

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika měření drsnosti povrchu

Autor: **Jiří HOLADA**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana ČESÁKOVÁ**

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákon o vysokých školách č. 111/1998 Sb. Je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Tato bakalářská práce byla podpořena formou odborné konzultace Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.3.00/35.0048 „Popularizace výzkumu a vývoje ve strojním inženýrství a jeho výsledků (POPULÁR)“.

Odborným konzultantem byl Ing.Miroslav Zetek, Ph.D., kterému děkuji za poskytnuté konzultace, kvalifikované rady a odbornou pomoc při sepsování této BP.

Dále bych rád poděkoval všem, bez nichž by nemohla má bakalářská práce vzniknout. Především mým rodičům za podporu při tvorbě BP. Největší dík patří Ing. Ivaně Česákové za její vstřícnost, rady a trpělivost

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Holada	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie - technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Česáková	Jméno Ivana	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Problematika měření drsnosti povrchu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	40	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMEŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce na téma „Problematika měření drsnosti povrchu“ se nejprve zabývá vznikem drsnosti a předepisováním drsnosti na výkresové dokumentaci. Následně se zaměřuje na různé metody měření drsnosti, jako je profilová a plošná drsnost. Další důležité body se týkají kontaktních a bezkontaktních měřicích přístrojů, jejich výhodami a nevýhodami. V závěrečné části je uvedeno měření prováděné na KTO na ZČU v Plzni.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p>	<p>Měření drsnosti, profilová drsnost, plošná drsnost, normy pro měření drsnosti, dotykové a bezdotykové měřicí přístroje.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Holada	Name Jiří
FIELD OF STUDY	Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Česáková	Name Ivana
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Problems of surface roughness measurement	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and aq. A4)

TOTALLY	40	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis on a topic „Problems of surface roughness measurement” first discusses the emergence of roughness and roughness prescribing the drawings. Then focuses on various methods for measuring roughness, such as profile and surface roughness. Other important points concerning the contact and contactless measurement devices, their advantages and disadvantages. The final section describes measurements carried out on the KTO in Pilsen.
KEY WORDS	Measurement of roughness, profile roughness, surface roughness, standards for roughness measurement, touch and non-touch measuring device.

Obsah:

Obsah	6
Přehled použitých zkratk a symbolů	7
1 Úvod.....	8
1.1 Cíle bakalářské práce	8
2 Rozbor současného stavu [7, 20]	9
2.1 Předepisování drsnosti povrchu na výkresech [15. 16].....	10
2.2 Měření profilové drsnosti [1, 8, 15]	12
2.3 Měření plošné drsnosti [13]	19
2.4 Normy udávající měření drsnosti [3, 4, 5, 6, 13, 14]	23
3 Srovnání různých metod měření	25
3.1 Kontaktní měřicí metoda [1, 17]	25
3.1.1 Výhody kontaktní měřicí metody	27
3.1.2 Nevýhody kontaktní měřicí metody [17].....	27
3.2 Bezkontaktní měřicí metoda [2, 12, 17].....	28
3.2.1 Výhody bezkontaktní měřicí metody.....	31
3.2.2 Nevýhody bezkontaktní měřicí metody	31
3.3 Porovnání kontaktní a bezkontaktní měřicí metody.....	32
4 Zhodnocení a směr budoucího vývoje	34
5 Závěr	38
Použitá literatura	39

Přehled použitých zkratk a symbolů

ISO – mezinárodní organizace pro normalizaci

DIN – německá národní norma

EN – evropská norma

ČSN – česká technická norma

R_{max} – maximální vzniklá drsnost

R_a – střední aritmetická úchylka profilu

R_z – největší výška profilu

R_q – průměrná kvadratická úchylka profilu

P profil- primární profil povrchu

R profil – profil drsnosti

W profil – profil vlnitosti

l_r – základní délka

l_c - mezní vlnová délka

l_n – vyhodnocovaná délka

Z_p – charakteristická výška hrotu profilu

Z_v – hloubka profilové rýhy

X_s – šířka rýhy

Z_t – suma výšky hrotu profilu a hloubky profilové rýhy

R_c – střední vzdálenost výšek elementů

R_{sk} – vyosení

R_{sm} – střední vzdálenost rýh

3D – prostorové snímání

GPS – geometrické požadavky na výrobky

LED – dioda emitující světlo

CCD – Charge Coupled Device

μm – mikrometr = 10⁻⁶m (jednotka délky)

nm - nanometr= 10⁻⁹m (jednotka délky)

CLA - Chromatic Length Aberration

1 Úvod

Ve strojírenském průmyslu, jako je konstrukce, materiálové inženýrství a strojírenská technologie a s tím spojená technologie obrábění, je žádáno zvyšování produktivity s celkovým snížením nákladů. Proces obrábění patří mezi nejvíce rozšířené technologie přetváření polotovaru na konečný výrobek. Tyto technologie se neustále zdokonalují. Stále se kladou vyšší a vyšší požadavky na konečnou přesnost a jakost povrchu. Tyto tvarové a povrchové vlastnosti je zapotřebí dokázat změřit s dostatečnou přesností.

Tématem mé bakalářské práce je „Problematika měření drsnosti povrchu“. Drsnost povrchu je vlastnost, kterou používají všechny strojírenské obory. Využívají ji v konstrukci při návrhu součásti. Na drsnosti povrchu závisejí tolerance součásti a na jejich následném slícování. Drsnost se uvažuje i při výpočtech dynamicky namáhaných součástech, kde výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti dané součásti. Z tohoto důvodu to není zanedbatelná vlastnost obrobku, která pouze vznikne po předchozím obrobení. Předepsané drsnosti se docílí zvolením vhodných řezných parametrů. Těmito parametry docílíme různých drsností a ty je třeba vhodným způsobem změřit. Způsob měření a vlastnosti profilu drsnosti jsou dané normou. Měření se však může provádět několika metodami a nespočetným množstvím přístrojů. V této bakalářské práci budou uvedeny metody měření a měřené parametry. Dále se tato práce bude věnovat porovnání metod měření drsnosti a s tím souvisejícími přístroji pro měření těmito metodami. Přístrojů je nepřeberné množství. Jiné přístroje se používají pro měření nástrojů, kde jsou kladeny vysoké nároky. Jiný přístroj se použije pro měření právě obrobené plochy součástky, která je určena jako součást nějakého stroje. V této bakalářské práci budou uvedeny výhody a nevýhody metod měření. Dále zde bude rozebrána norma ISO 25178-2, která popisuje parametry a problematiku měření plošné drsnosti. Plošná drsnost, jako výsledek měření, je poměrně nová vlastnost povrchu. Tato vlastnost dává komplexní pohled na daný povrch. Drsnost jako vlastnost povrchu materiálu je ve výrobě brána jako parametr, který vznikne po obrobení, ale stále mu není věnována dostatečná pozornost.

