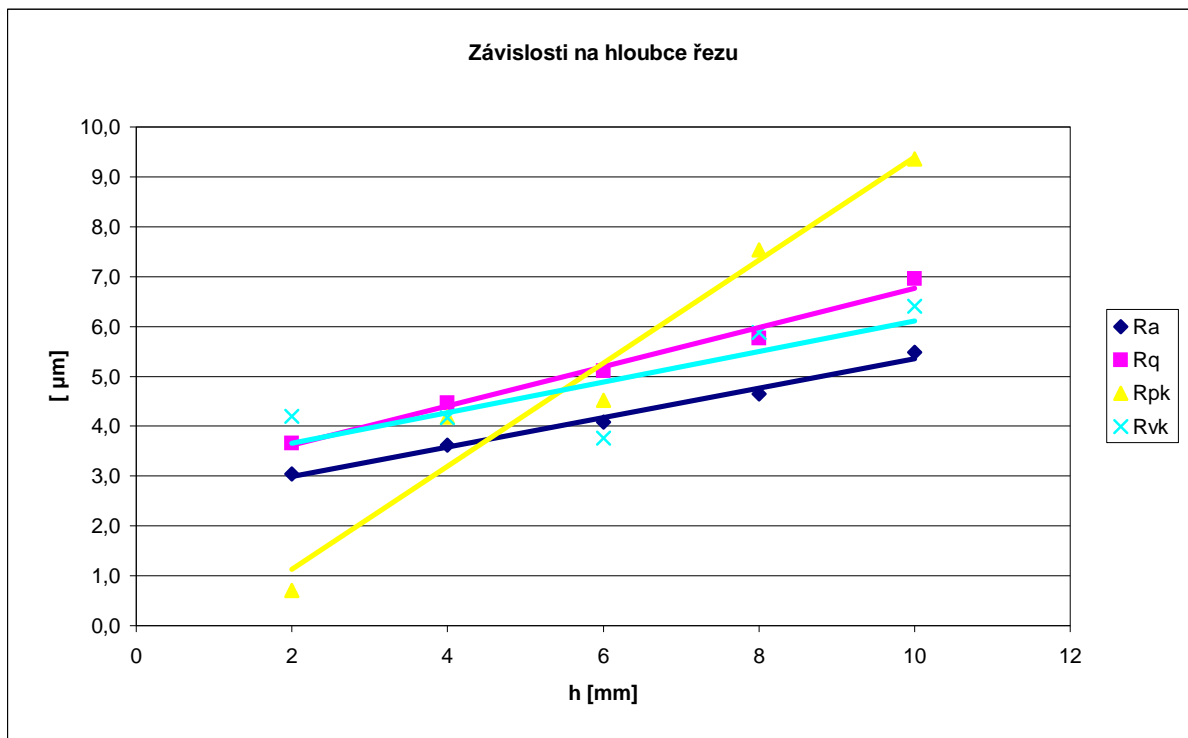
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	10,00	91,00	3,24	6,57	16,37
2	11,00	88,00	4,94	7,62	13,40
3	9,00	88,00	3,03	5,15	14,07
4	13,00	89,00	7,84	5,95	15,73
5	10,00	90,00	6,34	6,58	16,67
6	15,00	92,00	8,50	4,20	14,69
7	12,00	91,00	7,91	4,65	15,11
8	14,00	90,00	18,91	5,05	15,77
9	6,00	90,00	9,35	5,19	13,70
10	7,00	88,00	5,34	7,80	13,60
X	10,700	89,700	7,540	5,876	14,911
σ	2,908	1,418	4,541	1,235	1,197
R	9,00	4,00	15,88	3,60	3,27

$h = 10\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

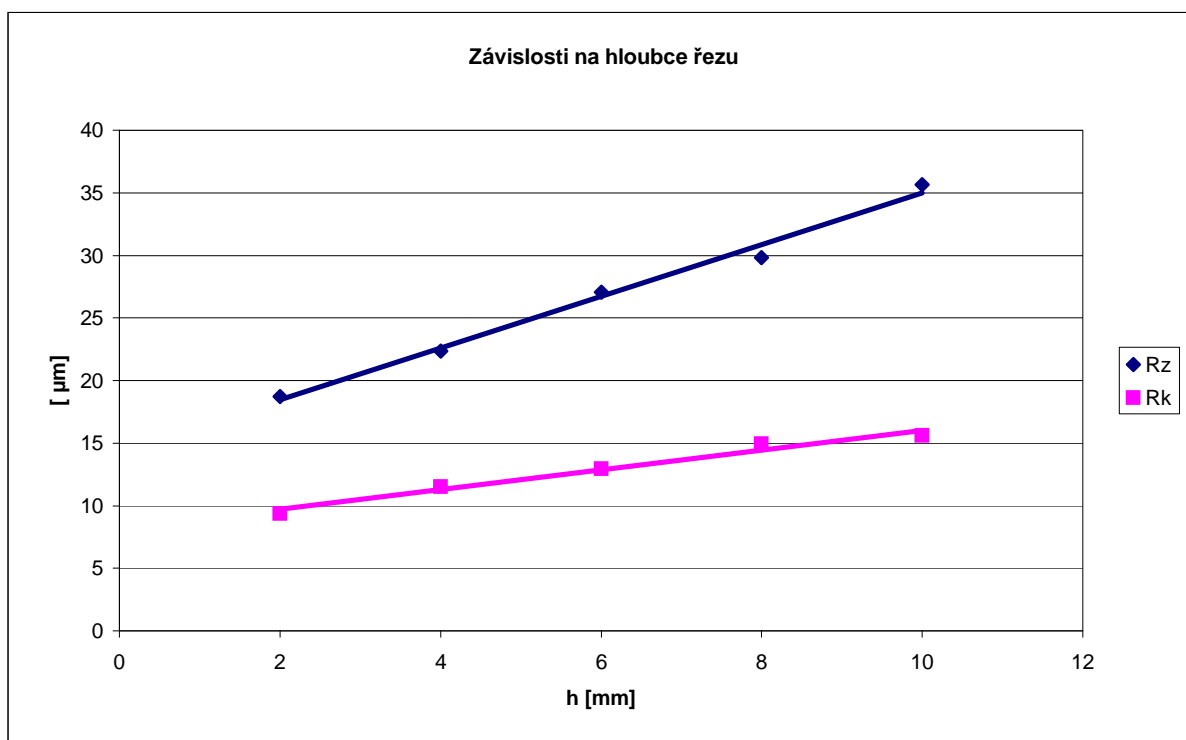
č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	5,51	37,12	7,17	37,12	36,00	2,50	12,50
2	5,87	34,24	7,30	34,24	52,00	2,50	12,50
3	4,84	32,26	6,01	32,26	54,00	2,50	12,50
4	5,58	33,24	6,92	33,24	46,00	2,50	12,50
5	5,80	38,05	7,64	38,05	26,00	2,50	12,50
6	5,86	40,79	7,64	40,79	29,00	2,50	12,50
7	5,69	35,83	7,10	35,83	51,00	2,50	12,50
8	4,25	31,73	5,44	31,73	28,00	2,50	12,50
9	5,87	38,26	7,51	38,26	24,00	2,50	12,50
10	5,49	35,05	6,79	35,05	35,00	2,50	12,50
X	5,476	35,657	6,952	35,657	38,100		
σ	0,530	2,910	0,719	2,910	11,638		
R	1,62	9,06	2,20	9,06	30,00		

$h = 10\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	89,00	5,28	5,42	12,43
2	13,00	87,00	7,95	6,89	17,23
3	8,00	88,00	14,21	7,92	19,06
4	11,00	94,00	11,05	5,26	16,43
5	11,00	91,00	7,43	6,27	16,19
6	12,00	89,00	8,81	7,08	16,52
7	13,00	88,00	9,81	6,02	13,34
8	13,00	88,00	6,85	7,14	13,35
9	15,00	85,00	7,81	6,53	14,16
10	10,00	90,00	14,36	5,53	17,17
X	11,500	88,900	9,356	6,406	15,588
σ	2,121	2,424	3,036	0,866	2,141
R	7,00	9,00	9,08	2,66	6,63

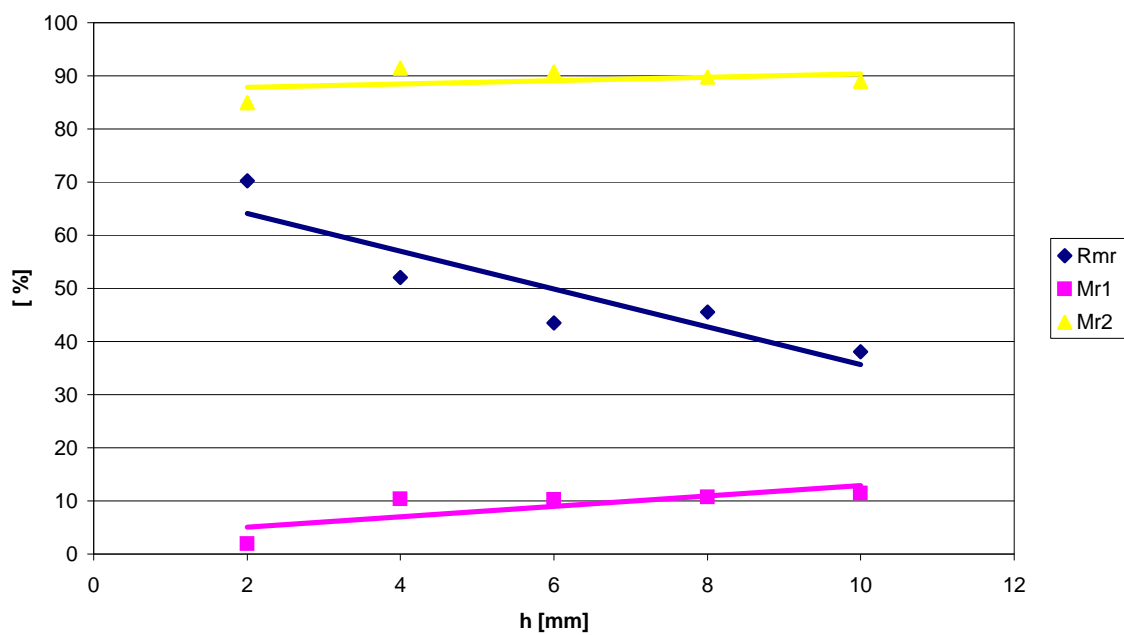


2 4 6 8 10



h [mm]

Závislosti na hloubce řezu



PTFE při změně posuvové rychlosti

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,09	5,97	1,29	5,97	59,00	0,80	4,00
2	0,75	5,17	0,95	5,17	64,00	0,80	4,00
3	1,03	5,70	1,25	5,70	49,00	0,80	4,00
4	1,17	7,01	1,45	7,01	60,00	0,80	4,00
5	1,34	6,79	1,58	6,79	50,00	0,80	4,00
6	1,53	7,01	1,80	7,01	49,00	0,80	4,00
7	1,52	7,19	1,80	7,19	47,00	0,80	4,00
8	1,18	8,04	1,51	8,04	59,00	0,80	4,00
9	1,25	7,99	1,57	7,99	54,00	0,80	4,00
10	0,99	5,49	1,20	5,49	60,00	0,80	4,00
X	1,185	6,636	1,440	6,636	55,100		
σ	0,240	1,011	0,270	1,011	6,008		
R	0,78	2,87	0,85	2,87	17,00		

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	86,00	0,34	1,34	3,22
2	4,00	84,00	0,51	1,78	3,89
3	11,00	93,00	1,06	0,87	2,78
4	9,00	89,00	0,78	2,79	4,17
5	5,00	82,00	0,19	1,79	3,32
6	5,00	92,00	0,56	0,92	3,84
7	10,00	89,00	1,25	2,98	5,71
8	6,00	90,00	0,61	1,29	3,40
9	5,00	81,00	0,48	1,58	3,24
10	8,00	89,00	0,83	1,20	3,73
X	6,700	87,500	0,661	1,654	3,730
σ	2,584	4,089	0,324	0,721	0,805
R	7,00	12,00	1,06	2,11	2,93

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,10	5,37	1,30	5,37	52,00	0,80	4,00
2	1,09	6,32	1,36	6,32	47,00	0,80	4,00
3	1,03	6,69	1,30	6,69	44,00	0,80	4,00
4	1,26	6,42	1,49	6,42	53,00	0,80	4,00
5	1,10	6,75	1,36	6,75	71,00	0,80	4,00
6	1,13	6,88	1,39	6,88	40,00	0,80	4,00
7	1,09	5,94	1,29	5,94	53,00	0,80	4,00
8	1,54	8,21	1,78	8,21	56,00	0,80	4,00
9	1,12	6,98	1,37	6,98	62,00	0,80	4,00
10	1,17	6,89	1,41	6,89	71,00	0,80	4,00
X	1,163	6,645	1,405	6,645	54,900		
σ	0,146	0,743	0,145	0,743	10,482		
R	0,51	2,84	0,49	2,84	31,00		

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	2,00	89,00	0,45	1,40	4,20
2	6,00	93,00	0,68	0,61	2,96
3	8,00	88,00	0,87	2,16	3,38
4	4,00	89,00	0,51	1,50	4,01
5	7,00	88,00	1,07	1,16	3,49
6	6,00	91,00	0,67	0,96	3,94
7	5,00	81,00	0,71	5,15	3,55
8	8,00	90,00	0,89	1,55	2,95
9	2,00	91,00	0,24	1,33	4,02
10	5,00	91,00	0,63	0,73	3,33
X	5,300	89,100	0,672	1,655	3,583
σ	2,163	3,247	0,238	1,306	0,445
R	6,00	12,00	0,83	4,54	1,25

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,24	7,68	1,58	7,68	63,00	0,80	4,00
2	0,99	6,04	1,19	6,04	58,00	0,80	4,00
3	1,44	7,38	1,69	7,38	66,00	0,80	4,00
4	1,05	6,78	1,30	6,78	51,00	0,80	4,00
5	1,51	7,47	1,75	7,47	52,00	0,80	4,00
6	1,27	6,71	1,53	6,71	73,00	0,80	4,00
7	1,11	7,30	1,35	7,30	71,00	0,80	4,00
8	1,39	8,50	1,76	8,50	74,00	0,80	4,00
9	1,56	9,36	1,88	9,36	74,00	0,80	4,00
10	1,10	6,27	1,29	6,27	65,00	0,80	4,00
X	1,266	7,349	1,532	7,349	64,700		
σ	0,202	1,006	0,238	1,006	8,693		
R	0,57	3,32	0,69	3,32	23,00		

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	87,00	0,53	1,05	3,67
2	3,00	75,00	0,45	2,73	4,88
3	7,00	87,00	0,85	1,36	4,08
4	1,00	90,00	0,21	2,06	3,40
5	4,00	91,00	0,45	1,55	4,67
6	6,00	80,00	0,68	2,49	4,65
7	8,00	81,00	0,82	2,51	3,23
8	4,00	83,00	0,50	2,08	3,03
9	3,00	84,00	0,69	2,28	3,47
10	8,00	88,00	0,68	1,46	4,24
X	4,800	84,600	0,586	1,957	3,932
σ	2,348	4,971	0,195	0,569	0,662
R	7,00	16,00	0,64	1,68	1,85

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,34	8,33	1,63	8,33	70,00	0,80	4,00
2	0,99	6,46	1,23	6,46	70,00	0,80	4,00
3	1,55	7,65	1,82	7,65	60,00	0,80	4,00
4	1,28	7,46	1,59	7,46	67,00	0,80	4,00
5	1,10	7,41	1,34	7,41	57,00	0,80	4,00
6	1,61	8,80	1,91	8,80	59,00	0,80	4,00
7	1,56	7,29	1,83	7,29	56,00	0,80	4,00
8	1,77	9,30	2,16	9,30	40,00	0,80	4,00
9	1,55	7,64	1,68	7,64	75,00	0,80	4,00
10	1,42	8,08	1,71	8,08	63,00	0,80	4,00
X	1,417	7,842	1,690	7,842	61,700		
σ	0,242	0,814	0,270	0,814	9,889		
R	0,78	2,84	0,93	2,84	35,00		

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	3,00	84,00	0,78	2,39	4,58
2	1,00	88,00	0,34	1,37	4,74
3	5,00	91,00	0,60	3,13	5,78
4	5,00	93,00	0,55	0,80	5,29
5	6,00	78,00	1,14	2,52	3,65
6	5,00	82,00	0,61	2,14	3,85
7	9,00	86,00	1,63	2,79	4,01
8	4,00	95,00	0,83	0,98	5,46
9	3,00	91,00	0,91	2,30	4,57
10	7,00	93,00	1,43	1,13	4,61
X	4,800	88,100	0,882	1,955	4,654
σ	2,251	5,507	0,408	0,820	0,700
R	8,00	17,00	1,29	2,33	2,13

