

NÁVODY K LABORATORNÍM ÚLOHÁM

Laboratorní práce č. 1:

Stanovení aritmetických středních výšek P_a , R_a , W_a u křivek profilu, drsnosti a vlnitosti lomových povrchů

Laboratorní práce č. 2:

Stanovení parametrů nesouměrnosti P_{sk} , R_{sk} a W_{sk} u křivek profilu, drsnosti a vlnitosti lomových povrchů

Laboratorní práce č. 3:

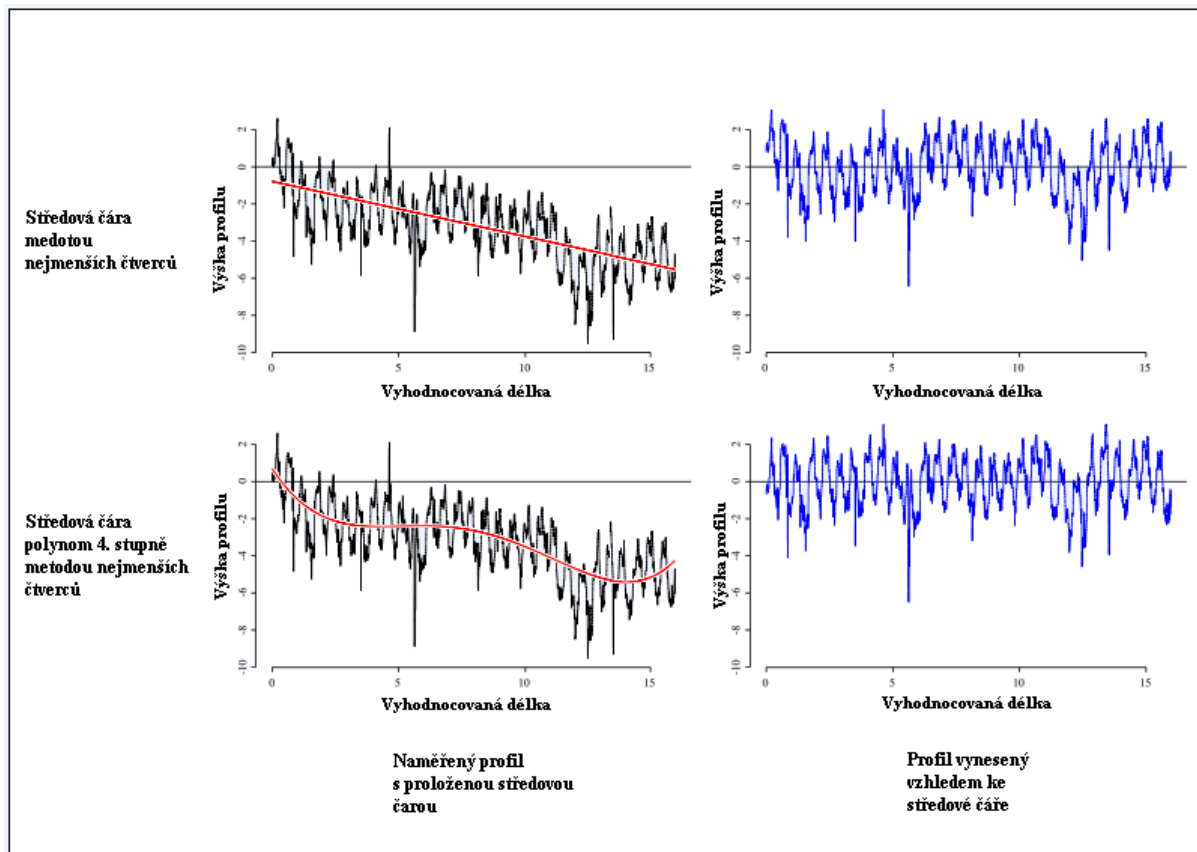
Stanovení kvadratických sklonů $P_{\Delta q}$, $R_{\Delta q}$ a $W_{\Delta q}$ u křivek profilu, drsnosti a vlnitosti lomových povrchů

Společná část:

V dřívějších dobách se drsnost materiálu posuzovala zkusmo pohmatem. Později, když byly k dispozici mechanické profiloměry se hodnoty vynášely do grafů a zkušený technik rozhodl, jaká data ignorovat a kudy vést středovou čáru vneseným profilem. V dnešní době se profilová data zpracovávají statistickými a topografickými metodami na počítačích.