1.1 Cíle bakalářské práce

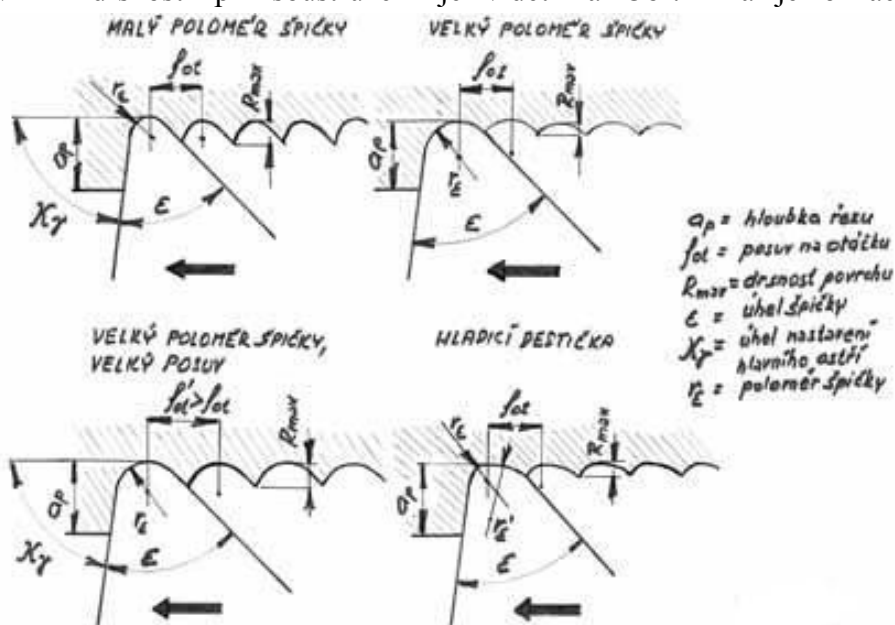
- Zmonitorovat současný stav problematiky měření drsnosti povrchu.
- Zjištění metod měření drsnosti povrchu.
- Vyhledání norem, které udávají způsob měření drsnosti povrchu.
- Porovnat možnosti dotykových a bezdotykových přístrojů

2 Rozbor současného stavu [7, 20]

Obrobená plocha nedosáhne při žádném typu obrábění zcela hladkého povrchu. Povrch vždy vykazuje určitý stupeň drsnosti. Ten je určen mikronerovnostmi, které vzniknou při obrábění.

Norma ISO 4287 udává definici drsnosti jako souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením aj.

Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Pro představu je vhodný příklad soustružení, kde vzniká spirála na povrchu válce. Vznik drsnosti při soustružení je vidět na Obr. 1 a je označena jako R_{max} .



Obr. 1 Vliv úhlu špičky a posuvu na drsnost povrchu [20]

Podle druhu obrábění se liší drsnost v podélném a příčném směru. Výjimkou jsou dokončovací operace jako broušení, honování, lapování, zde se drsnost v příčném a podélném směru téměř neliší. Stupeň drsnosti se zásadně určuje ve směru největší drsnosti.

Drsnost jako vlastnost, která vzniká při obrábění polotovaru, lze ovlivnit mnoha podmínkami. První a důležitá podmínka je způsob obrábění. Už to, zda se jedná o soustružení či broušení ovlivňuje dosahované parametry drsnosti. Dále jsou to řezné podmínky, tj. volba řezné rychlosti a posuvu. Jak ovlivňuje posuv vznik drsnosti

představuje Obr. 1. Další podmínka, která ovlivňuje vlastnosti povrchu je jakost, tvar a geometrie nástroje. Nejdůležitější parametry jsou poloměr špičky a úhel nastavení vedlejšího ostří. Tyto parametry demonstruje v porovnání velkého a malého poloměru špičky Obr. 1. Důležitou vlastností je samotná tuhost soustavy STROJ-NÁSTROJ-OBROBEK a s tím spojený samotný způsob upnutí vlastního obrobku. Dále jsou to fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu, správný odvod třísky od místa řezu, použitím provozní řezné kapaliny a opotřebení nástroje.

2.1 Předepisování drsnosti povrchu na výkresech [15. 16]

Drsnost povrchu je důležitá vlastnost pro dynamicky namáhané součásti. Tyto součásti se zpravidla začínají porušovat od povrchu. Velká drsnost působí jako vrub v součásti a tím snižuje únavovou pevnost. Konstruktor do výpočtů zahrnuje vliv drsnosti, a aby se tohoto potřebného parametru dosáhlo při výrobě, je nutné ho uvést ve výkresové dokumentaci. Pro přehlednost výkresové dokumentace slouží patřičné značky drsnosti. Tyto značky udává norma ISO 1302. Značka drsnosti se zapisuje pomocí značky a připojených údajů ke značce.

Základní grafickou značku tvoří dvě úsečky různých délek se sklonem k čáře 60° .



Tuto značku zobrazuje Obr. 2

Obr. 2 Základní grafická značka pro strukturu povrchu [16]

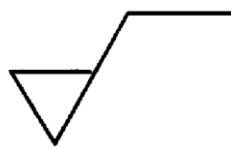
a její použití bez doplňujících informací se nedovoluje. Z této značky připojením úsečky k delšímu rameni se vytvoří úplná grafická značka Obr. 3. Při označení touto



značkou se dovoluje libovolný výrobní proces.

