

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

**Ing. Jana JAROŠOVÁ**

**MATEMATICKO – STATISTICKÝ MODEL OPTIMALIZACE  
PROCESU MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ DRSNOSTI  
OBROBENÉ PLOCHY**

**MATHEMATIC- STATISTIC MODEL OF OPTIMISATION OF  
MEASURING AND EVALUATION PROCESS OF ROUGHNESS  
OF TOOLED SURFACE**

ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

**Obor:** 23–07–9 Strojírenská technologie

**Školitel:** Doc. Ing. Jiří PERNIKÁŘ, CSc.

**Oponenti:** Prof. Ing. Josef VAČKÁŘ, CSc.

Doc. Ing. Miroslav TYKAL, CSc.

Dr. Ing. Rostislav SUCHÁNEK

**Datum obhajoby:** 11. září 2002

**Klíčová slova**

jakost, struktura povrchu, drsnost povrchu, měření, bodový odhad, statistický toleranční interval, reprezentativní hodnota, homogenita povrchu

**Key Words**

quality, surface structure, roughness, measurements, point – source, statistical tolerance interval, representative value, homogeneity of surface

**Místo uložení**

Ústav strojírenské technologie, VUT FSI v Brně

## **OBSAH PRÁCE**

1	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	5
1.1	Struktura povrchu a její význam .....	5
1.2	Hodnocení struktury funkčních ploch jako celku .....	6
1.3	Porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi .....	7
1.3.1	Pravidlo 16 % .....	7
1.3.2	Pravidlo maxima.....	7
1.3.3	Nejistota měření .....	7
1.4	Kontrola drsnosti dotykovými přístroji (dle ČSN EN ISO 4288).....	7
1.5	Zjednodušený postup pro kontrolu drsnosti .....	8
2	CÍL PRÁCE.....	8
2.1	Způsob řešení.....	9
3	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	10
3.1	Popis metod pro stanovení reprezentativní hodnoty .....	10
3.2	Popis metod pro hodnocení homogenity povrchu.....	11
3.3	Měření.....	15
3.4	Testování normality.....	16
4	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE .....	17
4.1	Výsledky testování .....	17
4.2	Tabulky výsledků .....	17
4.3	Obecné závěry .....	21
5	ZÁVĚR.....	22
6	SUMMARY .....	23
6.1	Introduction .....	23
6.2	Current issues concerning these problems .....	23
6.3	Methods of evaluation .....	23
6.4	Main results of the work .....	24
6.5	Conclusion .....	24
7	LITERATURA.....	25
8	ŽIVOTOPIS AUTORA .....	26



# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Jakost povrchu je jedním z důležitých kritérií jakosti výrobku, protože právě mikrogeometrie povrchu podmiňuje velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součásti stejně tak, jako i řadu sousouvisejících parametrů, jako je např. hlučnost, opotřebení, atd. Tato oblast jakosti byla v minulosti velmi opomíjena, o čemž svědčí absence uceleného konkrétního postupu pro zpracování a vyhodnocení obrobené plochy. Dle nových evropských norem ČSN EN ISO, které byly přijaty na jaře roku 1999, je možno nyní provádět hodnocení drsnosti povrchu mnohem zodpovědněji a přesněji, než tomu bylo dosud. Zároveň ale dochází k mnohem širšímu sledování této problematiky.

Pro objektivní hodnocení jakosti povrchu se posuzuje stále více parametrů, které podávají mnohem konkrétnější a ucelenější obraz o kontrolované ploše z pohledu mikrogeometrie.

## 1.1 Struktura povrchu a její význam

Geometrie povrchu je tvořena kombinací tří parametrů:

1. *drsnost povrchu*, která je důsledkem mikrostruktury materiálu a plastické deformace a je zároveň i nejčastěji a nejvíce sledovaným a kontrolovaným parametrem
2. *vlnitost povrchu*, která je důsledkem nestability obráběcího procesu a chybného ustavení nástroje; v současně platných normách není pojem vlnitosti jako takový přesně definován; ve speciálních případech je možné řadit vlnitost jako odchylku tvaru
3. *tvar povrchu*, který je důsledkem chybného ustavení nástroje a tlakové deformace a je zároveň nejméně sledovaným parametrem

Jedním z nejdůležitějších parametrů určujících výslednou jakost výrobku v oblasti metrologie je drsnost povrchu, která je hlavním činitelem při vzniku koroze pod napětím a vzniku únavového lomu, ke kterému dochází obvykle na povrchu nebo těsně pod povrchem součásti.

Pro hodnocení jakosti strojních součástí má analýza drsnosti povrchu svůj neopomenutelný význam, na který je v metrologii a jakosti kladen stále větší důraz stejně tak, jako stále roste význam kontroly v systému řízení jakosti. Drsnost povrchu je jednou z úchylek, které jsou chápány jako rozdíly skutečného tvaru plochy a tvaru plochy jmenovité. Tyto úchytky řadíme k hodnotám, které určují *mikrogeometrii povrchu* obrobené plochy. Mezi další patří např. úchytky tvaru, vlnitost, strukturální změny, apod. Všechny tyto úchytky povrchu vznikají v důsledku nedokonalosti a nepřesnosti při výrobě.

Příčiny podmiňující mikrogeometrii povrchu lze rozdělit do několika skupin:

- mikrostruktura materiálu
- plastická deformace, ke které dochází v průběhu obrábění
- nestabilita obráběcího procesu v soustavě stroj – nástroj – obrobek
- chybné ustavení nástroje
- tlaková deformace

Dle normy ČSN EN ISO 4287 z března 1999, která plně nahrazuje normu ČSN ISO 4287 – 1 z dubna 1993 ( 014450 ), rozlišujeme *výškové, délkové a tvarové parametry*, přičemž nejfrekventovanější jsou parametry výškové. Nelze však používat jenom tyto parametry pro popis povrchu, protože při přesnějším zkoumání nepodávají přesnou charakteristiku povrchu.

Drsnost povrchu je hodnocena pomocí *profilu drsnosti*, který je definován dle ČSN EN ISO 4287 jako profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$  ; profil je úmyslně pozměněn. Pro rozhodnutí, zda povrch je či není ve shodě se specifikací, je použit soubor jednotlivých hodnot parametru struktury povrchu, z nichž každý je určen na vyhodnocované délce. *Vyhodnocovaná délka* je označena  $l_n$  a je definována jako délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

Další pojem, který je nezbytný při popisu profilu drsnosti je *základní délka*, definována jako délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil.

Pro hodnocení profilu používáme tyto základní geometrické parametry:

- **P – parametr** : parametr vypočítaný ze základního profilu, vyhodnocovaná délka je rovna délce měřeného prvku
- **R – parametr** : parametr vypočítaný z profilu drsnosti, měřeno dotykovými přístroji a vyhodnocovaná délka je přesně stanovena normou ( viz. dále )
- **W – parametr** : parametr vypočítaný z profilu vlnitosti
- **parametry podle metody Motif** – metodika přesně popsána normou ČSN EN ISO 12085 ( 014447 ) únor 1999

## 1.2 Hodnocení struktury funkčních ploch jako celku

Hodnocení sledované plochy provádíme pomocí hodnot, které naměříme přístrojem na měření parametrů drsnosti na sledované ploše a následným porovnáním s hodnotami požadovanými pro funkčnost sledované plochy výkresem nebo výrobní dokumentací. Při hodnocení vycházíme z normy ČSN EN ISO 4288, která : stanovuje pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu v ISO 4287, ISO 12 085, ISO 13 565 – 2 a ISO 13 565 – 3. [ 11]

Sledovaný parametr přitom nabývá hodnoty s určitým rozptylem, s čímž výše citovaná norma počítá a stanovuje proto pravidlo 16%, které říká, že sledované plochy lze považovat za přijatelné, pokud: ne více než 16% všech naměřených hodnot sledovaných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce přesáhne hodnotu danou výkresem nebo výrobní dokumentací. [ 11]

Bereme –li v úvahu hodnocení pomocí horní meze ( hodnocení pro dolní mez lze odvodit obdobným způsobem ), pak tuto horní mez v případě normálního rozdělení hodnot parametrů určíme jako hodnotu  $\mu + \sigma$ , kde  $\mu$  je aritmetický průměr parametru profilu drsnosti a  $\sigma$  je směrodatná odchylka hodnot. Vycházíme přitom z nekonečně velkého počtu měření. Ovšem jakým způsobem máme provést nekonečně mnoho měření v praxi? Na tuto otázku příslušná norma odpověď nedává.

