

Modul praktických cvičení z predmetu ZÁKLADY VÝROBNÝCH TECHNOLOGIÍ II.

Cieľ

Cieľom učebného materiálu je podpora pri štúdiu problematiky merania drsnosti obrobených povrchov, ktorá sa preberá teoreticky a realizuje prakticky v rámci cvičení z predmetu Základy výrobných technológií II.

Po absolvovaní problematiky predmetu Základy výrobných technológií II. by mal mať študent vedomosti o základných princípoch obrábania konvenčnými metódami, montáže a metrológie. Študent by mal byť schopný navrhnuť technologický postup výroby súčiastky a zhodnotiť jej kvalitu.

Pre koho je predmet určený

Modul „Určenie vplyvu parametrov sústruženia na drsnosť povrchu“, predmetu Základy výrobných technológií II., je určený pre študentov bakalárskeho stupňa štúdia technicky zameraných študijných programov Materiálovotechnologickej fakulty STU, najmä však pre študijné programy Výrobné technológie a Výrobný manažment, Počítačová podpora výrobných technológií a Výrobné zariadenia a systémy.

Modul je rozdelený na 3 časti, a to na:

- 1 Hodnotenie drsnosti povrchu
- 2 Zariadenia na meranie drsnosti povrchu
- 3 Vplyv sústruženia na drsnosť povrchu

1 Hodnotenie drsnosti povrchu

	ČAS NA ŠTÚDIUM	180 min
	CIEĽ	Po preštudovaní problematiky budete mať vedomosti o parametroch drsnosti, ktorými je možné definovať obrobené povrchy a metódach, ako jednotlivé parametre stanoviť.
	INFORMÁCIE	1.1 Profilové charakteristiky povrchu – 2D hodnotenie 1.2 Plošné charakteristiky povrchu – 3D hodnotenie

Súčasný trendy sa v oblasti strojárkej výroby vyznačujú okrem vývoja a aplikácie nových výrobných technológií najmä zvýšením požiadaviek na presnosť a reprodukovateľnosť výroby súčiastok. Vplyvom zvyšovania nárokov sa zvyšujú aj požiadavky na jednoznačnú interpretáciu výrobných dokumentácie a štandardizované postupy hodnotenia a kontroly povrchov súčiastok. Na tento účel bol vypracovaný súbor noriem ISO pre oblasť geometrickej špecifikácie výrobkov. Geometrická špecifikácia výrobku definuje na výkrese tvar a charakteristiky povrchu, ktoré zabezpečujú optimálnu funkciu súčiastky spolu s toleranciami, pri ktorých je ešte zabezpečená jej správna funkcia [2].

Kvalita obrobených povrchov a jej hodnotenie je dôležitým prvkom pri všetkých technológiách obrábania materiálov, pri ktorých dochádza k zmenám povrchových vrstiev. Z hľadiska správneho stanovenia kvality a vlastností povrchu je dôležité poznať mechanizmus vytvárania povrchových vrstiev pri obrábaní, aby bolo možné pri zvolenej technológii vhodne nastaviť parametre obrábania a ovplyvňovať nimi výsledné vlastnosti súčiastok [1].

Dosiahnutá požadovaná kvalita povrchu súčiastok je jedným z predpokladov správnej funkcie výrobkov (súčiastok, strojov, prístrojov, nástrojov) a výrazne vplýva na ich životnosť [3]. Z hľadiska funkcie súčiastok sú v mnohých prípadoch rozhodujúce geometrické vlastnosti povrchu. Preto je v praxi nevyhnutné hodnotiť geometriu povrchov z hľadiska makro- aj mikro- úrovne a určovať odchýlky od definovanej (ideálnej) roviny.

Pochopenie makrogeometrie a mikrogeometrie obrobených povrchov je nevyhnutné vo všetkých oblastiach strojárskkej výroby a materiálového inžinierstva. Tieto dva aspekty pomáhajú popísať tvar, textúru a topografiu povrchov, čo môže výrazne ovplyvniť výkon a životnosť mechanických komponentov [1].

Makrogeometria sa týka väčších geometrických prvkov povrchu. Rozmery týchto prvkov sú udávané a merané najčastejšie v milimetroch (mm) a zahŕňajú celkový tvar a rozmery povrchu. Kľúčové aspekty makrogeometrie zahŕňajú geometrické charakteristiky tvaru, profil a geometrické charakteristiky orientácie.

- Medzi geometrické charakteristiky tvaru možno zaradiť priamosť, rovinnosť, kruhovitosť, valcovitosť. Odchýlky tvaru môžu byť výsledkom nepresností strojových nástrojov, opotrebenia, tepelnej deformácie alebo deformácie obrobku [4].
- Profil možno definovať ako prierezový tvar povrchu pri pohľade kolmo na jeho rovinu. Merania profilu sa často zameriavajú na odchýlky od ideálneho tvaru (napr. konkávne alebo konvexné odchýlky na rovinnom povrchu).
- Medzi geometrické charakteristiky orientácie patria rovnobežnosť, kolmosť a sklon. Definujú sa ako zarovnanie povrchu vo vzťahu k referenčným rovinám alebo osiam [4].

Mikrogeometria povrchu sa definuje ako súbor nepravidelností povrchu s pomerne malým rozstupom, ktoré zahŕňajú nepravidelnosti vyplývajúce z použitej technológie, prípadne iných vplyvov. Je účelné, aby nepravidelnosti zostávali v rámci definovaných limitov, napr. v rámci hraníc základnej dĺžky [1]. Mikrogeometria sa zameriava na prvky povrchu, ktoré sú najčastejšie merané a vyjadrované v mikrometroch (μm) a zahŕňajú nepravidelnosti a odchýlky, ktoré sa vyskytujú na mikroskopickú úroveň. Kľúčové aspekty mikrogeometrie zahŕňajú vlnitosť, drsnosť, textúru a chyby povrchu.

- Chyby povrchu predstavujú náhodné nepravidelnosti ako ryhy, trhliny a praskliny alebo inklúzie, ktoré nie sú súčasťou ideálnej textúry povrchu.
- Textúra povrchu je daná prevládajúcim smerom orientácie textúry povrchu, zvyčajne je spôsobená procesmi obrábania (napr. brúsenie, sústruženie, frézovanie).
- Vlnitosť povrchu: Väčšie odchýlky ako v prípade drsnosti, často spôsobené vibráciami obrábacieho nástroja, ohybmi obrobku alebo tepelnými vplyvmi počas obrábania. Vlnitosť je bežne definovaná svojou amplitúdou a vlnovou dĺžkou [4].
- Drsnosť povrchu je geometrickou vlastnosťou povrchu. Ide o veličinu, ktorá má rozhodujúci vplyv napr. na koeficient trenia styčných plôch. Na povrchoch súčiastok sú vyhodnocované rôzne charakteristiky a parametre, ktoré sa považujú za kritériá drsnosti povrchu v zmysle platných noriem [1].

Makrogeometria aj mikrogeometria povrchov majú svoj význam v oblasti obrábania a dôležité sú najmä z nasledujúcich dôvodov:

- Funkčnosť súčiastok: Textúra a tvar povrchu môžu ovplyvniť mechanický výkon súčiastok, vrátane trenia, opotrebenia a odolnosti proti únave.
- Montáž a rozmerová a tvarová presnosť: Presná makrogeometria zabezpečuje, že diely sa správne montujú a fungujú v zostavách podľa očakávaní.
- Estetika: Povrchová úprava môže ovplyvniť vizuálny vzhľad výrobku.
- Interakcie povrchov: Mikrogeometria ovplyvňuje, ako povrchy interagujú s mazivami, povlakmi a inými povrchmi, čo má vplyv na odolnosť proti korózii a charakter kontaktu strojových častí a súčiastok.