Prvním krokem po digitalizaci profilových dat je filtrace šumu. Odstraňují se velmi vysoké frekvence (krátké vlnové délky), které jsou obvykle do měření zavlečeny různými artefakty používané techniky. U mikroskopických snímků to jsou velmi ostré hroty na povrchovém reliéfu, které je třeba „vyhladit“ vhodným filtrem. Tak dostaneme upravená („surová“) vstupní data, se dále zpracovávají.

Dalším krokem je vytvoření *primárního profilu*, který se získá jako sekvence odchylek od středové čáry profilu. Osazení středové čáry se získá lineárním nebo polynomickým proložením dat pomocí metody nejmenších čtverců – viz obr. 1.. Odchyly od středové čáry vytvářejí primární profil, ze kterého se získávají profilové *parametry P*.



Obr. 1 Osazení středové čáry profilu.

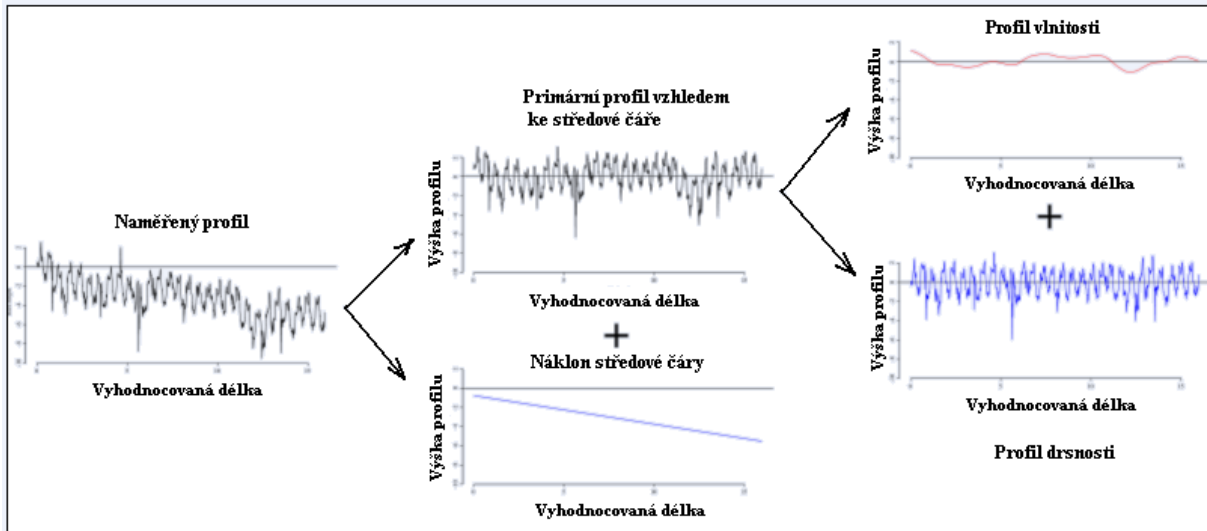
Jakmile je stanoven primární profil, mohou se z něj získat filtrační profily drsnosti a vlnitosti:

- **Profil drsnosti** se získá použitím filtru, který odstraňuje z primárního profilu dlouhovlnnou složku a zanechává krátkovlnnou (vyšší frekvence) – viz obr. 2. Z profilu drsnosti se získávají **parametry R** .
- **Profil vlnitosti** se obdrží z primárního profilu filtrací krátkovlnné složky, přičemž zůstává dlouhovlnná složka (nízké frekvence) – viz obr. 2. Z profilu vlnitosti se získají **parametry W** .