S její pomocí lze provádět jakousi kontrolu, jejíž postup je uveden v příloze A, ale tento postup nelze zobecňovat a používat ho vždy.

### **1.3 Porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi**

Podle pravidel normy ČSN EN ISO 4288 provedeme *kontrolu homogeneity povrchu*. Je – li struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určených z celého povrchu měřeného vzorku nebo obrobku budou použity pro porovnání s hodnotami uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci.

Je – li povrch obrobku složen z několika různých ploch s různou strukturou, budou hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo požadavků na výkresu.

#### **1.3.1 Pravidlo 16 %**

Pravidlo 16 % uplatňujeme tehdy, jsou – li hodnoty drsnosti uváděny *dolní nebo horní mezí parametru*. Povrchy s horní mezí parametru jsou považovány za přijatelné, neleží – li více než 16 % naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce nad hodnotou uvedenou ve výrobní dokumentaci nebo na výkresu. Povrchy s dolní mezí parametru jsou považovány za přijatelné, neleží – li více než 16 % parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce pod hodnotou uvedenou ve výrobní dokumentaci nebo na výkresu.

#### **1.3.2 Pravidlo maxima**

Je – li drsnost specifikována na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci největší hodnotou parametru, *nesmí* v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přesáhnout tuto stanovenou hodnotu.

#### **1.3.3 Nejistota měření**

Nejistoty měření jsou uvažovány podle pravidel udaných v ISO 14253 – 1. V případě porovnávání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvážení *nehomogenit povrchu*, které jsou už započítány přídatkem 16 %.

### **1.4 Kontrola drsnosti dotykovými přístroji (dle ČSN EN ISO 4288)**

Při kontrole drsnosti dotykovými přístroji platí pravidla, která stanoví norma ČSN EN ISO 4288 ( 014449 ), platná od března 1999.

Není – li specifikován směr měření, obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( Ra, Rz ). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr libovolný. [ 11 ]

Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty; to může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. [ 11 ]

Jsou – li použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích v protokolu o měření. [ 11 ]

Pro určení hodnot parametrů profilu drsnosti je potřeba nejprve pohledem rozhodnout, zda profil drsnosti je periodický nebo neperiodický. Poté se použije postup stanovený normou.

## 1.5 Zjednodušený postup pro kontrolu drsnosti

Uváděný postup je jen hrubým přiblížením se plnému postupu definovaném normou, ale v praxi ho lze velice dobře použít. Je pouze jednou z možností provádění kontroly.

### ***Vizuální zkouška***

Vizuální zkoušku provádíme tehdy, je – li zřejmé, že kontrola měřením není nutná, tzn. u povrchů, které mají *drsnost zřejmě lepší nebo zřejmě horší* než je drsnost specifikovaná. Nelze – li rozhodnout vizuální zkouškou, může být provedena *zkouška hmatem nebo vizuálně pomocí srovnávacích vzorků*.

### ***Zkouška měřením***

Nelze – li provést rozhodnutí po zkoušce porovnáváním, provedeme měření na té části povrchu, kde na základě vizuálního pozorování lze očekávat *kritické hodnoty*.

*Hodnocení povrchu bez uvedení symbolu max*

Povrch bude přijmut a postup zkoušky zastaven, jestliže:

- první měřená hodnota nepřesáhne 70% hodnoty uváděné na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci
- první tři měřené hodnoty nepřesáhnou specifikovanou hodnotu
- ne více než jedna z prvních šesti měřených hodnot přesáhne specifikovanou hodnotu
- ne více než dvě z prvních dvanácti měřených hodnot přesáhne specifikovanou hodnotu; v každém jiném případě bude výrobek odmítnut

Obsahuje – li značka parametru index max, je obvykle *měřeno alespoň třikrát* buďto na místech s očekávanou nejvyšší drsností, nebo je měření rovnoměrně rozloženo na povrchu, který vytváří dojem homogenity.

Nejpřesněji jsou hodnoty povrchu získány pomocí měřících přístrojů. Proto tuto kontrolu provádíme vždy, jedná – li se o součásti s požadavky na vysokou jakost.

## 2 CÍL PRÁCE

Stojíme tedy před otázkou: Jak provádět kontrolu struktury povrchu a dodržovat přitom pravidla stanovená normou?

Tuto otázku sleduje a řeší předložená práce, jejíž výsledkem jsou obecná pravidla pro hodnocení struktury povrchu v praxi, která přitom vychází a sledují požadavky stanovené příslušnými normami systému GPS – Geometrické požadavky na výrobky a zároveň vychází z velkého počtu měření provedených v rámci řešení celé problematiky.

Problematika struktury povrchu není řešena pouze z pohledu stanovení výsledné hodnoty parametru drsnosti, ale i z pohledu zachování si této hodnoty v rámci sledované plochy.



Vzhledem k dlouhodobému sledování problematiky struktury povrchu víme, že měřená hodnota se pohybuje v jakémisi rozmezí hodnot, které činí přibližně  $\pm 30\%$  kolem střední hodnoty. Tento předpoklad lze použít pro hodnocení a sledování homogenity povrchu a zároveň z tohoto předpokladu vycházíme při stanovení požadované hodnoty  $\mu + \sigma$ , kterou ovšem pro praktické použití bude nezbytné nahradit jinou, dostupnější hodnotou. Nazveme ji například *reprezentativní hodnota*. Tu potom bude možno srovnávat se specifikací stanovenou výkresem nebo výrobní dokumentací. Při jejím stanovení je přitom nezbytné vycházet z ČSN EN ISO 4288.

## 1.1 Způsob řešení

Pro detailní popis dané problematiky jsme použili horní mez parametru. Odvození pro dolní mez parametru je identické a řídí se stejnými pravidly.

Pro hodnocení drsnosti povrchu byly použity dvě metody, z nichž každá má svůj specifický postup. Cíl obou metod je naprosto stejný – stanovení tzv. *reprezentativní hodnoty drsnosti*, tj. hodnoty, kterou lze označit jako výslednou hodnotu drsnosti povrchu funkční plochy. Úkolem práce je stanovení optimálního postupu, který by bylo možno použít pro výsledné hodnocení drsnosti povrchu. Zároveň práce popisuje krok za krokem utvoření pravidel, kterými by bylo možno se řídit při řešení dříve popisovaných problémů v praxi, kde je používání platných norem nezbytnou součástí jakosti. Základem přitom je velký počet měření provedený v rámci řešení celé problematiky.

Pro stanovení reprezentativní hodnoty byly použity tyto dvě metodiky:

1. hodnocení pomocí *součtu bodových odhadů parametrů*  $\bar{x} + s$
2. hodnocení pomocí *jednostranné statistické toleranční meze* pro  $p = 0,84$  a konfidenční úroveň  $1-\alpha = 0,95$

Stanovení reprezentativní hodnoty ovšem není jediným problémem, který se na vyhodnocované ploše objevuje. Je nezbytné posoudit zároveň homogenitu povrchu obrobené plochy – schopnost povrchu zachovávat si konstantní drsnost na celé obráběné ploše. Je pochopitelné, že drsnost povrchu nelze zachovávat zcela konstantní s ohledem na vnější vlivy, které při obráběcím procesu působí. Je proto třeba nalézt parametr, který by co nejlépe a nejvýstižněji charakterizoval rozptyl hodnot na dané obráběné ploše a jakýmsi způsobem by přitom zároveň pomáhal charakterizovat *homogenitu výrobního procesu*.