Obr. 3 Úplná grafická značka s libovolným výrobním procesem [16]

Jestliže se úběr materiálu požaduje, např. obráběním pro dosažení předepsaného povrchu, tak se základní značka doplní o úsečku viz. Obr. 4. Tato grafická značka by se



měla používat s použitím doplňkových informací.

Obr. 4 Úplná grafická značka s požadovaným úběrem materiálu [16]

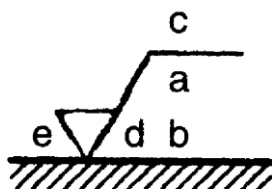
Pokud se však odebrání materiálu nedovoluje, vepíše se místo rovné úsečky do



základní značky kružnice Obr. 5.

Obr. 5 Úplná grafická značka- odebrání materiálu se nedovoluje [16]

Aby požadavek na strukturu byl jednoznačný, může být nutné doplnit základní grafickou značku o specifické doplňkové parametry (např. výrobní proces, přídavky na obrábění, směr nerovností). Značka drsnosti s umístěním parametrů, které označují

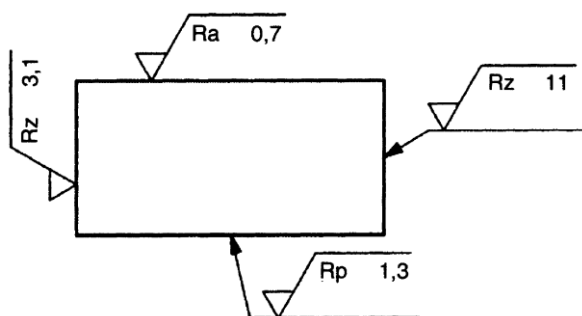


písmena, je na Obr. 6.

Obr. 6 Polohy pro umístění doplňkových požadavků [16]

- Poloha a označuje jediný požadavek na strukturu. Zde se předepisuje parametr struktury povrchu, mezní číselná hodnota, přenosové pásmo a základní délka. Příklad 0,0025-0,8/Ra 6,3.
- Poloha b slouží pro předpis více požadavků na strukturu povrchu.
- Poloha c se předepíše tehdy, když požadujeme ke zhotovení výrobní proces, tepelné zpracování, povlaky nebo jiné požadavky.
- Poloha d slouží pro předpis nerovností a jejich orientaci.
- Poloha e označuje přídavek na obrábění. Předepíše se jako číselná hodnota v milimetrech.

Značky na výkrese se umísťují tak, aby byl výkres přehledný a značky čitelné. Značka svým hrotem směřuje k obrysové čáře plochy, která se bude obrábět. Pro přehlednost se mohou značky umístit na praporek odkazové čáry vedené od obrysu součásti. Hrot značky směřuje vždy do materiálu a hodnota parametru se zapíše, aby byla čitelná zdola zprava Obr. 7.



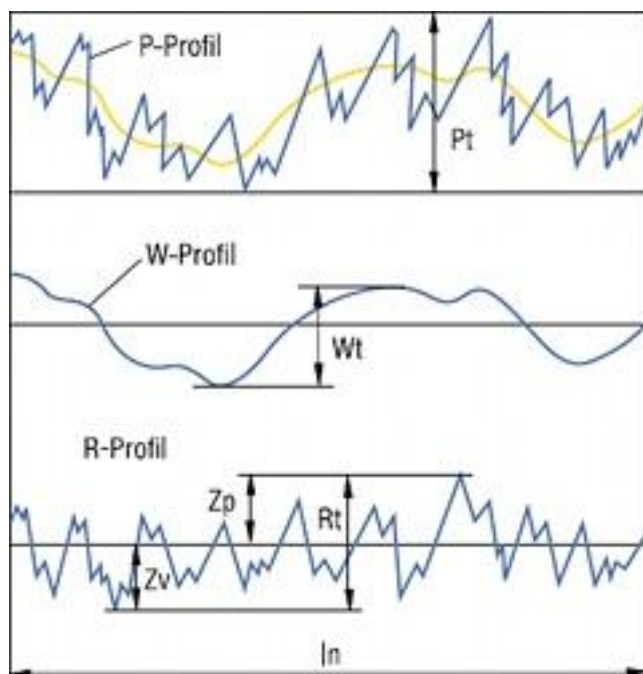
Obr. 7 Směr čtení požadavků na strukturu [16]

Pokud jsou všechny plochy obrobena stejně, zapíše se značka drsnosti do pravého horního rohu výkresu a na plochách se neuvádí. Rovněž se uvádí značky drsnosti do závorek za drsnost převažující, jestliže se na výkrese vyskytují jiné hodnoty drsnosti povrchu.

2.2 Měření profilové drsnosti [1, 8, 15]

Profilová metoda je dnes nejpoužívanější dotyková metoda. Přístroj je profilometr. Základem profilometru je diamantový hrot. Přístroj může snímat profil povrchu absolutně nebo relativně. Při absolutním snímání pracuje přístroj na principu dotyku diamantového hrotu s povrchem bez použití opěrné patky. Z tohoto důvodu potřebuje poměrně přesný vodící mechanismus. Relativní snímač drsnosti obsahuje kluznou patku. Tato patka funguje jako mechanický filtr vlnitosti. To způsobí následné vyhodnocení profilu vlnitosti. Patka zčásti odstraní většinu chvění. Měření probíhá velmi rychle, je bezpečné vůči hrotu a proto je velmi rozšířené u levnějších přístrojů.

Pohybem snímače se získá dvoudimenzionální profil jako obraz povrchu součásti. Filtrací podle DIN EN ISO 11562 se z nefiltrovaného primárního profilu (P-profil) získá profil drsnosti (R-profil) a profil vlnitosti (W-profil). Na těchto třech profilech jsou veličiny definovány a podle profilu analogicky označeny P, R nebo W.