Hraniční hodnota mezi krátkovlnnou a dlouhovlnnou složkou primárního profilu, tj. hranice mezi oblastmi drsnosti a vlnitosti, se označuje λ_C a uživatel konfokálního mikroskopu Olympus Lext 3100 má možnost tuto hodnotu nastavovat, a to jako podíl z vyhodnocované délky l_n profilu, tzn. $1/3 l_n$, $1/5 l_n$, $1/10 l_n$, $1/20 l_n$, $1/50 l_n$.

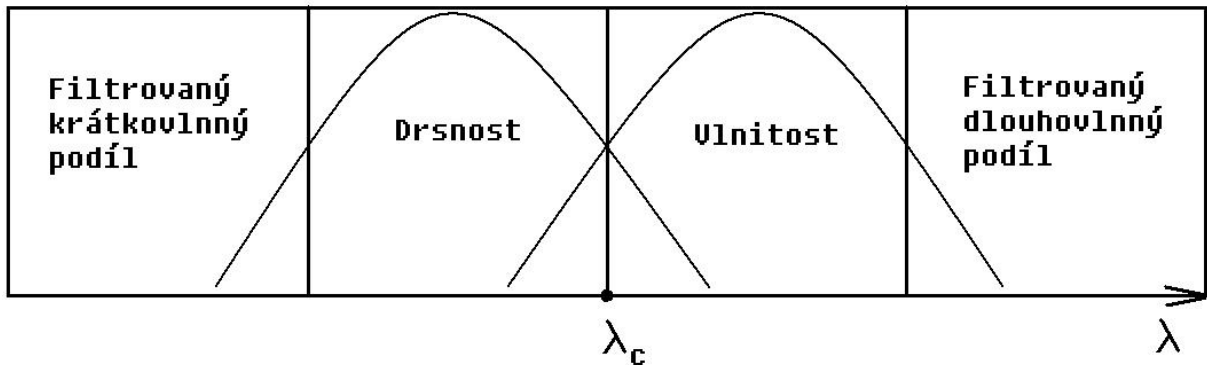
Významy a definice některých existujících parametrů P , R a W jsou uvedeny v příloze B k tomuto návodu. Jak bylo již vysvětleno, jde o charakteristiky svíslého řezu povrchovou plochou, tj. křivky profilu a z něho odvozených křivek drsnosti a vlnitosti.

Kromě parametrů profilu, drsnosti a vlnitosti (P , R , W), které se vztahují ke *křivkám*, existují také parametry, které se vztahují k plošné drsnosti, tj. přímo k povrchovému reliéfu, který představuje plochu ve trojrozměrném prostoru, tj. funkci $z(x,y)$. Tyto parametry se označují S a některé z nich jsou opět vysvětleny v příloze.



Obr. 2 Filtrování primárního profilu - vznik profilů drsnosti a vlnitosti.

Pokud jde o praktické použití hodnot křivkových parametrů P , R a W , lze říci, že každý z nich byl zaveden z určité potřeby praxe, zejména strojírenské, a to k posuzování vhodnosti či nevhodnosti povrchů obroběných materiálů ke konkrétním účelům – např. tření v ložiscích, rovinatost čelistí mechanických měřidel, obrobky pro přesné formy atd. Uveďme příklad: *povrchy s velkými hodnotami parametru R_a nebo s kladnou hodnotou R_{sk} se vyznačují velkými třecími silami a rychle se opotřebovávají. Má-li profil drsnosti hlubší prolákliny, pak je vhodný pro udržení maziva na třecích plochách apod.*



Obr. 3 Oblasti drsnosti a vlnitosti

Topografická analýza povrchů je důležitá zejména ve strojírenství, jak bylo již zmíněno, avšak i ve stavebnictví má své důležité místo např. z hlediska přilnavosti barev k povrchu materiálu nebo v případě protiskluzových úprav nášlapných ploch; také drsnost vozovek je jeden z ukazatelů technické kvality. Ve stavebnictví jde však o drsnost většího řádu ve srovnání s drsností posuzovanou ve strojírenství.