I v tomto případě je možné směřovat několika možnými směry. Tato část problému byla zpracována pěti možnými způsoby:

1. hodnocení pomocí *směrodatné odchylky*
2. hodnocení pomocí *variačního koeficientu*
3. hodnocení pomocí *rozptylu hodnot*
4. hodnocení pomocí *oboustranných statistických tolerančních mezí* s podílem souboru  $p = 0,95$  a konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$
5. hodnocení pomocí *oboustranných statistických tolerančních mezí* s podílem souboru  $p = 0,90$  a konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$

## 3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

### 3.1 Popis metod pro stanovení reprezentativní hodnoty

#### *Postup stanovení reprezentativní hodnoty pomocí bodových odhadů*

Norma ČSN EN ISO 4288 předpokládá, že u kontrolovaného parametru bude zjištěno ( naměřeno ) nekonečně mnoho hodnot příslušného parametru. V případě nekonečně velkého souboru hodnot lze potom uplatnit výše citované pravidlo 16 %. Základním předpokladem pro použití tohoto pravidla je přítomnost normálního rozdělení u zjištěných hodnot. *Horní mezní hodnota parametru* je potom stanovena jako součet hodnot  $\mu + \sigma$ , kde  $\mu$  je hodnota aritmetického průměru a  $\sigma$  je směrodatná odchylka. Čím je větší hodnota  $\sigma$ , tím vzdálenější musí být aritmetický průměr parametru profilu drsnosti od specifikované meze. [ 11 ]

Vzhledem k tomu, že hodnoty parametru  $\mu$  a  $\sigma$  neznáme a ani nejsme z nekonečně velkého souboru hodnot schopni je určit, pracujeme pouze s omezeným počtem hodnot – *statistickým výběrem*. Potřebné hodnoty zjišťujeme pomocí bodových odhadů hodnot.

Hodnotu *aritmetického průměru*  $\mu$  potom odhadneme pomocí aritmetického průměru  $\bar{x}$  z  $n$  výsledků podle vzorce

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Hodnotu *směrodatné odchylky*  $\sigma$  vypočtenou ze čtverců odchylek od aritmetického průměru odhadneme pomocí vzorce

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Horní stanovenou mez, která je dána při nekonečně velkém souboru hodnot parametrem  $\mu + \sigma$ , dostatečně nahradíme dostupnou hodnotou bodových odhadů  $\bar{x} + s$ .

Při použití výše uvedeného postupu dochází tedy k jistým odchylkám od skutečných hodnot, což je způsobeno náhradou nekonečně velkého souboru hodnot omezeným statistickým výběrem.

#### *Postup stanovení reprezentativní hodnoty pomocí statistických tolerančních mezí dle ČSN ISO 3207*

Jak bylo řečeno již dříve, pracujeme se *statistickým výběrem*. Statistika ovšem není schopna přesně říci, že vypočtená hodnota je přesně ta daná hodnota, kterou požadujeme zjistit. Statistika pracuje vždy s určitou *pravděpodobností*. Použijeme proto tohoto statistického výběru jako základ pro stanovení tzv. *statistického tolerančního intervalu*, tj. takového intervalu, kdy existuje pevná pravděpodobnost (*konfidenční úroveň*), že interval pokryje alespoň podíl  $p$  souboru, z něhož se bere výběr. [ 17 ]

Statistický toleranční interval může být *dvoustranný nebo jednostranný*. Meze intervalu se nazývají *statistické toleranční meze*, někdy také *přirozené meze výrobního procesu*.

Problematiku statistických tolerančních intervalů popisuje a předpisově upravuje norma ČSN ISO 3207 : *Statistická interpretace údajů, Stanovení statistického tolerančního intervalu*.

Norma ČSN ISO 3207 uvažuje dva případy pro vyhodnocení jednostranných statistických tolerančních intervalů:

- *rozptyl známý* – předpokládá se, že dříve získaná měření vykazovala konstantní rozptyl od jedné dávky ke druhé od téhož dodavatele, ačkoliv průměr nebyl konstantní
- *rozptyl neznámý* – předpokládá se, že směrodatná odchylka souboru je neznámá a že je odhadnuta z výběru

Při hodnocení statistického souboru vyhodnotíme vstupní parametry:

- rozsah výběru  $n$
- podíl souboru zvolený pro statistický toleranční interval  $p$
- zvolená konfidenční úroveň  $1 - \alpha$
- součinitel  $k(n, p, 1 - \alpha)$

Tabulka 3.1 - postupy výpočtu jednostranných statistických tolerančních intervalů [17]

<b>jednostranný statistický toleranční interval</b>	
<b>rozptyl známý</b>	<b>rozptyl neznámý</b>
$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
	$\sigma^* = s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$
$k_1(n, p, 1 - \alpha) =$ (tab. 5)	$k_2(n, p, 1 - \alpha) =$ (tab. 7)
interval „nalevo“ $L_s = \bar{x} + k_1(n, p, 1 - \alpha) \cdot \sigma =$	interval „nalevo“ $L_s = \bar{x} + k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s =$
interval „napravo“ $L_i = \bar{x} - k_1(n, p, 1 - \alpha) \cdot \sigma =$	interval „napravo“ $L_i = \bar{x} - k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s =$

Výše jmenované normy ČSN EN ISO 4288 a ČSN ISO 3207 stanovují veškeré parametry pro konfidenční úroveň  $1 - \alpha = 0,9; 0,95; 0,99$ . Jak jsme uvedli již dříve, konfidenční úroveň  $1 - \alpha$  je pravděpodobnost, že statistický toleranční interval

pokryje alespoň podíl  $p$  souboru. Normy pracují s podílem  $p = 0,90; 0,95$  a  $0,99$ , tzn. s  $90\%, 95\%$  a  $99\%$ .

Používáme – li pro hodnocení vyšetřovaného souboru *jednostranný interval nalevo*, pak s pravděpodobností  $1 - \alpha$  bude alespoň *podíl  $p$  souboru ležet pod vypočtenou mezí  $L_s$* .

Používáme – li pro hodnocení vyšetřovaného souboru *jednostranný interval napravo*, pak s pravděpodobností  $1 - \alpha$  bude alespoň *podíl  $p$  souboru ležet nad vypočtenou mezí  $L_i$* .

## 3.2 Popis metod pro hodnocení homogenity povrchu

### *Popis homogenity povrchu pomocí směrodatné odchylky*

Směrodatná odchylka je jednou z nejvíce používaných statistických charakteristik. Patří mezi charakteristiky rozptýlení a podává informaci o rozptýlení hodnot sledovaného souboru.

*Směrodatná odchylka  $s$*  je definována jako druhá odmocnina rozptylu  $s^2$ , který je definován jako průměr čtverců odchylek od aritmetického průměru:

$$\text{rozptyl} \quad s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( x_i - \bar{x} \right)^2$$

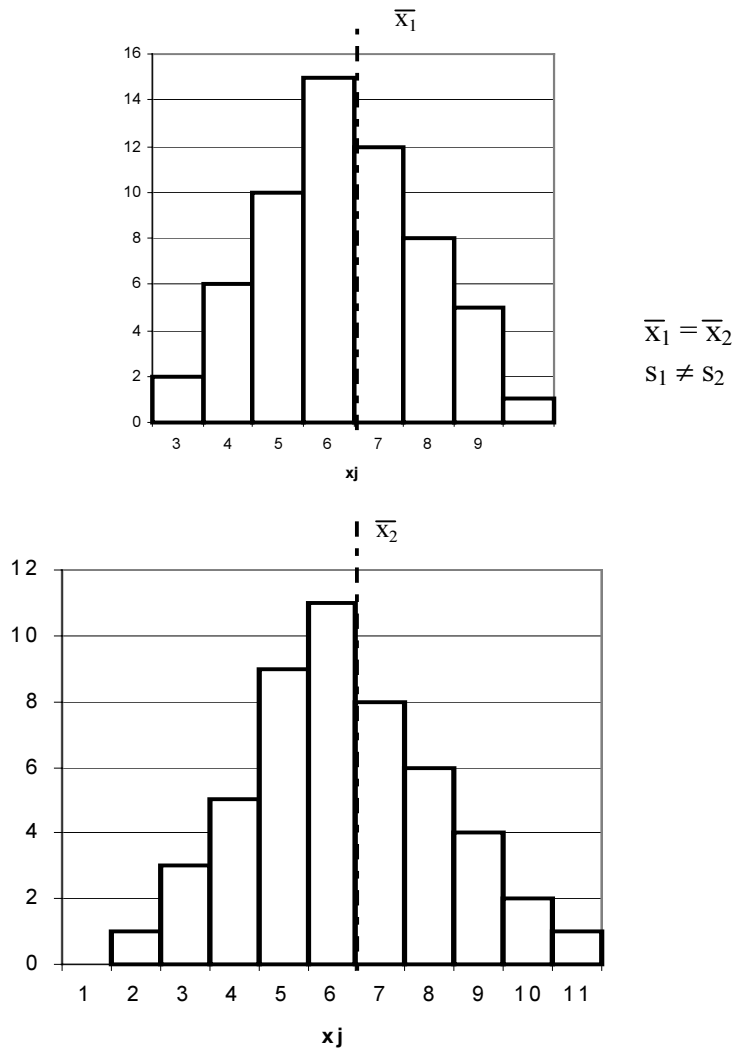
$$\text{směr. odchylka} \quad s = \sqrt{s^2},$$

přičemž platí, že:  $s \geq 0$

$s$  má stejné jednotky jako sledovaný znak, v našem případě [ $\mu\text{m}$ ]

Zatímco aritmetický průměr patří mezi tzv. *míry polohy*, rozptyl a směrodatná odchylka patří mezi tzv. *míry variability*.