$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

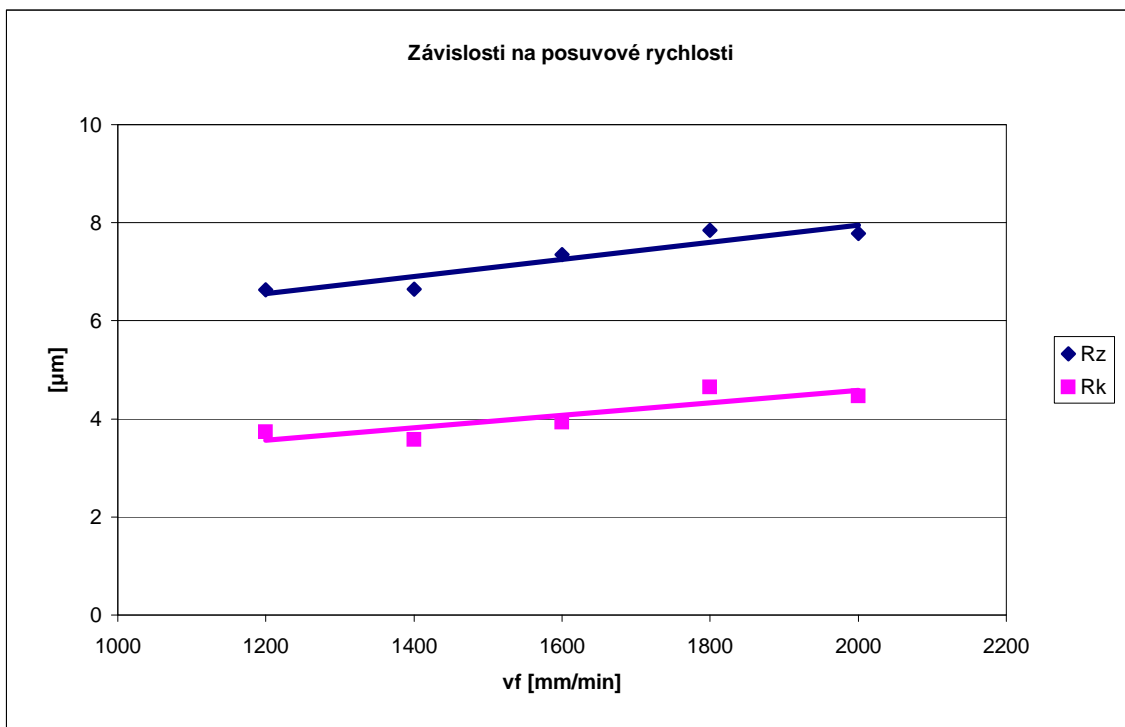
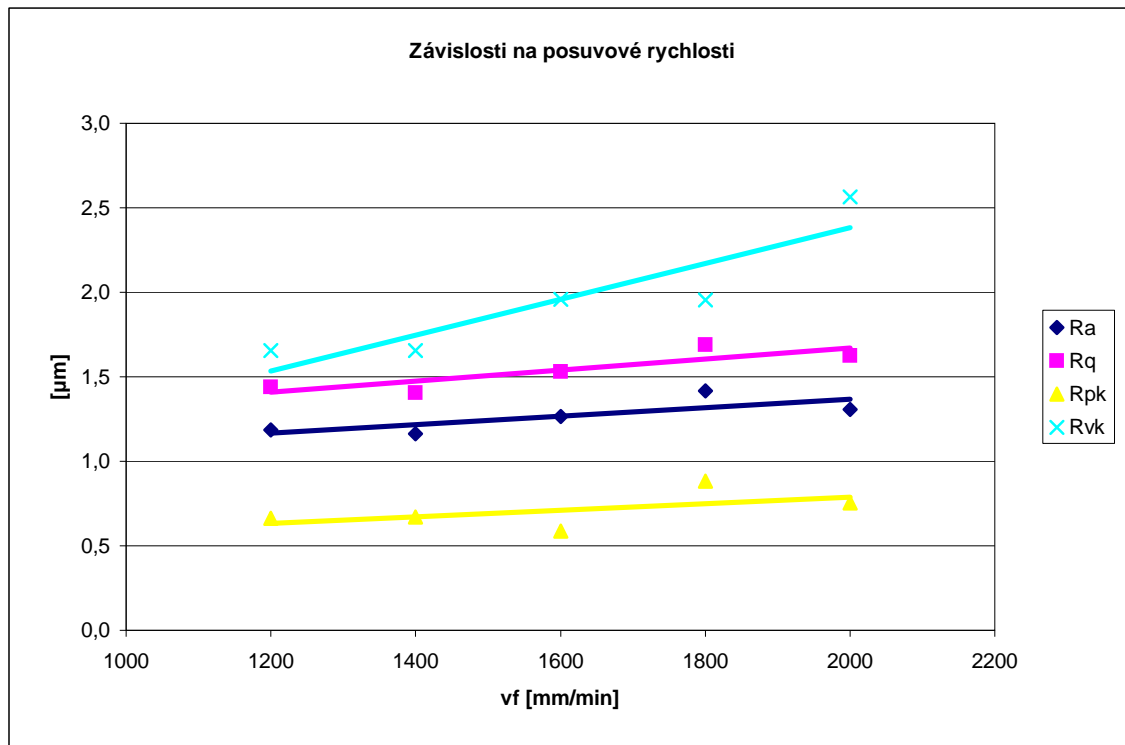
$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,43	9,37	1,92	9,37	82,00	0,80	4,00
2	1,02	5,74	1,25	5,74	65,00	0,80	4,00
3	1,15	6,45	1,39	6,45	61,00	0,80	4,00
4	1,19	6,02	1,44	6,02	69,00	0,80	4,00
5	1,33	7,72	1,65	7,72	53,00	0,80	4,00
6	1,24	6,85	1,51	6,85	58,00	0,80	4,00
7	1,17	6,85	1,43	6,85	69,00	0,80	4,00
8	1,64	11,10	2,08	11,10	85,00	0,80	4,00
9	1,29	8,08	1,58	8,08	74,00	0,80	4,00
10	1,59	9,64	2,00	9,64	61,00	0,80	4,00
X	1,305	7,782	1,625	7,782	67,700		
σ	0,197	1,759	0,283	1,759	10,296		
R	0,62	5,36	0,83	5,36	32,00		

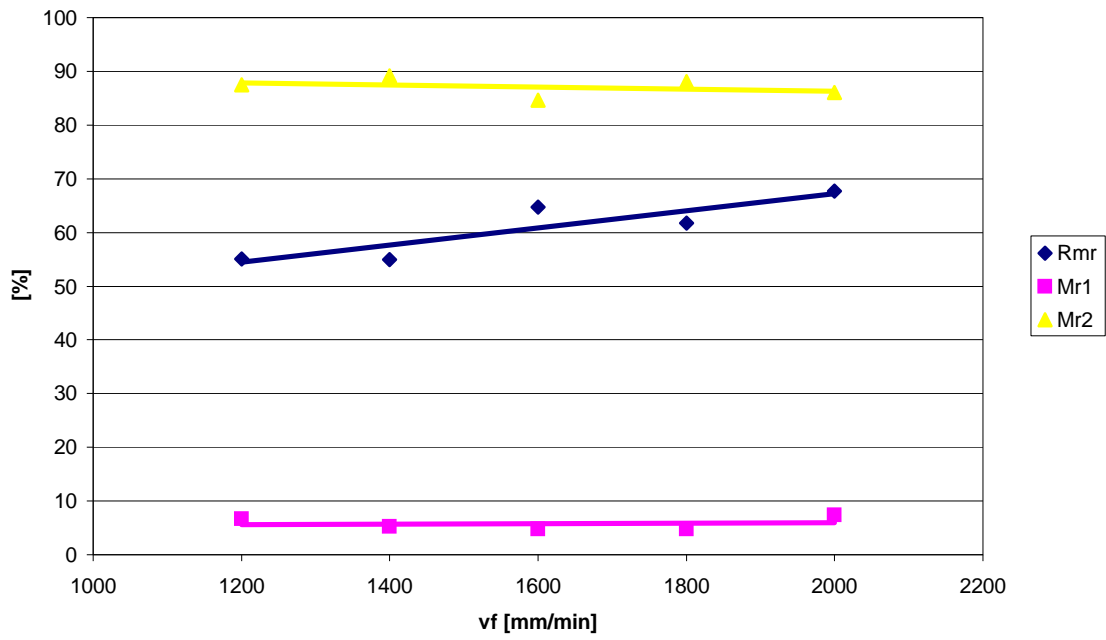
$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	13,00	90,00	1,58	2,96	4,49
2	8,00	80,00	0,84	2,42	2,87
3	8,00	91,00	0,60	2,98	4,22
4	8,00	87,00	0,60	1,93	4,51
5	5,00	86,00	0,52	1,66	4,91
6	5,00	85,00	0,43	4,03	4,88
7	4,00	88,00	0,37	2,36	3,70
8	9,00	82,00	0,89	1,74	4,51
9	7,00	88,00	0,83	1,80	4,85
10	7,00	84,00	0,86	3,78	5,66
X	7,400	86,100	0,752	2,566	4,460
σ	2,547	3,446	0,346	0,850	0,756
R	9,00	11,00	1,21	2,37	2,79



Závislosti na posuvové rychlosti



PTFE při změně řezné rychlosti

$n = 8000$ ot/min; $v_c = 251,2$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,89	9,67	2,23	9,67	69,00	0,80	4,00
2	1,82	9,07	2,18	9,07	72,00	0,80	4,00
3	1,87	9,38	2,25	9,38	72,00	0,80	4,00
4	1,84	8,61	2,12	8,61	53,00	0,80	4,00
5	1,52	9,23	1,88	9,23	81,00	0,80	4,00
6	1,70	8,99	2,08	8,99	67,00	0,80	4,00
7	2,01	8,36	2,34	8,36	67,00	0,80	4,00
8	2,18	11,73	2,64	11,73	48,00	0,80	4,00
9	1,72	8,68	2,05	8,68	67,00	0,80	4,00
10	2,43	9,97	2,70	9,97	65,00	0,80	4,00
X	1,898	9,369	2,247	9,369	66,100		
σ	0,258	0,963	0,256	0,963	9,445		
R	0,91	3,37	0,82	3,37	33,00		

$n = 8000$ ot/min; $v_c = 251,2$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	3,00	64,00	0,27	4,86	4,45
2	10,00	72,00	1,63	6,72	7,03
3	11,00	72,00	2,73	1,70	9,72
4	3,00	53,00	0,30	3,49	6,28
5	2,00	81,00	0,49	2,62	5,34
6	9,00	67,00	0,66	2,44	7,23
7	4,00	67,00	0,62	4,84	5,54
8	3,00	48,00	0,52	4,77	5,87
9	2,00	67,00	0,32	3,84	5,80
10	5,00	65,00	0,41	5,35	4,85
X	5,200	65,600	0,795	4,063	6,211
σ	3,458	9,407	0,786	1,532	1,508
R	9,00	33,00	2,46	5,02	5,27

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,61	7,40	1,90	7,40	61,00	0,80	4,00
2	1,61	8,08	1,94	8,08	66,00	0,80	4,00
3	1,55	8,10	1,82	8,10	58,00	0,80	4,00
4	1,26	6,82	1,52	6,82	72,00	0,80	4,00
5	1,40	8,38	1,73	8,38	74,00	0,80	4,00
6	1,18	6,32	1,40	6,32	58,00	0,80	4,00
7	1,72	8,99	2,04	8,99	66,00	0,80	4,00
8	1,76	10,30	2,21	10,30	63,00	0,80	4,00
9	1,36	7,13	1,65	7,13	44,00	0,80	4,00
10	1,31	6,98	1,59	6,98	66,00	0,80	4,00
X	1,476	7,850	1,780	7,850	62,800		
σ	0,201	1,182	0,250	1,182	8,456		
R	0,58	3,98	0,81	3,98	30,00		

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	3,00	88,00	0,57	1,74	6,32
2	11,00	95,00	1,05	0,83	4,93
3	3,00	91,00	0,26	1,58	6,26
4	11,00	89,00	1,00	0,94	5,10
5	12,00	95,00	0,94	1,53	5,58
6	2,00	92,00	0,16	1,22	5,70
7	4,00	84,00	0,78	2,02	3,42
8	2,00	87,00	0,21	2,25	5,60
9	3,00	78,00	0,33	2,83	4,94
10	10,00	91,00	0,96	2,05	5,04
X	6,100	89,000	0,626	1,699	5,289
σ	4,280	5,164	0,360	0,616	0,830
R	10,00	17,00	0,89	2,00	2,90

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	0,76	5,09	0,96	5,09	84,00	0,80	4,00
2	0,85	4,80	1,07	4,80	68,00	0,80	4,00
3	0,93	5,27	1,13	5,27	63,00	0,80	4,00
4	1,11	6,84	1,35	6,84	62,00	0,80	4,00
5	0,81	5,12	1,02	5,12	70,00	0,80	4,00
6	0,95	5,87	1,17	5,87	72,00	0,80	4,00
7	0,92	5,33	1,11	5,33	67,00	0,80	4,00
8	0,87	5,72	1,08	5,72	81,00	0,80	4,00
9	0,75	5,15	0,98	5,15	84,00	0,80	4,00
10	0,87	5,86	1,12	5,86	81,00	0,80	4,00
X	0,882	5,505	1,099	5,505	73,200		
σ	0,105	0,589	0,111	0,589	8,574		
R	0,36	2,04	0,39	2,04	22,00		

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	5,00	86,00	0,39	2,25	2,78
2	10,00	87,00	0,93	1,06	2,57
3	6,00	81,00	0,46	1,24	2,38
4	6,00	85,00	1,03	1,33	2,46
5	9,00	89,00	0,43	1,25	2,75
6	9,00	83,00	0,71	1,23	2,22
7	5,00	81,00	0,64	1,94	2,27
8	9,00	87,00	0,56	1,16	2,34
9	4,00	89,00	0,29	1,20	3,27
10	9,00	81,00	0,95	1,77	3,16
X	7,200	84,900	0,639	1,443	2,620
σ	2,201	3,213	0,259	0,398	0,366
R	6,00	8,00	0,74	1,19	1,05

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,21	7,00	1,47	7,00	69,00	0,80	4,00
2	0,86	6,18	1,08	6,18	85,00	0,80	4,00
3	1,13	5,92	1,33	5,92	54,00	0,80	4,00
4	1,07	6,14	1,30	6,14	77,00	0,80	4,00
5	1,00	5,99	1,25	5,99	75,00	0,80	4,00
6	1,09	6,09	1,36	6,09	69,00	0,80	4,00
7	1,12	5,33	1,31	5,33	55,00	0,80	4,00
8	0,81	4,92	0,90	4,92	61,00	0,80	4,00
9	0,76	4,99	0,96	4,99	61,00	0,80	4,00
10	0,94	7,89	1,27	7,89	90,00	0,80	4,00
X	0,999	6,045	1,223	6,045	69,600		
σ	0,151	0,898	0,183	0,898	12,213		
R	0,45	2,97	0,57	2,97	36,00		

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	88,00	0,79	2,60	2,60
2	4,00	85,00	0,40	2,17	2,45
3	9,00	90,00	0,74	1,25	2,99
4	7,00	87,00	0,52	2,11	2,84
5	9,00	88,00	0,81	2,02	2,99
6	6,00	83,00	0,54	1,57	2,36
7	8,00	88,00	0,79	2,26	2,85
8	8,00	85,00	0,74	1,44	2,67
9	3,00	82,00	0,27	1,67	2,97
10	5,00	90,00	0,48	1,12	2,84
X	7,000	86,600	0,608	1,821	2,756
σ	2,494	2,757	0,191	0,482	0,226
R	8,00	8,00	0,54	1,48	0,63

n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

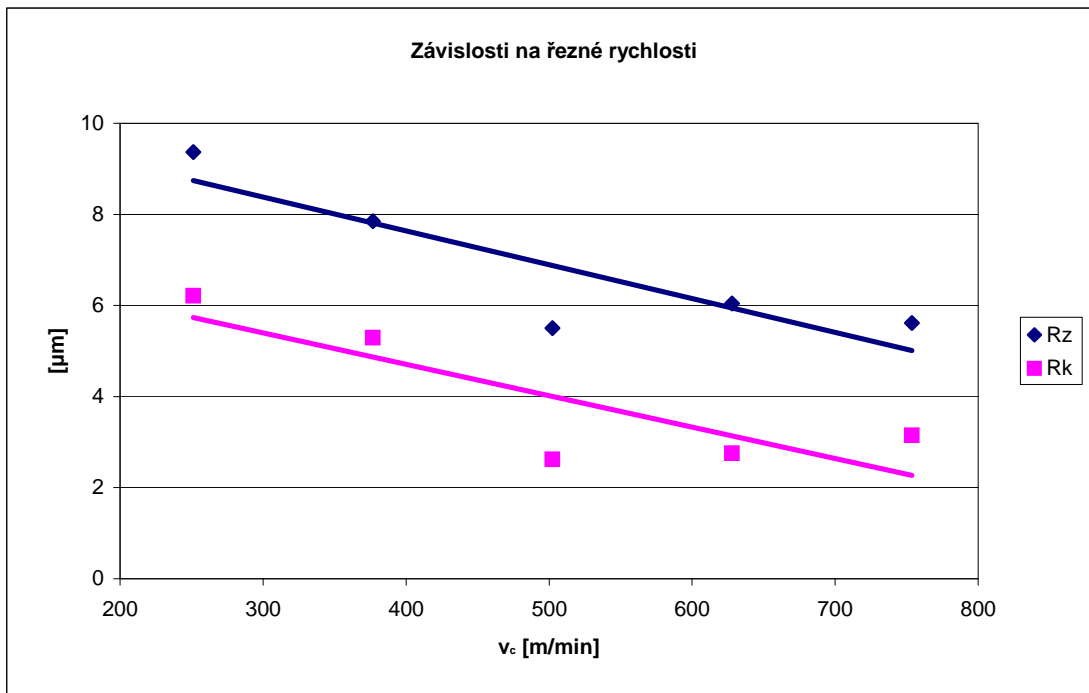
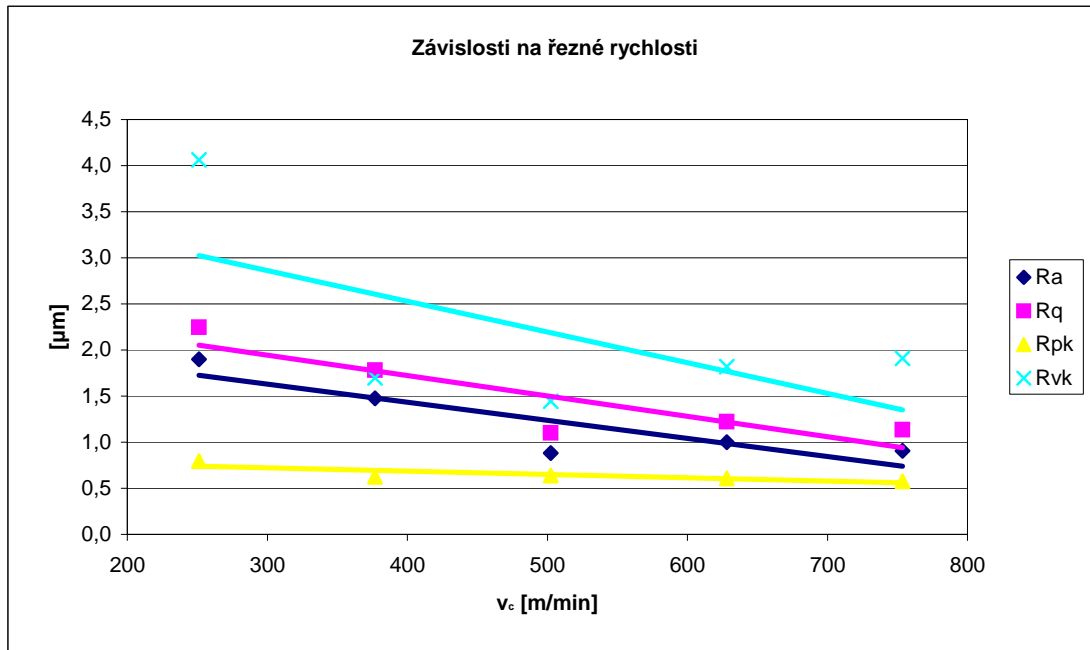
$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,02	5,50	1,24	5,50	58,00	0,80	4,00
2	0,98	5,34	1,19	5,34	59,00	0,80	4,00
3	0,78	4,84	0,99	4,84	74,00	0,80	4,00
4	1,05	7,50	1,35	7,50	86,00	0,80	4,00
5	0,91	4,86	1,09	4,86	65,00	0,80	4,00
6	0,84	5,59	1,06	5,59	76,00	0,80	4,00
7	0,82	5,20	1,02	5,20	79,00	0,80	4,00
8	1,14	6,54	1,42	6,54	72,00	0,80	4,00
9	0,82	6,16	1,10	6,16	79,00	0,80	4,00
10	0,71	4,60	0,89	4,60	77,00	0,80	4,00
X	0,907	5,613	1,135	5,613	72,500		
σ	0,136	0,892	0,165	0,892	9,132		
R	0,43	2,90	0,53	2,90	28,00		

