VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KONTROLA STRUKTURY POVRCHU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE **Bc. Ondřej Janečko**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ondřej Janečko

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: Strojírenská technologie (2303T002)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.l 11/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

KONTROLA STRUKTURY POVRCHU

v anglickém jazyce:

VERIFICATION SURFACE TEXTUŘE

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Základní pojmy a definice
2. Měření parametrů struktury povrchu dotykovými přístroji
3. Návrh metodiky vyhodnocování jakosti povrchu
4. Závěr

Cíle diplomové práce:

Vyhodnocování struktury povrchu na celé ploše v souladu s ČSN EN ISO 4288. Návrh metodiky postupu vyhodnocování

Seznam odborné literatury:

1. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie: Část metrologie. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2001.151 s. ISBN 80-214-1997-0
2. ČECH ,J.,PERNIKÁŘ, J.,PODANÝ,K., Strojírenská metrologie.Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 176 s.ISBN 80-214-3070-2
3. CHUDÝ,V.,PALENČÁR,R.,KUREKOVÁ,E.,HALAJ,M., Maranie technických veličin,
Vydavatelstvo STU v Bratislavě, 1999. 688 s., ISBN 80-227-1275-2
4. KRSEK,A., OSANNA,P.,KURIC,I.,PROSTREDNÍK,D., Stojárská metrológia a riadenie
kvality,Vydavatelstvo STU v Bratislavě, 1998. 289 s., ISBN 80-227-1025-3

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku

2009/2010. V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce navrhuje metodiku hodnocení struktury povrchu z více měření a určení tzv. reprezentativní hodnoty daného parametru v souladu s ČSN EN ISO 4288

Klíčová slova
Struktura povrchu, základní délka, profil drsnosti, profil vlnitosti, prvek profilu.

ABSTRACT

Work suggests philosophy evaluation surface texture from more metering and determination so - called representative funds given to parameter harmony CSN EN ISO 4288

Key words
Surface texture, base line, profile roughness, profile wave, element profile.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANEČKO,Ondřej. *KONTROLA STRUKTURY POVRCHU.*Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. s.61, příloh.2 Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Kontrola struktury povrchu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

18. 05. 2010

……
Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce a samozřejmě také rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

Abstrakt 4
Prohlášení 5
Poděkování 6
Obsah 7
Úvod 8
1 základní pojmy a definice 9
1.1 Struktura povrchu a její definice 9
1.1.1 ČSN EN ISO 4287 11
1.1.2 ČSN EN ISO 13565-1 19
1.1.3 ČSN EN ISO 13565-2 21
1.1.4 ČSN EN ISO 4288 24
1.2 CHYBY MĚŘENÍ 31
1.2.1 Rozdělení chyb měření 31
1.2.2 Srovnání chyb 37
1.3 Etapy měření 38
1.4 Statistická interpretace výsledků měření 39
2 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU DOTYKOVÝMI PŘÍSTROJI 42
3 NÁVRH METODIKY VYHODNOCOVÁNÍ JAKOSTI POVRCHU 47
4 Závěr 55
Seznam použitých zdrojů 57
Seznam použitých zkratek a symbolů 60
Seznam příloh 61

ÚVOD

Tato práce se zabývá kontrolou reálných ploch, jako celku podle normy ČSN EN ISO 4288. Struktura povrchu je důležitá pro hodnocení kvality funkčních ploch. Plocha má v podstatě přesnost rozměrů, tvarů struktury povrchu. Struktura vyhodnocuje mikronerovnost, která hodnotí parametry vypočítané z profilu drsnosti a makronerovnost vypočítané z profilu vlnitosti.

Ve výjimečných případech, čímž se nebudeme zabývat, se vyhodnocují parametry základního profilu, který obsahuje drsnost i vlnitost.

Podstatou našeho problému je obecná definice normy, která předpokládá nekonečný počet měření na dané ploše, ze kterých se definují tzv. reprezentativní hodnoty kontrolovaných parametrů struktury povrchu, ve kterých norma připouští 16% hodnot, které mohou být větší než specifikace na výkrese. Při praktické kontrole se provádí maximálně 50 měření na 1 ploše, které jsou rovnoměrně rozdělena. Čím je menší počet měření, tím je reprezentativní hodnota daného parametru zatížena větší chybou. Práce se zabývá zjištěním závislosti chyby výsledku měření na počtu měření. Struktura plochy má velký význam pro tribologické vlastnosti. Tribologie je věda a technologie zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu a s tím spojená praxe.

Tribologie definuje tyto základní termíny a jejich procesy:

- tření - při tření je doprovázena vzájemná interakce povrchů
- opotřebení - důsledek tření
- mazání - mazáním je možné zmenšit tření a opotřebení a jeho úlohou je prostřednictvím maziva zabránit bezprostřednímu styku povrchů.

Drsný povrch se obvykle opotřebuje rychleji a mají vyšší třecí koeficienty než hladké povrchy

1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE

1.1 Struktura povrchu a její definice

Struktura povrchu[9] vyjadřuje trojrozměrné opakované nebo náhodné úchylky od mikrogeometrie povrchu obrobené plochy.
Všechny tyto úchylky povrchu vznikají v důsledku nedokonalosti a nepřesnosti ve výrobě[1]:

- Mikrostruktura materiálu
- Plastická deformace při obrábění
- Nestabilita obráběcího procesu v soustavě stroj, nástroj, obrobek
- Chybné ustavení nástroje
- Tlaková deformace

Nedokonalost povrchu

Nedokonalosti povrchu jsou např. rýhy, trhliny, póry, staženiny, koroze mikrotrhliny apod. náhodně způsobené vady během výroby, skladováním nebo funkce povrchu. Tyto a další nedokonalosti povrchu se nezahrnují do hodnocení struktury povrchu.

Existuje profilová metoda hodnocení (2D parametry) nebo plošná metoda hodnocení struktury (3D parametry).

Profilová metoda hodnocení struktury povrchu (2D)[10]

Struktura povrchu je členěna na složky podle rozteče příslušných nerovností jedná se o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, složku nazvanou vlnitost povrchu a složku s největší roztečí nerovností určenou základním profilem. V souvislosti s novým pojetím geometrické specifikace výrobků (GPS) byl vytvořen dokonalejší systém posuzování a hodnocení struktury povrchu. Systém je ošetřen sadou norem, které jsou v jednotlivých odstavcích uvedeny. Základní vlastností normalizované metody (2D) je, že zdrojem informace o struktuře povrchu je profil.

Pro vyhodnocení profilu používáme tyto základní geometrické parametry:

P – parametr: vypočítaný ze základního profilu,

R – parametr: vypočítaný z profilu drsnosti, měřeno dotykovými přístroji a vyhodnocovaná délka je přesně stanovena normou

W – parametr: vypočítaný z profilu vlnitosti

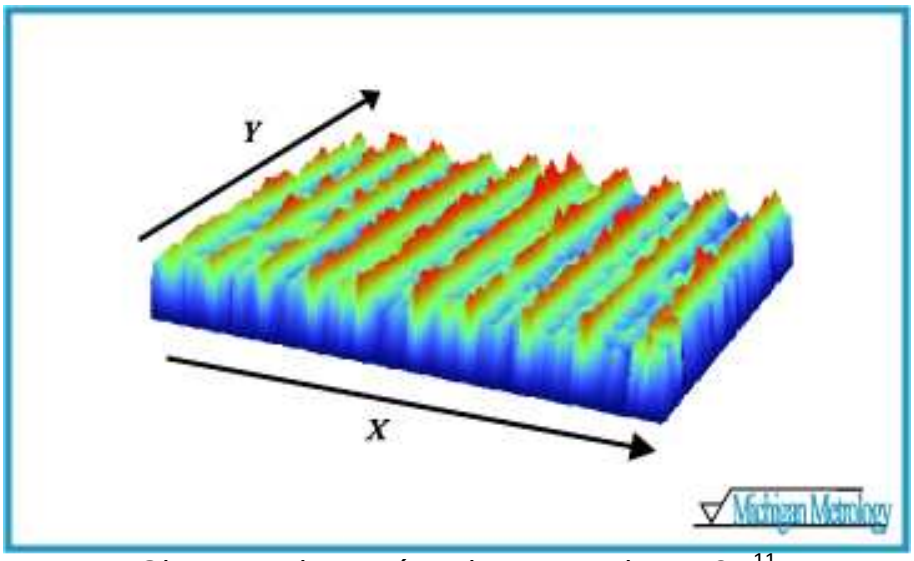
Plošné hodnocení struktury povrchu (3D)[10]

Základní vlastností plošné metody (3D) je, že zdrojem informace o struktuře povrchu je plocha. Třírozměrné hodnocení struktury povrchu (3D) vyžaduje aplikovat použitelné poznatky z dvourozměrného hodnocení struktury povrchu (2D) a zavést další potřebné informace pro úplný popis. Plošné hodnocení (3D) se realizuje specifickými parametry. Vyžaduje to využití speciálního software.

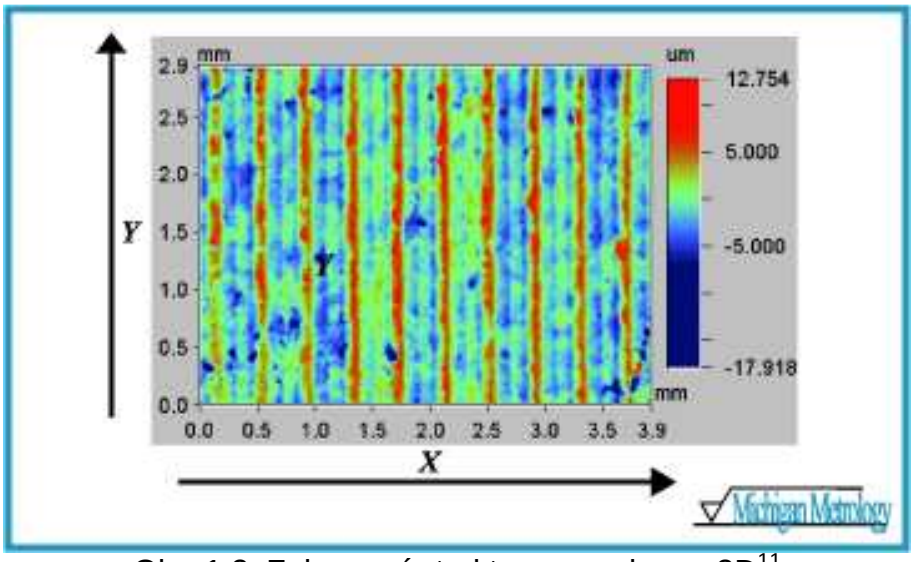
Základní geometrických parametrů pro hodnocení 3D:

S – parametr: je parametr používající data z definiční plochy.

V – parametr: je parametr objemu materiálu nebo prázdného objemu používající data z křivky plošného poměru materiálu



Obr. 1.1 Zobrazení struktury povrchu ve 3D[11]



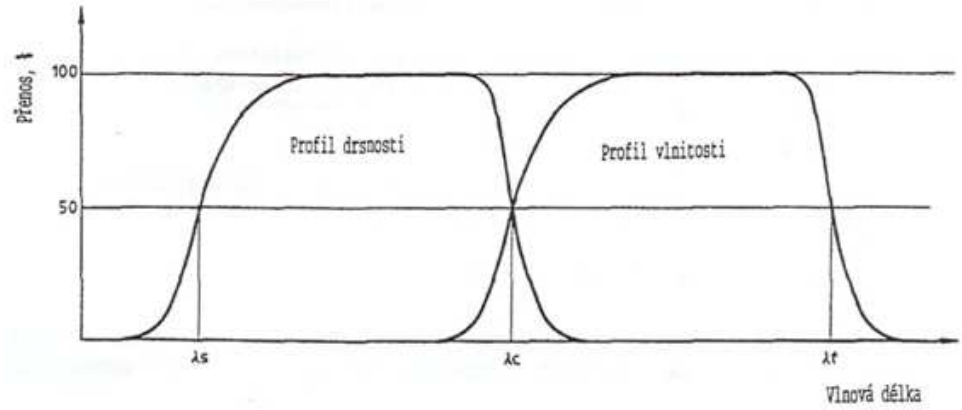
Obr. 1.2 Zobrazení struktury povrchu ve 3D[11]

1.1.1 ČSN EN ISO 4287

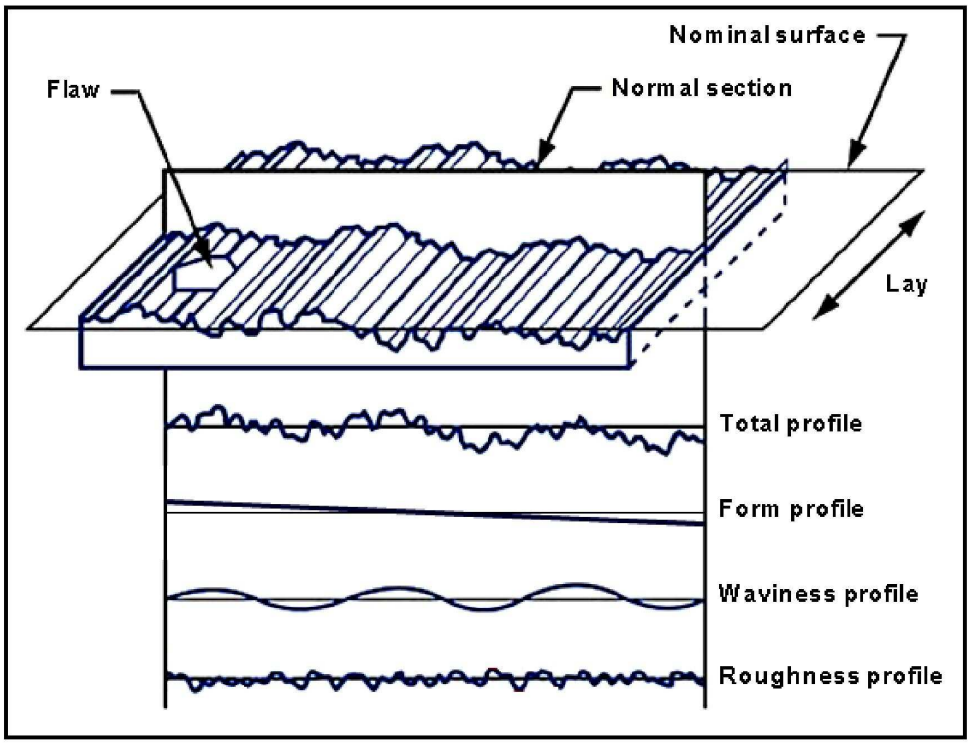
Tato mezinárodní norma[5] je normou Geometrických požadavků na výrobky (GPS) a je uvažována jako Všeobecná GPS norma (viz ISO/TR 14638). Norma stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základního profilu) profilovou metodou.

Profil drsnosti (roughness profile) je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti a je odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c, profil je úmyslně pozměněn.

Profil vlnitosti (waviness profile) je profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c , profil je záměrně pozměněn.