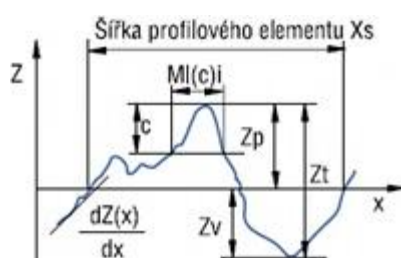


Obr. 8 Profil povrchu [8]

- P_t – Hloubka profilu dle DIN EN ISO 4287
 - nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky l_n
 - P_t je silně závislý na délce měřené délky l_n
 - P_t slouží k vyhodnocování jednotlivých chyb povrchu
- W_t – Hloubka vln dle DIN EN ISO 4287
 - vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnost odfiltrována) uvnitř měřené délky l_n
 - značka W_t se používá ke kontrole výrobního postupu, u kterého vlnitost představuje funkční kritérium
- R_t – Největší hloubka drsnosti dle DIN EN ISO 4287
 - svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky l_n

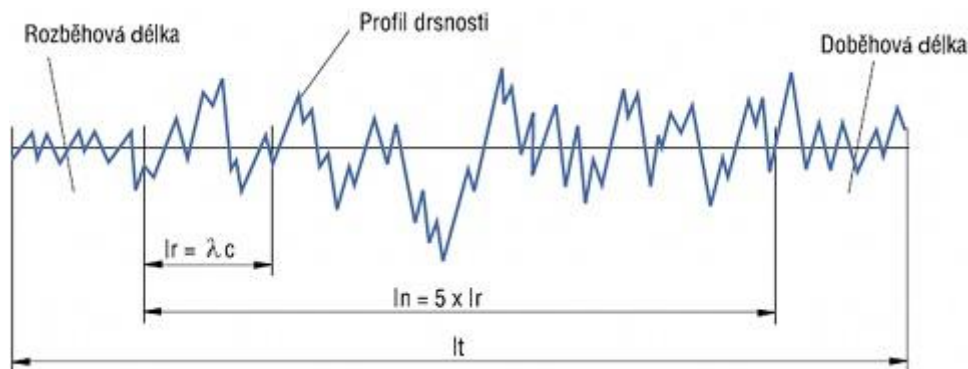
Vztažnou čarou pro definici parametrů je uvnitř základní délky l_p , l_r , l_w střední čára. Pokud není stanoveno jinak je dovoleno měření pro zjištění parametrů drsnosti a vlnitosti přes $l_n = 5 l_r$ resp. $l_n = 5 l_w$ (l_p).

- Povrchový element – geometrická interpolace dle DIN EN ISO 4287
 - Část profilu, která sestává z jednoho profilového hrotu a jedné profilové rýhy.
 - Charakteristické jsou výška Z_p hrotu profilu (peak), hloubka Z_v profilové rýhy (valley), šířka X_s (spacing). Výškový rozdíl Z_t je suma výšky hrotu profilu a hloubky profilové rýhy daného profilového elementu.



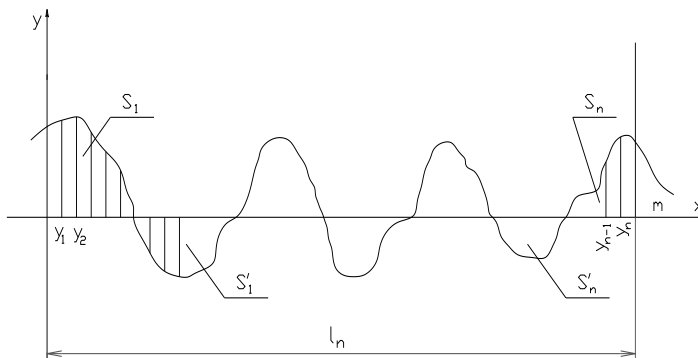
Obr. 9 Povrchový element [8]

- Mezní vlnová délka dle DIN EN ISO 4287
 - Profil drsnosti se skládá z elementů oddělených podle vlnové délky profilovým filtrem l_c (cut-off). Mezní vlnová délka charakterizuje způsob filtrace k oddělení vlnitosti a drsnosti. Celková délka l_t je délka pohybu snímače během kterého se snímají úchylny tvaru povrchu. Ta je však delší než měřená délka l_n , z které se pomocí filtru získá profil drsnosti. Zjišťovány budou pravidelně jako střední hodnota 5 základních délek l_r . Základní délka l_r se rovná mezní vlnové délce l_c .



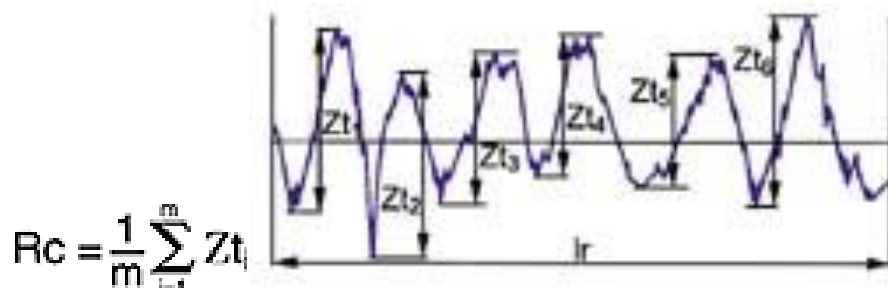
Obr. 10 Měřené délky [8]

- M – střední čára profilu dle ISO 4287
 - Má tvar geometrického povrchu (tj. přímky, kružnice, evolventy apod.), je souběžná s hlavním směrem profilu a rozděljuje zjištěný povrch tak, že v rozsahu základní délky je součet čtverců úchylek tohoto profilu od střední čáry m minimální. Na grafickém záznamu povrchu profilu se střední čára prokládá tak, že součty ploch po obou jejích stranách jsou v rozsahu základní délky stejné.
 - $S_1 + S_2 + \dots + S_n = S'_1 + S'_2 + \dots + S'_n$