Pochopenie a kontrola mikrogeometrie a makrogeometrie obrábaných povrchov sú kľúčové pre zabezpečenie výkonu, spoľahlivosti, ako aj estetiky vyrobených komponentov. Presným meraním a analýzou týchto povrchových charakteristík je možné optimalizovať obrábacie procesy a zlepšiť celkovú kvalitu vyrábaných súčiastok [1].

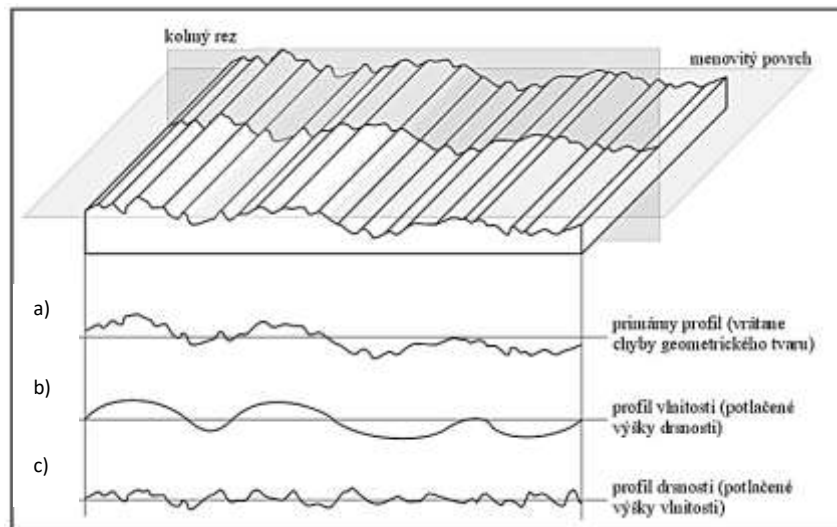
Drsnosť povrchu je možné označiť ako jeden z najdôležitejších parametrov komplexného súboru vlastností povrchov nazývaných „integrita povrchu“. Názvom integrita povrchu je nazývaný súbor vlastností povrchových vrstiev, ktoré boli ovplyvnené technologickým procesom a vyznačujú sa rozdielnymi vlastnosťami v porovnaní s pôvodným základným materiálom. Drsnosť povrchu výrazne ovplyvňuje vzájomnú interakciu strojných súčastí, ich hlučnosť, dobu záberu, straty trením, elektrickú vodivosť, prestup tepla, únavovú pevnosť, odolnosť proti opotrebeniu, korózii, ako aj ďalšie vlastnosti. Základným predpokladom pre akúkoľvek klasifikáciu povrchu, alebo predikciu funkčného správania pri danom spôsobe zaťažovania je teda, čo najúplnejší popis jeho mikrogeometrie.

Drsnosť povrchu predstavuje výšku nerovností reálnej plochy vzhľadom na dokonalú a ideálne hladkú plochu, pričom je súhrn nerovností povrchu s relatívne malými vzdialenosťami, ktoré obvykle obsahujú nerovnosti vzniknuté následkom použitej metódy výroby alebo iných vplyvov [3].

V nasledujúcej časti sú popísané najčastejšie používané, normou definované, parametre drsnosti, ktoré sú rozdelené na plošné a priestorové charakteristiky drsnosti povrchu.

1.1 Profilové charakteristiky drsnosti povrchu – 2D hodnotenie

Na profilové hodnotenie morfológie povrchu (2D) sa používajú normalizované veličiny v praxi rozšíreného a všeobecne prijatého systému v zmysle STN EN ISO 4287. Výhodou 2D hodnotenia drsnosti je časová nenáročnosť merania, pretože sa stanovuje len jeden profil povrchu. Informácie získané z takého merania, ako aj grafické spracovanie výsledkov je menej náročné ako pri 3D hodnotení [1, 5]. V súčasnosti sa najčastejšie meranie drsnosti povrchu realizuje pomocou profilomerov. Výsledkom je nameraný profil, ktorý je možné zobrazíť v 2D priestore. Tento profil je možné následne použiť na vyhodnotenie parametrov drsnosti povrchu. Na reálnom povrchu však okrem drsnosti povrchu existuje aj vlnitosť a odchýlky tvaru (obr. 1). Meraním teda získame primárny (základný) profil, ktorý obsahuje všetky tieto nerovnosti. Výpočtový systém na vyhodnocovanie parametrov je v uvedenej norme založený na hodnotení primárneho profilu, vlnitosti a drsnosti použitím príslušných filtrov. Na oddelenie jednotlivých zložiek nerovností (drsnosť povrchu, vlnitosť a odchýlka tvaru) je potrebné primárny profil filtrovať filtrom. Filter profilu je nástroj, ktorý rozdeľuje profily na profily s dlhými vlnovými dĺžkami a profily s krátkymi vlnovými dĺžkami [1, 4, 5].

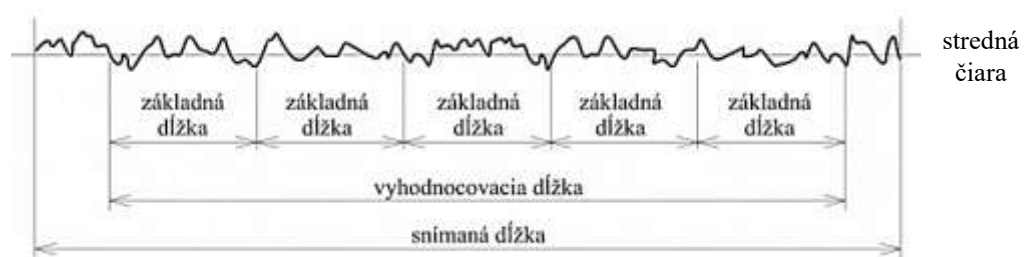


Obrázok 1 Filtrovanie profilu: a) primárny profil, b) profil vlnitosti, c) profil drsnosti [3]

Základný profil (obr. 1) je úplný profil po aplikácii krátkovlnného filtra λ_s . Reprezentuje základňu pre číslkové spracovanie profilu pomocou filtra profilu a pre výpočet a hodnotenie parametrov profilu. Profil drsnosti povrchu (obr. 1b)) sa odvodza z primárneho profilu potlačením zložiek s dlhými vlnovými dĺžkami (filter λ_c). Profil vlnitosti povrchu je odvodený z primárneho profilu potlačením zložiek s dlhými vlnovými dĺžkami a zároveň potlačením zložiek s krátkymi vlnovými dĺžkami (obr. 1 c)), aplikáciou filtra profilu λ_f a filtra λ_c na základný profil. Podľa toho, ktorý profil je vyhodnocovaný, poznáme nasledovné parametre:

- P – parametre – parametre vypočítané z primárneho profilu,
- R – parametre – parametre vypočítané z profilu drsnosti,
- W – parametre – parametre vypočítané z profilu vlnitosti [3, 4].

Uvedené geometrické parametre sú definované normou ISO 4287. Pri meradiách na meranie drsnosti sa používajú tri dĺžky (obr. 2): snímaná dĺžka, vyhodnocovaná dĺžka a základná dĺžka [3].



Obrázok 2 Schematické zobrazenie snímanej dĺžky, vyhodnocovanej dĺžky a základnej dĺžky [3]

Snímaná dĺžka je celková dĺžka pohybu dotyku snímacieho hrotu po meranom povrchu.