Obr. 1.3 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti[5]



Obr. 1.4 Skutečný povrch[12]

Filtr profilu - filtr rozdělující profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky

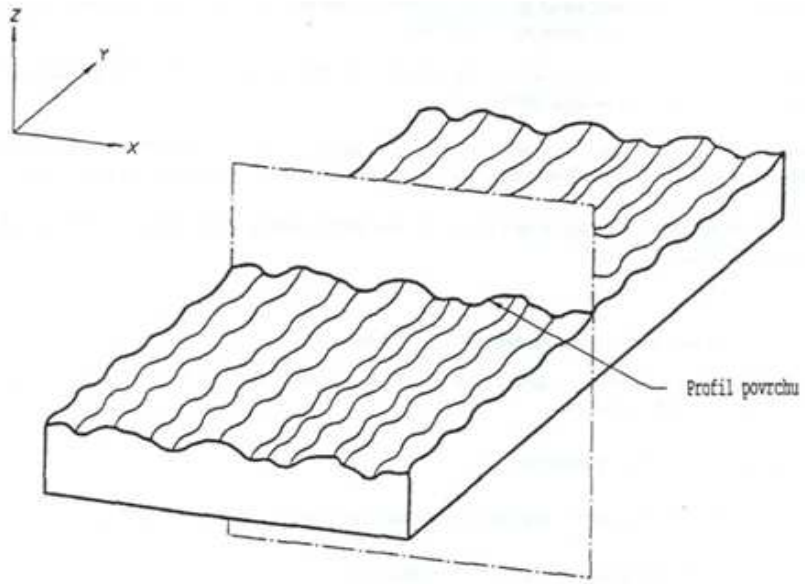
λ_s **filtr profilu** - filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu

λ_c **filtr profilu** - filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

λ_f **filtr profilu** - filtr definující rozhraní mezi vlnitosti a delšími složkami vln přítomných na povrchu

Profil povrchu (surface profile) **-** profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.
POZNÁMKA - V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem ve vhodném směru.

Souřadnicový systém - souřadnicový systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu.
POZNÁMKA - Obvykle je využíván pravoúhlý souřadnicový systém , ve kterém osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu; osa X ve směru snímání je souběžná se střední čárou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje s povrchu (z materiálu do okolního prostředí).



Obr. 1.5 Profil povrchu a souřadnicový systém[5]

Skutečný povrch - povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí.
Základní profil - úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru, λ_s
Prvek profilu - výstupek profilu a přilehlá prohlubeň
Výstupek profilu - z povrchu ven směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.

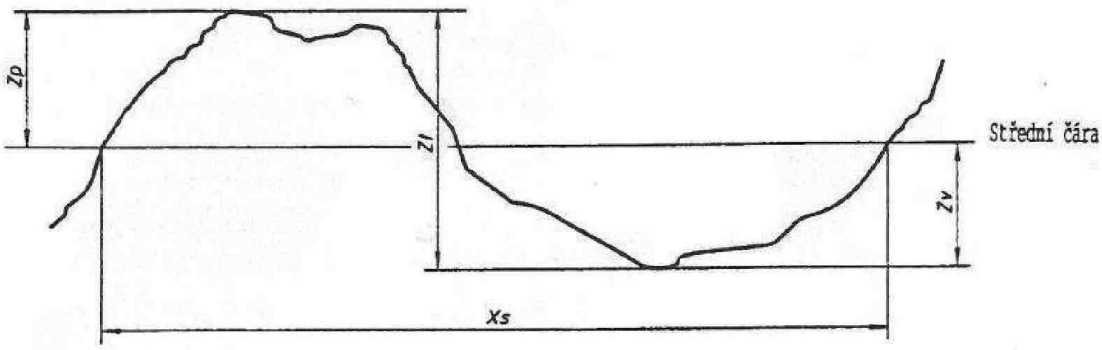
Prohlubeň profilu - dovnitř směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.

Výška výstupku profilu Zp - vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu.

Hloubka prohlubně profilu Zv - vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu.

Výška prvku profilu Zt - součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.

Šířka prvku profilu Xs - délka úseku osy X protínající prvek profilu.



Obr. 1.6 Prvek profilu[5]

Základní délka, lp, lr, lw - délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovnosti charakterizujících vyhodnocovaný profil

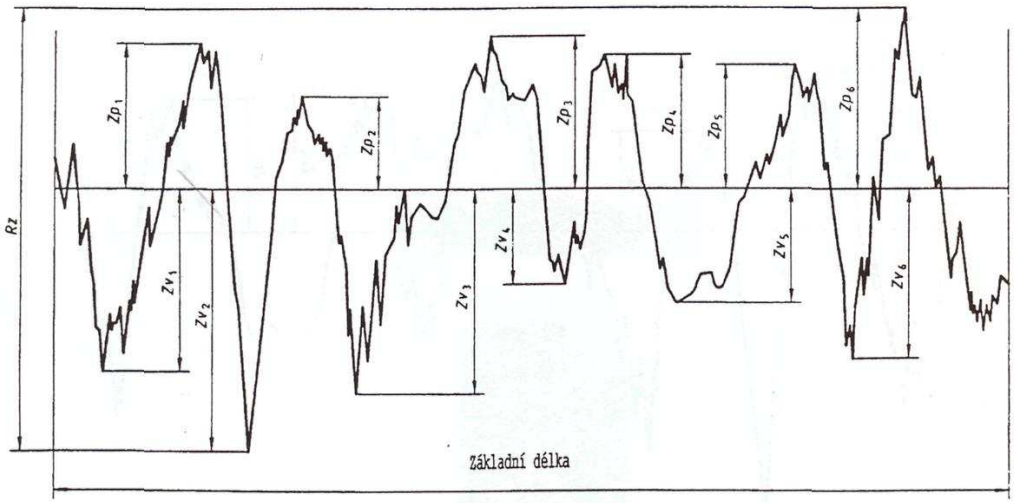
Vyhodnocovaná délka ln – délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

Střední čára profilu drsnosti - čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_c

Střední čára profilu vlnitosti - čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_f

Střední čára základního profilu - čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu

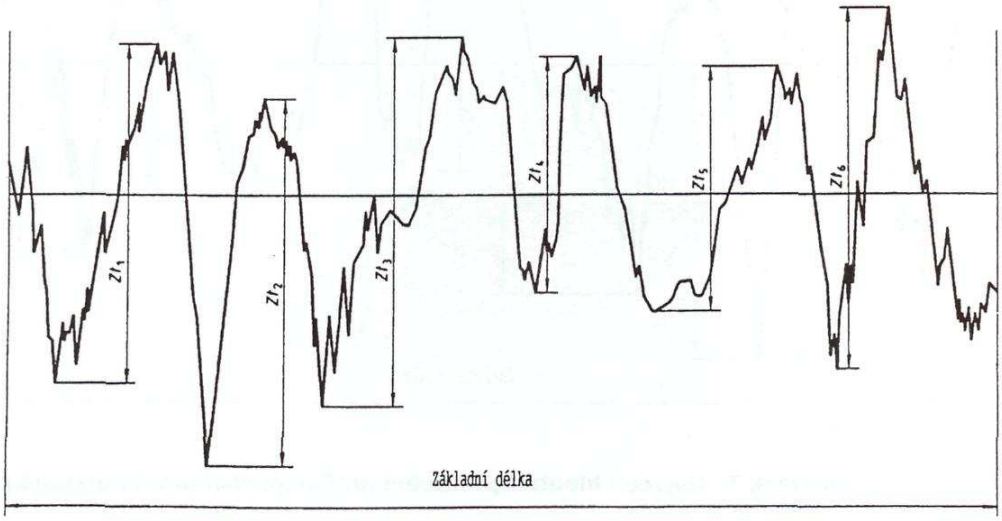
Největší výška profilu, Pz, Rz, Wz - součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 1.7 Největší výška profilu (příklad profilu drsnosti)[5]

Průměrná výška prvků profilu, Pc, Rc, Wc - průměrná hodnota výšek Zt prvku profilu v rozsahu základní délky

$$Pc, Rc, Wc = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^{m} Zti \qquad (1.1)$$

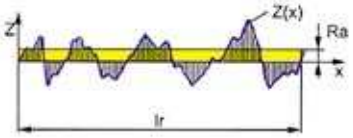


Obr. 1.8 Výška prvků profilu (příklad profilu drsnosti)[5]

Celková výška profilu, Pt, Rt, Wt **-** součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, Pa, Ra, Wa - aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z(x) (výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x) v rozsahu základní délky

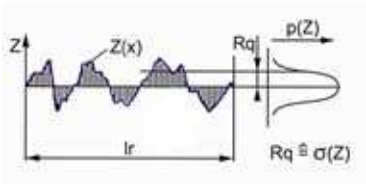
$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l \left| Z^2(x) \right| dx \qquad (1.2)$$



Obr.1.9 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu[13]

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu, Pq, Rq, Wq - kvadratický průměr pořadnic Z (x) v rozsahu základní délky

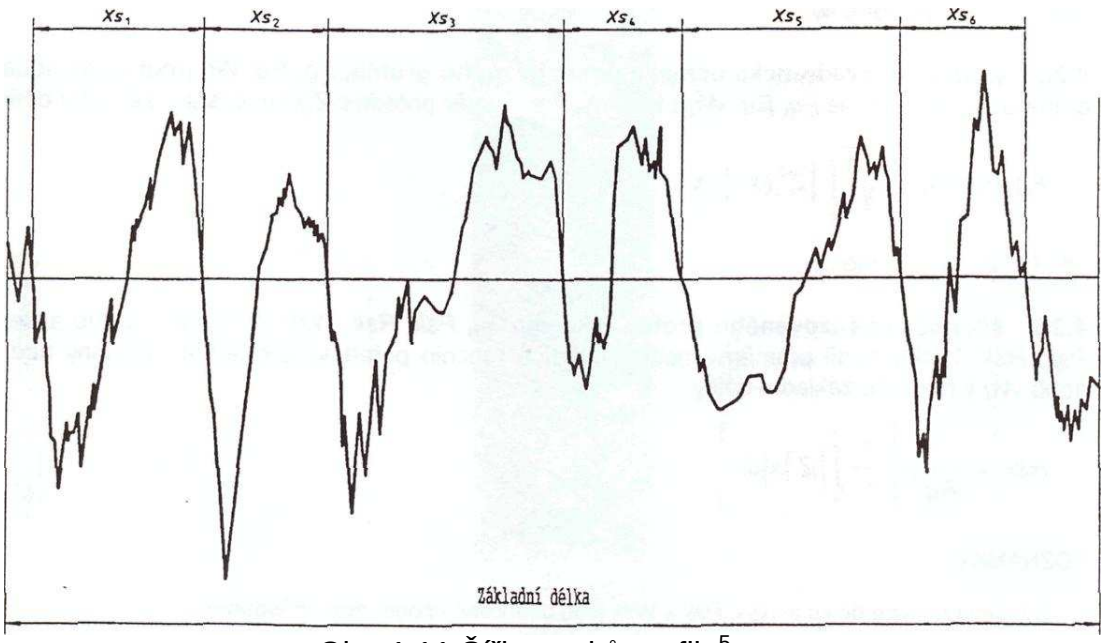
$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left| Z^2(x) \right| dx} \qquad (1.3)$$



Obr. 1.10 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu[13]

Průměrná šířka prvků profilu, PSm, RSm, WSm – aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky

$$Psm, Rsm, Wsm = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} XS_i \qquad (1.4)$$



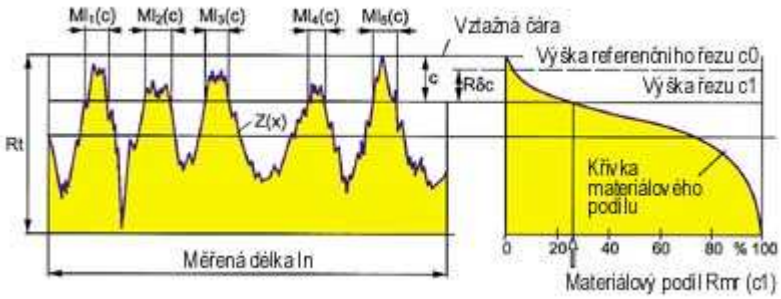
Obr. 1.11 Šířka prvků profilu[5]

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu, PΔq, RΔq, WΔq kvadratický průměr sklonů pořadnic dX / dX v rozsahu základní délky

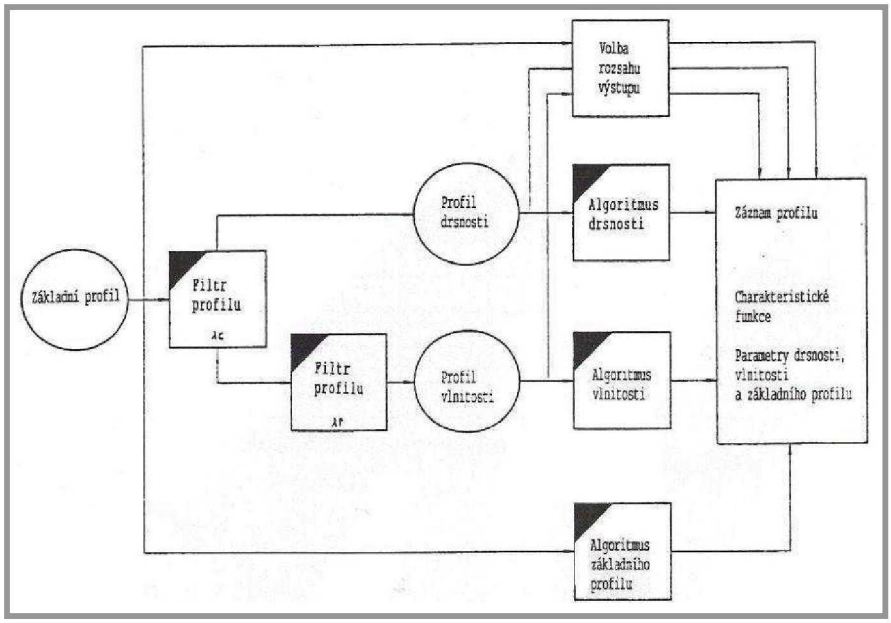
Materiálový poměr profilu (nosný podíl), Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) – poměr délky materiálu elementů profilu Ml (c) na dané úrovni c, k vyhodnocované délce

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{Ml(c)}{\ln} \qquad (1.6)$$

Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka) – křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně



Obr. 1.12 Křivka materiálového poměru[13]



Obr. 1.13 Vývojový diagram pro posuzování povrchu[5]

1.1.2 ČSN EN ISO 13565-1

Tato část normy ISO 13565[6] popisuje metodu filtrace pro použití u povrchů majících hluboké prohlubně pod mnohem jemněji dokončenými plošinkami s poměrně malým obsahem vlnitosti. Referenční čára, která je výsledkem filtrace podle ISO 11562 je pro takové povrchy nežádoucím způsobem ovlivněná přítomností prohlubní. Pojetí filtrace popsané v této normě potlačuje vliv prohlubní na referenční čáru tím, že je generována jiná, mnohem lépe vyhovující referenční čára.