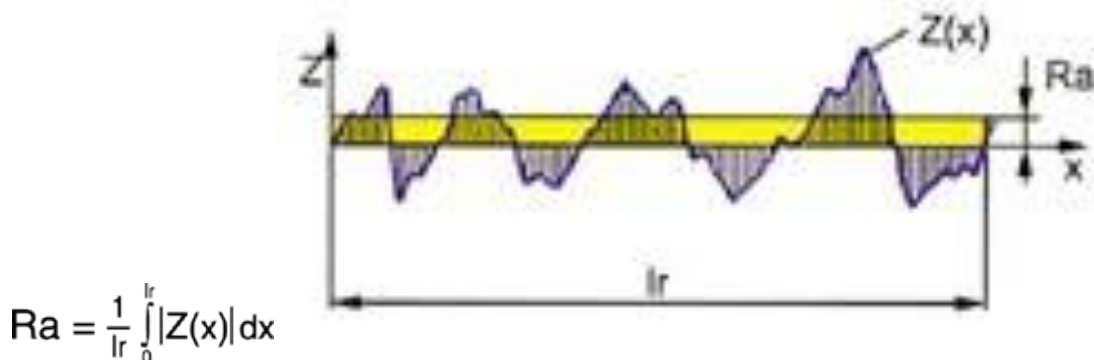
Obr. 11 Znáznornění střední čáry profilu [15]

- Střední vzdálenost výšek elementů profilu dle DIN EN ISO 4287
 - aritmetický střed výšek elementů drsnosti profilu Z_t uvnitř základní délky l_r
 - měření R_c požaduje zadání jedné vertikální a horizontální hladiny řezu



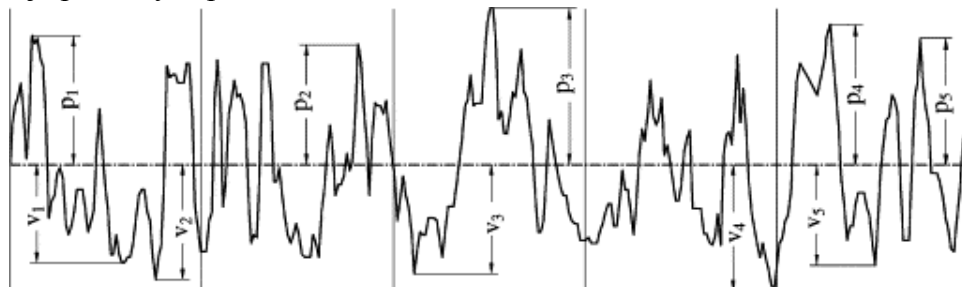
Obr. 12 Střední vzdálenost výšek elementů profilu [8]

- Střední aritmetická hodnota drsnosti dle DIN EN ISO 4287
 - aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r
 - vypovídací schopnost parametru je nízká, R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu



Obr. 13 Střední aritmetická hodnota drsnosti [8]

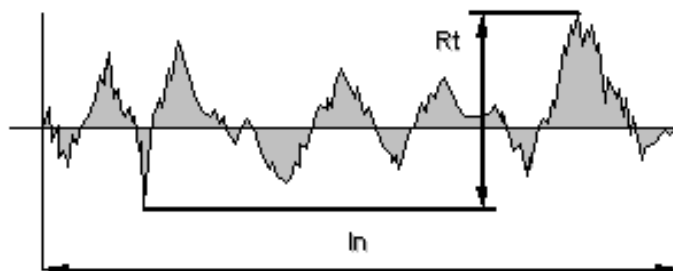
- Výška nerovností posuzovaného profilu z 10 bodů dle DIN EN ISO 4287
 - Parametr, který je definován jako průměr součtu pěti nejvyšších vrcholů a pěti nejnižších údolí podél vyhodnocované délky profilu.
 - n je počet výstupků



$$R_{z(\text{DIN})} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i \right)$$

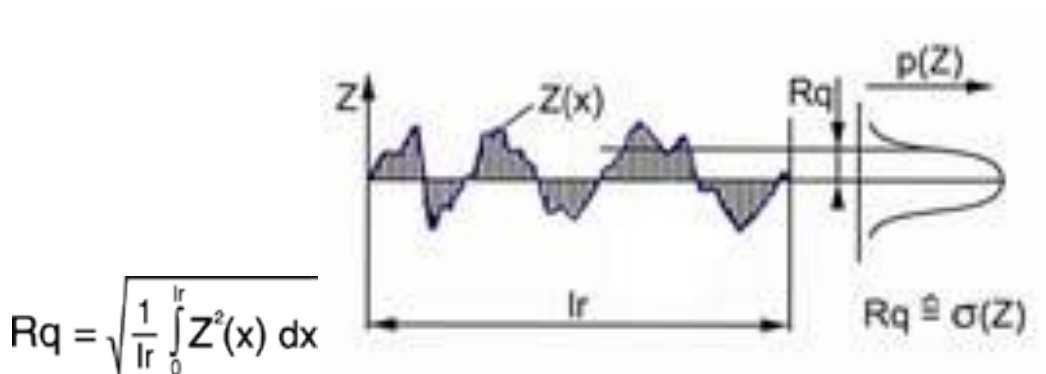
Obr. 14 Definice Rz [11]

- Celkový výšku profilu dle DIN EN ISO 4287
 - Součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky



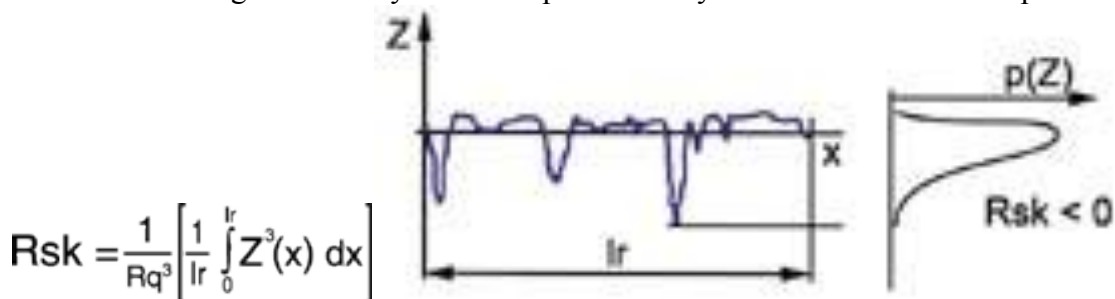
Obr. 15 Celková výška profilu [8]