Formulace úkolů:

- 1) Seznamte se s návodem pro obsluhu konfokálního mikroskopu Olympus Lext 3100, který je uveden v samostatném souboru na webu Ústavu fyziky FAST VUT pod názvem „Návod pro obsluhu - Lext 3100“.
- 2) Seznamte se s definicemi a významy parametrů P , R a W v příloze B tohoto návodu.
- 3) Na konfokálním mikroskopu nasnímejte větší soubor z-tových optických řezů lomového povrchu vzorku hydratované cementové pasty a softwarově zrekonstruujte trojrozměrný reliéf tohoto povrchu – postup je podrobně vysvětlen v „Návodu pro obsluhu. – Lext 3100“.
- 4) Proveďte topografickou analýzu reliéfu a stanovte střední hodnoty těchto parametrů P , R a W , které jsou specifikovány v názvu laboratorní práce, která vám byla přidělena. Určete také *absolutní pravděpodobnou chybu* ν všech aritmetických průměrů včetně jejich relativních chyb. (Nápověda: použitý software počítá *výběrovou směrodatnou odchylku* Sigma (σ_{n-1}), ze které se snadno vypočítá *absolutní pravděpodobná chyba*

$$\nu = \frac{2}{3} \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}, \quad n \text{ je počet měření.}$$

- 5) Diskutujte, jak se vzájemně tyto hodnoty liší a co to znamená z hlediska profilů, kterým náležejí. Zaměřte se zejména na parametry uvedené v názvu vaší laboratorní úlohy:
 - U parametrů středních výšek se zaměřte na stupeň náchylnosti k opotřebenosti a event. Na schopnost udržet mastné nečistoty, které mohou zhoršovat protiskluzové vlastnosti povrchu.
 - U parametrů nesouměrnosti uveďte (načrtněte) na jakou stranu vzorku jsou orientovány ostré špičky reliéfu.
 - U parametrů sklonu uveďte také odpovídající hodnoty v úhlových stupních.
- 6) Co by bylo možno říci o kvalitách zkoumaného povrchu vzorku z hlediska tření ?
- 7) Jde o hodně hrubý povrch nebo naopak o hladký? Byl by vhodný pro nášlapnou vrstvu, která by mohla fungovat jako protiskluzová?

Příloha B Definice položek analýzy drsnosti

Příloha B-1 Analýza drsnosti na čáře



U analýzy drsnosti mikroskopické oblasti s použitím obrazu laserového mikroskopu je obtížné přísně dodržovat požadavky stanovené ISO. Proto se provádí výpočet parametru níže popsáním způsobem.

Mezní vlnová délka: Nastavena jako 1/3 až 1/50 šířky zorného pole obrazu

Vyhodnocovaná délka: Šířka zorného pole obrazu

Referenční délka: 1/3 oblasti daného středu řezu (ale v případě křivky profilu shodná s vyhodnocovanou délkou)

1. Maximální výška vrcholu

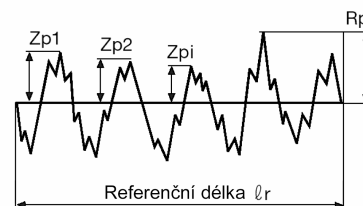
R_p : Max. výška vrcholu křivky drsnosti

P_p : Max. výška vrcholu křivky profilu

W_p : Max. výška vrcholu křivky deformace

Max. výška vrcholu Z_p obrysové křivky v referenční délce.