Proces filtrace pro určení profilu drsnosti

Proces filtrace je uskutečněn v několika stupních poskytujících modifikované profily, jejichž části jsou uvedeny na obrázku 1.14 **a- d.**

První střední čára je určena předběžnou filtrací základního profilu fázově korigovaným filtrem v souhlasu s ISO 11562 za použití odpovídající mezní vlnové délky za použití odpovídající mezní vlnové délky cut-off λ_c v souhlasu s odpovídajícími podmínkami měření v tabulce 1 normy ISO 3274 : 1996. Všechny části tvořené prohlubněmi, ležící pod touto střední čarou (na obrázku a vyšrafované) jsou vypuštěny. V těchto místech je základní profil nahrazen křivkou střední čáry.

Tentýž filtr je použit na upraveném profilu s vypuštěnými prohlubněmi. Takto získaná druhá střední čára (obrázek b) je referenční čára, ke které je provedeno posouzení parametrů profilu. Tato referenční čára je přenesena na původní základní profil (viz.obrázek c) a profil drsnosti podle této části normy ISO 13565 je získán jako rozdíl mezi základním profilem a referenční čárou (viz.obrázek d)

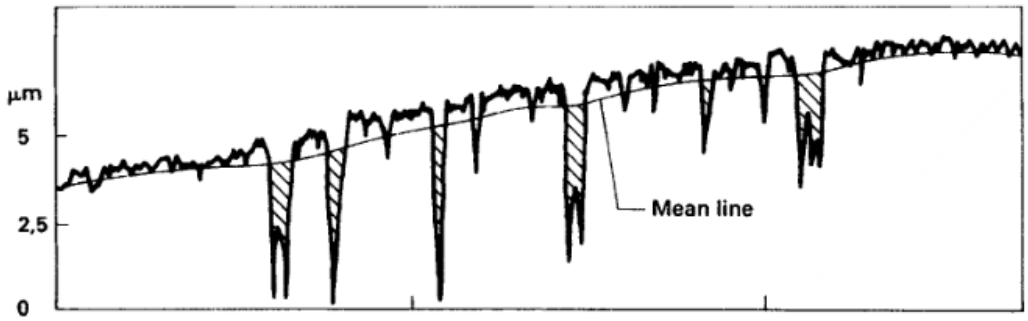
Výběr mezní vlnové délky cut-off λ_c a vyhodnocované délky ln

Měření musí být přednostně provedeno za použití mezní vlnové délky cut-off λ_c = 0,8 mm. V oprávněných výjimečných případech může být vybrána λ_c = 2,5 mm.Toto musí být udáno ve specifikaci a u výsledku

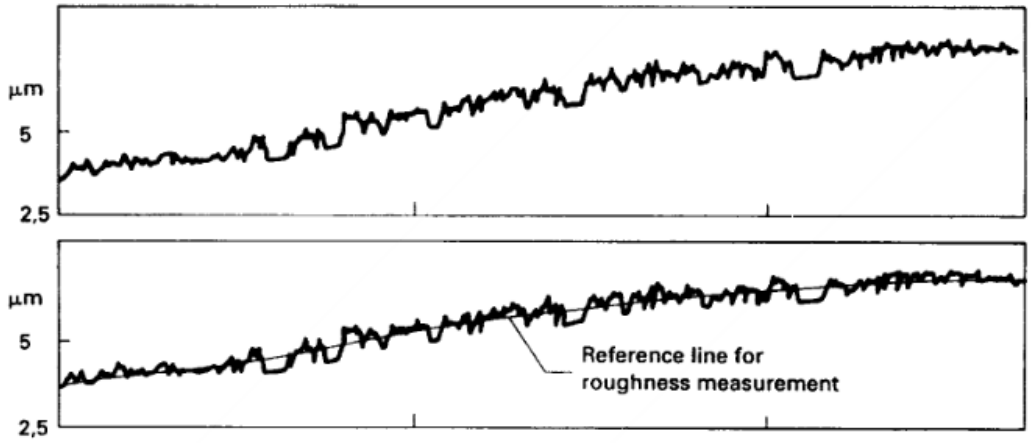
Tabulka 1.1. - Vztah mezi mezní vlnovou délkou cut-off λ_c a vyhodnocovanou délkou **ln**[6]

λ_c (mm)	**ln** (mm)
0,8	4,0
2,5	12,5

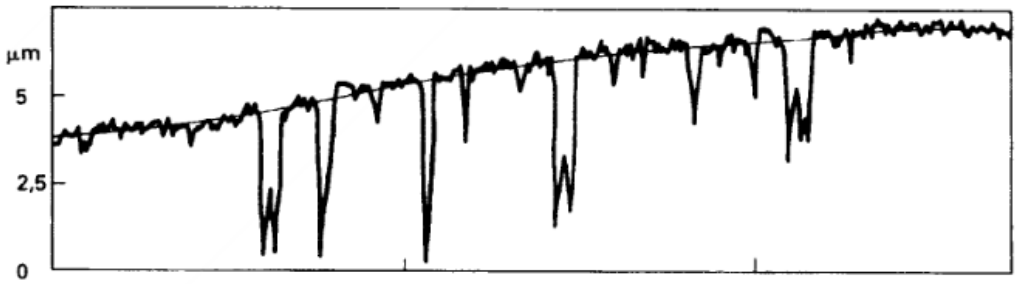
Proces filtrace



Obr. 1.14 a) Nefiltrovaný základní profil (prohlubně šrafovány)[14]



Obr. 1.14 b) Nefiltrovaný základ ní profil po potlačení prohlubní[14]



Obr. 1.14c) Poloha referenční čáry na základním profilu[14]

1.1.3 ČSN EN ISO 13565-2

Tato část normy ISO 13565[7] definuje soubor parametrů na základě křivky lineárního poměru materiálu, používaných pro hodnocení profilu drsnosti s potlačenými prohlubněmi, definovaný v ISO 13565-1. Základem je trojvrstvý model, odděleně hodnotící výstupky, jádro profilu a prohlubně. Norma popisuje proces hodnocení pro určení parametrů z lineárního vyjádření křivky materiálového poměru (zmiňované rovněž jako Abbottova křivka), která popisuje vzrůst materiálového podílu se stoupající velikostí hloubky profilu drsnosti.

Definice pojmů

Pro účely této části normy jsou využity definice uvedené v ISO 4287 a následující definice:

Jádro profilu drsnosti - profil drsnosti s vyloučením vyčnívajících výstupků a hlubokých prohlubní

Hloubka jádra drsnosti, Rk - hloubka jádra profilu drsnosti

Materiálový podíl, Mr1- úroveň, vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující vyčnívající výstupky od jádra profilu drsnosti.

Materiálový podíl, Mr2 - úroveň, vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující hluboké prohlubně od jádra profilu drsnosti

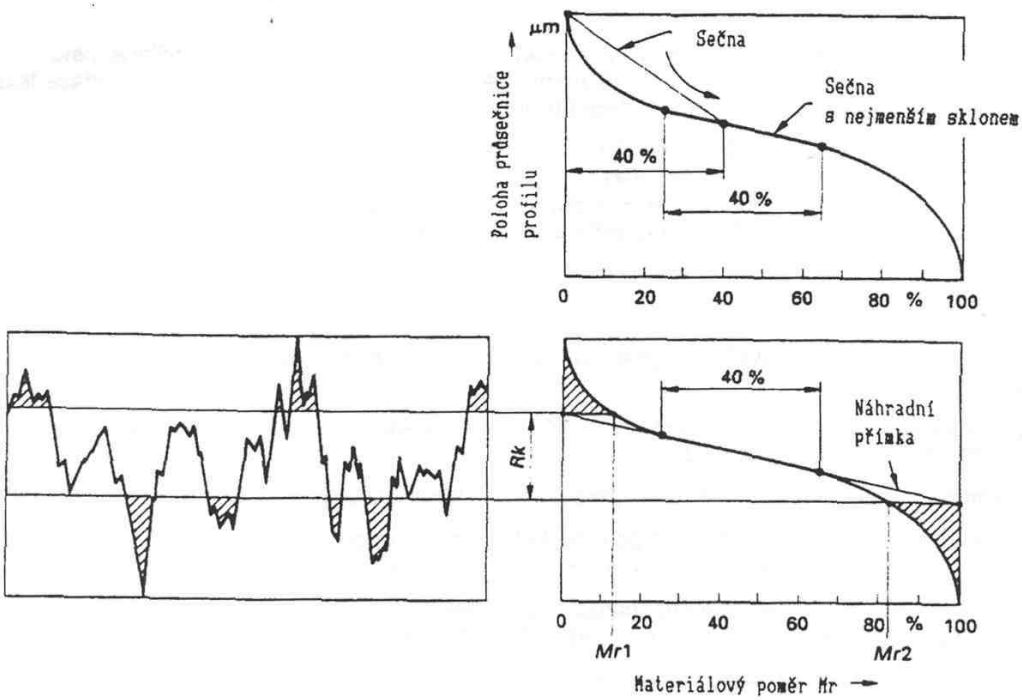
Redukovaná výška výstupků, Rpk - střední výška výstupků vyčnívajících nad jádrem profilu drsnosti

Redukovaná výška výstupků, Rvk - střední hloubka prohlubní profilu pod jádrem profilu drsnosti

Profil drsnosti – pro určování parametrů musí být vypočítáván dle ISO 13565 – 1

Výpočet parametrů Rk, Mr1, Mr2 – vypočítaná náhradní přímka protíná úsečky Mr = 0% a mr = 100% ve dvou bodech – obrázek …Těmito body jsou vedeny dvě přímky rovnoběžné s osou x, které určují jádro profilu drsnosti oddělením vyčnívajících výstupků a prohlubní.
Svislá vzdálenost mezi těmito přímkami (sečnicemi) je hloubka jádra drsnosti Rk. Jejich průsečíky s křivkou materiálového poměru profilu definují materiálové podíly Mr1 a Mr2.

Výpočet náhradní přímky
Náhradní přímka je vypočítávána pro střední oblast křivky materiálového poměru, která obsahuje 40 % měřených bodů profilu. Tato "střední oblast" leží v místě, kde sečna křivky materiálového poměru, mající délku 40 % materiálového poměru, má nejmenší sklon (viz obrázek 1). Určí se pohybem sečny s délkou úsečky dMr = 40 % po křivce materiálového poměru, počínaje od polohy Mr= 0 %. Sečna pro dMr = 40 %, mající nejmenší sklon, stanovuje "střední oblast" křivky materiálového poměru pro výpočet náhradní přímky.
Je-li více oblastí se stejným nejmenším sklonem sečny, potom se vybere oblast, která je první v pořadí (začíná se od polohy Mr = 0 %). Náhradní přímka je potom vypočítána pro tuto střední oblast, pomocí odchylky nejmenších čtverců ve směru pořadnic profilu.

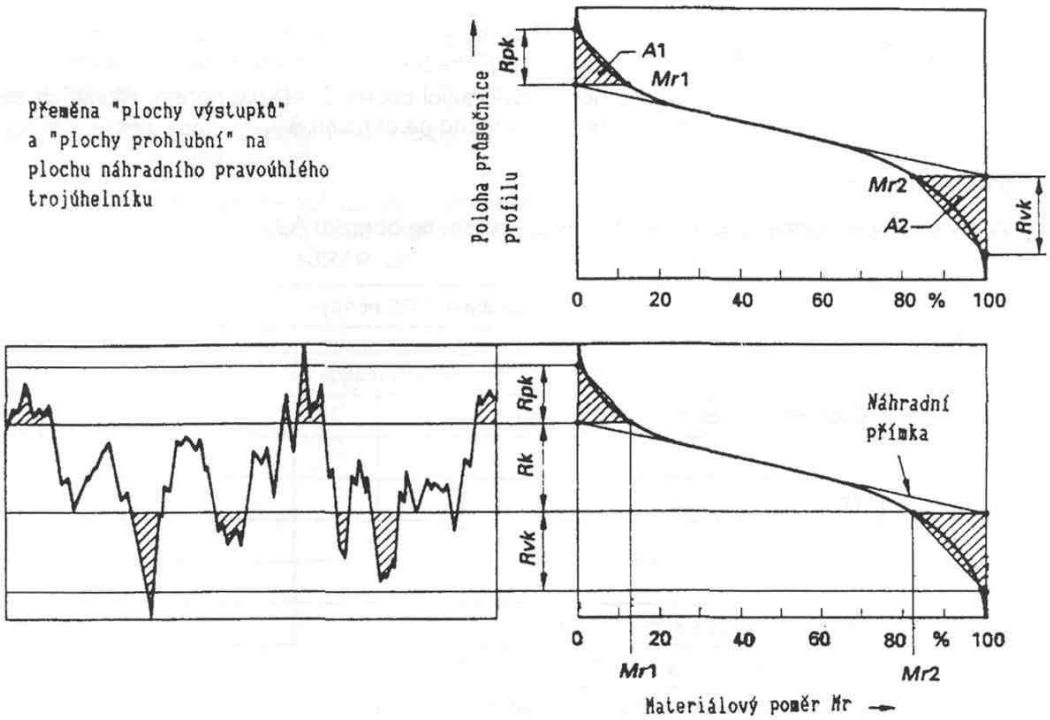


Obr. 1.15 Výpočet Rk, Mr1, Mr2[7]

Výpočet parametrů Rpk a Rvk

Plochy nad a pod oblastí křivky materiálového poměru, která stanovuje jádro drsnosti Rk, jsou na obrázku vyšrafovány. To odpovídá ploše řezu výstupků a prohlubní, které přesahují jádro profilu. Jsou každý vypočítáván jako výška pravoúhlého trojúhelníku, sestrojeného tak, aby měl stejnou plochu jako plocha výstupků nebo plocha prohlubní profilu.

Poznámka – Parametry dle této části normy mají být počítány jen v případě, má-li křivka materiálového poměru esovitý tvar a má tedy jen jeden inflexní bod ! To je vždy případ lapovaných, broušených a honovaných povrchů.



Obr. 1.16 Výpočet Rpk a Rvk[7]

1.1.4 ČSN EN ISO 4288

Tato mezinárodní norma[8] stanoví pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu v ISO 4287, ISO 12085, ISO 13565-2 a ISO 13565-3. Rovněž specifikuje standardní pravidla pro výběr mezních vlnových délek cut-off λ_c pro parametry profilu drsnosti podle ISO 4287, měřených pomocí dotykových (hrotových) přístrojů podle ISO 3274.