Prakticky lze vliv směrodatné odchylky ukázat na histogramech četností na obrázku č. 3.4. Větší směrodatná odchylka přísluší souboru s větším rozptýlením měřených hodnot kolem aritmetického průměru, odpovídající histogram je širší a plošší.



Obrázek č. 3.1 - histogramy četností dvou souborů s různými směrodatnými odchylkami a stejnými aritmetickými průměry

**Popis homogenity povrchu pomocí variačního koeficientu**

Variační koeficient patří spolu s dalšími charakteristikami, jako jsou například koeficient šikmosti, koeficient špičatosti, medián, modus, atd., mezi tzv. empirické charakteristiky, které používáme pro popis sledovaného souboru. Jedná se o bezrozměrné číslo udávané v procentech a spočteme ho podle vzorce

$$V = 100 * ( s / \bar{x} ) [ \% ]$$

**Popis homogenity povrchu pomocí rozpětí**

Rozpětí nazýváme též *variační rozpětí* a spočteme ho podle vzorce

$$R = X_{\max} - X_{\min} ,$$

kde  $X_{\max}$  . . . největší hodnota znaku u sledovaného výběru

$X_{\min}$  . . . nejmenší hodnota znaku u sledovaného výběru

Při používání rozpětí pro hodnocení sledovaného souboru mají velký vliv tzv. *extrémní hodnoty*, tj. hodnoty, které zcela jasně nepatří do sledovaného souboru například v důsledku chyby měření.

**Popis homogenity povrchu pomocí oboustranných statistických tolerančních mezí dle ČSN ISO 3207**

Norma ČSN ISO 3207 uvažuje dva případy pro vyhodnocení dvoustranných statistických tolerančních intervalů:

- rozptyl známý – předpokládá se, že dříve získaná měření vykazovala konstantní rozptyl od jedné dávky ke druhé od téhož dodavatele, ačkoliv průměr nebyl konstantní
- rozptyl neznámý – předpokládá se, že směrodatná odchylka souboru je neznámá a že je odhadnuta z výběru

Při hodnocení statistického souboru vyhodnotíme vstupní parametry:

- rozsah výběru  $n$
- podíl souboru zvolený pro statistický toleranční interval  $p$
- zvolená konfidenční úroveň  $1 - \alpha$
- součinitel  $k(n, p, 1 - \alpha)$

Tabulka 3.2: postupy výpočtu dvoustranných statistických tolerančních intervalů [ 17 ]

<b>dvoustranný statistický toleranční interval</b>	
<b>rozptyl známý</b>	<b>rozptyl neznámý</b>
$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
	$\sigma^* = s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$
$k_1(n, p, 1 - \alpha) =$ (tab. 6)	$k_2(n, p, 1 - \alpha) =$ (tab. 8)
<p>Tyto meze jsou symetrické kolem <math>\bar{x}</math>, ale nejsou „symetrické v pravděpodobnosti“. Není pravda, že pro konfidenční úroveň <math>1 - \alpha</math> podíl souboru pod mezí <math>L_i</math> nepřesahuje <math>(1-p)/2</math> a podíl souboru nad mezí <math>L_s</math> nepřesahuje <math>(1-p)/2</math></p>	
$L_i = \bar{x} - k_1(n, p, 1 - \alpha) \sigma =$ $L_s = \bar{x} + k_1(n, p, 1 - \alpha) \sigma =$	$L_i = \bar{x} - k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s =$ $L_s = \bar{x} + k_2(n, p, 1 - \alpha) \cdot s =$

Používáme – li pro hodnocení vyšetřovaného souboru dvoustranný statistický toleranční interval, pak s pravděpodobností  $1 - \alpha$  bude alespoň *podíl p souboru* ležet *uvnitř mezi stanovených hodnotami  $L_s$  a  $L_i$* .

Při našem hodnocení pomocí oboustranných statistických tolerančních mezí byly použity dvě varianty:

- oboustranné statistické toleranční meze pro podíl souboru  $p = 0,95$  a konfidenční úroveň  $1 - \alpha = 0,95$
- oboustranné statistické toleranční meze pro podíl souboru  $p = 0,90$  a konfidenční úroveň  $1 - \alpha = 0,95$

### 3.3 Měření

V předcházejícím textu byly stanoveny obecné metodiky, které lze použít pro sledovanou problematiku. Abychom byli schopni provést hodnocení a výběr nejlépe vyhovujícího postupu, musíme provést experimentální ověření těchto metodik na základě dostatečně velkého počtu měření na vhodně volených funkčních plochách. Důležitou roli přitom hraje nejenom vhodně volená funkční plocha, ale i dostatečně velký počet měření provedený na této ploše.

Podle dosažených výsledků potom lze vyslovit obecně platný závěr, jehož platnost ověříme na malém počtu měření provedeném na zcela odlišných vzorcích.

Měření bylo provedeno na drsnoměru firmy MAHR GmbH Perthometer M2.

#### *Měření ložiskových kroužků*

Měření bylo provedeno na ložiskových kroužcích různých typů a rozměrů, které byly vyrobeny v ZKL Brno a.s. Jedná se konkrétně o vnitřní ložiskové kroužky vyrobeny z materiálu 14.209. Kontrola se prováděla po operaci broušení celkem na deseti kroužcích. U každého kroužku byly proměřeny dvě dotykové plochy, na každé ploše bylo provedeno celkem 50 měření rovnoměrně rozložených po obvodu ložiskového kroužku.

Celkem tedy bylo provedeno 1000 měření. Kontrolu drsnosti povrchu jsme prováděli po operaci broušením. Vzhledem k tomu, že na měřených plochách dochází k dalšímu opracování je dána maximální povolená hodnota  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ .

#### *Měření zubních implantátů*

Kromě měření ložiskových kroužků bylo provedeno i vyhodnocení měření drsnosti zubních implantátů. Nejednalo se o komerční dentální materiály, ale pouze o jejich složky. Vyhodnocované vzorky byly proměřeny ve spolupráci s Fakultou chemickou VUT v Brně, Ústavem chemie materiálů, jmenovitě s paní magistrou Stanislavou Matalovou, studentkou 4.ročníku postgraduálního studia.

Typické dentální materiály jsou tvořeny matricí, síťovacím činidlem nebo rozpouštědlem, iniciátorem a aktivátorem polymerační reakce, plnivem a mezifázovým pojivem pro vazbu mezi matricí a plnivem ( tzv. silan ).

V našem případě byla jako hlavní matrice pro dentální kompozity použita dimethakrylatova pryskyřice D3MA – decamethylen dimethacrylat. Síťovací činidlo

používané spíše v modelových kompozitech bylo použito PEG 400DMA – polyethylenglycol 400 dimethacrylat. Další vzorky potom vznikly kombinací těchto dvou polymerů v poměru 50:50, 75:25 a 25:75 obj.%.

U každého typu bylo hodnoceno celkem pět vzorků, na každém vzorku bylo provedeno celkem 10 měření. Jedná se o 90 vzorků zubních implantátů a celkem 900 měření.