$$R_p, P_p, W_p = \max(Z(x))$$



2. Maximální hloubka sedla

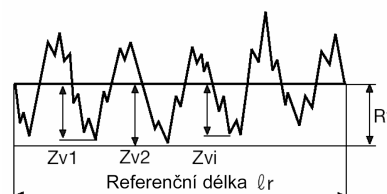
R_v : Max. hloubka sedla křivky drsnosti

P_v : Max. hloubka sedla křivky profilu

W_v : Max. hloubka sedla křivky deformace

Max. hloubka sedla Z_v obrysové křivky v referenční délce.

$$R_v, P_v, W_v = \min(Z(x))$$



3. Maximální výška

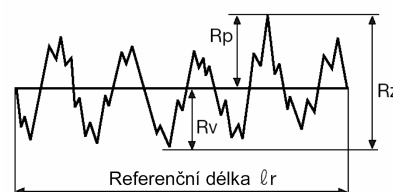
R_z : Max. výška drsnosti (odpovídá „ R_y “ z JIS '94 a definice se liší od „ R_x “ z předchozí JIS.)

P_z : Max. výška křivky profilu

W_z : Max. výška deformace

Součet maximální výšky vrcholu Z_p a min. hloubky sedla Z_v obrysové křivky v referenční délce.

$$R_z = R_p + R_v$$



4. Střední výška

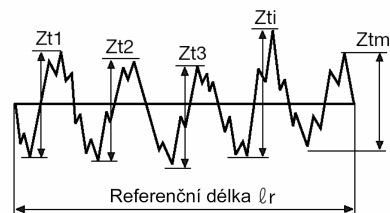
Rc: Střední výška prvků křivky drsnosti

Pc: Střední výška prvků křivky profilu

Wc: Střední výška prvků křivky deformace

Střední výška Z_t prvků obrysové křivky v referenční délce.

$R_c, P_c, W_c =$



5. Maximální výška profilu

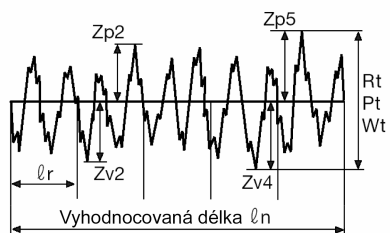
Rt: Max. výška profilu křivky drsnosti

Pt: Max. výška profilu křivky profilu („Rmax“ z JIS '82)

Wt: Max. výška profilu křivky deformace

Součet maximální výšky vrcholu Z_p a min. hloubky sedla Z_v obrysové křivky v referenční délce.

$R_t, P_t, W_t = \max(Z_{pi}) + \max(Z_{vi})$



6. Aritmetická střední výška

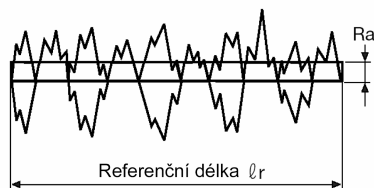
Ra: Aritmetická střední drsnost

Pa: Aritmetická střední profilu křivky profilu

Wa: Aritmetická střední deformace

Střední hodnota z absolutní hodnoty $Z(x)$ v referenční délce

$R_a, P_a, W_a =$



7. Střední kvadratická výška

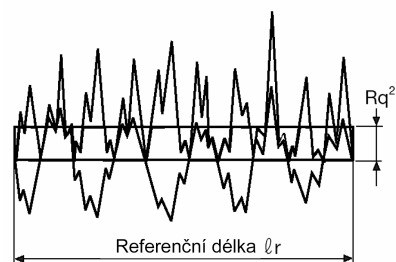
Rq : Sq drsnost

Pq : Sq výška křivky profilu

Wq : Sq deformace

Sq hodnota $Z(x)$ v referenční délce.