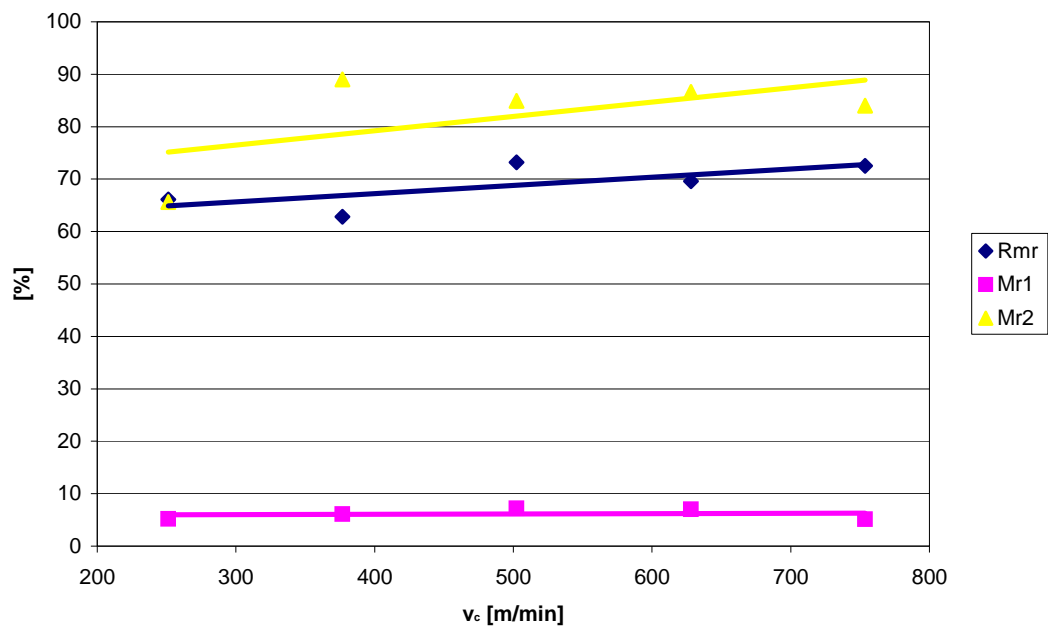
n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	7,00	85,00	0,47	1,25	2,10
2	7,00	76,00	0,92	5,75	4,09
3	5,00	83,00	0,61	1,40	2,53
4	4,00	88,00	0,61	0,90	3,13
5	2,00	84,00	0,60	1,41	2,63
6	4,00	76,00	0,49	1,35	2,57
7	5,00	88,00	0,34	1,80	2,65
8	5,00	86,00	0,63	1,90	3,32
9	9,00	88,00	0,53	1,38	2,06
10	3,00	86,00	0,56	1,95	6,38
X	5,100	84,000	0,576	1,909	3,146
σ	2,079	4,546	0,149	1,387	1,286
R	7,00	12,00	0,58	4,85	4,32



Závislosti na řezné rychlosti



PTFE při změně hloubky řezu

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,13	8,34	1,41	8,34	80,00	0,80	4,00
2	1,15	6,96	1,40	6,96	81,00	0,80	4,00
3	1,13	6,65	1,37	6,65	78,00	0,80	4,00
4	1,34	7,75	1,60	7,75	70,00	0,80	4,00
5	1,40	9,31	1,78	9,31	75,00	0,80	4,00
6	1,04	5,97	1,29	5,97	66,00	0,80	4,00
7	0,92	5,79	1,16	5,79	50,00	0,80	4,00
8	1,02	5,20	1,22	5,20	53,00	0,80	4,00
9	1,15	7,03	1,43	7,03	56,00	0,80	4,00
10	1,27	8,84	1,60	8,84	54,00	0,80	4,00
X	1,155	7,184	1,426	7,184	66,300		
σ	0,147	1,359	0,189	1,359	12,157		
R	0,48	4,11	0,62	4,11	31,00		

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	10,00	88,00	0,69	1,67	3,34
2	16,00	92,00	1,09	0,69	3,44
3	6,00	79,00	0,43	1,86	3,10
4	5,00	82,00	0,80	1,88	3,22
5	10,00	90,00	0,87	0,84	4,88
6	2,00	87,00	0,45	2,87	4,26
7	5,00	83,00	0,34	2,02	4,29
8	1,00	84,00	0,16	1,61	4,29
9	1,00	83,00	0,09	3,00	3,79
10	4,00	92,00	0,60	1,09	3,65
X	6,000	86,000	0,552	1,753	3,826
σ	4,761	4,472	0,318	0,770	0,581
R	15,00	13,00	1,00	2,31	1,78

h = 4mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,66	7,37	1,92	7,37	57,00	0,80	4,00
2	1,80	9,11	2,13	9,11	61,00	0,80	4,00
3	1,60	8,29	1,93	8,29	65,00	0,80	4,00
4	1,72	9,83	2,09	9,83	65,00	0,80	4,00
5	1,36	7,57	1,64	7,57	52,00	0,80	4,00
6	1,47	9,11	1,78	9,11	63,00	0,80	4,00
7	1,37	7,68	1,69	7,68	46,00	0,80	4,00
8	1,37	7,91	1,68	7,91	53,00	0,80	4,00
9	1,29	7,06	1,57	7,06	59,00	0,80	4,00
10	1,70	9,19	2,07	9,19	45,00	0,80	4,00
X	1,534	8,312	1,850	8,312	56,600		
σ	0,183	0,938	0,205	0,938	7,367		
R	0,51	2,77	0,56	2,77	20,00		

h = 4mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	6,00	87,00	1,58	1,57	5,76
2	4,00	92,00	0,55	0,75	5,43
3	10,00	82,00	1,54	2,99	4,41
4	14,00	92,00	1,31	0,92	4,99
5	3,00	94,00	0,19	0,98	5,38
6	10,00	86,00	0,81	1,50	5,51
7	7,00	94,00	1,42	1,10	5,03
8	10,00	97,00	0,74	0,99	5,06
9	4,00	83,00	0,44	2,07	4,81
10	13,00	95,00	1,20	0,77	4,20
X	8,100	90,200	0,978	1,364	5,058
σ	3,872	5,287	0,496	0,706	0,490
R	11,00	15,00	1,39	2,24	1,56

h = 6mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,97	11,64	2,47	11,64	84,00	0,80	4,00
2	1,63	9,23	1,94	9,23	73,00	0,80	4,00
3	1,58	10,01	2,00	10,01	83,00	0,80	4,00
4	1,65	9,92	2,09	9,92	79,00	0,80	4,00
5	1,95	10,17	2,37	10,17	76,00	0,80	4,00
6	2,09	15,09	2,75	15,09	83,00	0,80	4,00
7	1,83	10,52	2,30	10,52	57,00	0,80	4,00
8	1,71	11,19	2,25	11,19	85,00	0,80	4,00
9	1,83	11,28	2,30	11,28	76,00	0,80	4,00
10	1,60	9,61	1,94	9,61	62,00	0,80	4,00
X	1,784	10,866	2,241	10,866	75,800		
σ	0,177	1,673	0,258	1,673	9,531		
R	0,51	5,86	0,81	5,86	28,00		

h = 6mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	92,00	0,76	1,76	5,37
2	5,00	91,00	0,88	1,90	5,69
3	9,00	80,00	2,00	4,14	4,89
4	2,00	84,00	0,82	2,11	8,25
5	8,00	89,00	1,47	2,68	6,09
6	4,00	79,00	0,65	2,45	4,81
7	2,00	74,00	0,40	3,98	3,76
8	2,00	80,00	0,44	5,72	4,57
9	4,00	78,00	0,90	5,98	6,72
10	6,00	85,00	0,95	2,23	5,46
X	4,600	83,200	0,927	3,295	5,561
σ	2,459	6,015	0,481	1,571	1,254
R	7,00	18,00	1,60	4,22	4,49

h = 8mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,09	9,26	2,41	9,26	58,00	0,80	4,00
2	2,27	14,14	2,89	14,14	82,00	0,80	4,00
3	2,16	13,78	2,67	13,78	72,00	0,80	4,00
4	1,56	9,22	1,93	9,22	58,00	0,80	4,00
5	2,13	10,12	2,50	10,12	66,00	0,80	4,00
6	1,67	8,21	1,96	8,21	57,00	0,80	4,00
7	2,37	12,77	3,08	12,77	76,00	0,80	4,00
8	1,80	7,60	2,07	7,60	53,00	0,80	4,00
9	2,37	11,70	2,77	11,70	73,00	0,80	4,00
10	2,02	9,45	2,43	9,45	47,00	0,80	4,00
X	2,044	10,625	2,471	10,625	64,200		
σ	0,283	2,322	0,394	2,322	11,292		
R	0,81	6,54	1,15	6,54	35,00		

h = 8mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

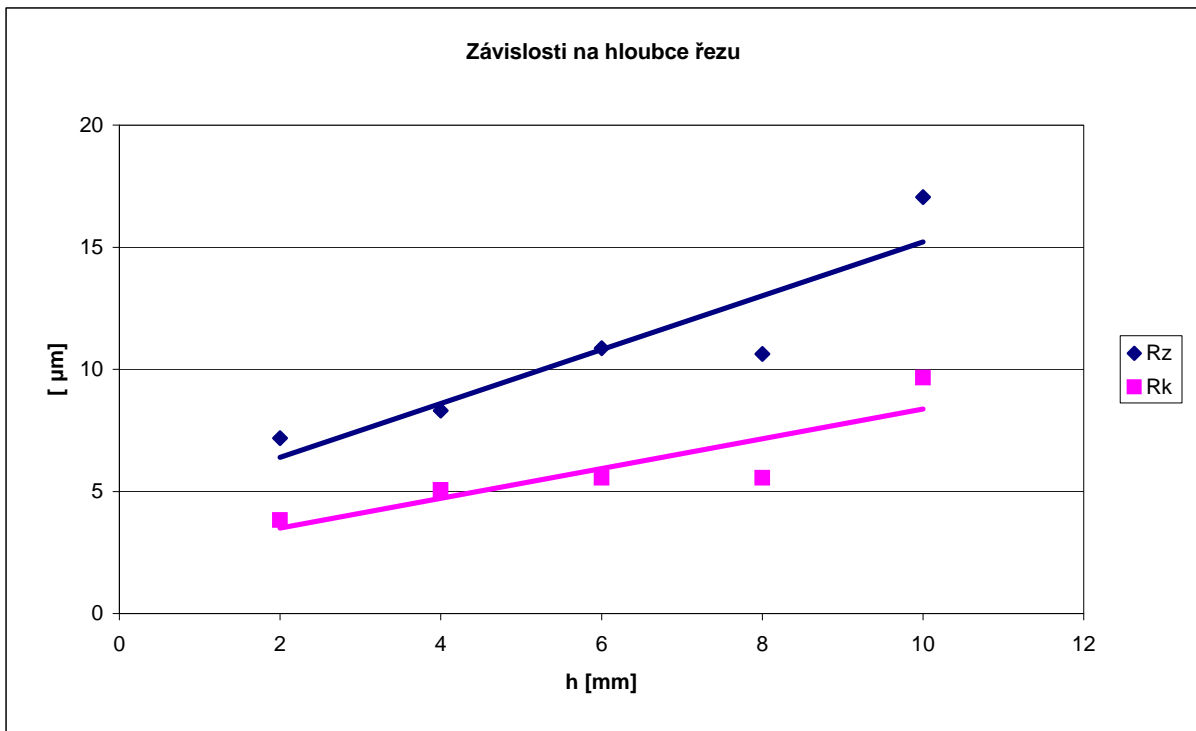
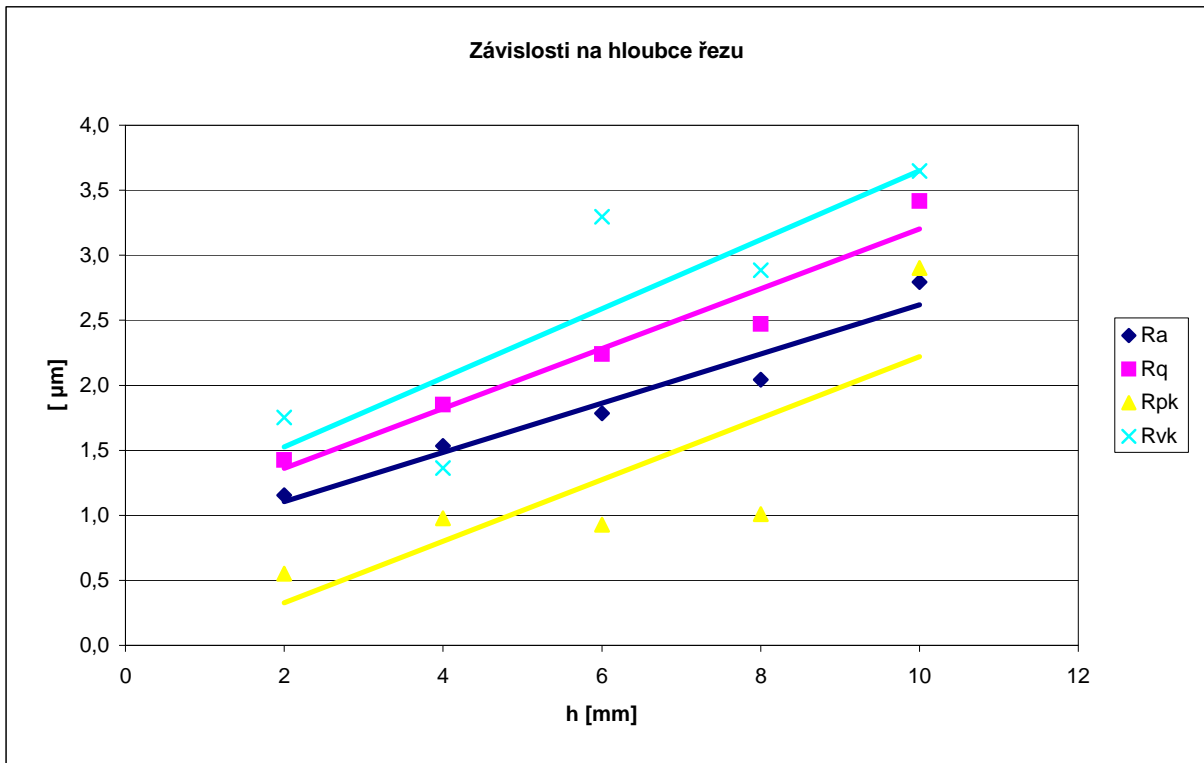
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	19,00	90,00	2,13	1,38	5,96
2	4,00	77,00	0,71	3,36	4,43
3	4,00	86,00	0,46	2,46	6,61
4	3,00	86,00	0,68	3,85	6,18
5	6,00	79,00	0,67	3,07	5,61
6	5,00	79,00	1,23	3,24	5,61
7	4,00	88,00	0,70	2,39	5,17
8	10,00	81,00	1,59	4,30	4,76
9	11,00	80,00	1,49	3,32	4,47
10	4,00	97,00	0,42	1,49	6,80
X	7,000	84,300	1,008	2,886	5,560
σ	5,011	6,255	0,571	0,951	0,846
R	16,00	20,00	1,71	2,92	2,37

h = 10mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

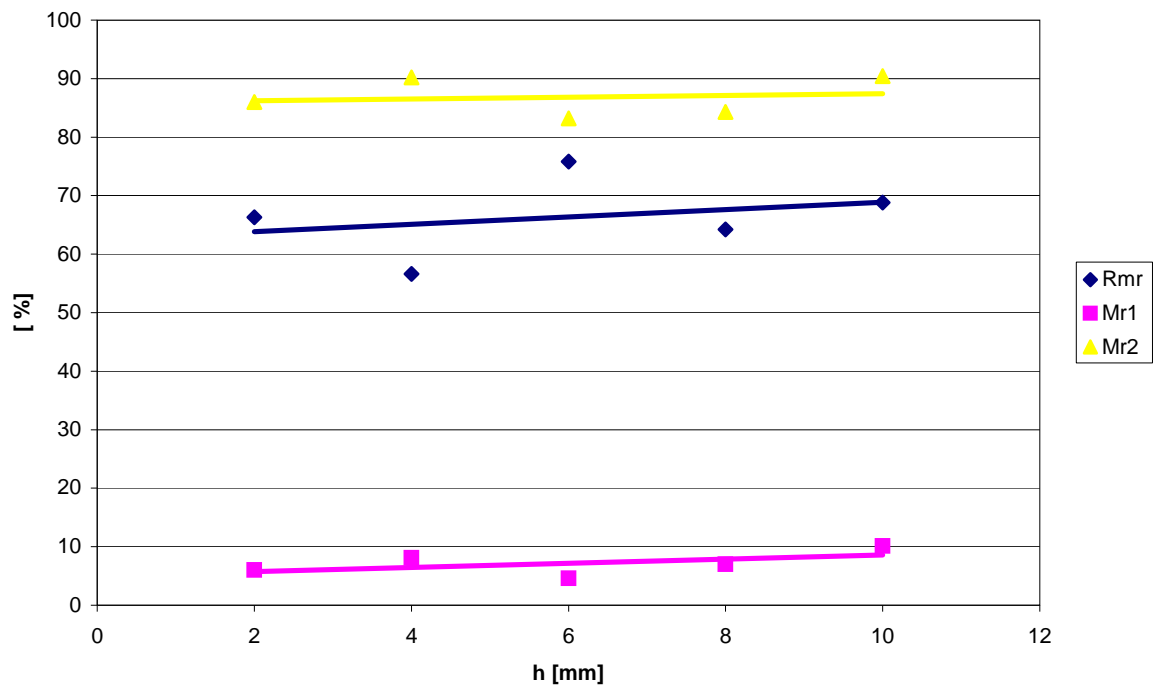
č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,59	17,30	3,24	17,30	73,00	2,50	12,50
2	3,61	20,55	4,47	20,55	54,00	2,50	12,50
3	2,71	17,01	3,37	17,01	82,00	2,50	12,50
4	2,78	15,24	3,32	15,24	59,00	2,50	12,50
5	2,85	15,14	3,48	15,14	74,00	2,50	12,50
6	2,45	17,62	2,98	17,62	84,00	2,50	12,50
7	2,91	18,06	3,44	18,06	83,00	2,50	12,50
8	3,22	20,80	3,92	20,80	65,00	2,50	12,50
9	2,40	14,40	2,97	14,40	56,00	2,50	12,50
10	2,42	14,39	2,98	14,39	58,00	2,50	12,50
X	2,794	17,051	3,417	17,051	68,800		
σ	0,384	2,327	0,470	2,327	11,840		
R	1,21	6,41	1,50	6,41	30,00		

h = 10mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	87,00	2,32	2,72	7,61
2	7,00	91,00	0,87	3,31	8,72
3	8,00	92,00	1,73	1,95	9,40
4	16,00	86,00	6,92	4,30	10,50
5	12,00	92,00	3,35	3,48	9,92
6	5,00	89,00	1,98	3,75	9,27
7	11,00	94,00	1,98	4,19	10,37
8	11,00	90,00	3,82	3,86	9,83
9	12,00	94,00	2,42	4,54	11,51
10	7,00	89,00	3,64	4,38	9,50
X	10,100	90,400	2,903	3,648	9,663
σ	3,281	2,716	1,683	0,816	1,057
R	11,00	8,00	6,05	2,59	3,90