Základná dĺžka „ l_r “ je dĺžka v smere osi X, používaná na identifikovanie nepravidelností charakterizujúcich hodnotený profil. Meria sa v hlavnom smere profilu a väčšina parametrov drsnosti sa určuje práve na tejto dĺžke. Základná dĺžka sa volí podľa predpokladanej drsnosti meraného profilu a môže byť 0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm a 8 mm. Pri jemných povrchoch sa volí menšia základná dĺžka a pre hrubšie povrchy sa volí väčšia. Pre bežné povrchy býva najčastejšie 0,8 mm.

Vyhodnocovaná dĺžka „ l_n “ je dĺžka v smere osi X, na ktorej sa vyhodnocuje profil. Norma uvádza, že vyhodnocovaná dĺžka (tab. 1) je jeden alebo niekoľkonásobok základnej dĺžky. Najčastejšie sa však používa päťnásobok. Pri parametroch drsnosti povrchu, ktoré sú definované na základnej dĺžke, sa výsledná hodnota vypočíta ako aritmetický priemer z hodnôt zistených na jednotlivých základných dĺžkach. Ak teda bude vyhodnocovaná dĺžka obsahovať päť základných dĺžok, bude výsledná hodnota parametra určená ako aritmetický priemer z piatich čiastkových hodnôt zistených na jednotlivých základných dĺžkach.

Stredná čiara „ m “, nazývaná aj stredná čiara najmenších štvorcov profilu, je základná čiara, ktorá má tvar geometrického profilu a rozdeľuje profil tak, že v rozsahu základnej dĺžky je súčet štvorcov odchýlok profilu od tejto čiary najmenší [3, 4].

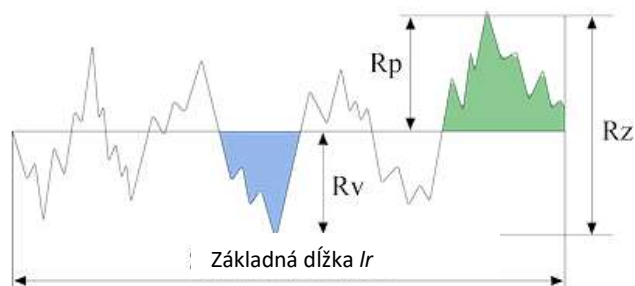
Tabuľka 1 Voľba vlnovej dĺžky v závislosti od druhu profilu [6, 7]

Periodické profily	Aperiodické profily		Medzná vlnová dĺžka (Cut-off)	Jednotlivá / Celková meracia dráha
R_{sm} (mm)	R_z (μm)	R_a (μm)	$\lambda_c = l_r$ (mm)	l_r / l_n (mm)
> 0,013 do 0,04	do 0,1	do 0,02	0,08	0,08 / 0,4
> 0,04 do 0,13	> 0,1 do 0,5	> 0,02 do 0,1	0,25	0,25 / 1,25
> 0,13 do 0,4	> 0,5 do 10	> 0,1 do 2	0,8	0,8 / 4
> 0,4 do 1,3	> 10 do 50	> 2 do 10	2,5	2,5 / 12,5
> 1,3 do 4	> 50 do 200	> 10 do 80	8	8 / 40

Na základe normy EN ISO 4287 sú definované parametre drsnosti a ich charakteristika, pričom v oblasti strojárstva sú najpoužívannejšími a najznámejšími parametrami drsnosti povrchu nasledovné (obr. 3) [3, 4, 6 – 11]:

- **Výška najväčšieho výstupku profilu „ R_p “** – najväčšia výška výstupku profilu v rozsahu základnej dĺžky.
- **Hĺbka najväčšej priehlbiny profilu „ R_v “** – najväčšia hĺbka priehlbiny profilu v rozsahu základnej dĺžky.
- **Najväčšia výška profilu „ R_z “** – súčet najväčšej výšky výstupku profilu a najväčšej hĺbky priehlbiny profilu v rozsahu základnej dĺžky. Aj keď sa často používa, maximálna výška je výrazne ovplyvnená ryhami, kontamináciou a nepresnosťami merania, pretože vychádza z okrajových hodnôt.

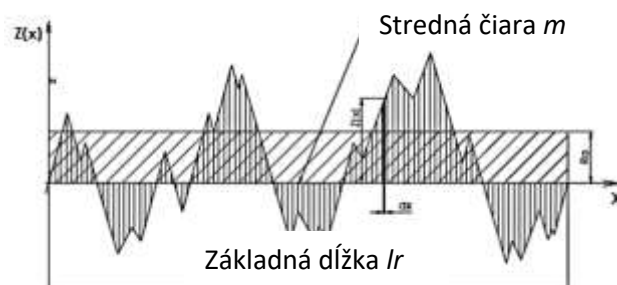
$$R_z = R_p + R_v$$



Obrázok 3 Schematické znázornenie najväčšej výšky profilu R_z [9]

Stredná aritmetická odchýlka posudzovaného profilu „ Ra “ – (obr. 4) stredná aritmetická hodnota absolútnych odchýlok $Z(x)$ profilu v rozsahu základnej dĺžky l_r . Je možné ju vypočítať nasledovne:

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx$$



Obrázok 4 Schematické znázornenie strednej aritmetickej odchýlky profilu Ra [3]

Stredná kvadratická odchýlka posudzovaného profilu „ Rq “ – (obr. 5) stredná kvadratická hodnota odchýlok $Z(x)$ profilu v rozsahu základnej dĺžky. Je možné ju vypočítať nasledovne:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx}$$



Obrázok 5 Schematické znázornenie strednej kvadratickej odchýlky profilu Rq [9]

Priemerná šírka prvkov profilu „ RS_m “ – (obr. 6) aritmetický priemer širok X_s prvkov profilu v rozsahu základnej dĺžky.

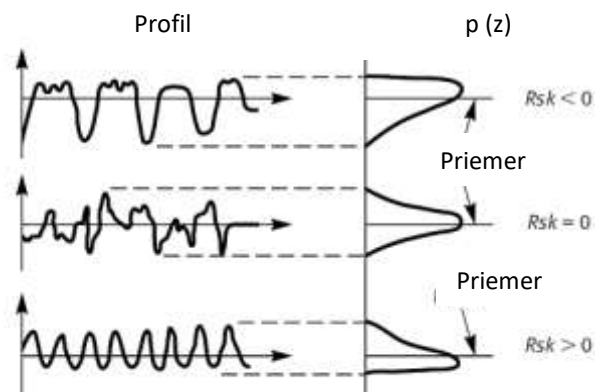
$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



Obrázok 6 Schematické znázornenie priemernej šírky prvkov profilu R_{Sm} [9]

Koeficient asymetrie posudzovaného profilu „ R_{sk} “ – (obr. 7) miera asymetrie hustoty rozdelenia odchýlok profilu v rozsahu základnej dĺžky.