Vzhledem k tomu, že se jedná o zubní implantáty, je téměř jasné, jaké jsou kladeny požadavky na jakost povrchu. S ohledem na budoucí namáhání a používání je třeba zajistit plochu povrchu pokud možno homogenní, bez výstupků a prohlubní, které by způsobovaly usazování nežádoucích elementů, a zároveň plochu s co nejmenší drsností. Přesná hodnota parametru drsnosti nebyla stanovena, zaměříme se proto na určení reprezentativní hodnoty a homogenity sledovaného povrchu pomocí našich postupů.

### 3.4 Testování normality

Před provedením jednotlivých hodnotících postupů bylo nezbytné nejdříve stanovit, zda příslušné naměřené soubory hodnot vyhovují požadavkům na normální rozdělení. *Testování normality* bylo provedeno pomocí počítačového softwaru STATGRAPHICS verze 7.0. Počítačový software provádí testování automaticky s možností použití dvou testů – test Chí – kvadrát a test Kolmogorovův – Smirnovův. Podle příslušné příručky popisující fungování a princip softwaru – STATGRAPHICS aneb statistika pro každého – jsou oba testy popisovány takto:

*Chí – square test* ( test chí – kvadrát ) je exaktnějším kritériem pro posouzení shody teoretického rozdělení s rozdělením empirických dat. Protože zde pochopitelně nejde o přesnou shodu, říkáme mu běžně *test dobré shody* . Při této volbě je vypočtena hodnota kritérií chí – kvadrát, které je založeno na součtu upravených čtverců odchylek teoretických (modelových) a pozorovaných četností. Čím je hodnota kritéria vyšší, tím méně vyhovuje teoretické rozdělení empirickému. Přímo odvozeným kritériem je hladina významnosti ( significance level ); je – li menší než 0,05, svědčí to o nedostatku dobré shody. [ 18 ]

*K – S test* provádí Kolmogorovův – Smirnovův test dobré shody. Tento test zodpovídá stejnou otázku jako test chí – kvadrát a je vhodný zejména pro malé počty pozorování. Založen je na porovnání hodnot empirické a teoretické distribuční funkce. Dobrou orientaci poskytuje opět hladina významnosti ( significance level ). Příliš nízké hodnoty ( menší než 0,05 ) svědčí v neprospěch dobré shody. [ 18 ]



## 4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

Naměřené hodnoty kontrolovaných povrchů byly pomocí softwaru náležejícího k vybavení měřidla převedeny do počítačového programu Microsoft Excel a následně potom dále statisticky zpracovávány podle popsaných postupů. Počet parametrů na sledované ploše bylo celkem 15 a naměřené hodnoty jsou uvedeny v rámci disertační práce jako příloha na disketě číslo 2. Pozornost byla ovšem zaměřena na parametry pro nás nejdůležitější a to jsou:

- *Ra*: *průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu* (definována dle ČSN EN ISO 4287 z roku 1999) – pro obecný popis povrchu nejdůležitější a zároveň nejpoužívanější parametr drsnosti povrchu
- *Rz*: *největší výška profilu* ( definována dle ČSN EN ISO 4287 z roku 1999 ) – parametr je hodnocen v rozsahu základní délky; dříve v normě ISO 4287 z roku 1984 parametr Rz označoval výšku nerovností z deseti bodů; stále se používají přístroje, které posuzují parametr podle dřívějších norem a mohlo by proto dojít k záměně jednotlivých parametrů; měřená hodnota parametru Rz je brána již podle nové normy vydané u nás v roce 1999
- *Rmax*: *maximální hloubka drsnosti* ( definována dle DIN 4768 z roku 1990 )

U těchto parametrů bylo následně provedeno zpracování naměřených hodnot.

### 4.1 Výsledky testování

Před samotným hodnocením probíhalo testování normality jednotlivých souborů dat s tímto výsledkem:

Testování dat ložiskových kroužků

Při **hodnocení testem chí – kvadrát nevyhovuje přibližně 40%** souborů parametrům normálního rozdělení, zatímco u **Kolmogorovova – Smirnova testu je to pouze 20% souborů**. Vezmeme – li v úvahu veškeré požadavky, které při hodnocení souborů máme, lze konstatovat, že test druhý – Kolmogorovovův – Smirnovův je pro naše požadavky naprosto dostačující.

Testování dat zubních implantátů

Vzhledem k nízkému počtu hodnot v jednotlivých souborech (10 měření) nebylo možné provést testování pomocí obou testů. Software umožnil pouze testování mírnějším Kormogolov – Smirnovovým testem a označil všechny soubory jako vyhovující normálnímu rozdělení.

Po provedení těchto testů jsme přistoupili k hodnocení pomocí příslušných výše popsaných metodik a všechny výsledky jsme umístili pro přehlednost a snadnou orientaci do tabulek. Z důvodů nedostatku místa uvádíme pouze tabulky výsledků hodnot ložiskových kroužků. Výsledky hodnocení zubních implantátů jsou uloženy na disketě číslo 2 v příloze disertační práce.

### 4.2 Tabulky výsledků

Tabulka 4.1 - výsledky hodnocení ložiskových kroužků – parametr Ra

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
vz. č.	pl. č.	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	s [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{x} + s$ [ $\mu\text{m}$ ]	V [%]	R [ $\mu\text{m}$ ]	Ls 95% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 95% [ $\mu\text{m}$ ]	$\pm$ ... %	Ls 90% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 90% [ $\mu\text{m}$ ]	$\pm$ ... %	Ls 84%
1.	I.	0,5514	0,1155	0,6669	20,9	0,801	0,8263	0,2765	49,9	0,7824	0,3204	41,9	0,7037
	II.	0,5086	0,0658	0,5744	12,9	0,441	0,6653	0,3519	30,8	0,6403	0,3769	25,9	0,5954
2.	I.	0,4728	0,0452	0,5180	9,6	0,248	0,5804	0,3652	22,8	0,5632	0,3824	19,1	0,5324
	II.	0,5063	0,0674	0,5737	13,3	0,456	0,6667	0,3459	31,7	0,6411	0,3715	26,6	0,5952
3.	I.	0,3730	0,0409	0,4139	11,0	0,280	0,4704	0,2755	26,1	0,4549	0,2911	22,0	0,4270
	II.	0,4045	0,0399	0,4444	9,9	0,193	0,4994	0,3096	23,5	0,4843	0,3247	19,7	0,4571
4.	I.	0,5984	0,0553	0,6537	9,2	0,196	0,7299	0,4668	22,0	0,7089	0,4878	18,5	0,6713
	II.	0,4964	0,0473	0,5437	9,5	0,263	0,6090	0,3838	22,7	0,5911	0,4018	19,1	0,5588
5.	I.	0,3460	0,0780	0,4240	22,5	0,405	0,5316	0,1604	53,6	0,5020	0,1901	45,1	0,4488
	II.	0,3731	0,1028	0,4759	27,6	0,403	0,6177	0,1284	65,6	0,5787	0,1675	55,1	0,5086
6.	I.	0,4021	0,0437	0,4458	10,9	0,292	0,5061	0,2981	25,9	0,4895	0,3147	21,7	0,4597
	II.	0,3923	0,0441	0,4364	11,3	0,279	0,4973	0,2872	26,8	0,4805	0,3040	22,5	0,4505
7.	I.	0,3435	0,0435	0,3870	12,7	0,292	0,4471	0,2399	30,2	0,4305	0,2565	25,3	0,4009
	II.	0,3656	0,1108	0,4763	30,3	0,825	0,6292	0,1020	72,1	0,5871	0,1441	60,6	0,5116
8.	I.	0,3896	0,0481	0,4377	12,3	0,331	0,5040	0,2751	29,4	0,4858	0,2934	24,7	0,4530
	II.	0,3893	0,0322	0,4215	8,3	0,151	0,4659	0,3127	19,7	0,4537	0,3250	16,5	0,4318
9.	I.	0,5089	0,0630	0,5719	12,4	0,281	0,6588	0,3590	29,5	0,6349	0,3829	24,8	0,5919
	II.	0,4984	0,1157	0,6141	23,2	0,754	0,7738	0,2230	55,3	0,7298	0,2670	46,4	0,6510
10.	I.	0,5753	0,0429	0,6182	7,5	0,218	0,6774	0,4732	17,7	0,6611	0,4895	14,9	0,6318
	II.	0,5999	0,0436	0,6435	7,3	0,191	0,7037	0,4960	17,3	0,6871	0,5126	14,5	0,6574