Závislosti na hloubce řezu



PE při změně posuvové rychlosti

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,78	18,96	4,33	18,96	49,00	2,50	12,50
2	3,53	19,90	4,34	19,90	34,00	2,50	12,50
3	3,18	19,15	3,81	19,15	43,00	2,50	12,50
4	3,48	25,02	4,41	25,02	29,00	2,50	12,50
5	3,60	23,06	4,44	23,06	44,00	2,50	12,50
6	3,23	20,60	4,03	20,60	34,00	2,50	12,50
7	3,99	21,82	4,81	21,82	27,00	2,50	12,50
8	3,87	20,19	4,51	20,19	41,00	2,50	12,50
9	3,53	22,43	4,55	22,43	23,00	2,50	12,50
10	3,21	24,39	4,12	24,39	23,00	2,50	12,50
X	3,540	21,552	4,335	21,552	34,700		
σ	0,281	2,139	0,286	2,139	9,226		
R	0,81	6,06	1,00	6,06	26,00		

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	89,00	5,59	3,10	10,29
2	15,00	90,00	6,50	2,04	10,79
3	13,00	92,00	7,48	2,53	10,73
4	10,00	76,00	5,81	3,52	9,94
5	8,00	95,00	6,20	2,95	13,31
6	10,00	94,00	4,45	1,53	11,32
7	8,00	95,00	3,40	1,64	13,44
8	6,00	83,00	2,62	3,04	10,51
9	7,00	98,00	2,14	1,03	13,63
10	10,00	93,00	4,76	1,66	12,86
X	9,800	90,500	4,895	2,304	11,682
σ	2,741	6,553	1,748	0,835	1,457
R	9,00	22,00	5,34	2,49	3,69

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,64	22,63	4,58	22,63	30,00	2,50	12,50
2	3,18	22,93	4,05	22,93	25,00	2,50	12,50
3	3,23	18,21	3,91	18,21	37,00	2,50	12,50
4	3,28	17,53	3,89	17,53	35,00	2,50	12,50
5	3,04	18,69	3,76	18,69	30,00	2,50	12,50
6	3,42	19,57	4,26	19,57	30,00	2,50	12,50
7	3,30	20,73	4,04	20,73	36,00	2,50	12,50
8	3,33	23,12	4,13	23,12	30,00	2,50	12,50
9	3,34	24,62	4,15	24,62	24,00	2,50	12,50
10	3,51	21,83	4,29	21,83	37,00	2,50	12,50
X	3,327	20,986	4,106	20,986	31,400		
σ	0,169	2,402	0,235	2,402	4,719		
R	0,60	7,09	0,82	7,09	13,00		

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	94,00	3,57	1,90	13,77
2	5,00	93,00	2,64	2,99	12,28
3	8,00	88,00	2,75	2,47	11,25
4	6,00	92,00	6,32	1,86	13,33
5	7,00	80,00	4,03	4,16	11,06
6	8,00	94,00	3,85	2,57	11,55
7	5,00	92,00	2,20	3,49	13,19
8	5,00	97,00	5,85	0,67	14,85
9	6,00	80,00	5,24	4,85	10,24
10	5,00	95,00	3,77	1,70	13,24
X	6,300	90,500	4,022	2,666	12,476
σ	1,337	6,005	1,384	1,247	1,435
R	3,00	17,00	4,12	4,18	4,61

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,16	19,41	3,84	19,41	42,00	2,50	12,50
2	3,31	17,08	3,89	17,08	41,00	2,50	12,50
3	3,30	20,15	4,10	20,15	44,00	2,50	12,50
4	3,63	20,37	4,33	20,37	39,00	2,50	12,50
5	3,66	20,21	4,35	20,21	45,00	2,50	12,50
6	4,29	22,01	4,99	22,01	45,00	2,50	12,50
7	3,93	21,34	4,62	21,34	39,00	2,50	12,50
8	3,60	24,86	4,36	24,86	20,00	2,50	12,50
9	3,86	22,03	4,63	22,03	44,00	2,50	12,50
10	3,68	20,06	4,35	20,06	41,00	2,50	12,50
X	3,642	20,752	4,346	20,752	40,000		
σ	0,336	2,028	0,349	2,028	7,379		
R	1,13	7,78	1,15	7,78	25,00		

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	6,00	94,00	2,92	1,72	13,29
2	8,00	93,00	4,15	2,79	13,43
3	7,00	87,00	3,55	3,07	11,58
4	7,00	96,00	3,76	1,18	13,97
5	11,00	89,00	3,70	4,04	14,92
6	6,00	88,00	3,48	2,80	10,98
7	7,00	91,00	4,65	1,50	12,71
8	8,00	92,00	4,10	2,11	12,74
9	6,00	88,00	3,13	3,18	10,64
10	6,00	93,00	3,12	2,11	12,90
X	7,200	91,100	3,656	2,450	12,716
σ	1,549	2,998	0,536	0,880	1,330
R	5,00	9,00	1,73	2,86	4,28

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,09	18,13	3,70	18,13	50,00	2,50	12,50
2	3,49	23,68	4,54	23,68	23,00	2,50	12,50
3	3,50	22,29	4,30	22,29	23,00	2,50	12,50
4	3,48	19,18	4,22	19,18	33,00	2,50	12,50
5	3,03	24,12	3,81	24,12	31,00	2,50	12,50
6	3,23	22,97	4,14	22,97	22,00	2,50	12,50
7	3,20	20,36	3,84	20,36	45,00	2,50	12,50
8	3,24	17,62	3,94	17,62	48,00	2,50	12,50
9	3,04	16,37	3,52	16,37	35,00	2,50	12,50
10	3,62	20,84	4,32	20,84	34,00	2,50	12,50
X	3,292	20,556	4,033	20,556	34,400		
σ	0,214	2,694	0,321	2,694	10,373		
R	0,59	7,75	1,02	7,75	28,00		

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	96,00	1,33	1,09	11,52
2	5,00	87,00	2,35	2,63	11,61
3	5,00	95,00	2,52	2,00	11,36
4	12,00	94,00	2,75	2,43	10,28
5	7,00	87,00	2,53	3,12	8,76
6	10,00	86,00	3,99	3,28	7,28
7	13,00	90,00	4,04	3,65	10,95
8	4,00	92,00	3,97	2,45	11,41
9	7,00	90,00	2,54	2,16	9,25
10	8,00	96,00	2,87	1,57	11,92
X	7,500	91,300	2,889	2,438	10,434
σ	3,240	3,860	0,871	0,783	1,528
R	9,00	10,00	2,71	2,56	4,64

$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

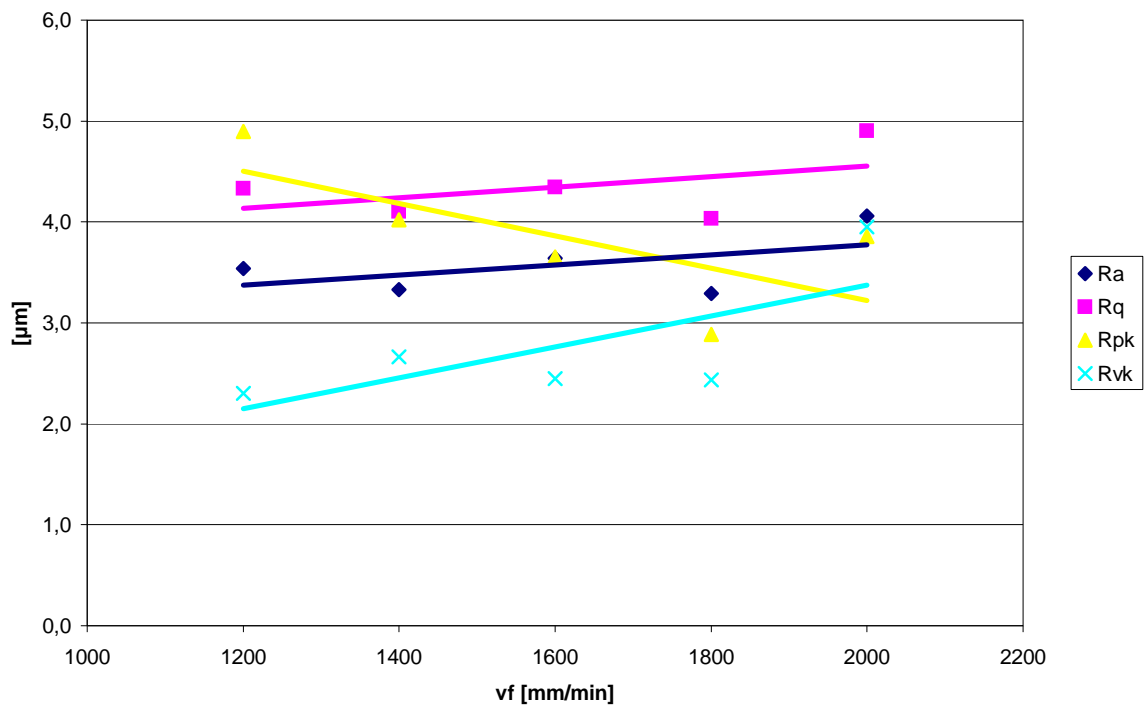
č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,40	35,88	5,46	35,88	26,00	2,50	12,50
2	4,78	27,41	5,55	27,41	44,00	2,50	12,50
3	3,10	16,51	3,71	16,51	48,00	2,50	12,50
4	3,23	16,53	3,76	16,53	35,00	2,50	12,50
5	4,87	28,66	6,05	28,66	49,00	2,50	12,50
6	4,62	22,75	5,40	22,75	64,00	2,50	12,50
7	3,69	17,66	4,39	17,66	65,00	2,50	12,50
8	3,93	19,54	4,68	19,54	61,00	2,50	12,50
9	4,80	30,55	6,14	30,55	71,00	2,50	12,50
10	3,18	17,70	3,88	17,70	54,00	2,50	12,50
X	4,060	23,319	4,902	23,319	51,700		
σ	0,722	6,880	0,938	6,880	14,190		
R	1,77	19,37	2,43	19,37	45,00		

$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

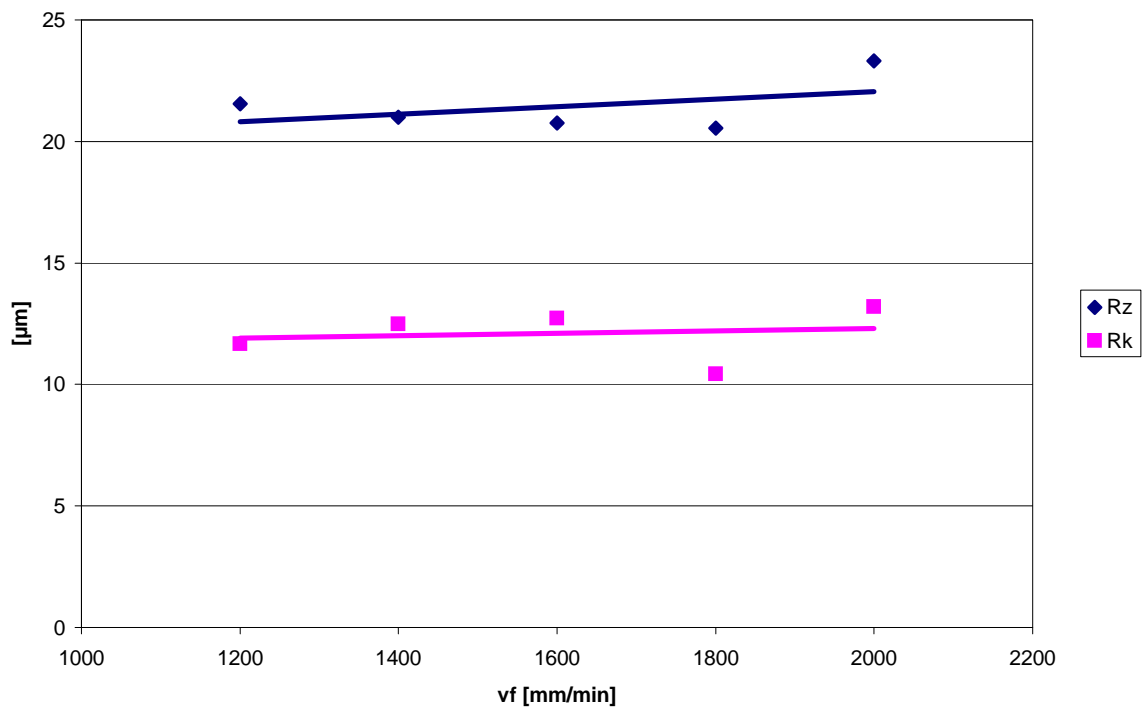
$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	89,00	4,28	4,38	13,69
2	11,00	90,00	6,57	4,25	14,42
3	14,00	88,00	7,03	3,65	10,40
4	2,00	95,00	0,82	1,63	14,18
5	12,00	88,00	3,86	4,91	12,65
6	7,00	93,00	1,76	3,04	13,32
7	6,00	94,00	2,82	4,23	13,16
8	9,00	83,00	2,22	3,23	9,79
9	9,00	89,00	5,32	3,86	15,58
10	13,00	89,00	3,90	6,33	14,73
X	8,700	89,800	3,858	3,951	13,192
σ	3,945	3,490	2,031	1,237	1,840
R	12,00	12,00	6,21	4,70	5,79

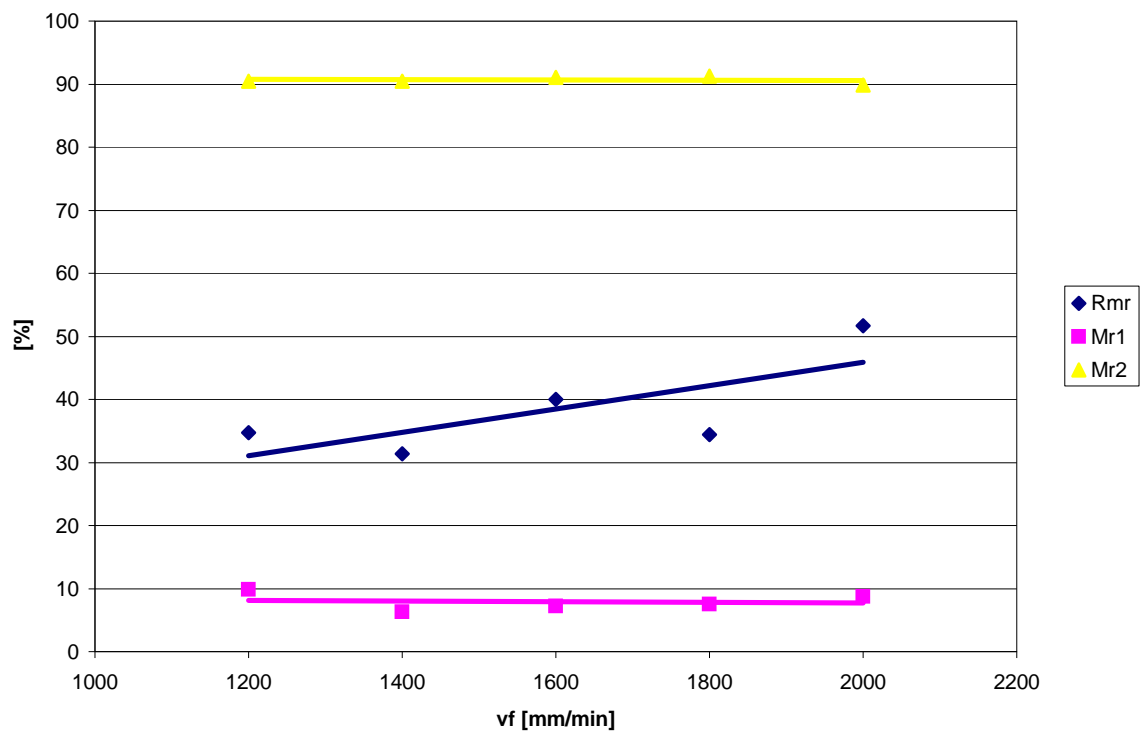
Závislosti na posuvové rychlosti



Závislosti na posuvové rychlosti



Závislosti na posuvové rychlosti



PE při změně řezné rychlosti

$n = 8000 \text{ ot/min}; v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,83	21,25	4,73	21,25	48,00	2,50	12,50
2	4,41	23,16	5,21	23,16	44,00	2,50	12,50
3	4,03	28,68	4,93	28,68	38,00	2,50	12,50
4	4,18	33,87	5,47	33,87	9,00	2,50	12,50
5	3,27	19,99	3,94	19,99	59,00	2,50	12,50
6	3,66	23,41	4,62	23,41	25,00	2,50	12,50
7	4,16	24,29	5,32	24,29	42,00	2,50	12,50
8	3,62	21,85	4,52	21,85	51,00	2,50	12,50
9	4,13	24,75	5,05	24,75	43,00	2,50	12,50
10	3,90	28,81	5,03	28,81	28,00	2,50	12,50
X	3,919	25,006	4,882	25,006	38,700		
σ	0,335	4,247	0,448	4,247	14,499		
R	1,14	13,88	1,53	13,88	50,00		