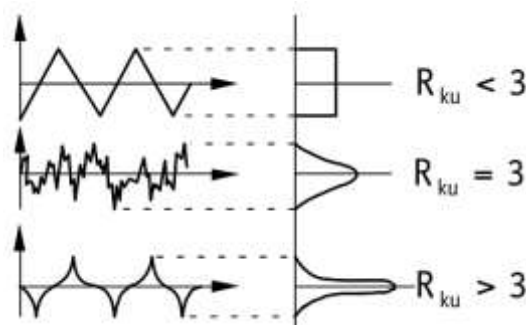
$$R_{sk} = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x)^3 dx \right]$$



Obrázok 7 Schematické znázornenie troch typov profilu s rôznou mierou asymetrie hustoty rozdelenia odchýlok profilu R_{sk} ; negatívny sklon označuje povrch s dobrou nosnosťou [6 – 10]

Koeficient špicatosti posudzovaného profilu „ R_{ku} “ – (obr. 8) miera špicatosti hustoty rozdelenia odchýlok profilu v rozsahu základnej dĺžky. Je hodnotou strmosti hustoty amplitúdovej krivky. Pri normálnom rozdelení hodnota profilu je $R_{ku} = 3$.

$$R_{ku} = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x)^4 dx \right]$$



Obrázok 8 Schematické znázornenie troch typov profilu s rôznou strmosťou – mierou špicatosti hustoty rozdelenia odchýlok profilu R_{ku} [4, 6]

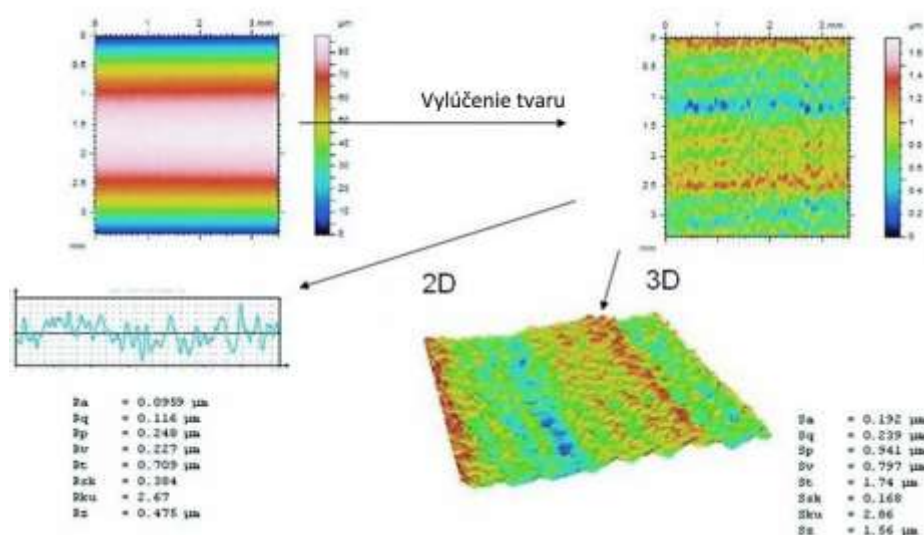
1.2 Plošné charakteristiky povrchu – 3D hodnotenie

Hodnotenie drsnosti povrchu v 3D priestore je možné pomocou parametrov plošnej drsnosti, ktoré sú podobné ako 2D parametre (pozri kap. 1.1). Parametre 3D hodnotenia sú podrobne špecifikované v rámci normy ISO 25178. Touto normou sú definované priestorové parametre pre kvantitatívne hodnotenie povrchu všetkými technicky významnými smermi a nielen vo vybranom smere pomyselného rezu. Norma predpisuje označenie parametrov písmenom S, ktoré označuje parametre výškové, priestorové a hybridné, ktoré sú definované pre plochu povrchu (z angl. surface - plocha). Napríklad výška najväčšieho výstupku profilu S_p , hĺbka najväčšej priehlbiny profilu S_v atď.

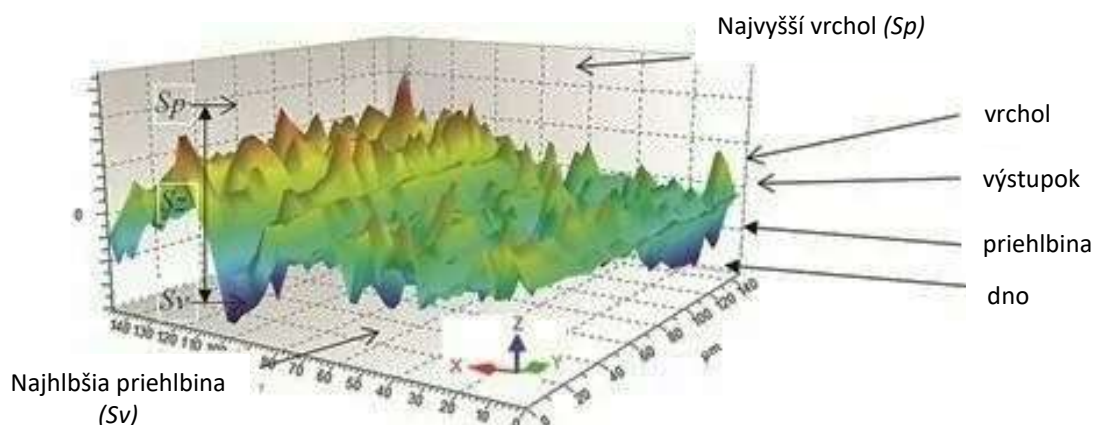
Priestorová 3D charakteristika povrchu umožňuje oproti plošnej vyhodnocovať parametre na celej meranej ploche (nielen v jednom reze) a zhodnotiť aj interakciu parametrov – vlastnosti povrchu s funkčným prostredím, čo sa využíva najmä pri hodnotení tribologických, biokompatibilných a optických vlastností povrchov.

Výhodou merania plošnej drsnosti povrchu je možnosť vykreslenia tzv. „mapy povrchu“ (obr. 9 a obr. 10). Tu sa využíva farebné rozlíšenie výšok nerovností profilu, čo umožňuje objektívnejšiu a vizuálne prijateľnú prezentáciu celého povrchu, nielen jedného profilu ako pri 2D.

Nevýhodou je časová náročnosť merania, pri ktorom sa skenuje množstvo jednotlivých profilov, ktoré sa následne ukladajú vedľa seba a nad seba (tzv. stitch) [1, 4, 5].



Obrázok 9 Hodnotenie drsnosti povrchu: 2D hodnotenie – profil, 3D hodnotenie



Obrázok 10 Vybrané výškové parametre textúry povrchu [14]

Podobne, ako pri 2D parametroch, je možné aj 3D parametre drsnosti definovať podľa matematických vzťahov [4, 11 – 13]:

Maximálna výška povrchu „Sp“ je definovaná ako výška najvyššieho vrcholu v rámci definovanej oblasti.

$$Sp = \max z(x, y)$$

Maximálna hĺbka povrchu „Sv“ je definovaná ako absolútna hodnota hĺbky najhlbšej priehlbiny v rámci definovanej oblasti.

$$Sv = |\min z(x, y)|$$

Maximálna výška „Sz“ je definovaná ako súčet najväčšej hodnoty výšky vrcholu a najväčšej hodnoty hĺbky priehlbiny v rámci definovanej oblasti.

$$Sz = Sp + Sv$$

Stredná aritmetická odchýlka posudzovaného profilu „Sa“ predstavuje rozšírenie parametra Ra na oblasť meraného povrchu. Vyjadruje rozdiel vo výške každého bodu v porovnaní s aritmetickým priemerom povrchu ako absolútnu hodnotu.

$$Sa = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x, y)| \, dx \, dy$$

Stredná kvadratická odchýlka posudzovaného profilu „Sq“ je odvodená od parametra Rq, pričom sa vzťahuje na plochu.

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A Z^2(x, y) \, dx \, dy}$$

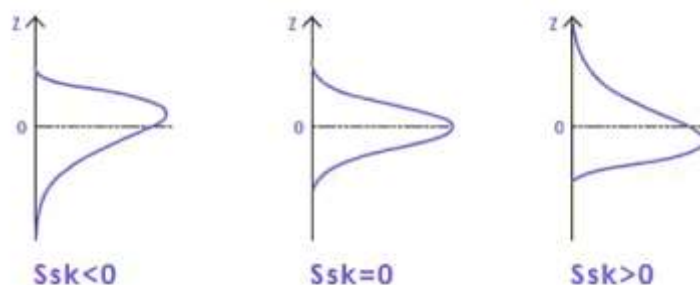
Koeficient asymetrie posudzovanej plochy „Ssk“ – (obr. 11) je možné zjednodušene nazvať šikmosťou hustoty rozdelenia prvkov posudzovanej plochy. Pozri aj obr. 7.

$$Ssk = \frac{1}{Sq^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^3(x, y) \, dx \, dy \right]$$

$Ssk < 0$ Distribúcia výstupkov je posunutá nad stredovú rovinu.