Tabulka 4.2 - výsledky hodnocení ložiskových kroužků – parametr Rz

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
vz. č.	pl. č.	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	s [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{x} + s$ [ $\mu\text{m}$ ]	V [%]	R [ $\mu\text{m}$ ]	Ls 95% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 95% [ $\mu\text{m}$ ]	± ... %	Ls 90% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 90% [ $\mu\text{m}$ ]	± ... %	Ls 84% [ $\mu\text{m}$ ]
1.	I.	4,3978	0,9479	5,3457	21,6	5,09	6,6538	2,1418	51,3	6,2936	2,5020	43,1	5,6476
	II.	4,4770	0,9076	5,3846	20,3	5,17	6,6370	2,3170	48,2	6,2922	2,6618	40,5	5,6736
2.	I.	3,7834	0,4119	4,1953	10,9	2,14	4,7637	2,8031	25,9	4,6072	2,9596	21,8	4,3265
	II.	3,9488	0,6233	4,5721	15,8	3,93	5,4322	2,4654	37,6	5,1954	2,7022	31,6	4,7706
3.	I.	3,0498	0,4848	3,5346	15,9	2,91	4,2035	1,8961	37,8	4,0193	2,0803	31,8	3,6890
	II.	3,2734	0,3298	3,6032	10,1	1,35	4,0582	2,4886	24,0	3,9329	2,6139	20,1	3,7082
4.	I.	4,3584	0,4093	4,7677	9,4	1,44	5,3325	3,3843	22,4	5,1770	3,5398	18,8	4,8980
	II.	3,6412	0,3576	3,9988	9,8	1,94	4,4923	2,7901	23,4	4,3564	2,9260	19,6	4,1127
5.	I.	2,8748	0,5664	3,7712	19,7	3,29	4,2228	1,5268	46,9	4,0075	1,7421	39,4	3,6216
	II.	2,9262	0,7993	3,7255	27,3	3,13	4,8285	1,0239	65,0	4,5248	1,3276	54,6	3,9801
6.	I.	3,2946	0,4289	3,7235	13,0	2,18	4,3153	2,2739	31,0	4,1524	2,4368	26,0	3,8601
	II.	3,1332	0,4264	3,5596	13,6	2,39	4,1481	2,1183	32,4	3,9861	2,2803	27,2	3,6955
7.	I.	2,8004	0,3369	3,1373	12,0	2,43	3,6023	1,9985	28,6	3,4743	2,1265	24,1	3,2447
	II.	2,9794	0,6425	3,6219	21,6	4,49	4,5084	1,4504	51,3	4,2643	1,6945	43,1	3,8265
8.	I.	3,0380	0,4274	3,4654	14,1	2,85	4,0553	2,0207	33,5	3,8929	2,1831	28,1	3,6016
	II.	3,0170	0,2364	3,2534	7,8	1,09	3,5797	2,4543	18,7	3,4899	2,5441	15,7	3,3288
9.	I.	3,8326	0,4242	4,2568	11,1	1,91	4,8421	2,8231	26,3	4,6809	2,9843	22,1	4,3919
	II.	3,9376	0,8057	4,7433	20,5	5,31	5,8553	2,0199	48,7	5,5491	2,3261	40,9	5,0000
10.	I.	4,4470	0,2569	4,7039	5,8	1,09	5,0585	3,8355	13,8	4,9609	3,9331	11,6	4,7858
	II.	4,3638	0,2901	4,6539	6,6	1,34	5,0543	3,6733	15,8	4,9441	3,7835	13,3	4,7463

Tabulka 4.3 - výsledky hodnocení ložiskových kroužků – parametr Rmax

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
vz. č.	pl. č.	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	s [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{x} + s$ [ $\mu\text{m}$ ]	V [%]	R [ $\mu\text{m}$ ]	Ls 95% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 95% [ $\mu\text{m}$ ]	± ... %	Ls 90% [ $\mu\text{m}$ ]	Li 90% [ $\mu\text{m}$ ]	± ... %	Ls 84%
1.	I.	5,7730	1,8173	7,5903	31,5	6,84	10,0981	1,4479	74,9	9,4075	2,1385	63,0	8,1690
	II.	6,1238	2,3995	8,5233	39,2	15,87	11,8347	0,4129	93,3	10,9229	1,3247	78,4	9,2876
2.	I.	4,7842	1,0129	5,7971	21,2	5,61	7,1950	2,3734	50,4	6,8101	2,7583	42,3	6,1197
	II.	5,0946	2,4631	7,5577	48,3	16,65	10,9568	-0,7676	115,1	10,0209	0,1683	96,7	8,3422
3.	I.	3,9348	1,4205	5,3553	36,1	9,42	7,3155	0,5541	85,9	6,7758	1,0938	72,2	5,8077
	II.	4,0528	0,7192	4,7720	17,7	3,26	5,7645	2,3411	42,2	5,4912	2,6144	35,5	5,0011
4.	I.	5,2282	0,7557	5,9839	14,5	3,07	7,0268	3,4296	34,4	6,7397	3,7167	28,9	6,2246
	II.	4,3346	0,6268	4,9614	14,5	3,62	5,8265	2,8427	34,4	5,5883	3,0809	28,9	5,1611
5.	I.	3,5064	0,7410	4,2474	21,1	4,07	5,2700	1,7428	50,3	4,9884	2,0244	42,3	4,4834
	II.	3,5250	1,0685	4,5935	30,3	4,09	6,0680	0,9820	72,1	5,6619	1,3881	60,6	4,9338
6.	I.	4,1514	0,8923	5,0437	21,5	4,42	6,2750	2,0278	51,2	5,9359	2,3669	43,0	5,3278
	II.	3,8168	1,0325	4,8493	27,1	6,95	6,2741	1,3595	64,4	5,8818	1,7518	54,1	5,1782
7.	I.	3,3868	0,9298	4,3166	27,5	7,05	5,5998	1,1738	65,3	5,2464	1,5272	54,9	4,6128
	II.	3,6436	1,0585	4,7021	29,1	6,36	6,1628	1,1244	69,1	5,7605	1,5267	58,1	5,0392
8.	I.	3,7682	1,3549	5,1231	36,0	9,60	6,9927	0,5437	85,6	6,4779	1,0585	71,9	5,5546
	II.	3,5756	0,4620	4,0376	12,9	2,24	4,6753	2,4759	30,8	4,4997	2,6515	25,8	4,1848
9.	I.	4,5686	1,0661	5,6347	23,3	7,02	7,1058	2,0314	55,5	6,7007	2,4365	46,7	5,9742
	II.	5,2120	3,2877	8,4997	63,1	21,91	13,0367	-2,6127	150,1	11,7874	-1,3634	126,2	9,5468
10.	I.	5,1658	0,5225	5,6883	10,1	2,52	6,4093	3,9223	24,1	6,2108	4,1208	20,2	5,8547
	II.	5,0250	0,4871	5,5121	9,7	2,11	6,1843	3,8657	23,1	5,9992	4,0508	19,4	5,6672

Popis tabulky:

- A – číslo vzorku
- B – číslo plochy
- C – hodnota bodového odhadu aritm. průměru
- D – hodnota bodového odhadu směrodatné odchylky
- E – hodnota součtu bodových odhadů
- F – hodnota variačního koeficientu
- G – hodnota rozpětí
- H – horní stat.tol.mez pro  $n=50$ ,  $p=0,95$  a  $1-\alpha=0,95$
- I – dolní stat.tol.mez pro  $n=50$ ,  $p=0,95$  a  $1-\alpha=0,95$
- J – kolísání kolem hodnoty aritm. průměru
- K - horní stat.tol.mez pro  $n=50$ ,  $p=0,90$  a  $1-\alpha=0,95$
- L – dolní stat.tol.mez pro  $n=50$ ,  $p=0,90$  a  $1-\alpha=0,95$
- M - kolísání kolem hodnoty aritm. průměru
- N – jednostr.stat.tol.mez „nalevo“ pro  $n=50$ ,  $p=0,84$  a  $1-\alpha=0,95$