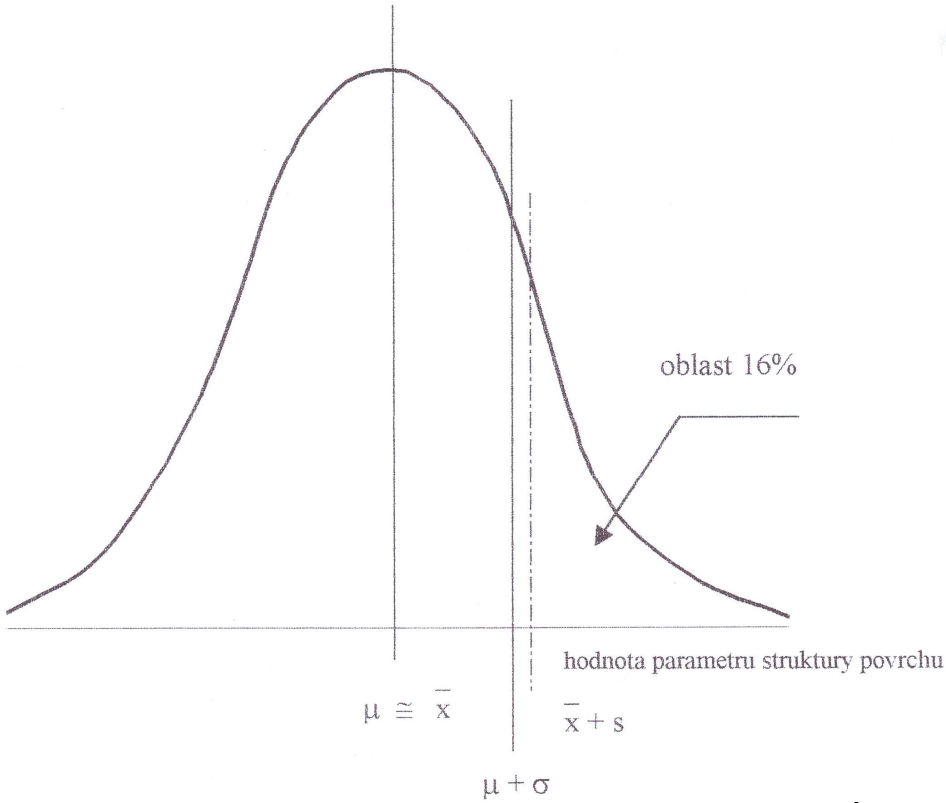
Definice pojmů

Odhad hodnot parametrů je vypočítáván pomocí dat naměřených jen na jedné základní délce.

Odhad průměrných hodnot parametrů je vypočítáván vyčíslením aritmetického průměru odhadu parametru ze všech jednotlivých základních délek. Když je pro parametry profilu drsnosti použit normalizovaný počet pěti základních délek, není potřebné doplňovat symbol parametru indexem. Pro parametr hodnocený na jiném počtu základních délek, musí být tento počet u značky parametru uveden jako index (např. Rz1,Rz3).

Pro parametry definované na vyhodnocované délce (Pt, Rt a Wt) je odhad hodnoty parametru vypočítáván pomocí naměřených dat z vyhodnocované délky rovné normalizovanému počtu základních délek.
Pro křivky a odpovídající parametry je odhad hodnoty parametru vypočítáván pomocí naměřených dat z jedné křivky, která byla počítána na základě vyhodnocované délky

Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi
Struktura povrchu kontrolovaných obrobků se může jevit jako homogenní , nebo může být na jednotlivých plochách zcela rozdílná. To může být zjištěno vizuální zkouškou povrchu. V případech, kdy se struktura povrchu jeví homogenní, hodnoty parametrů určené z celého povrchu budou použity pro porovnání s požadavky uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci. Jsou-li na povrchu jednotlivé plochy s nápadně rozdílnou strukturou, hodnoty parametrů, které jsou určeny pro každou jednotlivou plochu, budou pro porovnání s požadavky specifikovanými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci použity odděleně.
Pravidlo 16%
Pro požadavky specifikované horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. Pro požadavky specifikované dolní mezí parametru, jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů, zjišťovaných na vyhodnocované délce je menších než hodnota uvedená na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.



Obr. 1.17. Grafické znázornění reprezentativní hodnoty[1]

Pravidlo maxima

Při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru (viz ISO 1302:1992), nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. Toto pravidlo platí pouze, když je to na výkrese uvedeno.

Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvážením nejistot měření podle pravidel daných v ISO 14253-1. V případě porovnávání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvážení nehomogenit povrchu, které už jsou započítány přídavkem 16 %.

Hodnocení parametrů

Všeobecně

Parametry struktury povrchu nejsou použitelné pro popis vad povrchu. Z toho důvodu vady povrchu, tj. rýhy a póry nesmí být při kontrole struktury povrchu uvažovány. Pro rozhodnutí, zda povrch obrobku je či není ve shodě se specifikací, je použit soubor jednotlivých hodnot parametru struktury povrchu, z nichž každý je určen na vyhodnocované délce. Spolehlivost rozhodnutí, zda kontrolovaný povrch vyhovuje či nevyhovuje specifikaci, a přesnost průměrné hodnoty parametru struktury povrchu získané na témže povrchu, závisí na počtu základních délek ve vyhodnocované délce, na které byly jednotlivé hodnoty parametru struktury povrchu získány a také na počtu vyhodnocovaných délek, tj. na počtu měření na povrchu.

Parametry profilu drsnosti

Pokud se vyhodnocovaná délka pro R-parametry podle ISO 4287 nerovná pěti základním délkám, je jejich horní a dolní mez přepočítána a vztažena vyhodnocované délce rovnající se pěti základním délkám. Čím větší je počet měření a delší vyhodnocovaná délka, tím větší je spolehlivost rozhodnutí o tom, vyhovuje-li kontrolovaný povrch specifikaci, a tím menší je nejistota průměrné hodnoty parametru. Nárůst počtu měření však vede k nárůstu času a nákladů na měření.

Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Základní pravidla pro určení mezní vlnové délky cut-off pro měření parametrů profilu drsnosti:

Je-li základní délka specifikovaná požadavkem na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci, mezní vlnová délka cut-off λ_c je vybrána rovnou této základní délce. Není-li drsnost specifikována (na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci) nebo základní délka není specifikována v dané specifikaci drsnosti, je mezní vlnová délka volena postupem. Obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám parametrů drsnosti (Ra, Rz). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty; to může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro určení

hodnot parametrů profilu drsnosti je potřeba nejprve pohledem rozhodnout, zda profil drsnosti je periodický nebo neperiodický.

Postup pro neperiodický profil drsnosti

a) Odhadne se neznámý parametr profilu drsnosti Ra, Rz, Rz1 max. nebo RSm libovolným způsobem, např. vizuální prohlídkou, srovnáním pomocí srovnávacích vzorků, grafickou analýzou celkového profilu

b) Odhadne se základní délka z tabulky pro Ra, Rz, Rz1 max. nebo RSm odhadnuté v kroku a)

c) Měřicím přístrojem, s nastavenými hodnotami základní délky odhadnuté v kroku b), se získájí parametry reprezentativní měření Ra, Rz, Rz1 max. , RSm.

d) Porovnávají se naměřené hodnoty Ra, Rz, Rz1max. nebo RSm s rozsahem hodnot Ra, Rz, Rz1max. nebo RSm v tabulce odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li měřené hodnoty mimo rozsah hodnot pro odhadnutou základní délku, potom se nastaví přístroj na větší, případně menší základní délku, než je základní délka indikovaná měřenou hodnotou. Potom se měří reprezentativní hodnota při použití této nastavené základní délky a opět se porovná s hodnotami v tabulce 1.2, 1.3 nebo 1.4

V tomto případě by měla být dosažena kombinace měřené hodnoty a základní délky navrhovaná v tabulce 1.2, 1.3, nebo 1.4. Získají se reprezentativní hodnoty Ra, Rz, Rz1max., nebo RSm pro jednu základní délku nastavenou kratší, není-li tato nastavená kratší základní délka hodnocena v předcházejícím kroku d). pohledem se zkontroluje (prohlédne se), zda výsledná kombinace Ra, Rz, Rz1max. nebo RSm a základní délky je uvedena v tabulkách 1.2, 1.3 nebo 1.4. Jestliže jen závěrečné nastavení podle kroku d) odpovídá tabulce 1.2, 1.3 nebo 1.4 ,potom nastavená základní délka a hodnoty Ra, Rz, Rz1max. nebo RSm jsou správné. Jestliže krok e) také předkládá kombinaci danou v tabulce 1.2, 1.3 nebo 1.4 potom tato nastavená kratší základní délka a odpovídající hodnoty Ra, Rz, Rz1max. nebo RSm jsou správné.

Postup pro periodický profil drsnosti

Pro povrchy s periodickým profilem drsnosti se použije následující postup:

a) Na povrchu s neznámou grafickou drsností graficky odhadne parametr RSm.

b) Pro odhadnutý parametr RSm použitím tabulky 1.4 se určí doporučovaná hodnota mezní vlnové délky cut-off.

c) Je-li to nezbytné, tj. ve sporném případě, se změří hodnota RSm za použití hodnoty mezní vlnové délky cut-off, určené podle b).

d) Jestliže hodnota RSm z kroku c) odpovídá podle tabulky 1.4 menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off, než v kroku b), použije menší nebo větší hodnota mezní vlnové délky cut-off.

e) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích.

Tabulka 1.2. - Základní délky drsnosti pro měření Ra, Rq, Rsk, Rku, Raq a křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily (např. broušené profily)[8]

Ra [µm]	Základní délka drsnosti lr [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln [mm]
(0,006)<Ra<0,02	**0,08**	**0,4**
0,02<Ra<0,1	**0,25**	**1,25**
0,1 <Ra<2	**0,8**	**4**
2 < Ra<10	**2,5**	**12,5**
10 < Ra < 80	**8**	**40**

Tabulka 1.3 - Základní délky drsnosti pro měření Rz, Rv, Rp, Rc a Rt neperiodických profilů (např. broušených profilů)[8]

Rz[1)] Rz1 max. [2)] [µm]	Základní délka drsnosti lr [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln [mm]
(0,025) <Rz,Rz1max≤0,1	**0,08**	**0,4**
0,1<Rz,Rz1max. ≤0,5	**0,25**	**1,25**
0,5 <Rz,Rz1 max. ≤10	**0,8**	**4**
10<Rz,Rz1max. ≤50	**2,5**	**12,5**
50<Rz,Rz1max. <200	**8**	**40**
[1)]Rz1 je použito při měření Rz, Rv, Rp, Rc, a Rt		
[2)] Rz1max. je použito jen při měření Rz1max.,Rv1max., Rp1max. a Rc1max.		

Tabulka 1.4 - Základní délky drsnosti pro měření R- parametrů periodických profilů s RSm periodických a neperiodických profilů[8]

RSm [µm]	Základní délka drsnosti lr [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln [mm]
0,013<RSm≤0,04	**0,08**	**0,4**
0,04<RSm≤0,13	**0,25**	**1,25**
0,13<RSm<0,4	**0,8**	**4**
0,4<RSm≤1,3	**2,5**	**12,5**
1,3<RSm≤4	**8**	**40**

1.2 CHYBY MĚŘENÍ

Chyba měření (absolutní)- je výsledek měření minus (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny.

Chyba měření se skládá z chyby systematické a náhodné.

Zdroje chyb[2]

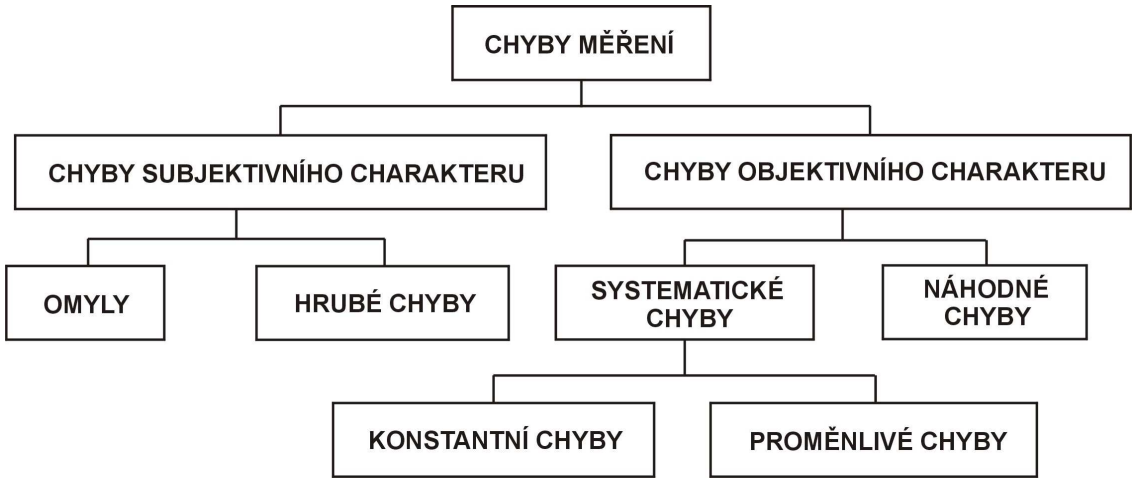
Každý objekt, tak jako každý měřící přístroj, je zatížený chybami. Každý výsledek měření bude proto vlivem různých nedokonalostí zkreslený. Dále působí vlivy prostředí a pozorovatele, jako i jejich změny v čase. Zkreslení výsledku měřen vlivem prostředí je způsobené především teplotou a deformačními silami. Kromě nich působí vlhkost, tlak vzduchu, poloha, zrychlení (záchvěvy, rázy), šum, rušivá pole (např. napětí a frekvence sítě), rušivý světelný zdroj a jiné. Zkreslení výsledku dané osobními vlivy závisí na vlastnostech pozorovatele (např. pozornost, únava, ostrozrakost, schopnost odhadu). Výsledek měření může zkreslit nejen pozorovatel, ale i volba nevhodné měřící nebo vyhodnocovací metody a také zanedbání zdroje chyb. Zdroj chyb může způsobit systematické nebo náhodné chyby.

1.2.1 Rozdělení chyb měření

Hrubé chyby

Hrubé chyby měření jsou nevlastní chyby měření, kterým se můžeme vyhnout, pokud měříme starostlivě a svědomitě. Tyto chyby jsou často zřetelné na první pohled, což umožňuje jejich identifikaci a následné vyloučení ze zpracování naměřených hodnot.

Statistickými metodami se dá s dostatečnou jistotou rozhodnout, zda je velmi odlišné hodnoty možné považovat za hrubé nebo náhodné chyby.



Obr. 1.17 Klasifikace chyb měření[2]

Systematické chyby[2]

Systematickými chybami se nazývají takové chyby, které při opakovaném měření stejné hodnoty za stejných podmínek (např. stejný přístroj, stejné měřící místo, stejné podmínky prostředí) zůstávají stejné, co se týče velikosti a znaménka. Systematické chyby se dají poznat, tedy i určit a proto se mohou zohlednit ve výpočtech. Skutečné zachycení systematické chyby je však někdy nemožné. Je známé jen to, že spolu působí více příčin vzniku chyb, které se nedají od sebe oddělit. Proto rozlišujeme systematické chyby známé a neznámé.

Z pohledu experimentátora systematické chyby mohou být :

- známé
- poznatelné
- neznámé
- nepoznatelné (za daného stavu)

Z pohledu výsledku měření mohou být systematické chyby :

- vylučitelné
- nevylučitelné

Systematické chyby jsou způsobené např. chybou sklonu, vlivem síly měření (deformace měřících přístrojů nebo jejich částí, měřené součásti), chyby dělení odměřovací stupnice, chyby způsobené teplotou rozdílnou od normální, atd. Systematické chyby jsou (v případě, že se neurčí matematicky z příčin jejich vzniku) poznatelné jen změnou všech měřících podmínek, především změnou měřícího postupu. Systematickým postupem se mohou určit a potom eliminovat. Opakováním měření s jiným přístrojem, jiným pozorovatelem nebo v jiných podmínkách prostředí vede k poznání, že často vyskytují systematické chyby neznámého původu. Tyto bývají způsobené více příčinami.