$Ssk = 0$ Výškové rozdelenie výstupkov a priehlbín je symetrické voči stredovej rovine.

$Ssk > 0$ Distribúcia vrcholov a priehlbín je posunutá pod stredovú rovinu.



Obrázok 11 Schematické znázornenie hodnôt parametra Ssk , asymetrie hustoty rozdelenia prvkov meranej oblasti [12]

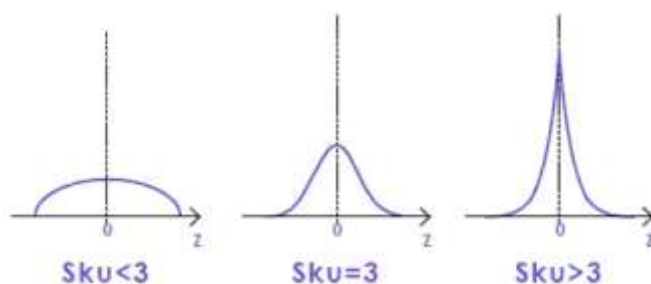
Koeficient špicatosti posudzovaného profilu „ Sku “ je hodnotou strmosti hustoty amplitúdovej krivky. Pozri aj obr. 12.

$$Sku = \frac{1}{Sq^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^4(x, y) dx dy \right]$$

$Sku < 3$ Distribúcia výšok je posunutá nad strednú rovinu.

$Sku = 3$ Výškové rozdelenie je normálne rozdelenie.

$Sku > 3$ Rozloženie výšok je ostré.



Obrázok 12 Schematické znázornenie hodnôt parametra Sku , miery špicatosti rozdelenia prvkov meranej oblasti [12]

2 Meranie drsnosti povrchu

V rámci merania drsnosti je výrobok posudzovaný podľa jeho vlastností, funkcie a odolnosti voči opotrebeniu. Pri kontrole kvality povrchu sa na meranie drsnosti používajú rôzne metódy. Na meranie a hodnotenie drsnosti povrchov existuje na trhu veľké množstvo rôznych zariadení, prípravkov, meradiel a softvérov ktoré sú určené na priemyselné aj laboratórne použitie.

Základná klasifikácia metód hodnotenia povrchov je založená na použitej technológii merania. Metódy merania povrchovej drsnosti možno rozdeliť do troch hlavných kategórií:

- kontaktné metódy,
- bezkontaktné metódy
- a iné metódy.

Dotykové a bezdotykové spôsoby merania sú porovnateľné len pri meraní povrchov s jednoduchou geometriou profilu (napr. ploché optické povrchy). Rozdiely v meraní sú dané rozličnými princípmi snímacích systémov, rôznou presnosťou merania aj interakciou prístrojov s analyzovaným povrchom. Rozdielnosť výsledkov je ovplyvňovaná aj úrovňou overovania funkčných vlastností prístrojov a ich kalibráciou [1].

V súčasnosti sa najviac využívajú dotykové metódy merania drsnosti povrchu a pre 3D hodnotenie drsnosti povrchu je veľmi rozšírenou metódou laserová skenovacia konfokálna mikroskopia [5, 15]. Každá kategória zahŕňa niekoľko techník so špecifickými aplikáciami a výhodami [1, 5, 15].

1. Kontaktné metódy 2D hodnotenia drsnosti povrchov - dochádza ku priamemu kontaktu hrotu prístroja s meraným povrchom.

- **Profilová metóda**

Diamantový hrot sondy meracieho prístroja (profilomera) je v kontakte s meraným povrchom, pričom dochádza k jeho skenovaniu. Meria sa vertikálny posun hrotu pri jeho pohybe po povrchu, z čoho možno získať profil drsnosti povrchu.

Výhody: vysoká presnosť a rozlíšenie, priame meranie profilu povrchu.

Nevýhody: meranie môže byť pomalé, hrozí potenciálne poškodenie (ryhovanie) povrchu, nevhodné pre veľmi mäkké, alebo veľmi drsné povrchy, polomer zaoblenia hrotu nie je schopný odmerať priestory s rozmermi menšími ako je jeho priemer.

2. Bezkontaktné metódy - umožňujú meranie mikrogeometrie aj na miestach, ktoré merací hrot pri kontaktnom spôsobe nie je schopný zachytiť, či už z dôvodu obmedzenia spôsobeného zaoblením hrotu snímača, alebo pre nedostupnosť povrchu.

- **Svetelno – optické metódy**

Využívajú svetlo, alebo optické skenovanie a následné spájanie naskenovaných dát na vytváranie 3D snímok a máp povrchov. Patria sem:

- *Laserová skenovacia konfokálna mikroskopia*

Využíva laserové svetlo na skenovanie povrchu a meranie intenzity odrazeného svetla na vytvorenie profilu povrchu.

Výhody: vysoké rozlíšenie, rýchlosť merania (závisí od nastavených parametrov a veľkosti skenovanej plochy), nedochádza ku kontaktu so skenovaným povrchom, je nedeštruktívna.

Nevýhody: vysoká investícia do meracieho zariadenia a komplexného vybavenia (prípravky, antivibračné pracovné stoly, softvér), vyžaduje dôkladnú kalibráciu, meraná plocha je obmedzená.

- *Interferenčná metóda*

Využíva interferenčné vzory bieleho svetla na meranie topografie povrchu.

Výhody: vysoké vertikálne rozlíšenie, vhodná pre širokú škálu povrchov.

Nevýhody: citlivá na vibrácie a podmienky prostredia.

- *Metóda svetelného rezu*

Prístroj na realizáciu tejto metódy sa nazýva dvojitý mikroskop (má dvojitý objektív). Cez jeden objektív dopadá pás svetla na povrch pod uhlom 45°. Svetlo sa od snímaného povrchu odrazí do druhého objektívu. V zornom poli okulára sa zobrazí pás povrchu, ktorý je zvlnený podľa reálnej drsnosti povrchu – zobrazený pás svetla zobrazuje reálny profil povrchu. Touto metódou je možné určiť najväčšiu výšku profilu Rz.

- *Metóda rozptýleného svetla*

- *Ohnisková metóda*

- **Atómová silová mikroskopia (AFM)**

Používa ostrý hrot na skenovanie povrchu na atómovej úrovni, meria silu medzi hrotom a atómami povrchu.

Výhody: extrémne vysoké rozlíšenie, schopnosť merať veľmi malé oblasti.

Nevýhody: časová náročnosť merania, vyžaduje sa kontrolované prostredie, vysoké náklady na zariadenie, vhodná pre povrchy s drsnosťou na úrovni nanometrov.

3. Iné metódy

- **Elektrické metódy**

- *Kapacitné a odporové metódy*

Merajú sa zmeny kapacity, alebo odporu v dôsledku textúry povrchu.

Výhody: bezkontaktné.

Nevýhody: obmedzené na vodivé materiály, nižšie rozlíšenie v porovnaní s optickými metódami.

- **Pneumatické metódy**

- **Porovnávacie metódy**

Medzi najrozšírenejšie spôsoby kontroly drsnosti povrchu patrili v minulosti porovnávacie metódy. Ich princíp spočíval v porovnávaní kontrolovaného povrchu so vzorkou povrchu s definovanou drsnosťou. Táto metóda bola skôr overovacia, išlo o kontrolu, kde je možné len určiť, či vyrobená plocha zodpovedá predpísanej drsnosti povrchu [1, 2, 5, 15].