$Rq, Pq, Wq =$



8. Nesouměrnost

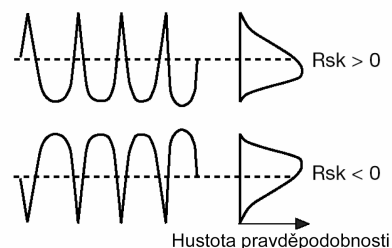
Rsk : Nesouměrnost křivky drsnosti

Psk : Nesouměrnost křivky profilu

Wsk : Nesouměrnost křivky deformace

Střední kubická hodnota $Z(x)$ v referenční délce jako bezrozměrná dle třetí mocniny v Sq výšce

$Rsk =$



9. Exces

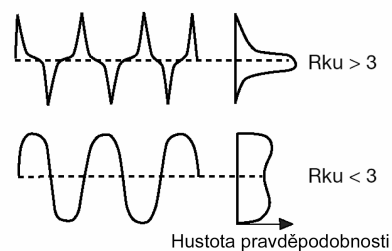
Rku : Exces křivky drsnosti

Pku : Exces křivky profilu

Wku : Exces křivky deformace

Střední bikvadratická hodnota $Z(x)$ v referenční délce jako bezrozměrná dle čtvrté mocniny v Sq výšce

$Rku =$

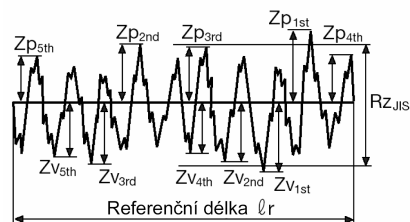


10. Desetibodová střední drsnost

Rzjis: Desetibodová střední drsnost („Rz“ z JIS '94)

Součet střední výšky 5 nejvyšších vrcholů a střední hloubky 5 nejhlubších sedel křivky drsnosti.

$Rz_{jis} =$



11. Střední délka

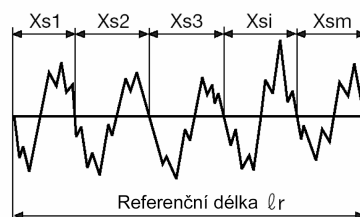
RSm: Střední délka prvků křivky drsnosti

PSm: Střední délka prvků křivky profilu

WSm: Střední délka prvků křivky deformace

Střední délka Z_x prvků obrysové křivky v referenční délce.

$RSm, PSm, WSm =$



12. Střední kvadratický sklon

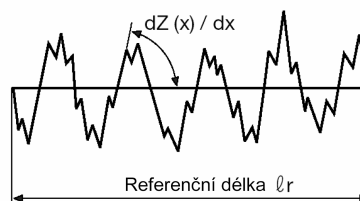
$R\Delta q$ (neboli Rdq): Střední kvadratický sklon křivky drsnosti

$P\Delta q$ (neboli Pdq): Střední kvadratický sklon křivky profilu

$W\Delta q$ (neboli Wdq): Střední kvadratický sklon křivky deformace

Sq hodnota lokálního dz/dx v referenční délce.

$R\Delta q, P\Delta q, W\Delta q =$



13. Poměr délky zatížení

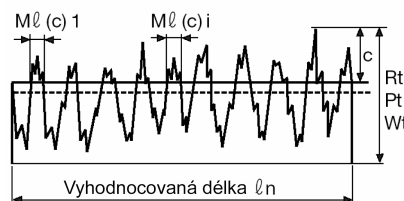
$R_{mr}(c)$: Poměr délky zatížení křivky hrubosti

$P_{mr}(c)$: Poměr délky zatížení křivky profilu

$W_{mr}(c)$: Poměr délky zatížení křivky deformace

Podíl délky zatížení $Ml(c)$ prvků křivky obrysu v úrovni omezení c ve vyhodnocované délce.

$$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c) =$$



14. Diference v úrovni omezení

$R_{\delta c}$ (neboli R_{dc}): Diference v úrovni omezení křivky hrubosti

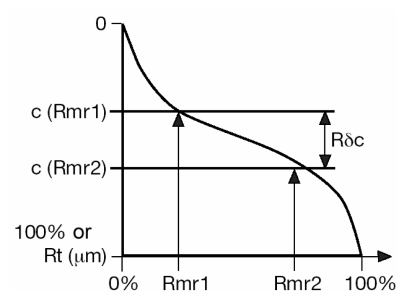
$P_{\delta c}$ (neboli P_{dc}): Diference v úrovni omezení křivky profilu