Příčinou systematických chyb bývají:

chyby měřícího přístroje – vznikají v důsledku:

- přípustných nepřesností jednotlivých stavebních částí (chyba dělení měřícího pravítka nebo hřídele, chyba vedení, montážní tolerance)
- chyb justáže a montáže
- chybného uspořádání

Chyby pozorovatele – jsou způsobené nedokonalostí smyslových orgánů

Síla měření a gravitace – síla měření a gravitace způsobují přemístění a deformaci částí měřícího zařízení, měřící součástky. Vzájemný tlak a ohyb se obyčejně dá zjistit z velikosti měřící síly, případně ze síly gravitace.

Vliv prostředí – nejčastěji je uvedená chyba způsobena rozdílem teploty mezi měřenou součástkou a měřidlem, nebo i odchylkou teploty měření od normální teploty, která je 20℃. Hodnota chyby se určuje z koeficientů roztažnosti materiálu součástky a měřidla, rozdílu teplot a měřené délky.

Šíření chyb – při nepřímém měření se hledaná veličina určuje z více měřených veličin. Měřené veličiny, z kterých se zjišťuje výsledek, jsou zatížené systematickou chybou. Systematická chyba tedy bude zatěžovat i výsledek a je možné ji matematicky určit podle lineárního zákona skládání chyb.

Známé a poznatelné systematické chyby

Známé a poznatelné systematické chyby jsou ty, pro které umíme určit jejich velikost a znaménko. To znamená, že se mohou použít na opravu naměřené hodnoty. Výsledek měření nebude správný, pokud jím nebudeme korigovat výsledek. Pokud je systematická chyba malá vzhledem k požadované přesnosti měření (což je dost častý případ v technické praxi), naměřenou hodnotu jí neopravujeme. Dostáváme se tak do kategorie poznatelných systematických chyb hodnoty, které známe, nebo je můžeme zjistit, ale z praktických důvodů, protože víme, že jsou malé, je nezjišťujeme. Stávají se tak nevyloučenými systematickými chybami. Tyto zahrnujeme do výsledku měření jako systematickou nejistotu.

Mezi známé systematické chyby způsobené měřícím přístrojem počítáme ty, které můžeme zjistit porovnáním naměřených hodnot se ztělesněním míry, hodnotu které známe. Děje se tak na základě měření.

Korekce má absolutní hodnotu stejnou jako chyba, má však opačné znaménko.

Náhodné chyby

Zdrojem náhodných chyb jsou nekontrolovatelné změny měřené součástky, prostředí, pozorovatele a měřícího přístroje.Náhodné chyby jsou chyby měření, které mají různou velikost při stejných podmínkách. Kolísá jejich velikost i znaménko. V jednotlivostech se nedají zachytit, ovládnout a ani se jich nemůžeme vyvarovat. Nejsou prostorově ani časově konstantní. Částečně jsou příčiny náhodných chyb stejné jako u systematických chyb. Náhodné chyby způsobují, že výsledek měření je nejistý. Tvoří dobrý základ pro posouzení měřící metody. Důsledkem existence náhodných chyb je rozptyl naměřených hodnot při opakovaných měřeních stejné veličiny za stejných podmínek.

Absolutní chyba měření[2] je rozdíl mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny.

$$\Delta = x_m - x_p \tag{1.7}$$

x_m - změřená hodnota měřené veličiny,
x_p - (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny.

Protože v praxi není možné pravou hodnotu měřené veličiny získat, nahrazujeme ji tzv. **konvenčně pravou hodnotou**, která se blíží pravé hodnotě s dostatečnou přesností. Konvenčně pravá hodnota se získá pomocí metod měření, které jsou řádově 3 až 10krát přesnější.

Relativní chyba je podíl chyby měření a pravé hodnoty měřené veličiny

$$\Delta_r = \frac{x_m - x_p}{x_p} \tag{1.8}$$

kterou je možné vyjádřit v procentech

$$\Delta_p = \frac{x_m - x_p}{x_p}.100 \quad [\%] \tag{1.9}$$

Výsledky minimálně 5 ti měření po sobě, prováděné za podmínek opakovatelnosti se zpravidla řídí zákonem normálního rozdělení, což platí i o chybách měření.

Náhodná chyba je výsledek měření mínus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti. V praxi lze provést pouze odhad náhodné chyby.

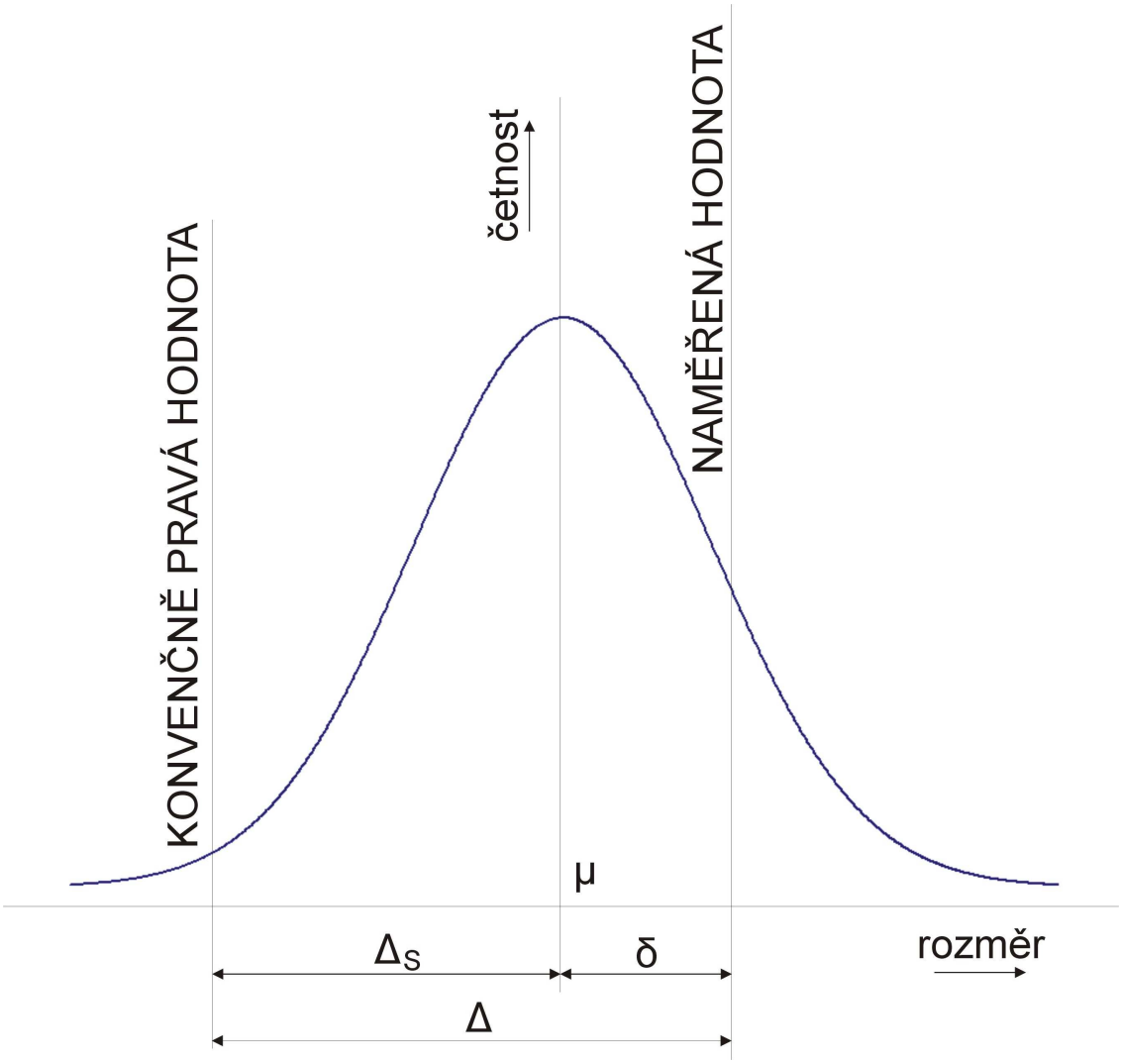
Systematická chyba je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny.

Chyba měření

$$\Delta = \Delta_s + \delta \tag{1.10}$$

Δ_s - systematická chyba

δ - náhodná chyba



Obr 1.19 Grafické vyjádření náhodné a systematické chyby

Korekce je algebraicky připočtená hodnota k nekorigovanému výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby. Korekce se rovná odhadu systematické chyby s opačným znaménkem.

1.2.2 Srovnání chyb

Tab. 1.5. Srovnání systematických a náhodných chyb[4]

Systematické chyby	**Náhodné chyby**
Příčina	
Jednoznačné působení nedokonalostí měřících prostředků nebo vlivu prostředí, například : - konstrukční chyba - odchylka realizované funkce	Stochastické působení nedokonalostí měřících prostředků nebo náhodně působící poruchové vlivy, například : - tření - vůle v ložisku - elektronický šum
Znaménko	
stálé : + nebo -	měnící se : + nebo - (často i stejné)
Ošetření	
výpočet hodnoty a znaménka a zohlednění ve výsledku měření (korekcí nebo opravou). Pokud se určit, tak se přidají k náhodným chybám.	výpočet mezní hodnoty s určitou pravděpodobností, jako hranice chyby při výsledku měření.
Forma vyjádření	
ne při výsledku měření (výsledek je korigovaný)	při výsledku měření jako hranice chyby ±u (nejistota výsledku)
Skládání chyb při dalším zpracování výsledku měření	
lineární skládání chyb	kvadratické skládání chyb
Eliminace nebo zmenšení	
odstranění nebo automatická korekce měření	potlačení příčin nebo vícekrát opakované měření (střední hodnota)

1.3 Etapy měření

Měření je realizováno ve 4 etapách[16]:

1. návrh měření
2. provedení (realizace) měření
3. zpracování naměřených hodnot (experimentálních dat)
4. interpretace (sdělení) výsledků

Celkový výsledek měření je závislý na kvalitě jednotlivých etap, která je ovlivněna mnoha faktory, jako např.:

Návrh měření

- druhem přístroje, jeho přesností
- počtem opakování měření
- podmínkami měření, jako je odběr vzorků, klimatickými podmínkami, upínací délkou
- atd.

Provedení měření

- poučeností, vzděláním, svědomitostí obsluhy
- osvětlením, tepelnou pohodou, atd.
- úhlem pohledu (odečítáním) na stupnici
- atd.

Zpracování dat

- statistickými metodami zpracování dat
- přesností výpočtů
- zaokrouhlováním
- atd.

Interpretace výsledků

- úrovní hodnocení shodnosti výsledků měření s dohodou (normou)
- srovnatelností jednotek
- atd.

Nehomogenost materiálu, chyby měření, kolísání měřících elementů (proměnlivost s teplotou, napětím v síti, atd.) jsou příčinami odchylek od správné hodnoty, tzn. chyb měření.

Správnost přístroje udává průměrnou odlehlost (vzdálenost) výsledků měření od skutečné hodnoty. Souvisí se systematickými chybami. Odpovídá odchýlení měření od teoretické hodnoty. Nelze ji odhadnout, je nutno ji stanovit s využitím standardů nebo měřením na více přístrojích. Pro úplnost definujme ještě pojem citlivost měřicího přístroje. Je to schopnost reagovat za stanovených podmínek na požadovanou změnu hodnoty měřené vstupní veličiny.
Vyjadřuje se jako podíl změny přístrojového údaje (výstupní veličiny) k požadované změně měřené (vstupní) veličiny, která změnu údaje vyvolává. Na přístrojích s ručkovým ukazatelem je to velikost dílku stupnice, který odpovídá velikosti změny měřené veličiny, u digitálních přístrojů je to počet desetinných míst, s jakým je hodnota měřené veličiny udávána

1.4 Statistická interpretace výsledků měření

Výsledky zkoušek se vyjadřují hodnotami měření spojitého charakteru. Rozdělení pravděpodobnosti uvažovaným jako matematický model pro celý soubor je normální rozdělení, jehož parametry, průměr m a směrodatná odchylka σ, jsou neznámé. Předpoklad normality splňuje velmi široký okruh problémů: rozdělení výsledků získaných za zkušebních podmínek je obecně normální nebo blízké normálním rozdělení. Může však být užitečné zkontrolovat platnost předpokladu normality pomocí vhodných metod.[15]
Výpočty se mohou zjednodušit změnou počátku nebo jednotky, v níž jsou udávány výsledky zkoušek, ale je nebezpečné tyto výsledky zaokrouhlovat.
Není dovoleno vypustit žádná pozorování nebo jakkoliv upravovat zřejmě problematická pozorování, aniž by byly tyto úpravy zdůvodněny podloženými experimentálními, technickými nebo jinými argumenty, které musí být jasně formulovány. Zkušební metoda může podléhat systematickým chybám, jejich

určení se zde nebere v úvahu. Je však třeba poznamenat, že existence takových chyb může metody, které následují, znehodnocovat. Zejména, existuje-li dosud neznámá strannost, zvýšení rozsahu výběru n nemá vliv na tuto strannost.

Odhad průměru[17]

Po vypuštění všech problematických výsledků obsahuje řada n měření x_i (kde i=1, 2, 3, …, n), z nichž některé mohou mít stejnou hodnotu. Průměr μ uvažovaného normálního rozdělení se odhadne pomocí aritmetického průměru $\bar{x}$ z n výsledků

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1.11)$$

Konfidenční interval pro průměr souboru

Konfidenční interval pro průměr souboru se vypočte z odhadů průměru a směrodatné odchylky.

Odhad směrodatné odchylky souboru[9]

Odhad směrodatné odchylky souboru σ vypočtený ze čtverců odchylek od aritmetického průměru je dán vzorcem:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad (1.12)$$

x_i ….hodnota i-tého měření (i= 1, 2, 3, …, n)

n ….celkový počet měření

$\bar{x}$ ….aritmetický průměr n měření vypočtený podle vzorce (1.11)

Konfidenční interval pro průměr souboru

Pro zvolenou konfidenční úroveň (95% nebo 99%) se musí v konkrétním případě určit dvoustranný nebo jednostranný konfidenční interval.