Postup merania drsnosti povrchu pri kontaktom meraní profilomerom

Profilomer (drsnomer) je zariadenie na meranie drsnosti povrchu kontaktnou metódou a môže byť vyhotovený v rôznych konfiguráciách ako stolový, alebo prenosný. Na obr. 13 je zobrazený prenosný drsnomer Surtronic 3+. Drsnomer je vybavený vymeniteľným ostrým hrotom, ktorý sa v meranom smere posúva po povrchu a umožňuje získať informácie o jeho profile. Najčastejšie sa používa hrot s polomerom zaoblenia 5 μm . Pohyb snímacieho hrotu musí byť veľmi presný, lineárny a rovnomerný. Rýchlosť pohybu hrotu musí byť zvolená s ohľadom na dynamické vlastnosti snímacieho systému. Touto metódou sa získavajú číselné hodnoty normalizovaných a nenormalizovaných charakteristík drsnosti povrchu (súradnice bodov dráhy, ktorú hrot prešiel).



Obrázok 13 Prenosný drsnomer Surtronic 3+

a) zariadenie s umiestnenou meranou vzorkou

b) pohľad na rameno meracieho zariadenia snímajúce povrch vzorky [5]

Presná metóda merania drsnosti dotykovým drsnomerom je popísaná v norme ISO 4288:1996. V súlade s DIN EN ISO 4288 musí byť profil drsnosti stanovený v 5-tich samostatných meracích sekciách. Pred meraním drsnosti je odporúčaný nasledujúci postup:

- Očistiť a umiestniť výrobok do stabilnej polohy.
- Merací systém musí byť kalibrovaný, zároveň musí byť nasadené zodpovedajúce dotykové rameno.
- Meranú časť je nutné nastaviť tak, aby povrch smeroval kolmo k osi dotyku hrotu a textúra povrchu bola orientovaná kolmo na smer merania (nie rovnobežne).
- Pokiaľ nie je pre meranie profilu stanovený profilový filter λ_c a nie je zadaná dĺžka (dráha merania), je možné zvoliť vlastné nastavenie podľa tab. 2 a tab 3.
- Nastavenie požadovaných profilových filtrov (λ_c a λ_s pre drsnosť; obvykle sa používa Gaussov filter).
- Meranie a záznam nameraných hodnôt.
- Porovnanie výsledku merania s tolerovanými hodnotami, ktoré sú uvedené v technickej dokumentácii [5, 15].

Tabuľka 2 Voľba filtra λ_c a polomeru hrotu r_{tip} [15]

λ_c (mm)	λ_s (μm)	λ_c/λ_s (μm)	r_{tip} (μm)
0,08	2,5	30	2
0,25		100	
0,8		300	2 (5 pre $R_z > 3 \mu\text{m}$)
2,5	8		5 alebo 2
8	25		10,5 alebo 2

Tabuľka 3 Podmienky nastavenia dĺžok l_r a l_n v závislosti od predpokladaných R-parametrov drsnosti povrchu [15]

Aperiodický profil				Periodické profily alebo RSm		Podmienky merania	
Ra, Rq, Rsk, Rku, RΔq		Rz, Rv, Rp, Rc, Rt				Základná dĺžka lr lr = λc (mm)	Vyhodnocovacia dĺžka ln ln (mm) = 5 x lr
Ra (μm)		Rz (μm)		RSm (mm)			
od	do	od	do	od	do		
0,006	0,02	0,025	0,1	0,013	0,04	0,08	0,4
0,02	0,1	0,1	0,5	0,04	0,13	0,25	1,25
0,1	2	0,5	10	0,13	0,4	0,8	4
2	10	10	50	0,4	1,3	2,5	12,5
10	80	50	200	1,3	4	8	40

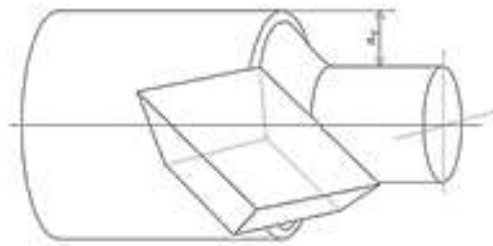
Pri meraní drsnosti povrchu môže byť výsledok merania ovplyvnený mnohými faktormi. Tieto faktory je možné zhrnúť nasledovne:

- Prostredie (faktor vplyvu prostredia vo výrobe): výsledok merania drsnosti môže byť ovplyvnený napr. zmenami teploty, vlhkosťou vzduchu atď.
- Stratégia merania, napr. voľba metódy merania, polomeru hrotu.
- Ľudský faktor: skúsenosti personálu

- Objekt merania: čistota povrchu, náhodné povrchové chyby
- Meracie zariadenie: čím jednoduchšia je obsluha drsnomeru, tým menej je meranie náchylné na chyby. Voľba drsnomeru môže navyše zvýšiť presnosť merania, je vhodné zvoliť napr. drsnomer s redukciami vibrácií a flexibilným polohovaním [15].

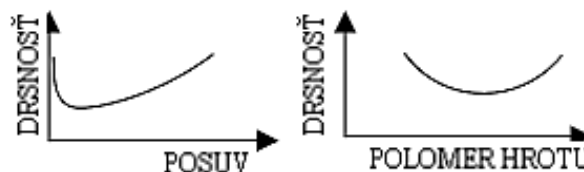
3 Vplyv sústruženia na drsnosť povrchu

Sústruženie (obr. 14) je výrobná technológia určená primárne na výrobu rotačných súčiastok. Vhodná kvalita povrchu súčiastok je jedným z predpokladov správnej funkcie zariadení a významne ovplyvňuje životnosť súčiastok. Jednou z charakteristík profilu povrchu je drsnosť povrchu, ktorá predstavuje výšku nerovností od dokonalej a ideálne hladkej plochy a vzniká aj ako dôsledok použitého nástroja a súvisiacich parametrov. Použité rezné parametre ovplyvňujú čistý strojový čas potrebný na výrobu súčiastky a tým je ovplyvnená aj produktivita výroby súčiastok [2].



Obrázok 14 Schéma sústruženia nástrojom s lineárnou reznou hranou mimobežnou s osou obrobku [2]

Obrobená plocha sa vytvára zo zvyškov reznej plochy za hrotom nástroja, pričom tvar reznej hrany je kopírovaný do povrchu obrábaného materiálu. Tvar reznej hrany je daný hodnotou uhlov nastavenia, polomerom zaoblenia hrotu, uhlom sklonu reznej hrany a čela. Na obr. 15 sú znázornené experimentálne získané závislosti drsnosti povrchu od parametrov procesu rezania - závislosť drsnosti obrobeného povrchu od posuvu a polomeru hrotu rezného nástroja [2].