$n = 8000 \text{ ot/min}; v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	15,00	93,00	6,49	4,97	12,22
2	12,00	92,00	4,23	3,91	13,09
3	8,00	89,00	4,53	3,47	12,52
4	11,00	92,00	4,63	3,43	12,42
5	14,00	92,00	6,35	3,26	12,70
6	12,00	95,00	4,80	4,10	13,71
7	15,00	92,00	3,67	2,77	10,72
8	5,00	92,00	1,18	3,36	13,75
9	12,00	92,00	3,24	3,06	10,32
10	14,00	96,00	5,08	4,14	11,08
X	11,800	92,500	4,420	3,647	12,253
σ	3,190	1,900	1,532	0,640	1,194
R	10,00	7,00	5,31	2,20	3,43

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,78	14,41	3,33	14,41	48,00	2,50	12,50
2	2,41	16,69	3,04	16,69	37,00	2,50	12,50
3	2,46	14,57	2,98	14,57	49,00	2,50	12,50
4	2,29	14,68	2,92	14,68	39,00	2,50	12,50
5	2,48	13,81	2,99	13,81	44,00	2,50	12,50
6	2,56	16,33	3,27	16,33	43,00	2,50	12,50
7	2,64	16,62	3,29	16,62	43,00	2,50	12,50
8	2,45	15,25	3,03	15,25	56,00	2,50	12,50
9	2,66	16,31	3,28	16,31	24,00	2,50	12,50
10	3,08	17,26	3,74	17,26	36,00	2,50	12,50
X	2,581	15,593	3,187	15,593	41,900		
σ	0,225	1,187	0,248	1,187	8,698		
R	0,79	3,45	0,82	3,45	32,00		

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	8,00	94,00	3,11	1,31	10,90
2	10,00	90,00	3,08	2,35	9,31
3	7,00	87,00	3,26	1,50	8,97
4	6,00	86,00	1,69	2,48	8,62
5	5,00	92,00	1,86	1,75	8,87
6	8,00	86,00	1,97	3,25	7,07
7	11,00	91,00	3,44	3,09	7,67
8	10,00	94,00	3,71	1,98	8,59
9	9,00	86,00	2,48	2,69	8,25
10	11,00	87,00	3,72	2,43	7,62
X	8,500	89,300	2,832	2,283	8,587
σ	2,068	3,302	0,772	0,646	1,069
R	6,00	8,00	2,03	1,94	3,83

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,63	13,82	3,17	13,82	47,00	2,50	12,50
2	2,22	14,86	2,78	14,86	64,00	2,50	12,50
3	2,42	15,49	2,99	15,49	44,00	2,50	12,50
4	2,45	14,59	3,02	14,59	65,00	2,50	12,50
5	2,66	15,10	3,25	15,10	43,00	2,50	12,50
6	2,54	15,14	3,09	15,14	44,00	2,50	12,50
7	2,73	14,19	3,22	14,19	55,00	2,50	12,50
8	2,38	17,26	3,04	17,26	29,00	2,50	12,50
9	2,86	16,69	3,53	16,69	37,00	2,50	12,50
10	2,43	15,20	3,01	15,20	66,00	2,50	12,50
X	2,532	15,234	3,110	15,234	49,400		
σ	0,189	1,052	0,200	1,052	12,642		
R	0,64	3,44	0,75	3,44	37,00		

n = 16000 ot/min; $v_c = 502,4$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	9,00	86,00	3,92	2,82	7,59
2	7,00	93,00	2,35	2,83	10,21
3	11,00	93,00	2,21	2,65	8,46
4	11,00	92,00	4,66	1,53	8,68
5	8,00	86,00	3,06	2,27	7,70
6	8,00	89,00	4,35	2,93	8,59
7	5,00	92,00	2,10	2,54	8,47
8	8,00	82,00	2,49	3,17	6,72
9	8,00	90,00	2,41	1,96	8,20
10	11,00	87,00	3,10	2,68	7,63
X	8,600	89,000	3,065	2,538	8,225
σ	1,955	3,682	0,935	0,491	0,925
R	6,00	11,00	2,56	1,64	3,49

n = 20000 ot/min; v_c = 628 m/min

v_f = 1600mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,99	11,96	2,42	11,96	59,00	2,50	12,50
2	1,26	8,57	1,63	8,57	55,00	2,50	12,50
3	1,25	7,08	1,52	7,08	42,00	2,50	12,50
4	1,72	8,37	2,05	8,37	49,00	2,50	12,50
5	1,76	9,30	2,19	9,30	43,00	2,50	12,50
6	2,35	11,24	2,77	11,24	36,00	2,50	12,50
7	1,41	6,87	1,67	6,87	46,00	2,50	12,50
8	1,33	8,84	1,69	8,84	46,00	2,50	12,50
9	1,98	9,75	2,39	9,75	32,00	2,50	12,50
10	1,96	10,90	2,42	10,90	52,00	2,50	12,50
X	1,701	9,288	2,075	9,288	46,000		
σ	0,376	1,701	0,428	1,701	8,273		
R	1,10	5,09	1,25	5,09	27,00		

n = 20000 ot/min; v_c = 628 m/min

v_f = 1600mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	86,00	1,71	2,07	5,61
2	13,00	87,00	1,79	1,70	4,17
3	3,00	89,00	0,49	1,35	6,33
4	12,00	89,00	1,36	1,65	5,03
5	12,00	99,00	1,40	0,62	6,93
6	7,00	96,00	1,32	0,73	4,86
7	10,00	87,00	2,45	1,40	5,43
8	7,00	98,00	1,03	0,51	7,22
9	8,00	92,00	1,24	1,95	6,72
10	5,00	95,00	0,70	0,91	5,63
X	8,800	91,800	1,349	1,289	5,793
σ	3,327	4,872	0,559	0,565	0,986
R	10,00	13,00	1,96	1,56	3,05

n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

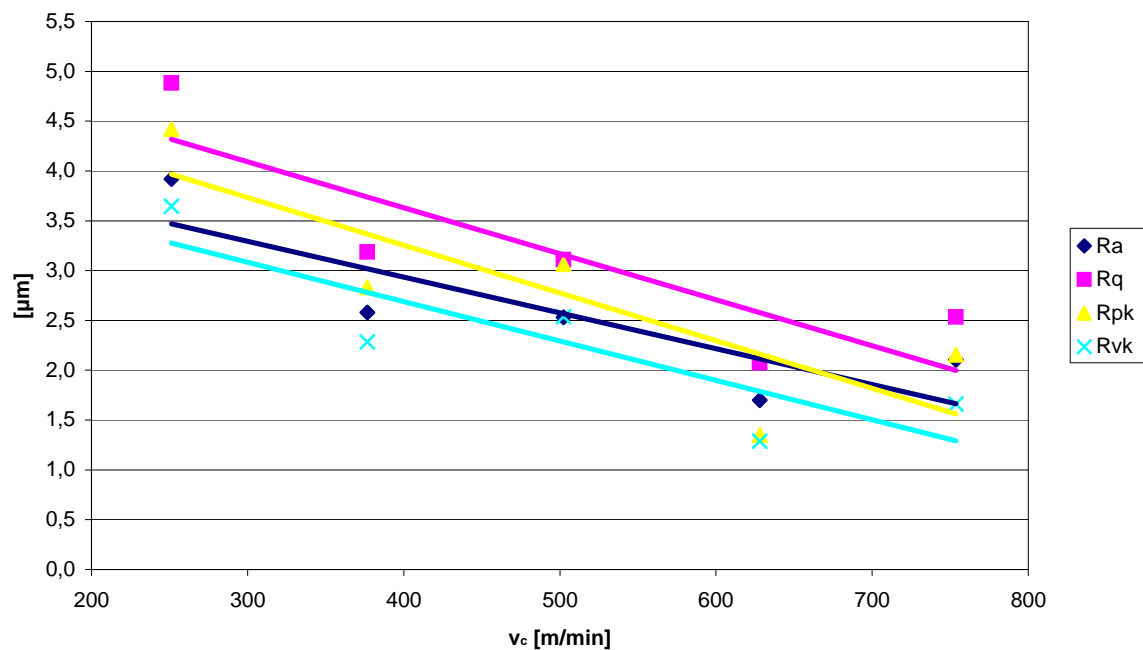
č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,36	12,57	2,78	12,57	50,00	2,50	12,50
2	2,18	11,46	2,57	11,46	60,00	2,50	12,50
3	2,02	10,36	2,39	10,36	51,00	2,50	12,50
4	2,13	13,32	2,57	13,32	42,00	2,50	12,50
5	2,27	14,73	2,80	14,73	47,00	2,50	12,50
6	1,84	11,37	2,23	11,37	33,00	2,50	12,50
7	2,49	12,67	2,96	12,67	48,00	2,50	12,50
8	2,18	12,73	2,66	12,73	44,00	2,50	12,50
9	1,61	10,34	1,96	10,34	51,00	2,50	12,50
10	1,96	12,36	2,44	12,36	51,00	2,50	12,50
X	2,104	12,191	2,536	12,191	47,700		
σ	0,257	1,350	0,295	1,350	7,088		
R	0,88	4,39	1,00	4,39	27,00		

n = 24000 ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

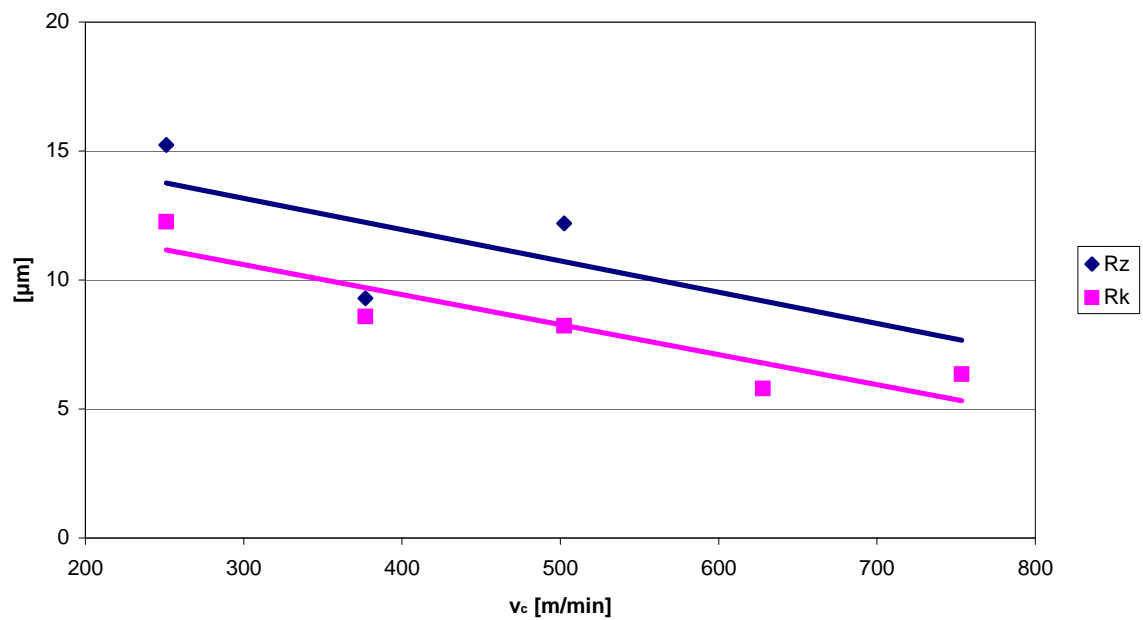
$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	89,00	2,02	2,44	5,78
2	8,00	89,00	2,28	1,94	6,58
3	12,00	93,00	1,94	1,76	6,70
4	12,00	93,00	2,47	1,51	6,06
5	10,00	92,00	1,82	1,51	7,60
6	10,00	90,00	1,54	1,95	6,30
7	7,00	91,00	1,50	1,74	6,39
8	10,00	94,00	2,33	1,25	6,96
9	16,00	97,00	3,15	0,66	5,96
10	15,00	92,00	2,50	1,86	5,15
X	11,200	92,000	2,155	1,662	6,348
σ	2,821	2,449	0,499	0,476	0,676
R	9,00	8,00	1,65	1,78	2,45

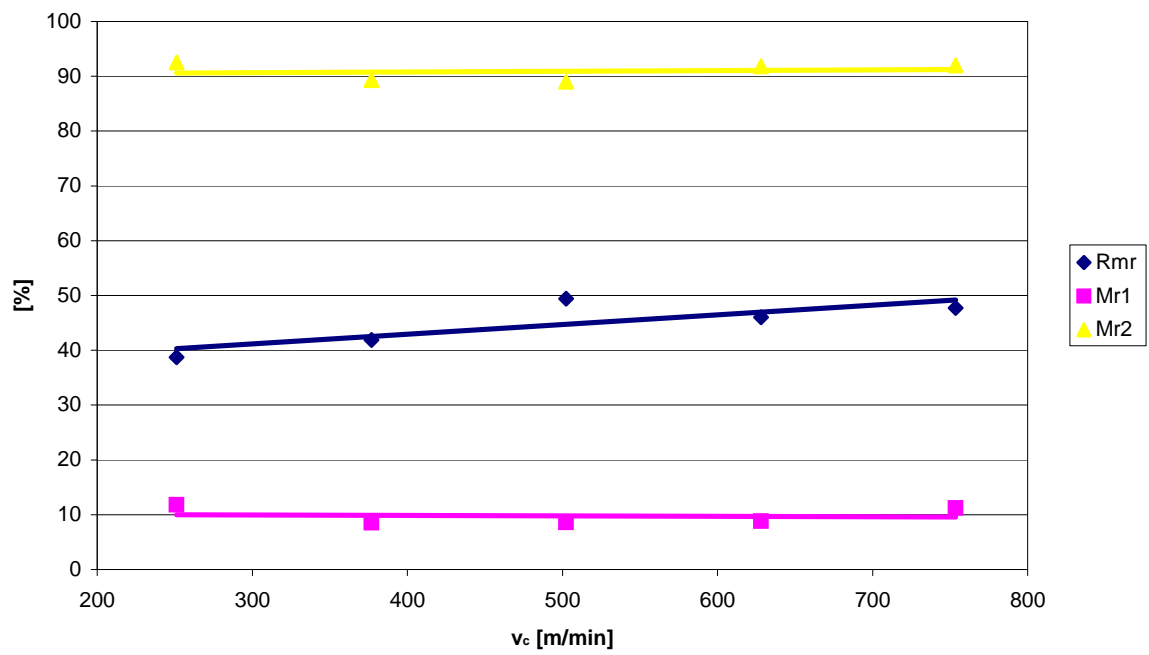
Závislosti na řezné rychlosti



Závislosti na řezné rychlosti



Závislosti na řezné rychlosti



PE při změně hloubky řezu

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,69	13,68	3,14	13,68	40,00	2,50	12,50
2	2,24	12,04	2,68	12,04	39,00	2,50	12,50
3	2,60	12,37	3,02	12,37	41,00	2,50	12,50
4	1,35	10,13	1,70	10,13	34,00	2,50	12,50
5	2,71	14,42	3,14	14,42	43,00	2,50	12,50
6	1,92	11,77	2,39	11,77	43,00	2,50	12,50
7	2,75	14,21	3,22	14,21	39,00	2,50	12,50
8	2,46	14,04	2,95	14,04	32,00	2,50	12,50
9	2,16	10,79	2,54	10,79	42,00	2,50	12,50
10	2,25	11,51	2,73	11,51	36,00	2,50	12,50
X	2,313	12,496	2,751	12,496	38,900		
σ	0,436	1,515	0,462	1,515	3,784		
R	1,40	4,29	1,52	4,29	11,00		