Dvoustranný konfidenční interval

Dvoustranný konfidenční interval pro průměr souboru je určen následující oboustrannou nerovností

a) pro konfidenční úroveň 95%:

$$\bar{x} - \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} s < \mu < \bar{x} + \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} s \tag{1.13}$$

b) pro konfidenční úroveň 99%:

$$\bar{x} - \frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}} s < \mu < \bar{x} + \frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}} s \tag{1.14}$$

Jednostranný konfidenční interval

Jednostranný konfidenční interval pro průměr souboru je určen první nebo druhou z následujících nerovností:

a) pro konfidenční úroveň 95%:

$$\mu < \bar{x} + \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} s \tag{1.15}$$

nebo

$$\mu > \bar{x} - \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} s \tag{1.16}$$

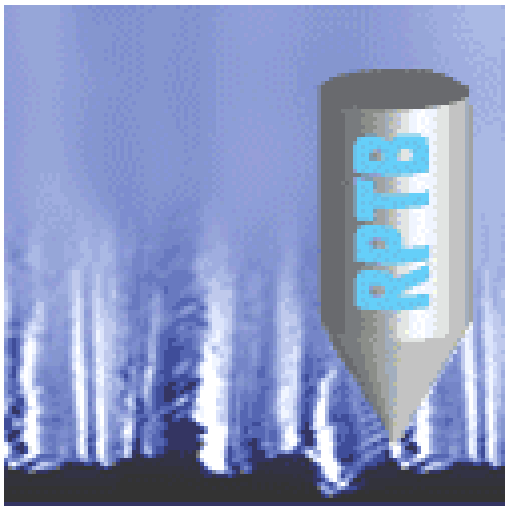
b) pro konfidenční úroveň 99%:

$$\mu < \bar{x} - \frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}} s \tag{1.17}$$

nebo

$$\mu > \bar{x} - \frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}} s \tag{1.18}$$

2 MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU DOTYKOVÝMI PŘÍSTROJI

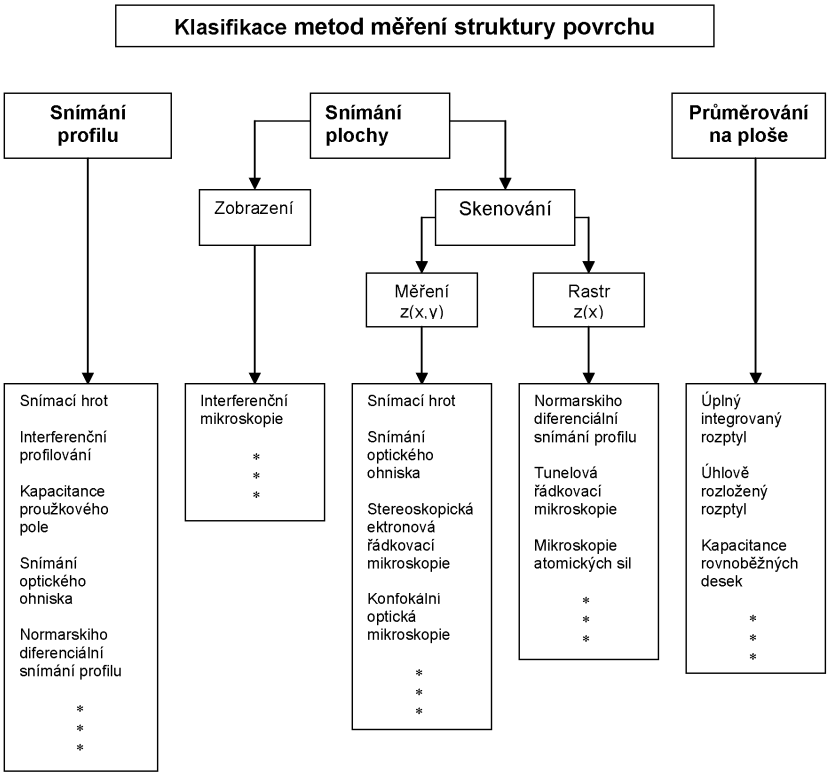


Obr. 2.1. Měření struktury povrchu dotykovými přístroji[18]

Přístroje pro měření struktury mohou být rozděleny do tří základních tříd:

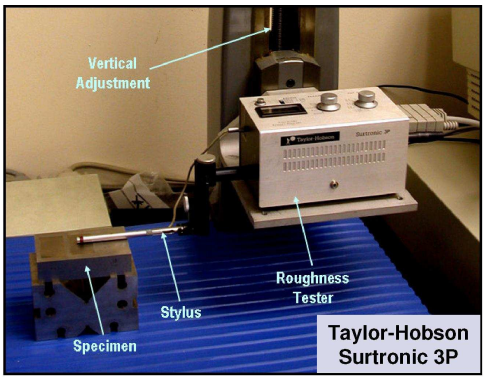
- profilové metody
- plošné profilové metody
- plošné průměrovací metody

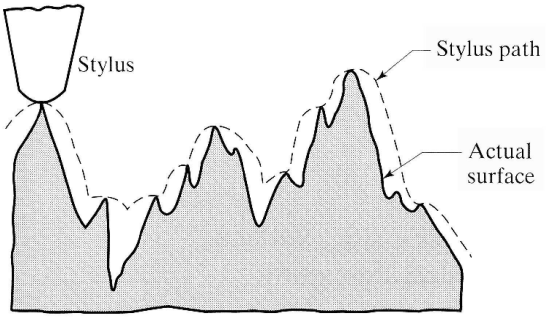
Tab.2.1. Klasifikace metod měření struktury povrchu[10]



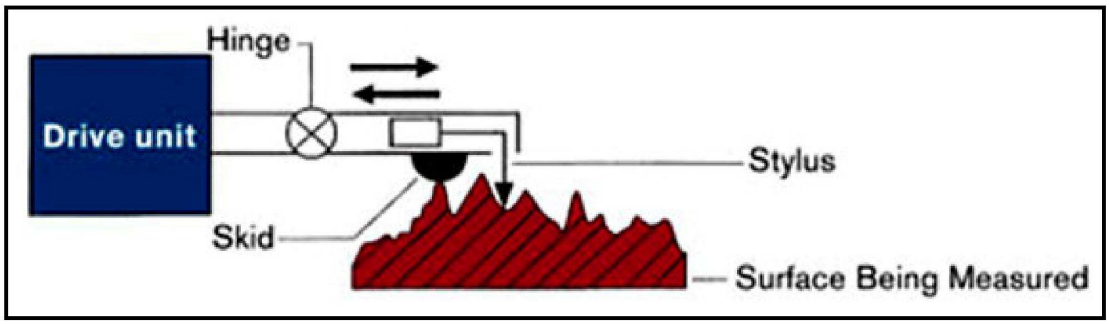
Metoda dotyková – nejdokonalejší,využívá diamantového hrotu,který se v daném směru posouvá po povrchu a umožňuje získat informace o jeho profilu.

Realizaci metody zabezpečuje dotykový profilometr,který se skládá z mechanické a elektronické části.

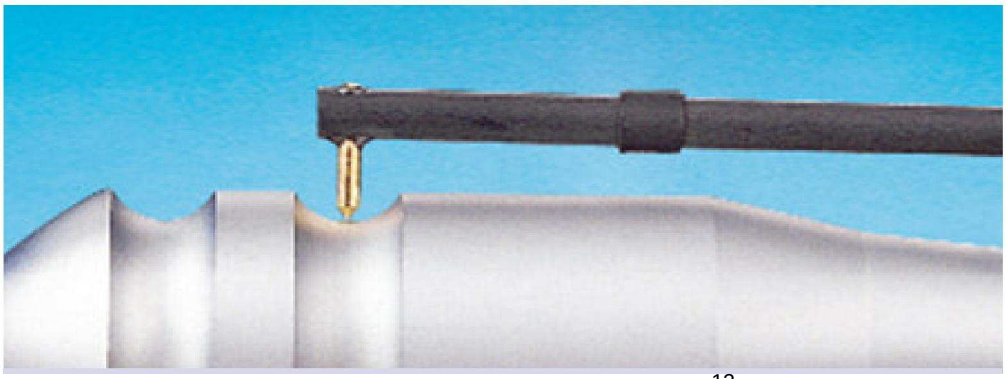




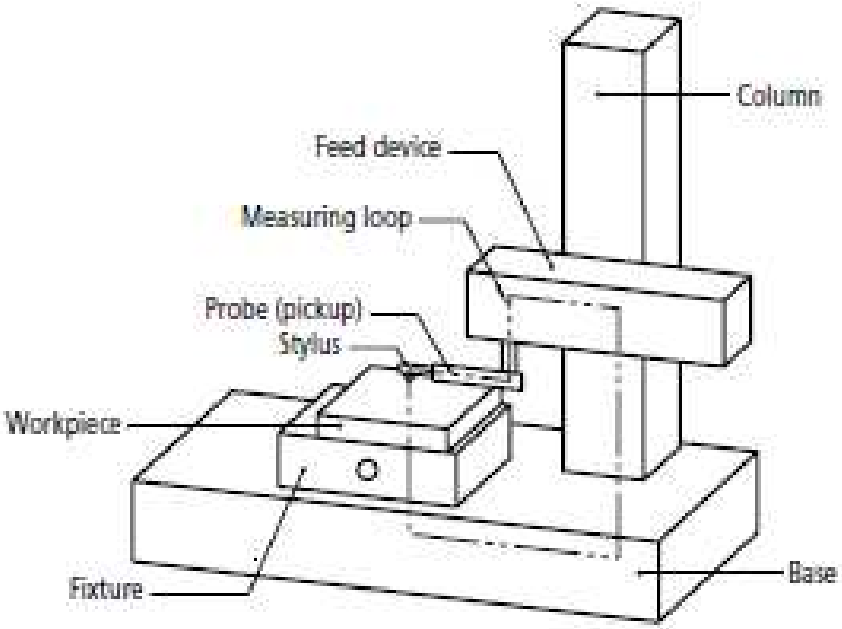
Obr. 2.2 Měření povrchu[12]



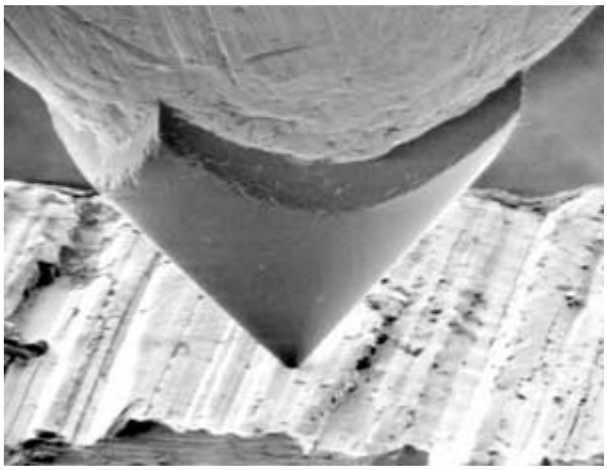
Obr.2.3 Schéma profilometru[12]



Obr. 2.4 Praktické měření[12]

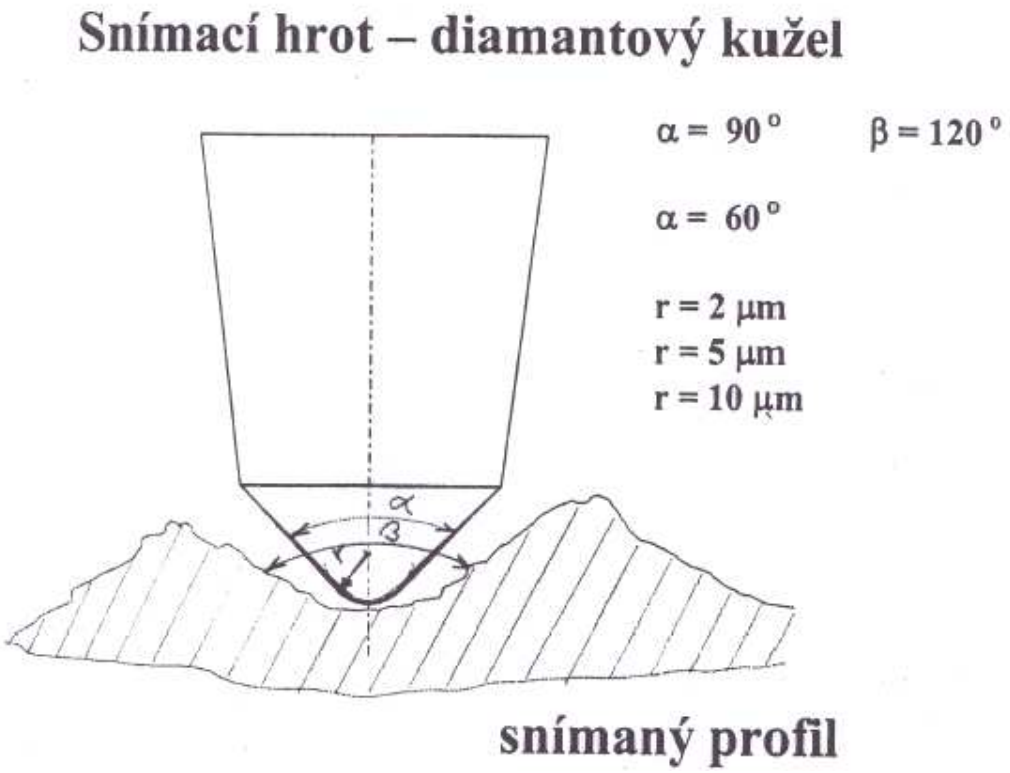


Obr. 2.5 Měřící smyčka dotykového profilometru[19]



Obr. 2.6 Záznam rastrovacího elektronového mikroskopu[18]

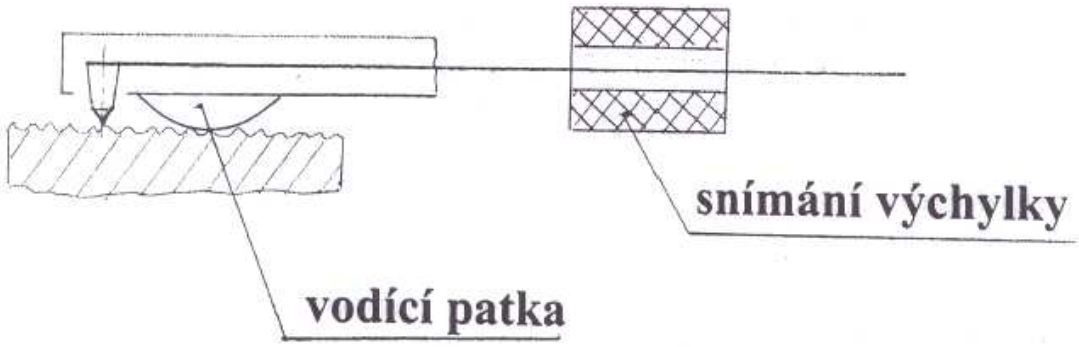
Dotykové přístroje



Obr. 2.7. Diamantový kužel dotykového přístroje

Přístroje dílenské

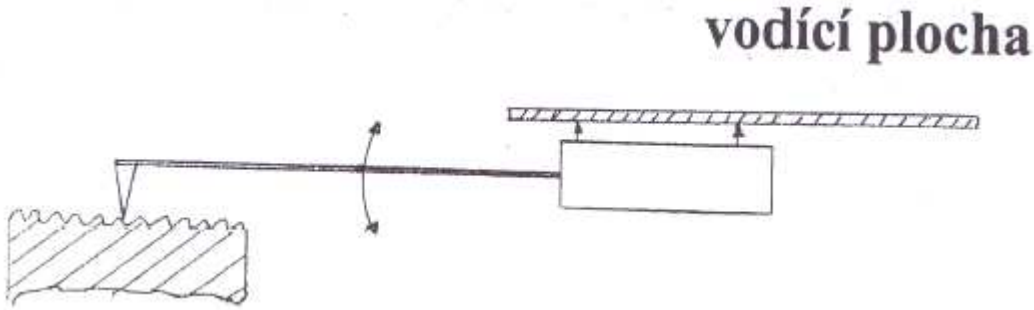
Relativní snímače s vodící patkou (mechanické filtrování) vyhodnocují pouze parametry z profilu drsnosti



Obr. 2.8. Snímač s vodicí patkou

Přístroje laboratorní

Snímače absolutní – vyhodnocují parametry z profilu drsnosti i vlnitosti



Obr. 2.9. Snímač absolutní

Základní podmínky měření:

- velikost měřených nerovností musí být přiměřená měřícímu rozsahu snímače (vertikální zdvih), nerovnosti přesahující svoji velikostí maximální hodnotu vertikálního zdvihu nelze měřit!
- nastavená hodnota snímané délky by měla zahrnovat pětinásobek základní délky plus dráhu rozběhu a doběhu snímače, není-li možno tento požadavek splnit (např. z důvodu velikosti měřené plochy), je nutno počítat s tím, že výsledek měření bude nesplněním požadavku ovlivněn)
- měřený objekt musí být možno upnout, prostorově orientovat a snímač vhodně

umístit na měřený povrch, k tomu je potřeba zvolit příslušný tvar snímače s ohledem na jeho průměr, délku, možnost dosažení dna drážky, možnost měření na zaoblení. Musí být nastaveny odpovídající pracovní podmínky:

- měřící rozsah
- snímaná délka
- typ filtru
- základní délka (cut-off) filtru

Při kontrole povrchů z dosud neznámou hodnotou drsnosti povrchu je nutno předem zvolit vhodnou základní délku podle odhadu drsnosti (podle zkušenosti nebo srovnáním se vzorkem) a při opakovaném měření volbu upřesnit.