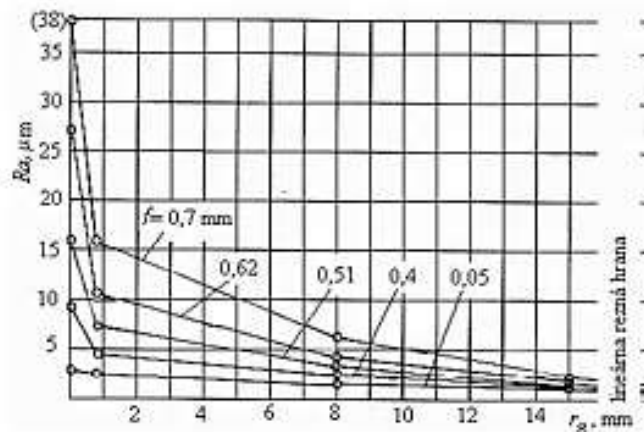
Obrázok 15 Závislosť drsnosti obrobeného povrchu od posuvu a polomeru hrotu nástroja [2]

Do procesu sústruženia vstupuje množstvo vstupných parametrov a náhodných vplyvov, ktoré určujú vlastnosti obrobeného povrchu. Obrobený povrch je teda výsledkom kombinácie všetkých vstupov do procesu sústruženia. Vplyv vybraných parametrov na drsnosť povrchu je možné zhrnúť nasledovne:

- Rezná rýchlosť - rýchlosť, ktorou sa rezný nástroj pohybuje voči materiálu. Zvýšenie rýchlosti rezu môže zlepšiť kvalitu povrchu, pretože znižuje vytváranie tepla a minimalizuje opotrebenie nástroja. Avšak príliš vysoká rýchlosť môže spôsobiť vibrácie a zhoršiť kvalitu povrchu.
- Posuv - rýchlosť, ktorou sa nástroj pohybuje pozdĺž osi obrobku. Väčší posuv vedie k drsnejšiemu povrchu, pretože drsnosť sa zvyšuje s nárastom šírky stopy rezu. Menší posuv zvyčajne zlepšuje kvalitu povrchu, ale môže predĺžiť čas obrábania. Je vhodné voliť nižšie posuvy pre jemnejšiu povrchovú úpravu, pričom sa zohľadňujú náklady a čas výroby.

- Hĺbka rezu - hĺbka, do akej nástroj vnika do materiálu. Väčšia hĺbka rezu môže zhoršiť kvalitu povrchu v dôsledku zvýšeného odporu a sily, ktoré môžu spôsobiť vibrácie a opotrebenie nástroja. Menšia hĺbka rezu môže zlepšiť kvalitu povrchu, ale môže zvýšiť celkový čas obrábania.
- Typ nástroja a jeho geometria. Rezná hrana nástroja, uhol rezu a materiál nástroja výrazne ovplyvňujú drsnosť povrchu. Ostré nástroje a správna geometria rezu znižujú vytváranie trhlín a zlepšujú kvalitu povrchu.
- Stav nástroja. Opotrebený alebo poškodený nástroj vedie k zhoršeniu kvality povrchu. Pravidelná údržba a výmena nástrojov sú nevyhnutné na udržanie optimálnej kvality povrchu.
- Materiál obrobku. Tvrdosť a húževnatosť materiálu ovplyvňujú drsnosť povrchu. Tvrdšie materiály môžu mať vyššiu drsnosť povrchu, zatiaľ čo mäkkšie materiály majú lepšiu obrobitelnosť.
- Chladiace a lubrikačné médiá. Použitie chladiacich a lubrikačných prostriedkov môže znížiť teplotu v mieste rezu a zlepšiť kvalitu povrchu. Pomáhajú tiež znižovať opotrebenie nástroja a zlepšovať odvod triesok.

So zväčšovaním posuvu sa zväčšuje aj drsnosť obrobeného povrchu, ale ako vyplýva z obr. 16, neplatí, že čím je menší posuv tým je nižšia drsnosť povrchu. Platí tu lokálne minimum, kde sa posuv pohybuje okolo 0,15 mm. Zmenšovanie posuvu pod túto hranicu už vedie k zväčšovaniu drsnosti obrobeného povrchu. Zväčšovanie polomeru hrotu nástroja vedie spočiatku k znižovaniu drsnosti obrobeného povrchu, ale čím je polomer hrotu väčší, tým je väčšia časť reznej hrany nástroja v zábere a to vedie ku kmitaniu technologickej sústavy, ktoré má na svedomí opätovné zväčšovanie drsnosti obrobeného povrchu. Kmitaniu je možné zabrániť dostatočnou tuhosťou sústavy. Na obr. 16 je znázornená teoretická závislosť drsnosti obrobeného povrchu na polomere zaoblenia hrotu nástroja a posuve pri sústružení. Z obrázka vyplýva, že pri sústružení nástrojom s polomerom zaoblenia hrotu nástroja $r_\epsilon = 1$ mm, pre dosiahnutie drsnosti obrobeného povrchu $R_a = 5 \mu\text{m}$, je potrebné použiť posuv $f = 0,4$ mm. Zatiaľ čo pre sústruženie nástrojom s polomerom zaoblenia hrotu $r_\epsilon = 10$ mm, pre dosiahnutie tej istej drsnosti obrobeného povrchu vyhovuje posuv $f = 0,7$ mm [2].



Obrázok 16 Závislosť drsnosti obrobeného povrchu na posuve a polomere hrotu nástroja [2]

Postupné zväčšovanie polomeru zaoblenia hrotu nástroja vedie až k použitiu nástroja s lineárnou reznou hranou (LRH) kde $r_\epsilon = \infty$. Týmto rezným nástrojom je dosahovaná vyhovujúca drsnosť obrobeného povrchu pri veľkých posuvoch v porovnaní s použitím nástroja s malým polomerom zaoblenia hrotu. Zväčšovanie posuvu vedie k skráteniu strojového času na výrobu danej súčiastky, čiže k zvyšovaniu produktivity výroby. Problém nástrojov s lineárnou reznou hranou je v použití pri veľkých hĺbkach rezu. Dĺžka reznej hrany v zábere sa zväčšuje a dochádza ku kmitaniu technologickej sústavy, čo zhoršuje drsnosť obrobeného povrchu.

	ZHRNUTIE POJMOV	Makrogeometria povrchu, mikrogeometria povrchu, drsnosť povrchu, parametre drsnosti povrchu, profilová drsnosť, plošná drsnosť, drsnomer, metódy hodnotenia povrchu, kontaktné meranie drsnosti, bezkontaktné metódy merania drsnosti
---	------------------------	---

	OTÁZKY	10
---	---------------	----

1. Aký je rozdiel medzi makrogeometriou a mikrogeometriou povrchu?
2. Aký význam má mikrogeometria povrchu z hľadiska strojárskych výroby?
3. Definujte pojem drsnosť povrchu.
4. Definujte parameter drsnosti R_a .
5. Definujte parameter drsnosti R_z .
6. Vymenujte bezkontaktné metódy merania drsnosti povrchu.
7. Vysvetlite rozdiel medzi kontaktnými a bezkontaktnými metódami merania drsnosti povrchu.
8. Ako sa nazýva zariadenie určené na kontaktné meranie drsnosti povrchu?
9. Vymenujte výhody laserovej skenovacej konfokálnej mikroskopie.
10. Aké parametre ovplyvňujú drsnosť povrchu pri sústružení?

	ÚLOHA	Realizujte hodnotenie 2D parametrov drsnosti povrchu (R_a , R_z) na sústružených povrchoch súčiastok.
--	--------------	---

Metodické pokyny pre hodnotenie drsnosti povrchu pri kontaktnom spôsobe merania drsnosti:

- Cieľom je naučiť študentov merať a analyzovať povrchovú drsnosť pomocou kontaktnej metódy merania pomocou profilomera a interpretovať výsledky.
 - Skupina študentov pracuje na cvičení spoločne, pričom sa študenti pri zadaných úlohách jednotlivo striedajú, aby mal každý študent možnosť pracovať s meracím zariadením samostatne a prakticky si vyskúšal kontaktné meranie drsnomerom.
1. Vysvetlenie praktického cvičenia zameraného na meranie drsnosti.
 2. Skupinová diskusia o tom, ako drsnosť ovplyvňuje výkonnosť produktu a ako by sa merania mohli použiť na zlepšenie výrobných procesov.
 3. Príprava vzoriek a zariadenia, nastavenie parametrov merania – študenti určia správne nastavenie drsnomera.
 4. Kontaktné meranie drsnosti povrchu – študenti jednotlivo pristupujú k pracovnému stolu, pričom každý z nich prevedie meranie a nameranú hodnotu zapíše na tabuľu do tabuľky. Hodnoty musia študenti odčítať z obrazovky zariadenia, pričom sa zaznamenáva hodnota parametrov drsnosti R_a a R_z .
 5. Študenti vypočítajú priemerné hodnoty parametrov drsnosti povrchu R_a a R_z .
 6. Študenti načrtnú na tabuľu graf, do ktorého na osi x zaznamenajú hodnotený parameter (reznú rýchlosť, posuv) a na os y hodnoty R_a a R_z . Študenti sa pri tabuli striedajú jednotlivo, každý študent zakreslí príslušnú hodnotu do grafu.
 7. Diskusia o zdrojoch chýb a variabilite v meraniach.
 8. V skupine vypracuje referát každý študent samostatne.