### 4.3 Obecné závěry

#### *Stanovení reprezentativní hodnoty*

- přibližně 20% testovaných souborů neodpovídá normálnímu rozdělení
- potřebujeme – li podrobné hodnocení, je vhodné provést na kontrolované ploše alespoň padesát měření, ze kterých jsme potom schopni určit kvalitní a přesné výsledky a jsme i dále schopni usuzovat o stavu celého povrchu
- metodu součtu bodových odhadů lze obecně označit jako jednodušší a lze ji provádět i s minimální znalostí statistické problematiky
- metoda jednostranné statistické toleranční meze pracuje s jistou pravděpodobností a lze ji tudíž označit jako podrobnější
- stanovení reprezentativní hodnoty pomocí obou postupů je téměř kompatibilní a lze tudíž jeden postup nahradit druhým s minimálním odlišením
- při nízkém počtu měření je směrodatná odchylka údajem pouze přibližným a nelze nepřipomenout, že je značně ovlivněna i tzv. extrémními hodnotami, které ovšem vzhledem k nízkému počtu měření nelze při jejím výpočtu vylučovat

#### *Posouzení homogenity povrchu*

- hodnocení homogenity povrchu pomocí směrodatné odchylky je postup nejjednodušší – musíme s touto hodnotou počítat vždy, protože její hodnota je základem pro další výpočty
- zároveň je směrodatná odchylka ale parametr, který je pro hodnocení povrchu shledán jako parametr s nedostačujícím popisem
- hodnocení pomocí variačního koeficientu je hodnocením podrobnějším a lze ho volit jako kontrolní pro soubory s nižším počtem měření a to zejména z pohledu využití závislosti mezi variačním koeficientem a oboustrannými statistickými tolerančními mezemi

- oboustranné statistické toleranční meze je vhodné použít v případě hodnocení velkého počtu měření a v případě utváření pravidel, ze kterých se v dalším postupu hodnocení bude vycházet
- oboustranné statistické toleranční meze včetně hodnoty procentního kolísání kolem aritmetického průměru podávají podrobný popis chování celé plochy
- použití rozpětí bylo shledáno jako nevhodné z pohledu velkého vlivu extrémních hodnot a nemožnosti jejich vyloučení při nižším počtu měření

## 5 ZÁVĚR

Práce se zaměřuje na strukturu povrchu jako nedílnou součást jakosti výrobku. Součástí práce je popis a rozbor struktury povrchu podle příslušných platných norem GPS. Následně hodnotí plochu podle těchto norem a navrhuje metodiky, které se snaží vhodně normy doplňovat tak, aby byly co nejpoužitelnější v praxi.

Krok za krokem sleduje odvozování, ověřování, hodnocení a výběr neoptimalnější metodiky. Provádí sledování plochy ze dvou pohledů – stanovuje výslednou hodnotu drsnosti povrchu, kterou označuje jako reprezentativní hodnotu a zároveň provádí sledování homogenity povrchu, přičemž navrhuje parametr, který by co nejpřesněji tuto oblast jakosti povrchu sledoval.

Potřebujeme – li stanovit obecná pravidla pro sledování součásti, provádíme pro získání co nejpodrobnějších informací minimálně 50 měření rovnoměrně rozložených na jedné funkční ploše, pokud to velikost dané plochy umožňuje.

Při stanovení reprezentativní hodnoty lze použít postup pro praxi jednodušší – metodiku součtu bodových odhadů parametrů aritmetického průměru a směrodatné odchylky. Tuto metodiku lze provádět vždy i s minimální znalostí statistiky, přičemž hodnota součtu může maximálně v 16% všech případů přesáhnout hodnotu udanou výkresem nebo výrobní dokumentací.

Při sledování homogenity povrchu je vhodným parametrem pro popis rozptylu hodnot variační koeficient, který patří mezi empirické charakteristiky. Při jeho výpočtu pracujeme s hodnotami aritmetického průměru a směrodatné odchylky. Požadujeme – li podrobnější popis rozptylu měřených hodnot, použijeme na velké soubory hodnot ( alespoň 50 ) oboustranné statistické toleranční meze.

V předložené práci byly popsány metodiky, které lze použít ve výrobním procesu pro stanovení výsledné hodnoty parametru drsnosti povrchu. Jednotlivé metodiky lze kombinovat spolu s dalšími postupy, které umožňují přijaté normy ISO, jako je například statistická přejímka popsaná normou ČSN ISO 2859.

Požadujeme – li pouze informaci o tom, zda sledovaná výrobní dávka vyhovuje nebo nevyhovuje stanoveným kritériím, je vhodné použít postup udaný přílohou normy ČSN EN ISO 4288. Tento postup nám ovšem ani přibližně neurčí, jaká je vlastně skutečná hodnota parametru drsnosti. Námi navrhované metodiky podávají informaci o stálosti obráběcího procesu, včetně možnosti stanovení reprezentativní hodnoty parametru drsnosti, kterou lze označit jako výslednou hodnotu drsnosti, což je údaj v této problematice nejenom nový, ale i velice důležitý. Záleží přitom zároveň na požadavcích, které jsou na jakost kladeny nejenom přímo výrobcem, ale

i odběratelem. Obecně lze ovšem zdůraznit snadnou aplikovatelnost uvedených postupů v rámci výrobního procesu v jakékoli jeho fázi.

## **6 SUMMARY**

### **6.1 Introduction**

This work concentrates on the surface structure as an essential part of any product. It deals with description and analysis of the surface structure according to the current GPS standards. The surface is evaluated from the point of view of GPS standards and further methods are suggested to supplement the standards so that they can easily be applicable in practice.

Step by step the work focuses on deducting, verifying, evaluating and choice of the most suitable methodology. The tooled surface is observed from two perspectives – result merit of roughness, which is described as a representative parameter, and homogeneity of surface, where a suggested parameter would observe the quality of surface with the highest possible accuracy.

### **6.2 Current issues concerning these problems**

Evaluation of the observed surface is done via values that we measure by appliances for measuring parameters of roughness of the observed surface and then these values are compared with values required for functionality of the observed surface according to the design or manufacturing documents. The evaluation is based on the standard ČSN EN ISO 4288.

The observed parameter gains values with a certain variation, which the above mentioned standard includes and gives a rule of 16%, which says that the observed surfaces are acceptable if not more than 16% of all the measured values of the observed parameters gained from the evaluated length do not exceed the value given by the design or the manufacturing documents. [11]

If we take into consideration evaluation via the upper limit (evaluation for the lower limit can be deducted in a similar way), then the upper limit, in case of normal division of the parameter values, is defined as  $\mu + \sigma$ , where  $\mu$  is the arithmetic mean of the profile parameter of roughness and  $\sigma$  is the standard deviation of values. This is based on an infinite number of measurements. However, how can we bring an infinite number of measurements into practice? The standard mentioned above does not answer this question. With the help of this standard we can apply some control, the procedure of which is described in attachment A, but such a procedure cannot be generalised and generally applied.

### **6.3 Methods of evaluation**

There were used two variants of solution for gaining the representative value.

In the first variant we arose from the point source of value evaluation and instead of the infinite number of values we used only a limited number, i.e. statistic selection of values. On bases of statistic selection we defined the values of point-

source calculations of the arithmetic mean and the standard deviation according to the standard ČSN ISO 2602, which can with sufficient accuracy supply the values of the arithmetic mean and the standard deviation considered in the infinite number of values.

The other variant is based on the norm ČSN ISO 3207 and the representative value was defined as the upper unilateral statistic tolerance limit for the quotient of the set  $p = 0.84$  and confidence level  $1 - \alpha = 0.95$ . The standard works with the quotient of the set  $p = 0.90; 0.95$  and  $0.99$ . The quotient of the set 84% comes from the presumption given by the standard ČSN EN ISO 4288 and thus, it was necessary to subtract the coefficients.