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	7,00	91,00	2,13	2,14	6,28
2	17,00	94,00	2,45	1,14	6,44
3	10,00	95,00	1,81	1,33	5,30
4	16,00	96,00	3,29	1,47	9,87
5	4,00	87,00	1,04	1,29	5,53
6	7,00	98,00	2,10	1,54	8,05
7	16,00	91,00	3,53	1,57	4,94
8	22,00	95,00	2,67	1,13	7,61
9	6,00	91,00	2,02	1,51	7,72
10	6,00	96,00	1,70	2,10	8,59
X	11,100	93,400	2,274	1,522	7,033
σ	6,136	3,307	0,744	0,351	1,594
R	18,00	11,00	2,49	1,01	4,93

h = 4mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,64	21,78	4,55	21,78	44,00	2,50	12,50
2	3,58	18,31	4,28	18,31	46,00	2,50	12,50
3	3,22	21,32	3,97	21,32	15,00	2,50	12,50
4	3,72	19,79	4,43	19,79	57,00	2,50	12,50
5	3,84	23,67	4,76	23,67	41,00	2,50	12,50
6	4,00	21,29	4,78	21,29	49,00	2,50	12,50
7	3,48	17,67	4,15	17,67	51,00	2,50	12,50
8	3,34	17,87	3,93	17,87	49,00	2,50	12,50
9	3,84	19,51	4,51	19,51	40,00	2,50	12,50
10	4,15	19,94	4,83	19,94	50,00	2,50	12,50
X	3,681	20,115	4,419	20,115	44,200		
σ	0,290	1,915	0,329	1,915	11,419		
R	0,93	6,00	0,90	6,00	42,00		

h = 4mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	92,00	1,93	1,64	14,18
2	12,00	97,00	4,22	1,14	13,61
3	11,00	92,00	3,28	1,76	15,70
4	9,00	80,00	3,48	3,59	11,00
5	4,00	89,00	3,50	1,38	14,50
6	4,00	84,00	2,19	2,92	12,33
7	7,00	81,00	3,20	3,61	11,06
8	8,00	88,00	4,02	2,49	12,43
9	8,00	76,00	3,32	4,10	11,55
10	8,00	78,00	2,82	4,87	10,26
X	7,500	85,700	3,196	2,750	12,662
σ	2,838	6,945	0,721	1,271	1,774
R	8,00	21,00	2,29	3,73	5,44

h = 6mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,85	24,49	4,73	24,49	46,00	2,50	12,50
2	3,57	22,81	4,44	22,81	56,00	2,50	12,50
3	3,36	22,13	4,16	22,13	41,00	2,50	12,50
4	3,91	29,96	4,82	29,96	28,00	2,50	12,50
5	3,50	20,57	4,40	20,57	37,00	2,50	12,50
6	4,20	23,32	5,21	23,32	37,00	2,50	12,50
7	3,98	19,78	4,75	19,78	63,00	2,50	12,50
8	3,25	16,44	3,82	16,44	41,00	2,50	12,50
9	3,66	19,57	4,40	19,57	52,00	2,50	12,50
10	3,48	21,09	4,29	21,09	53,00	2,50	12,50
X	3,676	22,016	4,502	22,016	45,400		
σ	0,301	3,599	0,390	3,599	10,575		
R	0,95	13,52	1,39	13,52	35,00		

h = 6mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	11,00	85,00	3,05	4,00	10,75
2	6,00	88,00	7,28	3,08	14,74
3	8,00	83,00	6,23	3,96	11,16
4	6,00	80,00	3,90	3,76	10,97
5	6,00	94,00	2,57	1,91	11,84
6	10,00	90,00	4,68	2,95	11,67
7	6,00	86,00	2,79	4,51	9,58
8	7,00	84,00	4,90	8,49	11,28
9	5,00	85,00	2,20	4,60	12,15
10	5,00	86,00	6,80	11,13	17,86
X	7,000	86,100	4,440	4,839	12,200
σ	2,055	3,872	1,843	2,808	2,388
R	6,00	14,00	5,08	9,22	8,28

h = 8mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	4,32	27,14	5,31	27,14	66,00	2,50	12,50
2	4,73	30,05	6,03	30,05	65,00	2,50	12,50
3	4,30	26,36	5,40	26,36	39,00	2,50	12,50
4	4,97	28,21	6,01	28,21	45,00	2,50	12,50
5	4,83	27,84	6,04	27,84	41,00	2,50	12,50
6	4,64	32,08	5,90	32,08	42,00	2,50	12,50
7	5,27	31,99	6,57	31,99	56,00	2,50	12,50
8	4,46	29,31	5,88	29,31	58,00	2,50	12,50
9	5,43	38,06	6,80	38,06	24,00	2,50	12,50
10	3,73	25,89	4,60	25,89	32,00	2,50	12,50
X	4,668	29,693	5,854	29,693	46,800		
σ	0,499	3,636	0,630	3,636	14,022		
R	1,70	12,17	2,20	12,17	42,00		

h = 8mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	89,00	5,35	4,88	13,36
2	14,00	94,00	7,29	4,69	15,67
3	15,00	89,00	5,96	8,55	18,80
4	7,00	83,00	3,82	6,66	13,68
5	12,00	88,00	5,67	4,01	10,40
6	15,00	86,00	7,61	6,57	13,97
7	8,00	92,00	5,10	4,26	17,22
8	9,00	83,00	3,44	4,67	12,79
9	12,00	88,00	6,72	3,48	14,64
10	9,00	88,00	7,99	7,35	14,75
X	11,300	88,000	5,895	5,512	14,528
σ	2,908	3,464	1,537	1,659	2,341
R	8,00	11,00	4,55	5,07	8,40

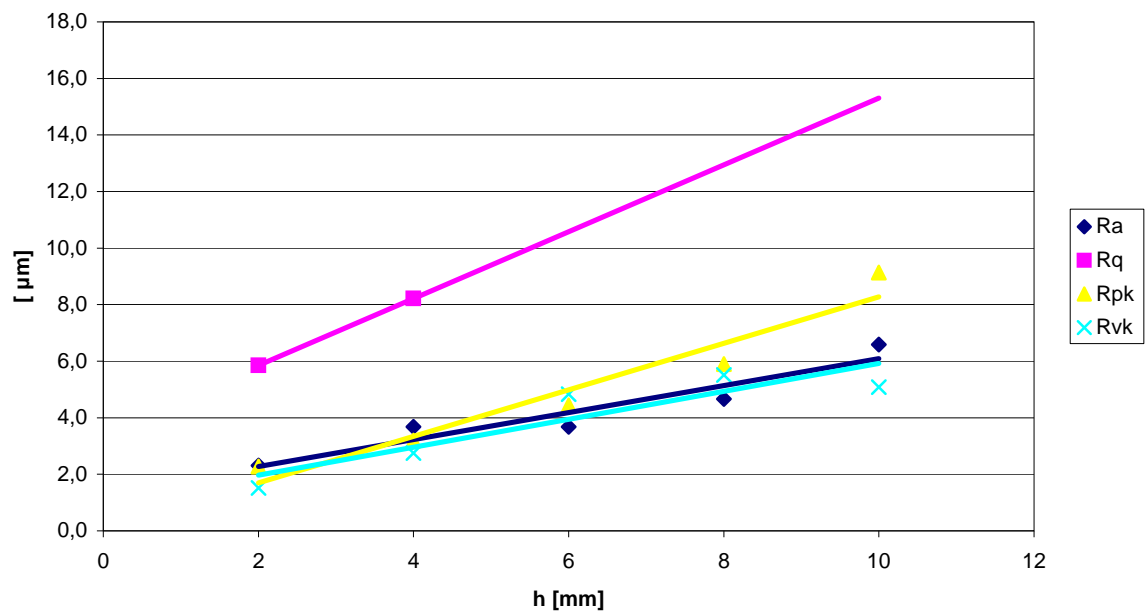
h = 10mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	6,33	34,05	7,64	34,05	30,00	2,50	12,50
2	7,56	43,79	9,09	43,79	56,00	2,50	12,50
3	5,82	29,32	6,86	29,32	46,00	2,50	12,50
4	7,44	56,35	10,40	56,35	16,00	2,50	12,50
5	7,76	49,42	10,49	49,42	24,00	2,50	12,50
6	6,47	44,46	8,10	44,46	29,00	2,50	12,50
7	6,03	30,46	7,22	30,46	51,00	2,50	12,50
8	6,07	33,80	7,36	33,80	36,00	2,50	12,50
9	6,21	28,97	7,26	28,97	32,00	2,50	12,50
10	6,24	33,63	7,76	33,63	29,00	2,50	12,50
X	6,593	38,425	8,218	38,425	34,900		
σ	0,712	9,467	1,322	9,467	12,503		
R	1,94	27,38	3,63	27,38	40,00		

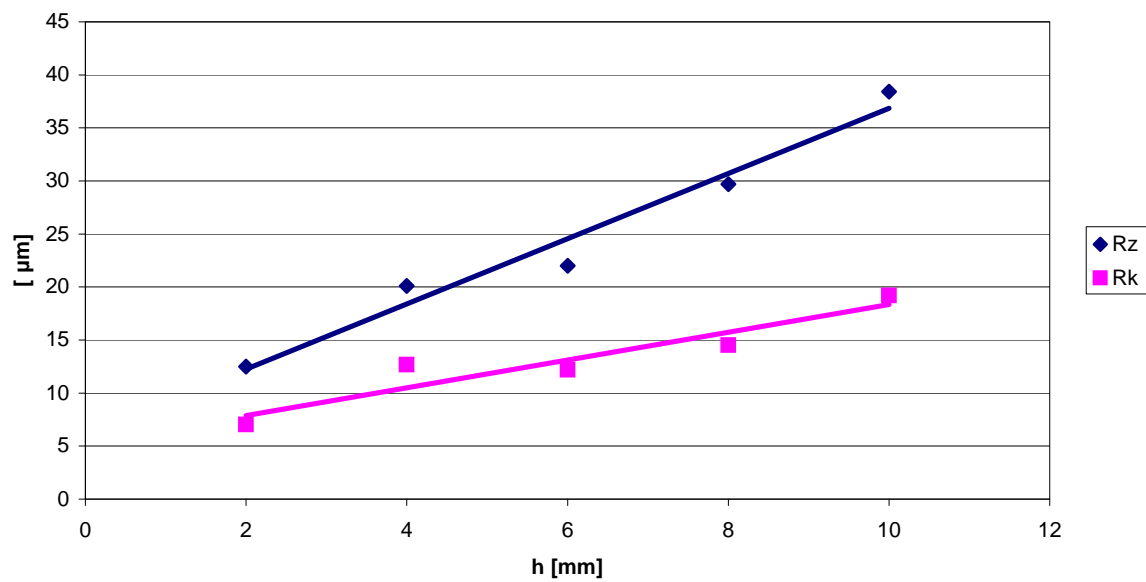
h = 10mm vf = 1600 mm/min, vc = 502,4 m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	18,00	93,00	11,81	3,64	20,05
2	8,00	92,00	6,04	5,78	18,32
3	21,00	94,00	11,92	2,61	17,24
4	14,00	94,00	7,32	4,19	16,71
5	11,00	88,00	12,94	7,03	18,49
6	8,00	89,00	8,19	3,47	22,97
7	8,00	94,00	11,84	5,41	23,89
8	12,00	90,00	8,68	5,06	23,79
9	14,00	94,00	4,58	6,50	17,63
10	16,00	89,00	8,06	7,11	12,80
X	13,000	91,700	9,138	5,080	19,189
σ	4,472	2,452	2,840	1,567	3,539
R	13,00	6,00	8,36	4,50	11,09

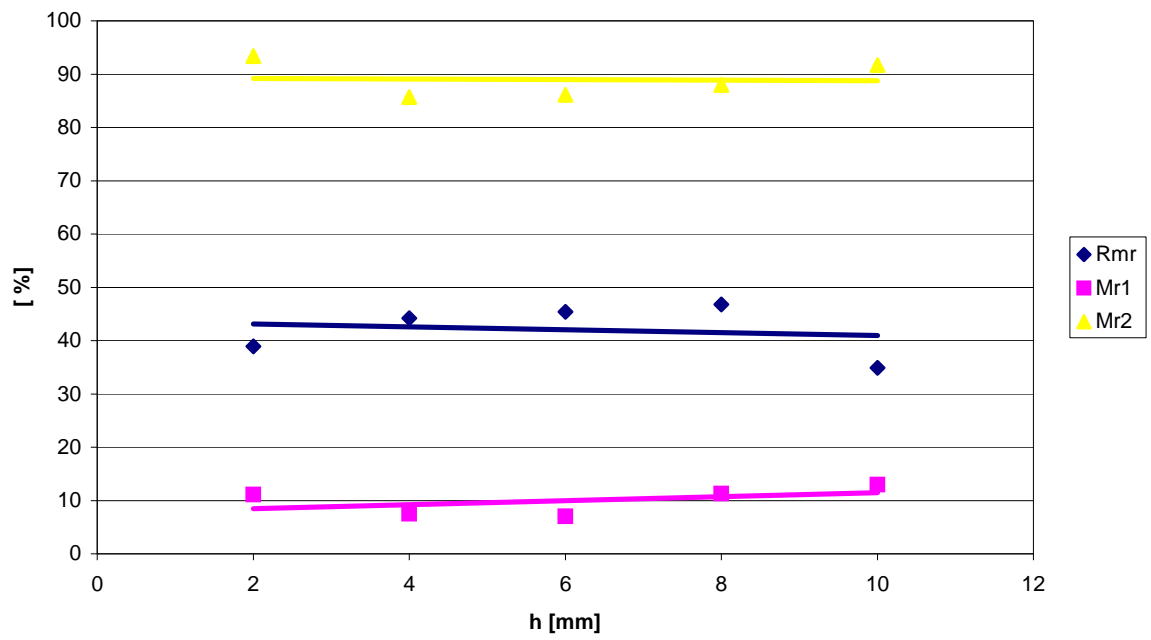
Závislosti na hloubce řezu



Závislosti na hloubce řezu



Závislosti na hloubce řezu



PVC při změně posuvové rychlosti

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,21	13,13	2,67	13,13	63,00	2,50	12,50
2	1,70	10,11	2,08	10,11	61,00	2,50	12,50
3	1,88	9,17	2,18	9,17	44,00	2,50	12,50
4	2,09	11,04	2,45	11,04	55,00	2,50	12,50
5	1,82	11,25	2,19	11,25	41,00	2,50	12,50
6	1,97	11,56	2,38	11,56	52,00	2,50	12,50
7	2,17	13,43	2,71	13,43	63,00	2,50	12,50
8	2,00	11,07	2,44	11,07	50,00	2,50	12,50
9	2,12	12,54	2,61	12,54	65,00	2,50	12,50
10	2,04	11,21	2,45	11,21	43,00	2,50	12,50
X	2,000	11,451	2,416	11,451	53,700		
σ	0,162	1,306	0,214	1,306	9,081		
R	0,51	4,26	0,63	4,26	24,00		

$v_f = 1200 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	7,00	92,00	2,04	1,20	7,22
2	13,00	92,00	1,64	1,60	6,77
3	6,00	90,00	1,70	1,56	7,12
4	2,00	86,00	0,62	1,67	7,10
5	5,00	87,00	1,01	1,96	6,36
6	8,00	89,00	1,63	1,94	6,04
7	4,00	85,00	1,98	3,29	6,49
8	7,00	86,00	1,39	2,49	6,62
9	7,00	90,00	1,17	1,92	6,54
10	10,00	90,00	1,90	2,82	6,43
X	6,900	88,700	1,508	2,045	6,669
σ	3,071	2,541	0,459	0,639	0,380
R	11,00	7,00	1,42	2,09	1,18

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,19	12,21	2,67	12,21	36,00	2,50	12,50
2	2,11	11,88	2,58	11,88	38,00	2,50	12,50
3	2,17	11,06	2,64	11,06	50,00	2,50	12,50
4	2,15	12,22	2,62	12,22	48,00	2,50	12,50
5	2,36	13,28	2,79	13,28	41,00	2,50	12,50
6	1,87	13,81	2,34	13,81	27,00	2,50	12,50
7	2,70	15,27	3,27	15,27	52,00	2,50	12,50
8	2,55	12,66	3,08	12,66	58,00	2,50	12,50
9	2,09	12,87	2,49	12,87	39,00	2,50	12,50
10	2,26	13,93	2,70	13,93	64,00	2,50	12,50
X	2,245	12,919	2,718	12,919	45,300		
σ	0,239	1,205	0,273	1,205	11,146		
R	0,83	4,21	0,93	4,21	37,00		

$v_f = 1400 \text{ mm/min}$ $v_c = 502,4 \text{ m/min}$, $h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	5,00	90,00	1,20	3,30	7,44
2	10,00	86,00	2,51	2,13	7,47
3	7,00	89,00	1,56	2,66	8,31
4	7,00	90,00	2,13	2,65	7,23
5	12,00	92,00	2,92	1,28	7,07
6	15,00	93,00	2,37	1,95	6,66
7	12,00	92,00	1,46	1,79	7,90
8	11,00	95,00	1,59	1,32	5,80
9	9,00	87,00	1,73	2,63	6,25
10	11,00	93,00	2,25	1,69	5,75
X	9,900	90,700	1,972	2,140	6,988
σ	2,961	2,830	0,546	0,657	0,861
R	10,00	9,00	1,72	2,02	2,56

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,03	12,96	2,52	12,96	39,00	2,50	12,50
2	2,86	17,44	3,58	17,44	44,00	2,50	12,50
3	1,90	10,64	2,30	10,64	50,00	2,50	12,50
4	2,01	12,35	2,48	12,35	47,00	2,50	12,50
5	2,21	11,71	2,66	11,71	37,00	2,50	12,50
6	2,42	16,13	2,95	16,13	22,00	2,50	12,50
7	2,52	16,69	3,17	16,69	59,00	2,50	12,50
8	2,29	11,48	2,76	11,48	48,00	2,50	12,50
9	2,56	13,94	3,00	13,94	55,00	2,50	12,50
10	2,95	17,18	3,58	17,18	41,00	2,50	12,50
X	2,375	14,052	2,900	14,052	44,200		
σ	0,355	2,590	0,443	2,590	10,401		
R	1,05	6,80	1,28	6,80	37,00		

$v_f = 1600 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	88,00	2,10	2,75	10,20
2	10,00	90,00	2,37	3,86	9,06
3	5,00	94,00	3,58	1,21	9,04
4	6,00	96,00	2,35	1,10	8,49
5	5,00	90,00	1,67	2,08	8,13
6	11,00	91,00	2,37	1,43	7,57
7	8,00	94,00	2,66	2,39	10,10
8	12,00	91,00	2,19	2,13	6,44
9	9,00	95,00	2,16	1,31	7,38
10	8,00	95,00	1,86	1,96	7,80
X	7,800	92,400	2,331	2,022	8,421
σ	2,741	2,716	0,520	0,845	1,201
R	8,00	8,00	1,91	2,76	3,76

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,96	12,32	2,39	12,32	23,00	2,50	12,50
2	2,00	11,05	2,36	11,05	44,00	2,50	12,50
3	2,60	11,79	2,95	11,79	42,00	2,50	12,50
4	2,43	12,86	2,77	12,86	39,00	2,50	12,50
5	2,15	14,02	2,57	14,02	36,00	2,50	12,50
6	1,95	9,99	2,30	9,99	41,00	2,50	12,50
7	1,94	12,31	2,39	12,31	39,00	2,50	12,50
8	2,48	14,27	3,05	14,27	29,00	2,50	12,50
9	2,21	15,46	2,79	15,46	23,00	2,50	12,50
10	2,07	13,76	2,62	13,76	26,00	2,50	12,50
X	2,179	12,783	2,619	12,783	34,200		
σ	0,244	1,636	0,263	1,636	8,149		
R	0,66	5,47	0,75	5,47	21,00		

$v_f = 1800 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	92,00	4,08	1,42	6,58
2	9,00	94,00	1,68	1,09	5,98
3	7,00	94,00	1,53	1,33	6,72
4	10,00	94,00	2,07	1,23	7,30
5	15,00	94,00	3,58	1,32	7,96
6	7,00	98,00	3,71	0,72	8,67
7	9,00	97,00	1,76	0,59	7,54
8	8,00	96,00	2,65	1,48	7,72
9	6,00	95,00	1,39	1,19	7,24
10	9,00	98,00	1,22	0,50	6,81
X	9,200	95,200	2,367	1,087	7,252
σ	2,658	1,989	1,064	0,355	0,772
R	9,00	6,00	2,86	0,98	2,69