- Střední kvadratická hodnota drsnosti dle DIN EN ISO 4287
 - střední kvadratická hodnota odchylek filtrovaného profilu drsnosti uvnitř základní délky l_r
 - parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť R_q zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic



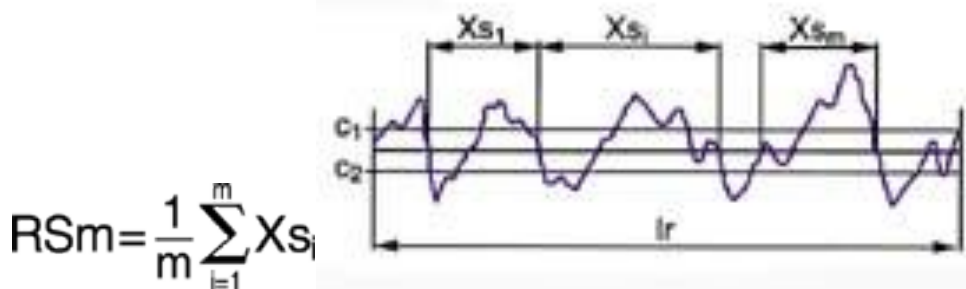
Obr. 16 Střední kvadratická hodnota drsnosti [8]

- Vyosení (Nesymetrie) dle DIN EN ISO 4287
 - měřítko pro asymetrii křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu
 - negativní odchylka Rsk odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu



Obr. 17 Vyosení [8]

- Střední vzdálenost rýh dle DIN EN ISO 4287
 - střední hodnota roztečí nerovností profilu v rozsahu vyhodnocované délky lr (analogicky Psm, Wsm)
 - vyhodnocení veličiny požaduje zadání hladiny řezu C1, C2



Obr. 18 Střední vzdálenost rýh [8]

2.3 Měření plošné drsnosti [13]

Plošné neboli trojrozměrné měření a snímání struktury povrchu obrobku představuje posun od drsnosti snímaného profilu ke kvalitativně vyšší úrovni komplexního posouzení kvality povrchu. Při měření profilové drsnosti se získá drsnost v jednom řezu zadané plochy. Pokud se provede měření několika stovek řezů vedle sebe, získá se komplexní informace o průběhu drsnosti na celé měřené ploše. Toto technicky náročné snímání dat pro hodnocení struktury povrchu vede k velkému množství informací pro realistické představení povrchu. Analýzy struktury povrchu kromě početního hodnocení většinou nabízejí i grafické zobrazení ve formě axonometrického pohledu, topografické mapy nebo záznamu intenzity souřadnic. Charakteristika povrchu v prostoru, jako jsou například tvar a velikost výstupků, nejen zvyšuje objektivitu posouzení povrchu, ale i přispívá k vysvětlení a řešení řady problému v tribologii a výrobní technologii. Plošné měření povrchu umožní jednoznačnou charakteristiku povrchu. Tohoto se s úspěchem využívá pro např. broušené povrchy a velmi malé povrchy jako jsou plochy na nástrojích, závity, dosedací plochy ventilů a jiné.

Pro jednoznačné určení měřené plochy je potřeba více parametrů, než bylo třeba pro určení profilu povrchu, proto je důležité tyto parametry definovat a znát základní terminologii plošné drsnosti. Všechny tyto termíny a definice jsou sepsány v normě ISO 25 178-2 z roku 2006. Tato norma nejenže definuje 3D parametry, ale také popisuje příslušné technologie měření a kalibrační postupy.

Norma ISO 25178 v části termíny a definice definuje všeobecné a geometrické pojmy. Tyto základní pojmy jsou uvedeny níže.

- Skutečný povrch obrobku - sada funkcí, které fyzicky existují a oddělují celý obrobek od okolního prostředí.
- Primární povrch - dosažená část povrchu, která je reprezentována jako určitý základní matematický model s uvedeným indexem vnoření.
- Extrahovaný povrch - digitální reprezentace povrchu.
- S-filtr - filtr, který odstraňuje nejmenší prvky z povrchu.
- L-filtr - filtr, který odstraňuje největší prvky z povrchu.
- F-operátor - subjekt, který odstraní profil z primárního povrchu.
- S-F povrch - povrch získaný po použití F-operátoru na primární povrch.
- S-L povrch - povrch odvozený z povrchu S-F odstraněním rozsáhlých složek pomocí L-filtru.
- Referenční plocha - povrch přidružený k omezenému rozsahu povrchu definovaným způsobem. Příklady referenčních ploch jsou rovina, válec a koule.
- V-parametr - objem materiálu nebo prázdný objem pole nebo funkční parametr.
- S-parametr - pole nebo funkční parametr, který není V-parametr.
- $Z(x,y)$ - výška na omezeném povrchu v místě x,y .

- Vrchol - bod na povrchu, který je větší než ostatní body v okolí tohoto bodu.
- Kopec - oblast kolem vrcholu, takže všechny maximální dráhy vedou vzhůru na vrchol.
- Dno - bod na povrchu, který je menší než všechny ostatní body v okolí
- Údolí - oblast kolem jámy, takže všechny maximální dráhy vedou dolu k jámě.

Norma ISO 25178 dále udává definice pole parametrů.