We also concentrated on the homogeneity of surface and evaluated it in these ways:

- evaluation of the homogeneity of surface via the standard deviation
- evaluation of the homogeneity of surface via the variation coefficient
- evaluation of the homogeneity of surface via the bilateral statistic tolerant limits

## 6.4 Main results of the work

If we need to create general rules for evaluating a component part, for gaining the most detailed information we pursue minimally 50 measurements equally spread on one functional surface, if the size of the surface allows it.

When creating a representative value, it is possible to use the procedure that is easier to use in practice – the method of summation point estimations of the arithmetic mean and the standard deviation. This method can be used with a minimal knowledge of statistics, where the summation can maximally in 16% of all cases exceed the values given by the design or the manufacturing documents. When evaluating the homogeneity of surface, a suitable parameter for describing the variation of merits is the variation coefficient, which belongs to empirical characteristics. For its calculation we need the merits of the arithmetic mean and the standard deviation. If there is a need for a more detailed description or the variation of values, we use large sets of values (minimum 50) of the bilateral statistic tolerant limit.

## 6.5 Conclusion

This work describes methodologies that can be used in a production process for creating the result parameter of the roughness of surface. The individual methodologies can be combined with other techniques that are allowed by the ISO standards, e.g. the statistic acceptance defined by the standard ČSN ISO 2859.

If we only need to know whether the production series fulfils the criteria, it is suitable to use the procedure described in the attachment to the standard ČSN ISO 2859. This procedure, however, does not at all show what is the actual merit of the parameter of roughness. The methodologies that we suggest give information about the firmness of shaping process, including the possibilities of defining the representative merit of the parameter of roughness that can be specified as a result value of roughness, which is not only new but also a very important information in



this field. It also depends on the criteria required not only by the producer but also by the customer. It should be emphasised that application of these procedures in the production process is very simple in any stage of the production process.

## 7 LITERATURA

- [1] Bumbálek, B. – Odvody, V. – Ošťádal, B. : Drsnost povrchu – SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1989, 340 stran
- [2] Čech, J. – Pernikář, J. – Beneš, M.: Strojírenská metrologie, skriptum VUT FS Brno, 1994
- [3] Pernikář,J.- Tykal,M. – Vačkář,J. - Jakost a metrologie, část metrologie, skriptum VUT FSI Brno, 2001
- [4] Reisenauer,R.: Metody matematické statistiky a jejich aplikace, SNTL – Nakladatelství technické literatury,Praha 1970, 240 stran
- [5] Šikulová, M. – Karpíšek, Z.: Matematika IV., Pravděpodobnost a matematická statistika, skriptum VUT FS Brno, 1987
- [6] Inženýrská mechanika –mezinárodní časopis pro teoretickou a aplikovanou mechaniku, ISSN 1210-2717,1999, ročník 6, číslo6
- [7] ČSN 010115: Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii, 1996
- [8] ČSN 013144: Označování drsnosti povrchu, 1981
- [9] ČSN EN ISO 3274 : Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu : Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových ( hrotových ) přístrojů, 1999 (252322)
- [10] ČSN EN ISO 4287 : Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu : Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu, 1999 ( 014450)
- [11] ČSN EN ISO 4288 : Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu : Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu, 1999 (014449)
- [12] ČSN EN ISO 11562: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Metrologické charakteristiky fázově korigovaných filtrů, 1999(014448)
- [13] ČSN EN ISO 13565 – 1: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření, 1999 (014446)
- [14] ČSN EN ISO 13565 – 2: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 2: Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního materiálového poměru, 1999 (014446)
- [15] ČSN ISO 2602: Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval, 1993 (010231)

- [16] ČSN ISO 2854: Statistická interpretace údajů. Odhady a testy středních hodnot a rozptylů, 1994
- [17] ČSN ISO 3207 : Statistická interpretace údajů. Stanovení statistického tolerančního intervalu, 1993 (010232)
- [18] Koschin, F. a kol.: Statgraphics aneb statistika pro každého, ISBN 80-85424-70-3, Grada a.s.- nakladatelství a vydavatelství, Praha, 1992
- [19] Sborník přednášek ze semináře: Drsnost jako součást struktury povrchu, VUT v Brně, FSI, ISBN 80 – 214 – 2063 – 4, Brno, 13.února 2002
- [20] Příručka obrábění. Kniha pro praktiky, ISBN 91-97 22 99-4-6, Sandvik Coromant, přeložil Miroslav Kudela, vydala fa Sandvik CZ, Praha 2 za pomoci nakladatelství Scienta, s.r.o., Praha 6, 1997

## 8 ŽIVOTOPIS AUTORA

- Jméno, titul:** Jana JAROŠOVÁ, Ing., roz. CHOVANCOVÁ
- Datum narození:** 21. října 1973
- Místo narození:** Kyjov, okr. Hodonín
- Vzdělání:** 1997 – dodnes VUT FSI Brno  
externí doktorandka při Ústavu strojírenské technologie,  
odbor Řízení jakosti a metrologie strojírenské výroby,  
momentálně na mateřské dovolené
- 1997 Certifikát QE ( Quality Engineer )
- 1992 – 1997 VUT FS Brno  
Ústav strojírenské technologie, odbor strojírenská  
technologie, specializace průmyslový management, téma  
diplomové práce: Statistická přejímka srovnáním dle ČSN  
ISO 2859 – 1
- 1988 – 1992 Gymnázium Bučovice
- 1998 – 1999 ILC International House Brno, course of English, level 3
- Praxe v oboru:** pedagogická činnost v rámci doktorandského studia
- vedení cvičení: Jakost a metrologie, 3.roč.  
Technologie II., 2.roč.
- Externí vyučující: Jakost a metrologie – cvičení, 4.roč., LS 2002

## **Vědecký a odborný profil:**

### ***Publikace na seminářích a konferencích:***

- ◆ CHOVANCOVÁ, J. – SHEJBAL, D.: *Význam a uplatnění metrologie v systému řízení*, In.: Sborník 6. Mezinárodní konference CO – MAT – TECH '98, 2.díl, ISBN 80 – 227 – 1112 – 8, str. 129 – 134, 22. – 23. Oktober, Slovensko, Trnava, 1998
- ◆ CHOVANCOVÁ, J. – SHEJBAL, D.: *Význam a postavení marketingu v systému jakosti strojírenského podniku*, In.: Sborník konference QUALITY MANAGEMENT '98, ISBN 80 – 214 – 1183 – X, Brno, 1998
- ◆ CHOVANCOVÁ, J.: *Význam a uplatnění statistické přejímky v systému řízení strojírenského podniku*, In.: Sborník mezinárodní konference STROJNÉ INŽINIERSTVO '99, ISBN 80 – 227 – 1259 – 0, str. 439 – 442, 14. Septembra, Strojnícka fakulta, slovenská technická univerzita, Slovensko, Bratislava 1999
- ◆ CHOVANCOVÁ, J.: *Jakost funkčních ploch z hlediska drsnosti povrchu*, In.: Sborník mezinárodní konference STROJÁRSKE TECHNOLÓGIE – VÝROBNÁ TECHNIKA '99, ISBN 80 – 7100 – 652 – 1, 19. – 20. Októbra, Slovensko, Žilina, 1999

### ***Přednesení příspěvku:***

- ◆ Statistické hodnocení výsledků měření drsnosti povrchu, seminář DRSNOST JAKO SOUČÁST STRUKTURY POVRCHU, Technická normalizační komise TNK 7 Geometrické požadavky na součásti – subkomise metrologie ve spolupráci s VUT FSI v Brně, Brno, 2002, ISBN 80 – 214 – 2063 – 4

### ***Účast na semináři:***

- ◆ Aplikovaná statistika – statistické přejímky, ISO TR 8550, Česká společnost pro jakost, Praha, 1998

### ***Grantové projekty fondu vědy:***

- ◆ hlavní řešitel: Ing. SVOBODA Vítězslav  
spoluřešitelé: Ing. SHEJBAL Dušan  
Ing. CHOVANCOVÁ Jana

*Objektivní hodnocení spolehlivosti měřidel v návaznosti na metrologický certifikační systém*, FP 380006, prosinec '98

- ◆ hlavní řešitel: Ing. CHOVANCOVÁ Jana  
*Statistická analýza jakosti obrobené plochy z hlediska mikrogeometrie*, FP 390035, prosinec '99