$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

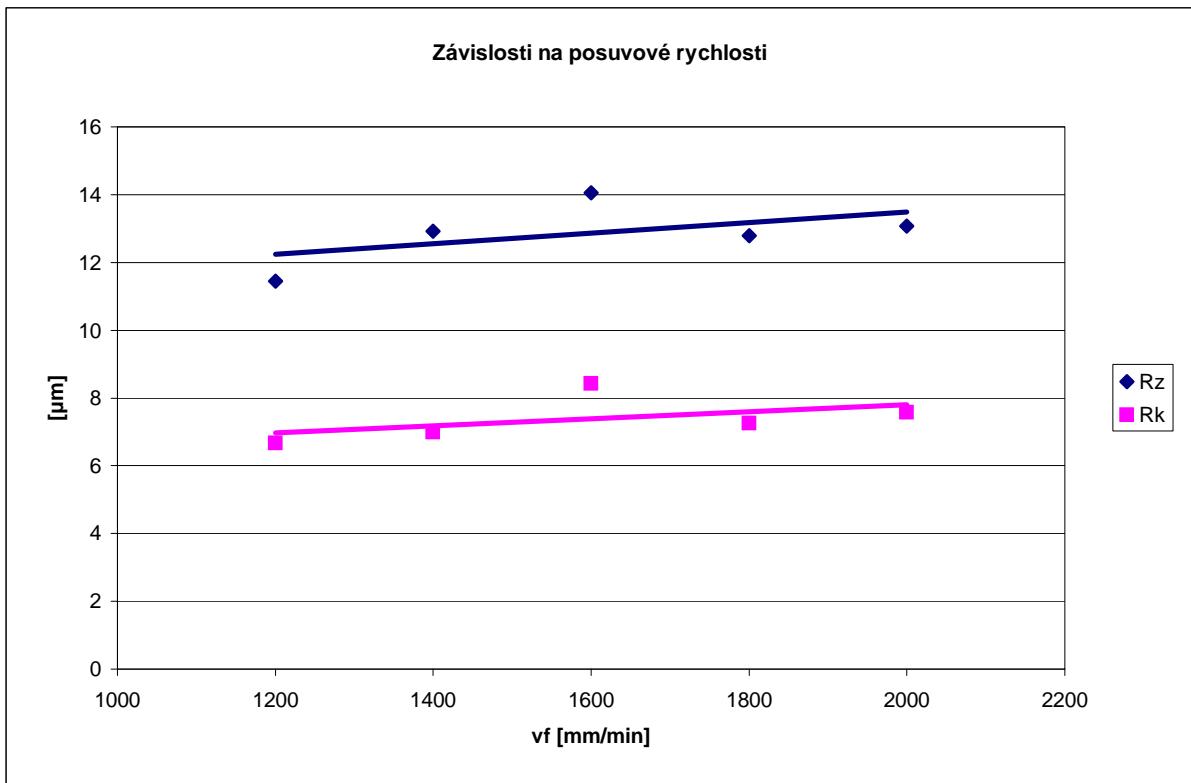
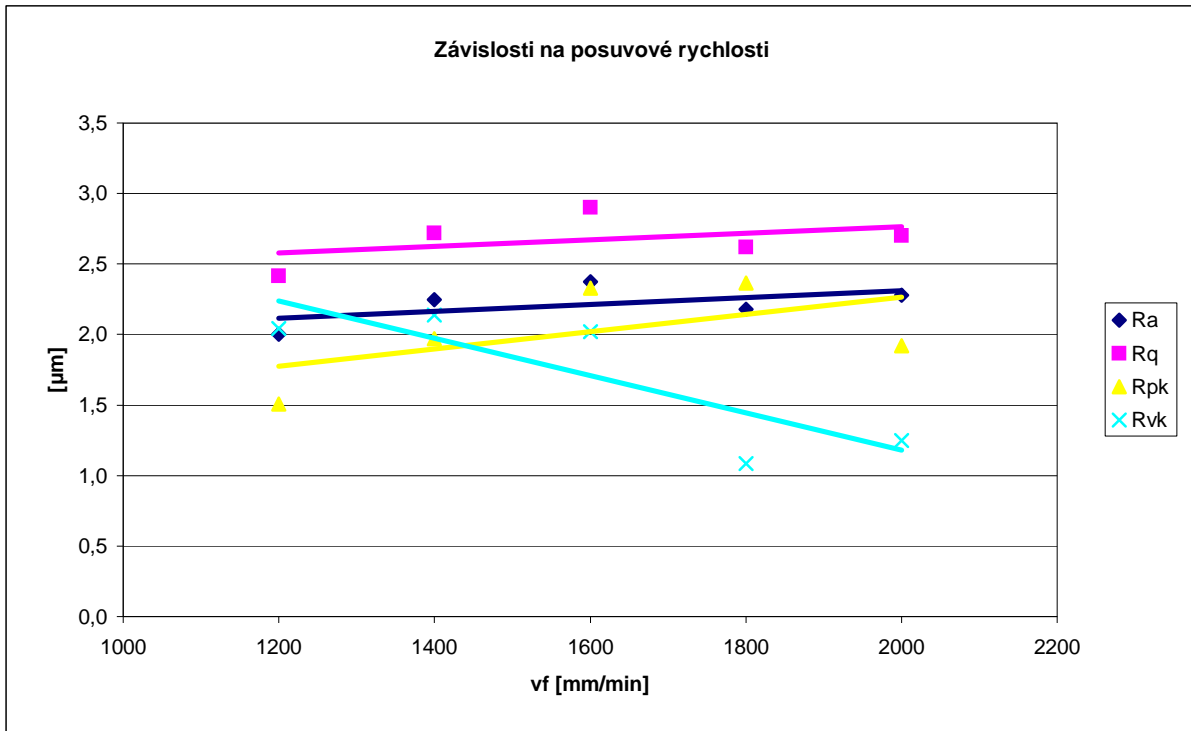
$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,16	12,84	2,58	12,84	33,00	2,50	12,50
2	2,07	11,56	2,45	11,56	41,00	2,50	12,50
3	2,74	15,54	3,19	15,54	34,00	2,50	12,50
4	2,10	10,85	2,51	10,85	35,00	2,50	12,50
5	2,06	10,16	2,45	10,16	45,00	2,50	12,50
6	2,01	10,80	2,37	10,80	42,00	2,50	12,50
7	2,36	18,08	2,91	18,08	15,00	2,50	12,50
8	2,52	14,49	2,94	14,49	42,00	2,50	12,50
9	2,20	11,42	2,56	11,42	38,00	2,50	12,50
10	2,55	15,02	3,05	15,02	27,00	2,50	12,50
X	2,277	13,076	2,701	13,076	35,200		
σ	0,251	2,595	0,292	2,595	8,892		
R	0,73	7,92	0,82	7,92	30,00		

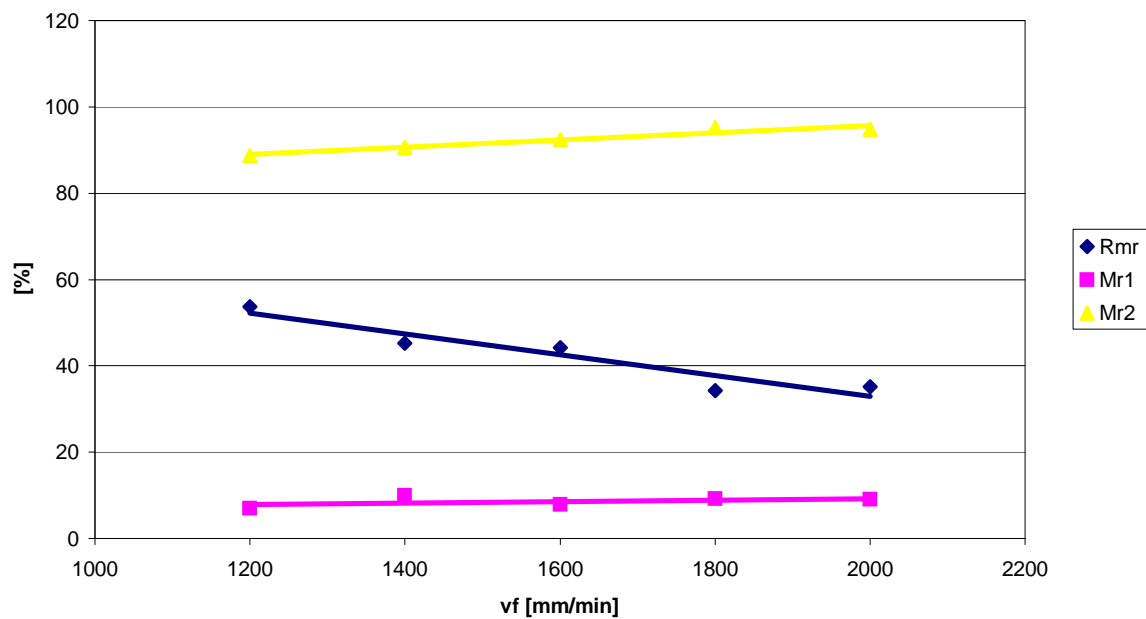
$v_f = 2000 \text{ mm/min}$

$v_c = 502,4 \text{ m/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	6,00	96,00	1,20	0,84	7,73
2	14,00	96,00	1,95	1,35	6,35
3	8,00	97,00	1,59	0,68	7,83
4	6,00	97,00	2,58	0,87	9,59
5	15,00	92,00	2,69	1,29	7,02
6	7,00	89,00	1,28	1,58	7,53
7	15,00	97,00	1,50	0,97	7,25
8	10,00	93,00	4,23	2,47	7,86
9	4,00	95,00	0,90	1,21	7,81
10	5,00	96,00	1,30	1,21	6,84
X	9,000	94,800	1,922	1,247	7,581
σ	4,243	2,658	1,000	0,509	0,866
R	11,00	8,00	3,33	1,79	3,24



Závislosti na posuvové rychlosti



PVC při změně řezné rychlosti

$n = 8000 \text{ ot/min}; v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,96	27,10	4,96	27,10	24,00	2,50	12,50
2	4,07	27,00	5,22	27,00	56,00	2,50	12,50
3	4,86	32,42	6,24	32,42	53,00	2,50	12,50
4	4,04	23,60	5,15	23,60	42,00	2,50	12,50
5	3,51	17,43	4,16	17,43	48,00	2,50	12,50
6	5,37	29,67	6,69	29,67	58,00	2,50	12,50
7	3,35	20,71	4,09	20,71	63,00	2,50	12,50
8	5,52	39,87	7,45	39,87	72,00	2,50	12,50
9	4,66	24,61	5,96	24,61	70,00	2,50	12,50
10	4,23	22,06	5,05	22,06	51,00	2,50	12,50
X	4,357	26,447	5,497	26,447	53,700		
σ	0,731	6,428	1,078	6,428	14,024		
R	2,17	22,44	3,36	22,44	48,00		

$n = 8000 \text{ ot/min}; v_c = 251,2 \text{ m/min}$

$v_f = 1600 \text{ mm/min}, h = 6 \text{ mm}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	84,00	3,36	4,82	10,40
2	10,00	92,00	6,06	4,07	9,89
3	9,00	83,00	2,66	8,54	14,22
4	13,00	88,00	4,15	3,73	10,84
5	8,00	86,00	3,28	3,38	12,57
6	7,00	90,00	2,42	3,44	15,99
7	7,00	89,00	3,45	5,57	18,36
8	7,00	88,00	5,43	9,62	15,18
9	5,00	84,00	2,36	6,90	13,36
10	8,00	86,00	3,26	3,61	7,52
X	8,200	87,000	3,643	5,368	12,833
σ	2,150	2,906	1,238	2,260	3,250
R	8,00	9,00	3,70	6,24	10,84

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,62	16,98	3,28	16,98	45,00	2,50	12,50
2	2,22	15,34	2,80	15,34	36,00	2,50	12,50
3	2,30	14,13	2,79	14,13	37,00	2,50	12,50
4	2,03	11,18	2,40	11,18	51,00	2,50	12,50
5	2,51	14,36	3,08	14,36	33,00	2,50	12,50
6	2,55	14,92	3,08	14,92	46,00	2,50	12,50
7	2,64	15,84	3,14	15,84	49,00	2,50	12,50
8	3,15	18,77	3,90	18,77	41,00	2,50	12,50
9	2,20	14,95	2,78	14,95	22,00	2,50	12,50
10	2,44	12,39	2,83	12,39	63,00	2,50	12,50
X	2,466	14,886	3,008	14,886	42,300		
σ	0,313	2,145	0,400	2,145	11,245		
R	1,12	7,59	1,50	7,59	41,00		

n = 12000 ot/min; $v_c = 376,8$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	6,00	85,00	1,39	3,10	7,38
2	12,00	89,00	2,84	2,73	8,44
3	14,00	87,00	3,75	2,81	5,77
4	12,00	97,00	3,19	0,90	8,97
5	6,00	94,00	1,82	1,04	10,04
6	10,00	91,00	1,76	2,52	8,20
7	9,00	87,00	4,00	1,78	7,22
8	16,00	89,00	4,42	2,39	6,91
9	8,00	94,00	2,26	2,62	9,56
10	7,00	87,00	1,59	2,21	6,88
X	10,000	90,000	2,702	2,210	7,937
σ	3,432	3,887	1,096	0,745	1,339
R	10,00	12,00	3,03	2,20	4,27

n = 16000 ot/min; v_c = 502,4 m/min

v_f = 1600mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,56	13,52	3,05	13,52	49,00	2,50	12,50
2	2,19	13,27	2,67	13,27	54,00	2,50	12,50
3	2,52	15,16	3,03	15,16	47,00	2,50	12,50
4	3,03	16,52	3,61	16,52	34,00	2,50	12,50
5	2,14	11,99	2,55	11,99	45,00	2,50	12,50
6	2,34	12,77	2,73	12,77	54,00	2,50	12,50
7	2,12	13,54	2,68	13,54	59,00	2,50	12,50
8	2,33	12,05	2,76	12,05	50,00	2,50	12,50
9	2,35	11,89	2,80	11,89	40,00	2,50	12,50
10	2,70	13,58	3,20	13,58	52,00	2,50	12,50
X	2,428	13,429	2,908	13,429	48,400		
σ	0,283	1,468	0,319	1,468	7,321		
R	0,91	4,63	1,06	4,63	25,00		

n = 16000 ot/min; v_c = 502,4 m/min

v_f = 1600mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	7,00	91,00	1,85	1,99	9,21
2	10,00	90,00	2,16	2,55	8,57
3	5,00	84,00	1,76	2,29	8,62
4	3,00	87,00	1,68	1,24	8,73
5	5,00	89,00	1,74	1,36	8,88
6	4,00	97,00	1,18	1,35	9,64
7	7,00	87,00	2,26	2,94	7,74
8	7,00	93,00	4,15	1,87	7,06
9	10,00	85,00	3,76	2,18	6,61
10	9,00	88,00	2,21	3,61	6,89
X	6,700	89,100	2,275	2,138	8,195
σ	2,452	3,872	0,944	0,755	1,049
R	7,00	13,00	2,97	2,37	3,03

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rt [μ m]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,99	19,06	3,70	19,06	54,00	2,50	12,50
2	2,68	16,50	3,30	16,50	46,00	2,50	12,50
3	2,71	19,18	3,43	19,18	49,00	2,50	12,50
4	2,47	13,71	2,95	13,71	53,00	2,50	12,50
5	2,13	14,54	2,65	14,54	41,00	2,50	12,50
6	2,12	14,75	2,72	14,75	26,00	2,50	12,50
7	2,03	12,04	2,48	12,04	59,00	2,50	12,50
8	2,27	12,11	2,68	12,11	52,00	2,50	12,50
9	2,05	11,57	2,47	11,57	52,00	2,50	12,50
10	2,63	14,06	3,14	14,06	53,00	2,50	12,50
X	2,408	14,752	2,952	14,752	48,500		
σ	0,335	2,734	0,424	2,734	9,277		
R	0,96	7,61	1,23	7,61	33,00		

n = 20000 ot/min; $v_c = 628$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, h = 6 mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μ m]	Rvk [μ m]	Rk [μ m]
1	8,00	86,00	1,83	2,86	8,49
2	8,00	90,00	5,54	1,89	9,01
3	5,00	81,00	1,59	2,59	8,21
4	6,00	86,00	1,78	2,48	7,90
5	7,00	82,00	3,25	4,30	9,00
6	10,00	84,00	2,97	3,27	8,19
7	8,00	86,00	4,85	2,39	7,88
8	4,00	85,00	2,55	2,21	9,07
9	10,00	86,00	4,16	4,77	6,75
10	8,00	76,00	2,70	3,84	6,72
X	7,400	84,200	3,122	3,060	8,122
σ	1,955	3,795	1,345	0,958	0,854
R	6,00	14,00	3,95	2,88	2,35