	ZADANIE A	Určenie vplyvu reznej rýchlosti pri sústružení na parametre drsnosti povrchu Ra a Rz.
---	------------------	---

Pre daný materiál určite hodnoty parametrov drsnosti povrchu Ra a Rz v závislosti od reznej rýchlosti. Graficky znázorníte závislosť Ra od reznej rýchlosti a posuvu a závislosť Rz od reznej rýchlosti.

- Súčiastka je sústružená na $D = 82,45 \text{ mm}$
- Nástroj:
 - Držiak: MVJNR 2525 – M16
 - Rezná platnička Korloy VNMG 160404 – HMNC 3020
- Materiál: hliníková zliatina
- Prístroje: drsnomer Surtronic 3+

Vyjadrite závislosť parametrov drsnosti povrchu Ra a Rz od reznej rýchlosti v_c , ak je posuv $0,2 \text{ mm}$ a hĺbka rezu $0,5 \text{ mm}$.

Parametre: $D = 82,45 \text{ mm}$, $f = 0,2 \text{ mm}$, $a_p = 0,5 \text{ mm}$

6 plôch obrábaných pri rôznej frekvencii otáčania n ($2100, 1800, 1500, 1200, 900, 600 \text{ min}^{-1}$)

Úloha: vypočítať v_c pre všetky n , určiť priemernú hodnotu Ra a Rz, graficky vyjadriť závislosť Ra a Rz od v_c .

Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:

$n \text{ (min}^{-1}\text{)}$	2100	1800	1500	1200	900	600
$Ra_1 \text{ (}\mu\text{m)}$						
$Ra_2 \text{ (}\mu\text{m)}$						
$Ra_3 \text{ (}\mu\text{m)}$						
Ra (}\mu\text{m)}						
$Rz_1 \text{ (}\mu\text{m)}$						
$Rz_2 \text{ (}\mu\text{m)}$						
$Rz_3 \text{ (}\mu\text{m)}$						
Rz (}\mu\text{m)}						

Výpočet:

- Rezná rýchlosť podľa vzťahu: $v_c = \frac{\pi D n}{1000}$

	ZADANIE B	Určenie vplyvu posuvu (f) pri sústružení na parametre drsnosti povrchu R_a a R_z .
---	------------------	--

Pre daný materiál určite hodnoty parametrov drsnosti povrchu R_a a R_z v závislosti od posuvu pri sústružení. Graficky znázornite závislosť R_a posuvu a závislosť R_z od posuvu.

- Súčiastka je sústružená na $D = 82,45$ mm
- Nástroj:
 - Držiak: MVJNR 2525 – M16
 - Rezná platnička Korloy VNMG 160404 – HMNC 3020
- Materiál: hliníková zliatina
- Prístroje: drsnomer Surtronic 3+

Vyjadrite závislosť parametrov drsnosti povrchu R_a a R_z od posuvu f , ak je frekvencia otáčania 1000 min^{-1} a hĺbka rezu $0,5$ mm.

Parametre: $D = 82,45$ mm, $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, $a_p = 0,5$ mm

6 plôch obrábaných pri rôznom posuve ($0,175$; $0,150$; $0,125$; $0,1$; $0,225$; $0,2$ mm)

Úloha: určiť priemernú hodnotu R_a a R_z , graficky vyjadriť závislosť R_a a R_z od f (hodnoty f sú v tab. uvedené podľa umiestnenia na vzorke)

V skupine vypracuje referát každý študent samostatne.

Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:

f (mm)	0,175	0,150	0,125	0,1	0,225	0,2
R_{a1} (μm)						
R_{a2} (μm)						
R_{a3} (μm)						
R_a (μm)						
R_{z1} (μm)						
R_{z2} (μm)						
R_{z3} (μm)						
R_z (μm)						

Záver: Na základe nameraných hodnôt vypracovať referát so zhodnotením a grafickým znázornením vplyvu reznej rýchlosti a posuvu na parametre drsnosti R_a a R_z .

	LITERATÚRA	15
---	-------------------	----

1. DRAGANOVSKÁ, D., MORO, R.: Možnosti hodnotenia drsnosti povrchov v procese mechanických predúprav. Transfer inovácií 44/2021. 2021. [cit. 03-07-2024] Dostupné na: https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/44-2021/44_2021.htm
2. TARASOVIČOVÁ, A., ŠOMŠÁKOVÁ, Z.: Charakteristika drsnosti povrchu pri zvyšovaní produktivity sústruženia. Transfer inovácií 15/2009. 2009. [cit. 03-07-2024] Dostupné na: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/090-093.pdf>
3. DRBÚL, M. a kol. Strojárska metrológia a kvalita povrchov vytvorených technológiami obrábania. 2014. ŽU v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra obrábania a výrobnéj techniky, Žilina.
4. GÖRÖG, A., SAMARDŽIOVÁ, M. Metrológia a kvalita technologických procesov. Metrology and quality of technological processes. Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave 2016. ISBN 978-80-8096-225-8
5. GÖRÖG, A., GÖRÖGOVÁ, I., Metrológia a kvalita technologických procesov. Návod na cvičenia. 2018. Alumnipress. ISBN 978-80-8096-255-5
6. MAHR Mahr Surf. Parametry drsnosti povrchu. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: <https://www.klz.inshop.cz/inshop/files/6910230/Parametry%20drsnosti%20Mahr-NEW.pdf>
7. EN ISO 4287. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method - Terms, definition and surface texture parameters.
8. Mitutoyo Quick Guide to Surface Roughness Measurement. Bulletin No. 2229. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/1984_Surf_Roughness_PG.pdf
9. Surface Roughness Measurement—Parameters. Olympus. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: <https://www.olympus-ims.com/en/metrology/surface-roughness-measurement-portal/parameters/>
10. SAHAY, CH., GHOSH S. Understanding Surface Quality: Beyond Average Roughness (Ra). 2018. American Society for Engineering Education. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: [understanding-surface-quality-beyond-average-roughness-ra.pdf](https://www.aspe.org/understanding-surface-quality-beyond-average-roughness-ra.pdf)
11. Image Metrology. Users Guide. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: https://www.imagemet.com/WebHelp6/Default.htm#RoughnessParameters/Roughness_Parameters.htm%23Roughness_Average
12. Keyence. Introduction to Surface Roughness. Area roughness parameters. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: https://www.keyence.eu/ss/products/microscope/roughness/surface/tab01_f.jsp
13. ISO 25178-2:2012: Geometric Product Specification (GPS). Surface Texture: Areal. Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, Geneva: Int. Org. Stand., 2012.
14. JANKOVÝCH, R., BUMBÁLEK, B. Výškové parametry textury povrchu. 2014. MM Průmyslové spektrum. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyskove-parametry-textury-povrchu>
15. ACCRETECH (Europe) GmbH. Měření struktury povrchu. 2018. [cit. 04-07-2024] Dostupné na: <https://www.accretech.eu/cs/mereni-struktury-povrchu/#messmethoden>