$W_{\delta c}$ (neboli W_{dc}): Diference v úrovni omezení křivky deformace

$$R_{\delta c} = c(R_{mr1}) - c(R_{mr2}) : R_{mr1} < R_{mr2}$$

Tento vzorec vyjadřuje definici $R_{\delta c}$

Stejným způsobem můžeme definovat $P_{\delta c}$ a $W_{\delta c}$



15. Relativní délky zatížení

R_{mr} : Relativní poměr délky zatížení křivky hrubosti

P_{mr} : Relativní poměr délky zatížení křivky profilu

W_{mr} : Relativní poměr délky zatížení křivky deformace

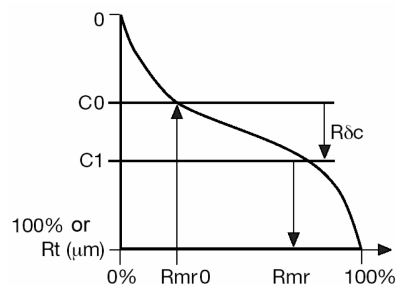
Podíl délky zatížení stanovený podle referenční mezní úrovně c_0 a diference a mezní úrovně rozdílu křivky drsnosti $R_{\delta c}$.

$$R_{mr} = R_{mr}(c_1),$$

$$\text{kde } c_1 = c_0 - R_{\delta c}, c_0 - c(R_{mr0})$$

Tento vzorec vyjadřuje definici R_{mr}

Stejným způsobem můžeme definovat P_{mr} a W_{mr} .





Příloha B-2 Analýza drsnosti na ploše

1. Maximální výška vrcholu

SRp: Max. výška vrcholu zakřivené plochy drsnosti

SPp: Max. výška vrcholu zakřivené plochy profilu

Max. výška vrcholu Zp v obrysové zakřivené ploše.

2. Maximální hloubka sedla

SRv: Max. hloubka sedla zakřivené plochy drsnosti

SPv: Max. hloubka sedla zakřivené plochy profilu

Max. hloubka sedla Zv v obrysové zakřivené ploše.

3. Maximální výška

SRz: Max. výška drsnosti

SPz: Max. výška zakřivené plochy profilu

Součet max. výšky vrcholu Zp a max. hloubky sedla Zv v obrysové zakřivené ploše.

4. Střední výška

SRc: Střední výška vrcholu zakřivené plochy drsnosti

SPc: Střední výška vrcholu zakřivené plochy profilu

Střední výška Zt v obrysové zakřivené ploše.

5. Aritmetická střední výška

SRa: Aritmetická střední výška drsnosti

SPa: Aritmetická střední výška zakřivené plochy profilu

Střední absolutní hodnota $f(x,y)$ v obrysové zakřivené ploše

$$SRa, SPa = \frac{1}{LM} \int_0^L \int_0^M |f(x,y)| dx dy$$

kde L = délka ve směru X obrysové zakřivené plochy, M = délka ve směru Y obrysové zakřivené plochy, a zakřivená plocha profilu $y = f(x,y)$.

6. Střední kvadratická výška

SRq: Střední kvadratická drsnost

SPq: Střední kvadratická výška zakřivené plochy profilu

Střední kvadratická hodnota $f(x,y)$ v obrysové zakřivené ploše

$$SRq, SPq = \sqrt{\frac{1}{LM} \int_0^L \int_0^M f(x,y)^2 dx dy}$$

kde L = délka ve směru X obrysové zakřivené plochy, M = délka ve směru Y obrysové zakřivené plochy, a zakřivená plocha profilu $y = f(x,y)$.