Kalibrace profilometrů se provádí pomocí hmotných etalonů.

3 NÁVRH METODIKY VYHODNOCOVÁNÍ JAKOSTI POVRCHU

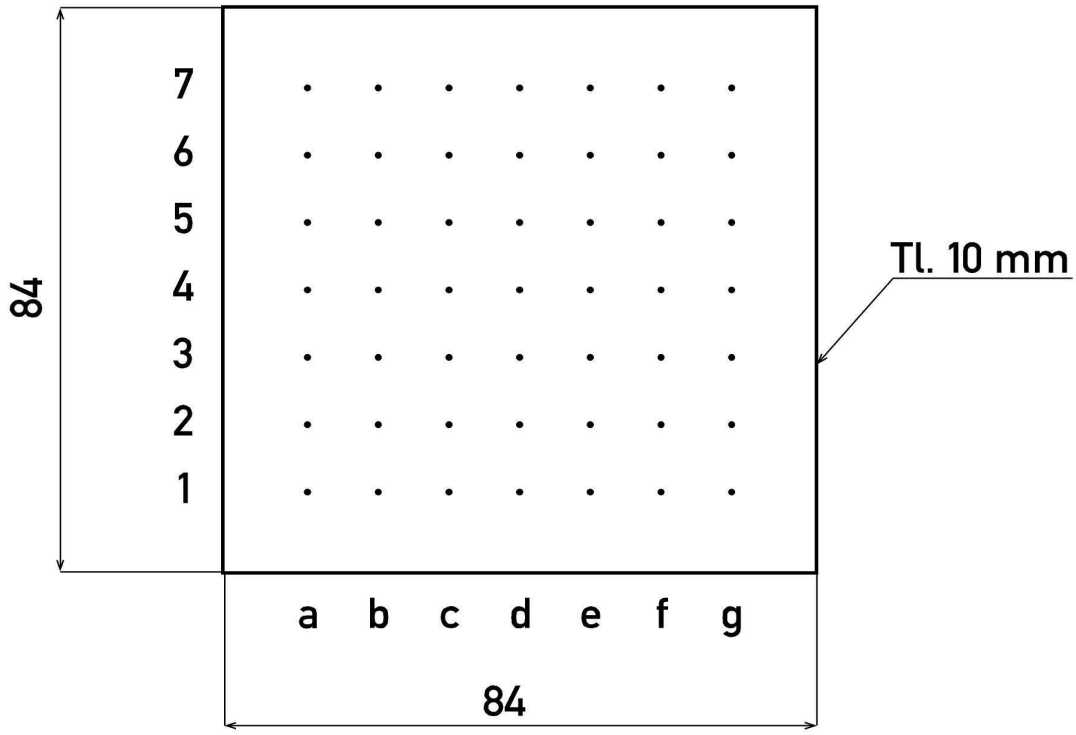
Na dané ploše 84 x 84 mm, jejíž kvalita drsnosti povrchu byla zcela homogenní se provedlo celkem 7 x 7 = 49 měření dotykovým přístrojem Perthometer. Jednotlivé profily byly snímány kolmo na stopy nástroje, tedy ve směru nejvyšších hodnot vyhodnocovaných parametrů.

Dřívější práce na Ústavu strojírenské technologie prokázaly, že vyhodnocení reprezentativní hodnoty parametru drsnosti povrchu z bodových odhadů střední hodnoty a směrodatné odchylky jsou dostatečně přesné.

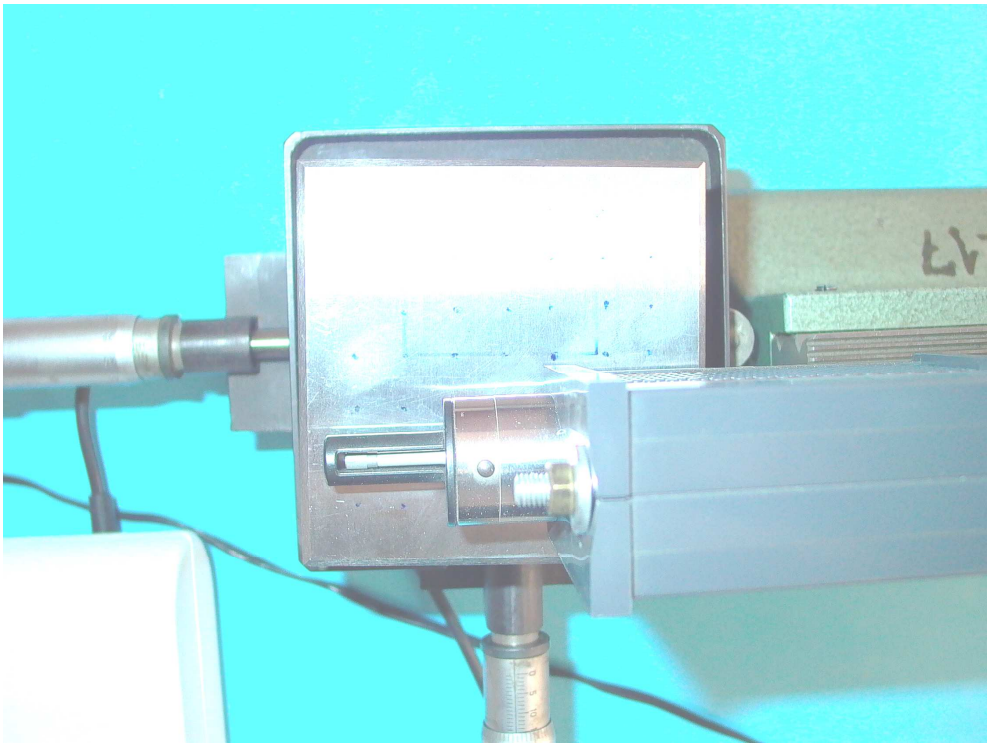
$$R_R = \bar{x} + s \tag{3.1}$$

Měřená místa jsou rovnoměrně rozmístěna po celé ploše. Pro běžnou kontrolu drsnosti funkční plochy je tento počet měření značně vysoký. Proto byly z naměřených hodnot vybrány kombinace 2, 4, 8, 10 ,12 , 20, 28, 36, 44 ….míst tak, aby jejich vzdálenosti byly zhruba stejné. Pro zvýšení věrohodnosti výsledku se pro každý počet vyhodnocení provedly 3 varianty měření a výsledná reprezentativní hodnota byla vypočítaná jako aritmetický průměr z těchto variant. Na základě těchto výsledků byl sestaven graf závislosti chyb těchto výsledků na počtu měření.

Měřený vzorek – destička 84 x 84 mm, tl.10 mm,materiál 12 050, povrch nekalený, jemně broušený na plocho



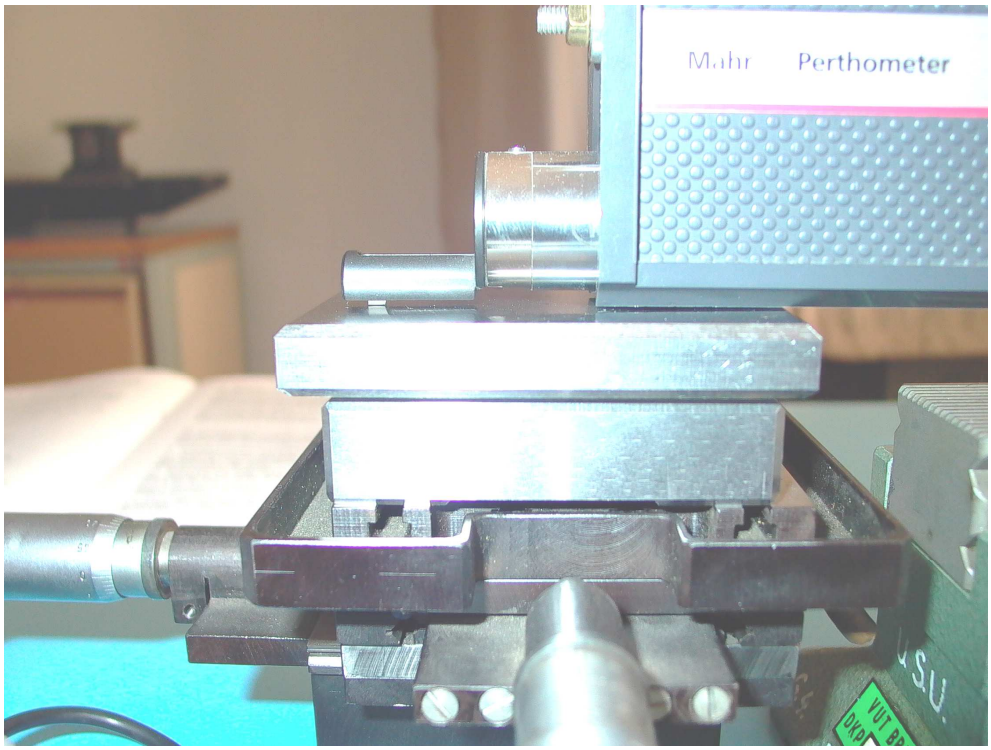
Obrázek. 3.1. Schéma měření na vzorku



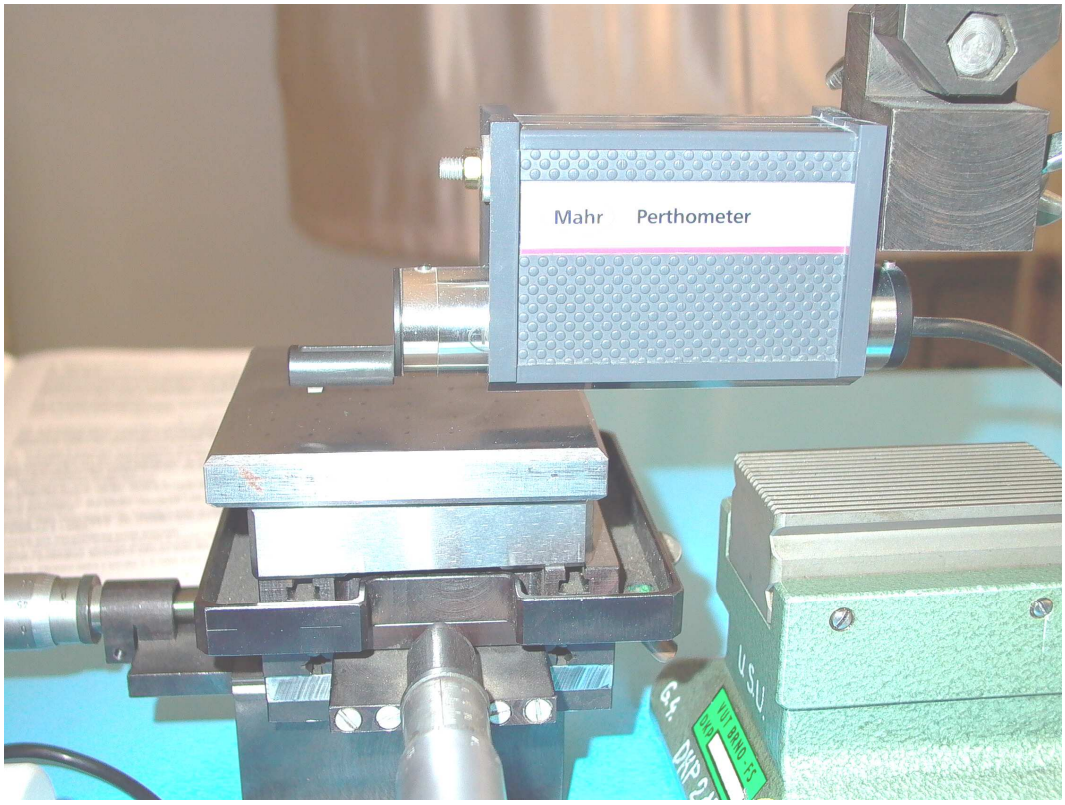
Obr. 3.2 Měřený vzorek

Obr. 3.3 Schéma měřícího zařízení

Obr. 3.4 Kalibrační měrka PGN – 3 Nr:10780



Obr. 3.5 Měření povrchu snímačem



Obr. 3.6 Měřící přístroj - Perthometer M2

Vyhodnocovaná délka ln = 5 x 0,8 = 4 mm

délkou cut-off λ_c = 0,8 mm

Celková délka pojezdu: (5+2) x 0,8 = 5,6 mm

Počet měření : 49

Měřící přístroj - Perthometer M2 s posuvovým přístrojem PFM

Snímač – NHT 6-100 s patkou, při měření se opírá kluznou patkou o povrch obrobku. Posuvový přístroj je uchycen v držáku.