$n = 24000$ ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

$v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm

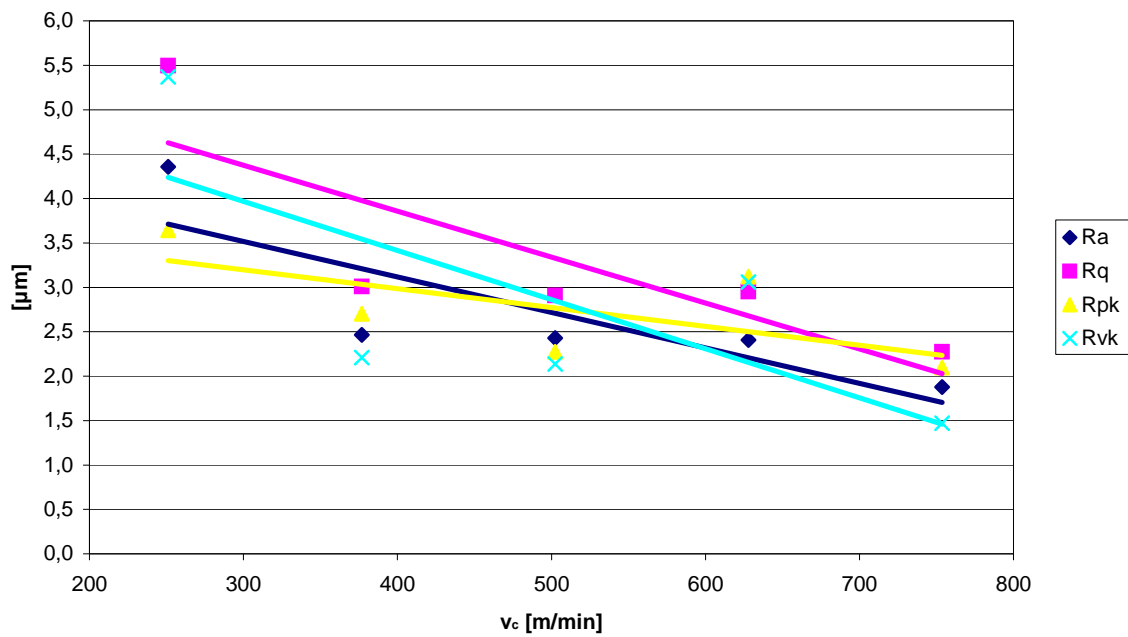
č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,19	13,66	2,57	13,66	38,00	2,50	12,50
2	1,95	11,48	2,43	11,48	45,00	2,50	12,50
3	1,77	10,75	2,18	10,75	37,00	2,50	12,50
4	1,71	11,19	2,13	11,19	37,00	2,50	12,50
5	1,71	11,71	2,14	11,71	37,00	2,50	12,50
6	1,76	8,43	2,04	8,43	52,00	2,50	12,50
7	1,84	10,06	2,19	10,06	45,00	2,50	12,50
8	2,02	12,40	2,46	12,40	36,00	2,50	12,50
9	1,97	10,91	2,39	10,91	42,00	2,50	12,50
10	1,84	11,00	2,21	11,00	43,00	2,50	12,50
X	1,876	11,159	2,274	11,159	41,200		
σ	0,155	1,379	0,174	1,379	5,160		
R	0,48	5,23	0,53	5,23	16,00		

$n = 24000$ ot/min; $v_c = 753,6$ m/min

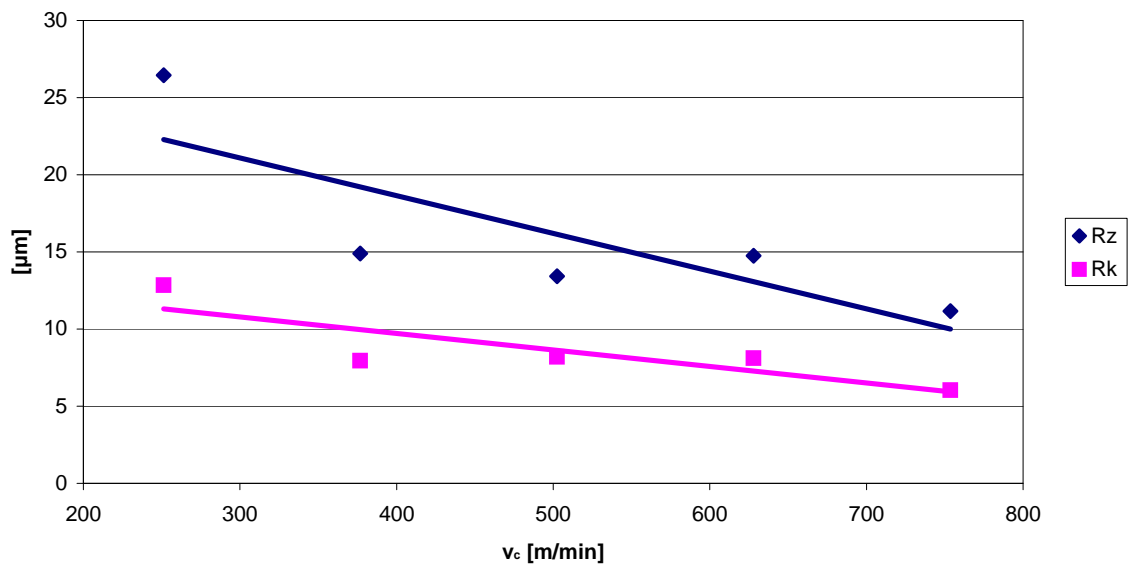
$v_f = 1600$ mm/min, $h = 6$ mm

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	6,00	86,00	3,43	1,14	6,86
2	14,00	91,00	3,05	1,25	5,22
3	11,00	92,00	2,29	0,95	6,10
4	10,00	90,00	1,80	0,97	5,20
5	10,00	91,00	1,91	1,84	5,82
6	9,00	93,00	1,72	1,41	6,03
7	16,00	95,00	2,26	1,88	5,26
8	8,00	89,00	1,31	1,92	7,03
9	4,00	91,00	1,11	1,46	6,49
10	8,00	90,00	2,11	1,90	6,33
X	9,600	90,800	2,099	1,472	6,034
σ	3,534	2,394	0,716	0,391	0,665
R	12,00	9,00	2,32	0,97	1,83

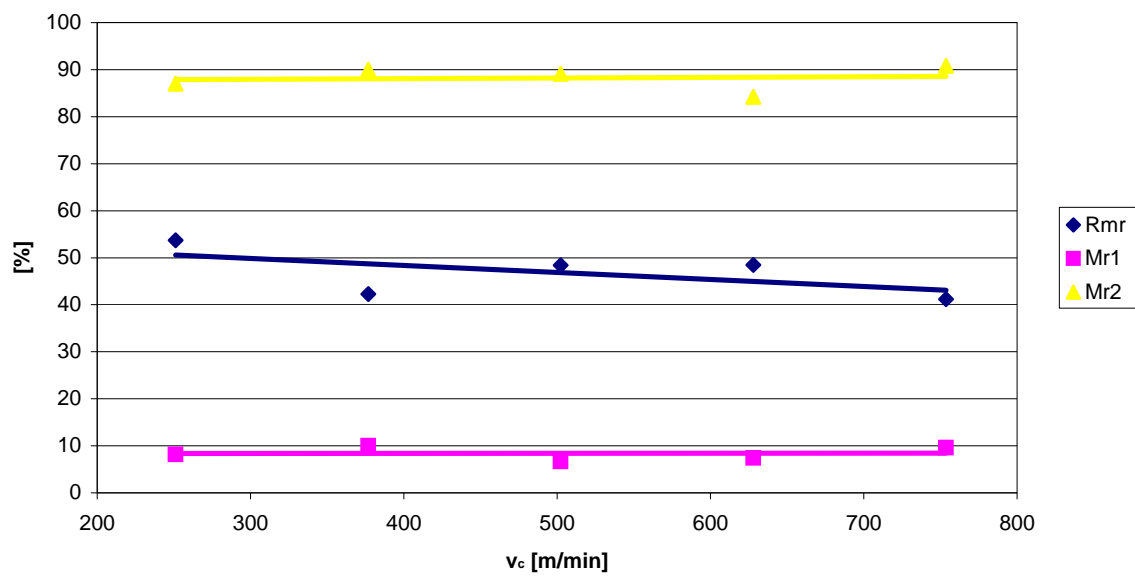
Závislosti na řezné rychlosti



Závislosti na řezné rychlosti



Závislosti na řezné rychlosti



PVC při změně hloubky řezu

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	1,69	9,20	2,02	9,20	47,00	2,50	12,50
2	2,20	14,94	2,75	14,94	42,00	2,50	12,50
3	1,80	10,63	2,21	10,63	63,00	2,50	12,50
4	2,01	12,46	2,58	12,46	68,00	2,50	12,50
5	2,14	14,03	2,65	14,03	56,00	2,50	12,50
6	2,16	14,16	2,65	14,16	26,00	2,50	12,50
7	1,91	11,97	2,35	11,97	45,00	2,50	12,50
8	1,91	12,78	2,43	12,78	53,00	2,50	12,50
9	2,30	13,60	2,83	13,60	50,00	2,50	12,50
10	1,95	11,68	2,36	11,68	58,00	2,50	12,50
X	2,007	12,545	2,483	12,545	50,800		
σ	0,191	1,753	0,254	1,753	11,877		
R	0,61	5,74	0,81	5,74	42,00		

$h = 2\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	4,00	92,00	0,95	2,37	7,12
2	8,00	91,00	1,98	2,31	6,63
3	7,00	95,00	2,14	1,37	8,30
4	8,00	91,00	2,67	1,65	7,02
5	5,00	89,00	1,18	1,66	7,35
6	7,00	90,00	1,74	2,92	5,42
7	7,00	89,00	1,99	2,51	7,34
8	6,00	95,00	1,74	1,07	8,07
9	7,00	90,00	1,59	1,69	7,17
10	8,00	86,00	1,43	3,61	6,00
X	6,700	90,800	1,741	2,116	7,042
σ	1,337	2,741	0,495	0,774	0,865
R	4,00	9,00	1,72	2,54	2,88

h = 4mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,26	14,94	2,79	14,94	39,00	2,50	12,50
2	3,02	15,50	3,57	15,50	40,00	2,50	12,50
3	2,75	16,27	3,46	16,27	23,00	2,50	12,50
4	2,10	12,69	2,62	12,69	56,00	2,50	12,50
5	2,63	13,24	3,24	13,24	33,00	2,50	12,50
6	2,88	14,30	3,41	14,30	50,00	2,50	12,50
7	2,20	12,79	2,58	12,79	44,00	2,50	12,50
8	2,44	16,31	3,04	16,31	28,00	2,50	12,50
9	2,44	15,39	3,09	15,39	40,00	2,50	12,50
10	2,13	11,97	2,58	11,97	39,00	2,50	12,50
X	2,485	14,340	3,038	14,340	39,200		
σ	0,324	1,576	0,380	1,576	9,716		
R	0,92	4,34	0,99	4,34	33,00		

h = 4mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	13,00	91,00	3,00	1,20	6,89
2	16,00	89,00	3,67	2,85	7,33
3	9,00	90,00	2,84	1,24	9,76
4	12,00	85,00	2,94	3,15	6,91
5	19,00	90,00	5,52	2,15	6,74
6	8,00	92,00	3,04	1,25	8,37
7	12,00	87,00	4,72	2,00	6,38
8	16,00	95,00	4,37	2,25	7,53
9	12,00	92,00	2,92	2,65	10,77
10	16,00	92,00	4,79	1,52	8,55
X	13,300	90,300	3,781	2,026	7,923
σ	3,433	2,830	0,987	0,712	1,432
R	11,00	10,00	2,68	1,95	4,39

$h = 6\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,64	31,05	5,05	31,05	31,00	2,50	12,50
2	3,25	19,56	3,97	19,56	36,00	2,50	12,50
3	4,20	25,30	5,19	25,30	26,00	2,50	12,50
4	3,21	18,07	3,95	18,07	40,00	2,50	12,50
5	3,34	20,26	4,14	20,26	49,00	2,50	12,50
6	3,52	24,31	4,54	24,31	20,00	2,50	12,50
7	3,15	15,85	3,72	15,85	38,00	2,50	12,50
8	3,00	17,07	3,60	17,07	34,00	2,50	12,50
9	3,57	22,02	4,32	22,02	20,00	2,50	12,50
10	2,67	16,77	3,23	16,77	30,00	2,50	12,50
X	3,355	21,026	4,171	21,026	32,400		
σ	0,413	4,744	0,621	4,744	9,046		
R	1,53	15,20	1,96	15,20	29,00		

$h = 6\text{mm}$ $v_f = 1600\text{ mm/min}$, $v_c = 502,4\text{ m/min}$

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	12,00	88,00	1,99	2,00	8,14
2	17,00	91,00	5,50	2,07	9,33
3	5,00	83,00	3,66	3,92	11,35
4	8,00	83,00	3,90	4,36	7,83
5	9,00	94,00	4,34	3,43	10,28
6	17,00	90,00	6,04	3,64	11,60
7	13,00	87,00	5,02	5,49	9,66
8	7,00	95,00	2,05	2,04	10,96
9	7,00	95,00	2,25	1,79	9,51
10	8,00	91,00	3,78	7,11	12,45
X	10,300	89,700	3,853	3,585	10,111
σ	4,244	4,448	1,431	1,739	1,499
R	12,00	12,00	4,05	5,32	4,62

h = 8mm v_f = 1600 mm/min, v_c = 502,4 m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	3,44	18,73	4,19	18,73	59,00	2,50	12,50
2	3,44	18,33	4,28	18,33	30,00	2,50	12,50
3	3,19	18,21	3,82	18,21	39,00	2,50	12,50
4	3,23	19,25	3,91	19,25	35,00	2,50	12,50
5	3,25	18,01	3,80	18,01	52,00	2,50	12,50
6	3,35	19,42	4,07	19,42	40,00	2,50	12,50
7	2,99	18,18	3,71	18,18	58,00	2,50	12,50
8	3,51	18,40	4,23	18,40	37,00	2,50	12,50
9	3,25	17,83	3,98	17,83	43,00	2,50	12,50
10	3,13	19,38	3,94	19,38	36,00	2,50	12,50
X	3,278	18,574	3,993	18,574	42,900		
σ	0,159	0,586	0,194	0,586	10,027		
R	0,52	1,59	0,57	1,59	29,00		

h = 8mm v_f = 1600 mm/min, v_c = 502,4 m/min

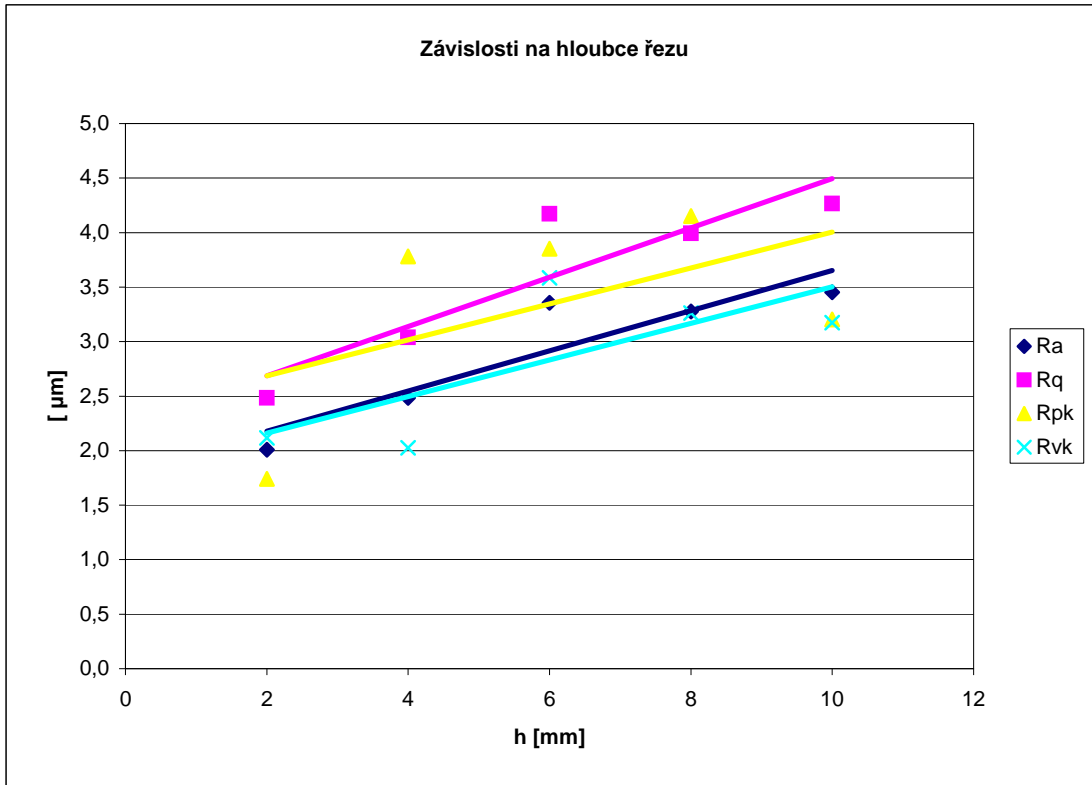
č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	8,00	86,00	3,34	4,47	8,27
2	5,00	89,00	3,63	3,85	11,83
3	12,00	94,00	4,99	1,30	10,04
4	13,00	94,00	4,50	3,09	8,68
5	11,00	88,00	5,68	4,78	11,67
6	6,00	91,00	5,20	5,34	11,94
7	10,00	91,00	4,88	4,73	12,24
8	8,00	90,00	3,02	2,00	9,97
9	5,00	94,00	1,94	1,68	12,75
10	6,00	96,00	4,33	1,38	10,80
X	8,400	91,300	4,151	3,262	10,819
σ	2,951	3,164	1,151	1,567	1,533
R	8,00	10,00	3,74	4,04	4,48

h = 10mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rt [μm]	Rmr [%]	lr [mm]	ln [mm]
1	2,91	17,67	3,69	17,67	50,00	2,50	12,50
2	3,97	20,39	4,75	20,39	55,00	2,50	12,50
3	4,25	22,38	5,22	22,38	42,00	2,50	12,50
4	3,49	23,38	4,42	23,38	39,00	2,50	12,50
5	3,60	21,10	4,48	21,10	21,00	2,50	12,50
6	3,47	18,95	4,25	18,95	37,00	2,50	12,50
7	2,93	19,11	3,91	19,11	31,00	2,50	12,50
8	3,10	15,71	3,67	15,71	60,00	2,50	12,50
9	3,57	19,47	4,25	19,47	49,00	2,50	12,50
10	3,24	20,36	4,02	20,36	53,00	2,50	12,50
X	3,453	19,852	4,266	19,852	43,700		
σ	0,432	2,220	0,482	2,220	11,991		
R	1,34	7,67	1,55	7,67	39,00		

h = 10mm $v_f = 1600$ mm/min, $v_c = 502,4$ m/min

č.m.	Mr1 [%]	Mr2 [%]	Rpk [μm]	Rvk [μm]	Rk [μm]
1	6,00	91,00	3,14	4,12	12,89
2	9,00	93,00	3,07	1,98	10,55
3	7,00	94,00	2,16	1,80	12,70
4	4,00	90,00	2,63	3,04	11,62
5	11,00	86,00	3,63	3,55	7,70
6	11,00	93,00	6,37	3,62	11,98
7	9,00	82,00	3,37	3,97	9,01
8	4,00	91,00	2,21	2,77	10,24
9	5,00	90,00	3,22	3,45	12,67
10	5,00	90,00	2,22	3,45	12,67
X	7,100	90,000	3,202	3,175	11,203
σ	2,726	3,590	1,231	0,783	1,783
R	7,00	12,00	4,21	2,32	5,19



Závislosti na hloubce řezu