Výškové parametry:

- Sq = střední kvadratická výška povrchu- střední kvadratická výška na omezeném prostoru

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

- Ssk = šikmost na omezené ploše- podíl třetí mocniny výšky na omezeném prostoru a třetí mocniny hodnoty Sq

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

- Sku = špičatost na omezené ploše- podíl čtvrté mocniny výšky na omezeném prostoru a čtvrté mocniny hodnoty Sq

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

- Sp = maximální výška vrcholu- největší maximální výška v definované oblasti
- Sv = maximální hloubka dna- největší maximální hloubka v definované oblasti
- Sz = maximální výška na omezeném povrchu- součet největší maximální výšky a největší maximální hloubky na definované oblasti
- Sa = aritmetický průměr výšek- aritmetický průměr absolutních výšek na definované oblasti

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

Prostorové parametry:

- S_{al} = auto-korelační délka- vodorovná vzdálenost $ACF(t_x, t_y)$, která má nejrychlejší rozpad na zadanou hodnotu s , $0 \leq s < 1$

$$S_{al} = \underset{t_x, t_y \in R}{MIN} \sqrt{t_x^2 + t_y^2} \quad \text{where } R = \{(t_x, t_y) : ACF(t_x, t_y) \leq s\}$$

- S_{tr} = struktura poměru stran- poměr vodorovné vzdálenosti $ACF(t_x, t_y)$, která má nejrychlejší rozpad na zadanou hodnotu s do vodorovné vzdálenosti $ACF(t_x, t_y)$ která má nejpomalejší rozpad s , $0 \leq s < 1$

$$S_{tr} = \frac{\underset{t_x, t_y \in R}{MIN} \sqrt{t_x^2 + t_y^2}}{\underset{t_x, t_y \in Q}{MAX} \sqrt{t_x^2 + t_y^2}} \quad \text{where } \begin{aligned} R &= \{(t_x, t_y) : ACF(t_x, t_y) \leq s\} \\ Q &= \{(t_x, t_y) : ACF(t_x, t_y) \geq s \& \text{ **}\} \end{aligned}$$

Hybridní parametry:

- S_{dq} = střední kvadratický spád- střední kvadratický sklon povrchu na definované oblasti

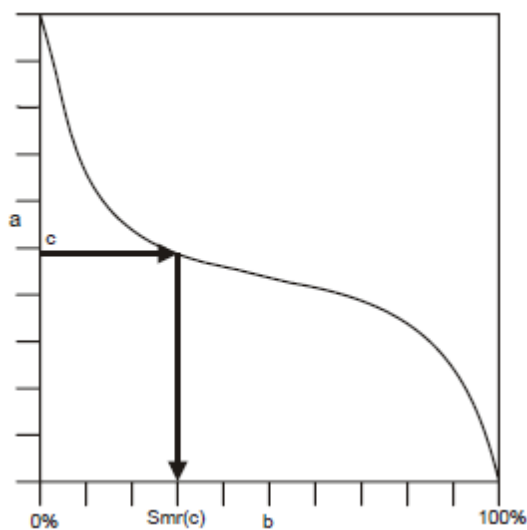
$$S_{dq} = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A \left[\left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy}$$

- S_{dr} = poměr zastavěné mezifázové plochy- poměr přírůstku mezifázové plochy v omezeném rozsahu povrchu v definiční ploše přes definovanou oblast

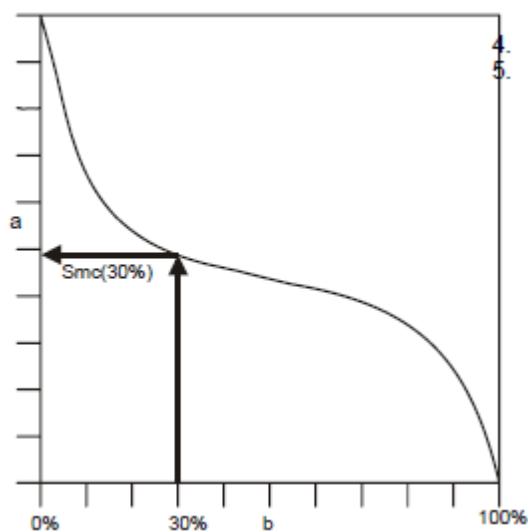
$$S_{dr} = \frac{1}{A} \left[\iint_A \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \right)^2} - 1 \right) dx dy \right]$$

Funkční a související parametry:

- S_{mr} = poměr plošného materiálu na omezeném povrchu- poměr plochy materiálu ve stanovené výšce c na hodnotící oblasti



Obr. 19 Poměr plošného materiálu v dané výšce c [13]



Obr. 20 Inverzní poměr materiálu v zadaném poměru p [13]

- S_{mc} = inverzní plošný poměr materiálu na omezeném povrchu- výška c , na které je splněn plošný poměr materiálu p
- S_k , S_{pk} , S_{vk} , S_{mr1} , S_{mr2} , S_{vq} , S_{pq} , S_{mq} = plošné parametry pro vrstvené funkční plochy na omezené ploše

- V_v = prázdný objem- objem pórů na jednotku plochy v daném materiálu vypočtený z křivky poměru plošného materiálu

$$V_v(p) = \frac{K}{100\%} \int_p^{100\%} [S_{mr}(q) - S_{mr}(p)] dq$$

- V_m = objem materiálu- objem materiálu na jednotku plochy vypočtený z křivky poměru plošného materiálu

$$V_m(p) = \frac{K}{100\%} \int_0^p S_{mr}(p) - S_{mr}(q) dq$$

- S_{vs} = funkce objemu- objem mezi morfologickým uzavřením a otevřením na omezeném povrchu

2.4 Normy udávající měření drsnosti [3, 4, 5, 6, 13, 14]

- ČSN EN ISO 1302 - Tato mezinárodní norma je základní normou geometrických požadavků (GPS). Považuje se za všeobecnou normu. Tato norma stanovuje pravidla pro označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků pomocí technických značek a textu.
- DIN EN ISO 4287 - Tato mezinárodní norma je normou Geometrických požadavků na výrobky a je uvažována jako Všeobecná GPS norma. Tato mezinárodní norma stanovuje termíny, definice a pro určování struktury povrchu profilovou metodou. Definiuje P, R, W profil, výškové parametry profilu (Ra, Rz, Rq), délkové parametry a tvarové parametry.
- ČSN EN ISO 13565 - Tato norma definuje parametry pro hodnocení struktury povrchu získané z pravděpodobnostní křivky materiálu stratifikovaných povrchů obrobků, které jsou výsledkem dvou po sobě následujících operací obrábění a jejichž hodnocení standardními metodami není efektivní. Dále stanovuje požadavky na měřicí proces, postup pro určení mezi lineárních částí, horní meze výstupků, dolní meze prohlubní, normované ohraničení pravděpodobnostní křivky materiálu a výpočet parametrů.
- ISO 4288 - Tato mezinárodní norma 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 lc pro parametry

profilu drsnosti podle ISO 4287, měřených pomocí dotykových (hrotových) přístrojů podle ISO 3274.