Naměřené hodnoty

Ra- průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [µm]

Rz - největší výška profilu [µm]

Tab. 3.1. Naměřené hodnoty Ra,Rz

		[µm]						
Měřené body		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
A	**Ra**	0,774	0,651	0,86	0,648	0,698	0,858	0,758
	Rz	4,18	3,69	4,98	4,31	4,51	4,74	4,4
B	**Ra**	0,613	0,625	0,605	0,66	0,638	0,627	0,581
	Rz	3,67	3,48	3,66	4,58	3,79	3,49	3,21
C	**Ra**	0,587	0,725	0,644	0,709	0,687	0,667	0,675
	Rz	3,55	4,21	3,81	3,92	3,93	4,58	3,90
D	**Ra**	0,74	0,718	0,619	0,618	0,721	0,681	0,602
	Rz	4,38	4,24	3,91	3,92	4,25	4,14	3,61
E	**Ra**	0,634	0,697	0,713	0,619	0,756	0,704	0,66
	Rz	3,78	3,90	4,39	3,59	4,22	4,03	3,70
F	**Ra**	0,737	0,649	0,659	0,793	0,767	0,805	0,682
	Rz	4,46	3,52	4,32	4,39	4,34	4,46	3,94
G	**Ra**	0,613	0,691	0,842	0,808	0,767	0,832	0,620
	Rz	3,56	4,03	4,68	4,91	4,36	4,79	3,77

Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_i x_i \tag{3.2}$$

Směrodatná odchylka jednoho měření:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \tag{3.3}$$

$\bar{x}$ …aritmetický průměr uvažovaných n výsledků

x_i … výsledek i-tého měření

$\bar{x}$ + s pro n< 50

R_{aR} = reprezentativní hodnota parametru

$$R_{aR} = \mu + \delta = \bar{x} + s \tag{3.4}$$

Vypočítané hodnoty

$$\Delta = \frac{Ra_R(n) - Ra_R(n=49)}{Ra_R(n)}.100\,[\%] \tag{3.5}$$

$R_{aR\,(n = 49)}$ = 1,527

n= 2

1. $\sum x_i$ = 1,641

   $\bar{x}$ = 0,820

   s = 0,905

   $R_{aR(2)}1$ = 1,726

2. $\sum x_i$ = 1,579

   $\bar{x}$ = 0,789

   s = 0,888

   $R_{aR(2)}2$ = 1,67

3. $\sum x_i$ = 1,656

$\bar{x}$ = 0,828

s = 0,909

$R_{aR(2)}3$ = 1,737

$\bar{x} = \frac{1}{3} \sum R_{aR(2)}$ celk.= $\frac{1}{3} \sum R_{aR(2)}1 + R_{aR(2)}2 + R_{aR(2)}3$ = **1,711**

Δ = 19 [%]

n = 4

Δ = 8,8 [%]

n = 8

Δ = 2,5 [%]

n = 10

Δ = 1,2 [%]

n = 12

Δ = 0,9 [%]

n = 20

Δ = 0,7 [%]

n = 28

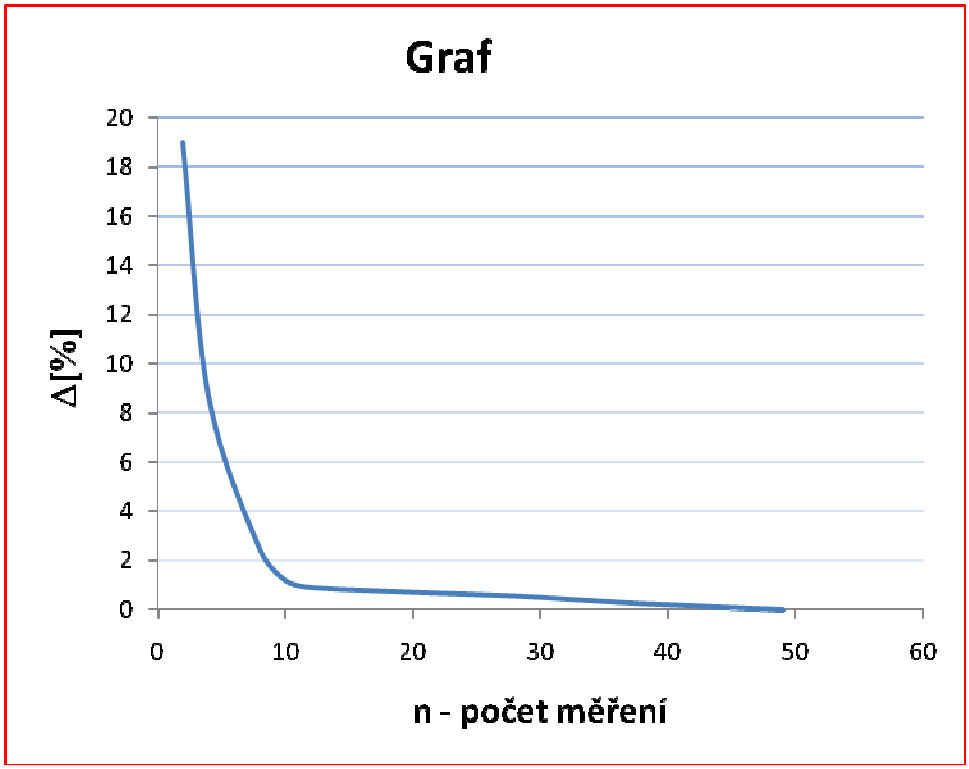
Δ = 0,55 [%]

n = 36

Δ = 0,3 [%]

n = 44

Δ = 0,2 [%]



Graf 3.1 Závislost relativní chyby měření na počtu měření

4 ZÁVĚR

Zadáním a předmětem této diplomové práce bylo určení tzv. reprezentativní hodnoty měřených parametrů struktury povrchu.

Rozsah a výsledky práce jsou v následujících bodech:

- Podle disertační práce[1] bylo zjištěno, že 50 měření je dostačující k získání věrohodných výsledků reprezentativních hodnot parametrů drsnosti povrchu
- V rámci zpracování diplomové práce byly naměřeny dva základní parametry struktury povrchu z drsnosti profilu a to Ra a Rz.
- Maximální počet měření (49) byl proveden s rovnoměrnými rozestupy
- Z naměřených výsledků byly postupně vybírány počty 2, 4, 8, 10, 12, 20, 28, 36, 44, 49, každý počet byl vyhodnocen 3x, výsledkem je aritmetický průměr z těchto 3 výběrů.
- Byla zpracována závislost relativní chyby měření na velikosti výběru. Výsledkem je udán v grafu č. 4.1, který byl upraven do plynulého tvaru odhadem.

Pro získání větší věrohodnosti těchto závěrů by bylo zapotřebí velkého počtu zkoušek. Nicméně z grafu jasně vyplývá, že při počtu měření menších než 10 je výsledek zatížen chybou až 20% na jedné ploše, u počtu měření větších než 10 je věrohodnost výsledku pro praktické přejímání jakosti povrchu plně dostačující.

Deset měření na jedné ploše zabere poměrně dosti času, ale výsledek přejímky je zcela věrohodný. Při seřízeném regulovaném procesu obrábění není potřeba kontrolovat každý kus, takže náklady na kontrolu mohou být přijatelné.

Způsob kontroly je nutno předem dohodnout mezi dodavatelem - odběratelem a uvést jej do hospodářské smlouvy.

V současné době je dosti časté, že odběratel reklamuje nedostatečnou kvalitu funkčních ploch, protože dodavatel není schopen prokázat dostatečnou spolehlivost reprezentativní hodnoty daného parametru struktury povrchu. Na základě velkého počtu experimentů prováděných na Ústavu strojírenské technologie je totiž rozptýlení hodnot parametrů struktury povrchu na ploše ± 30 % i více.

Použití metodiky navržené a ověřené metodiky v této diplomové práci může přispět k jednoznačným závěrům přejímacích kontrol jakosti funkčních ploch a tím předcházet jakýmkoliv nedorozuměním

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JAROŠOVÁ, J., Matematicko-statistický model optimalizace procesu měření a vyhodnocování drsnosti obrobené plochy /Brno : VUT FSI, 2002. 100 s., disertační práce

2. ČECH, J., PERNIKÁŘ, J. a JANÍČEK, L. Strojírenská metrologie. 1. Vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 189s. ISBN 80-214-2252-1

3. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. a VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie Část : Metrologie. 11 vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001.151s. ISBN 80-214-1997-0

4. KRSEK, A.,OSANNA, P.H., KURIC, I. a PROSTREDNÍK, D. Strojárska metrológia a riadenie kvality.1 vyd. Bratislava: Vydavatelstvo STU, 1998. 290s. ISBN 80-227-1025-3

5. ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu, 1999 (014450)

6. 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)

7. 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 odporu, 1999 (014446)

8. ČSN EN ISO 4288: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu, 1999 (014449)

9. ČSN EN ISO 8785: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Nedokonalosti povrchu – Termíny, definice a parametry. 2000

10. Normalizace struktury povrchu, současný stav a trendy vývoje , doc. Ing. Miroslav Tykal, CSc..Dostupné na World Wide Web: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/41_Tykal_TNK7.pdf

11. Glossary of Surface Texture Parameters.Dostupné na World Wide Web: http://www.michmet.com/surface_metrology_glossary.htm

12. ME 472 – Engineering Metrology and Quality Control, Dr. A. Tolga Bozdana. Dostupné na World Wide Web: http://www1.gantep.edu.tr/~bozdana/ME472_8.pdf

13. Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. Dostupné na World Web: http://www.hommel-etamic.cz/cz/techinfo_01.htm

14. BS EN ISO 13565-1-1998 geometrické specifikace. Dostupné na World Wide Web:http://www.docin.com/p-21918550.html

15. ČSN ISO 2602 Statistická interpretace výsledků zkoušek

16. Měření. Dostupné na World Wide Web:skripta.ft.tul.cz/data/2006-03-22/11-09-53.pdf

17. CHUDÝ, V.,PALENČÁR,R.,KUREKOVÁ,E.,HALAJ,M., Maranie technických veličín , Vydavatelstvo STU v Bratislave, 1999. 688 s., ISBN 80-227-1275-2

18. Physikalisch – Technische Bundesanstalt (PTB) Profilmethod.htm Dostupné na World Wide Web: http://www.ptb.de/index_en.html

19. QuickGuide Surftest, Dostupné na World Wide Web:
http://www.mitutoyo.co.jp/eng/products/menu/QuickGuide_Surftest.pdf

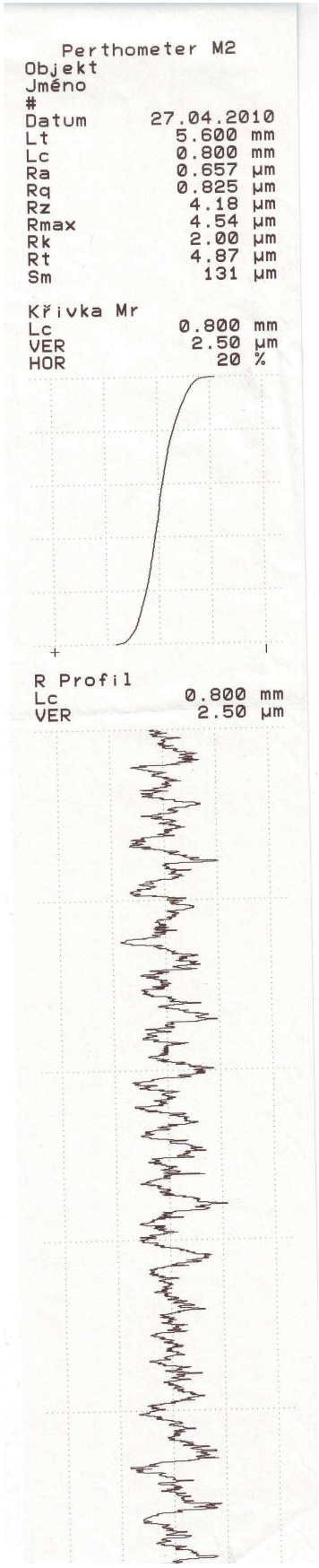
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
Pa, Ra, Wa	[mm]	průměrná aritmetická úchylka
Pz, Rz, Wz	[mm]	největší výška profilu
lp, lr, lw	[mm]	základní délka
ln	[mm]	vyhodnocovaná délka
n	[-]	počet měření
n_i	[-]	četnost v i-té třídě
δ	[mm]	největší dovolená chyba měřidla
Δ	[%]	absolutní chyba měření
Pc, Rc, Wc	[mm]	průměrná výška prvků profilu
Pt, Rt, Wt	[mm]	celková výška profilu
Pq, Rq, Wq	[mm]	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
PSm, RSm, WSm	[µm]	průměrná šířka prvků profilu
PΔq, RΔq, WΔq	[mm]	průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c)	[mm]	materiálový poměr profilu (nosný podíl),
λ_c	[mm]	mezní vlnová délka
xm	[mm]	změřená hodnota měřené veličiny
s	[mm]	rozptyl výsledků
xp	[mm]	konvenčně pravá hodnota měřené veličiny
Δ_r	[mm]	relativní chyba
$\bar{x}$	[mm]	aritmetický průměr uvažovaných n výsledků
s	[mm]	rozptyl výsledků
R_{aR}	[mm]	reprezentativní hodnota parametru
$t_{0,95}$	[-]	hodnoty Studentova t-rozdělení
$t_{0,975}$	[-]	hodnoty Studentova t-rozdělení
$t_{0,99}$	[-]	hodnoty Studentova t-rozdělení
$t_{0,995}$	[-]	hodnoty Studentova t-rozdělení
µ	[mm]	střední hodnota základního souboru

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Graf průběhu měření na Perthometeru M2
Příloha 2 Graf průběhu měření na Perthometeru M2

Příloha 1



Perthometer M2

Objekt	
Jméno	
#	
Datum	27.04.2010
Lt	5.600 mm
Lc	0.800 mm
Ra	0.657 µm
Rq	0.825 µm
Rz	4.18 µm
Rmax	4.54 µm
Rk	2.00 µm
Rt	4.87 µm
Sm	131 µm

Křivka Mr

Lc	0.800 mm
VER	2.50 µm
HOR	20 %

R Profil

Lc	0.800 mm
VER	2.50 µm

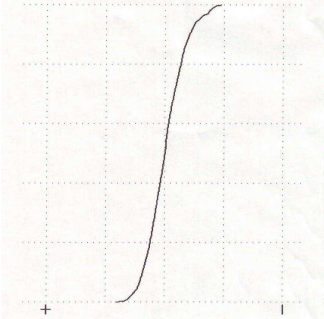
Příloha 2

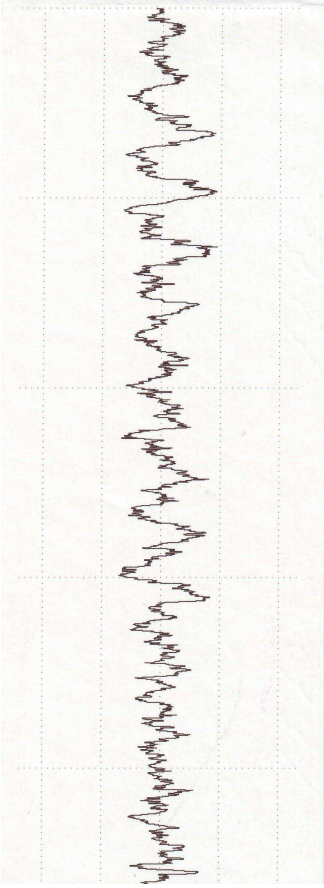
Perthometer M2

Objekt	
Jméno	
#	
Datum	27.04.2010
Lt	5.600 mm
Lc	0.800 mm
Ra	0.620 µm
Rq	0.778 µm
Rz	3.77 µm
Rmax	4.00 µm
Rk	1.86 µm
Rt	4.42 µm
Sm	126 µm

Křivka Mr

Lc	0.800 mm
VER	2.50 µm
HOR	20 %



R Profil

Lc	0.800 mm
VER	2.50 µm