- ISO 3274 - Tato mezinárodní norma definuje profily a obecnou strukturu dotykových (hrotových) přístrojů pro měření drsnosti povrchu a vlnitosti povrchu a umožňuje použití stávajících mezinárodních norem pro praktické hodnocení profilu. Specifikuje vlastnosti přístrojů, které ovlivňují hodnocení profilu a poskytuje základ pro specifikaci dotykových (hrotových) přístrojů (profilometrů).
- ISO 25178 - Norma udává geometrické požadavky (GPS) na plošnou strukturu povrchu. Tato norma jako první definuje specifikace a měření plošné struktury povrchu. Norma zejména definuje 3D parametry drsnosti a příslušné specifikace operátorů. Dále popisuje příslušné technologie měření, kalibrační postupy a kalibrační software. Novým prvkem v této normě je pokrytí bezkontaktních měřících metod.

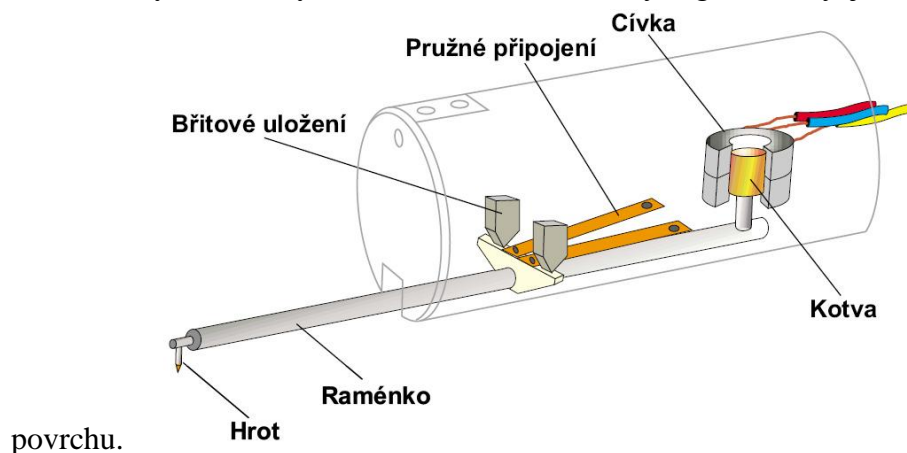
3 Srovnání různých metod měření

3.1 Kontaktní měřicí metoda [1, 17]

Na počátku 20. století byly používány etalony drsnosti. Pracovalo se s nimi tak, že se porovnávali pouhým okem nebo případně pod mikroskopem s již obrobeným povrchem. Tyto měrky musely být pro každý způsob obrábění jiné, protože vznikají různé stopy po nástroji. Oko odborníka rozeznalo parametry v μm . To však s postupným vývojem a kladenými nároky se stávalo nedostačující. Byly kladeny stále větší nároky na přesnost a lícování a s tím je spojena jakost povrchu. S postupným vývojem dokonalejších technologických postupů se postupně vyvíjeli i systémy měřicí.

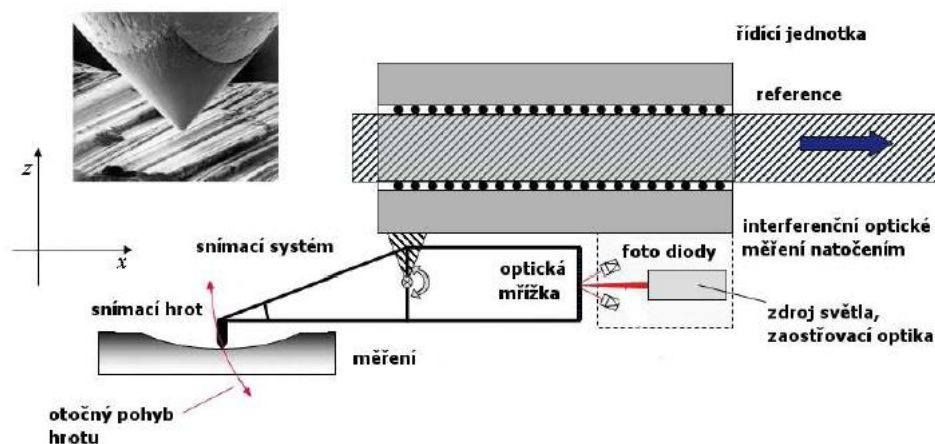
Jako první byly vyvinuty přístroje pracující na principu kontaktní neboli dotykové metody. Přístroje se skládají z mechanické a elektrické snímací části. Podstatou těchto přístrojů je vahadlové zavěšení ramene, kde na jednom konci je snímací hrot. Ten přenáší mechanický signál z obrobku na hrot s ramenem. Na druhém konci je snímač, který následně snímá polohu ramene a převádí tento signál na elektrický. Přístroje pro měření kontaktní metodou mohou být rozděleny do dvou základních skupin podle druhu snímače.

- Se snímačem elektromagnetickým Obr. 21 - mechanický signál se převádí na elektrický pomocí elektromagnetické indukce, kdy na snímací části je kotva. Pohybem kotvy v cívce vzniká elektrický signál, který je funkcí



Obr. 21 Schéma kontaktního měřicího přístroje s indukčním snímačem [1]

- Se snímačem optickým Obr. 22 - ve snímací části slouží dioda jako optický zdroj světla. Záření z diody se soustředí na optickou mřížku, která je na druhém konci než snímací hrot. Jak se při měření pohybuje optická mřížka ve svislém směru, mění se interference světla na straně čidla. Změnu zaznamenávají foto diody. Elektronický vyhodnocovací obvod určí polohu mřížky a tím i pozici hrotu. Výsledkem je signál, který je možno dále zpracovávat.



Obr. 22 Schéma kontaktního měřicího přístroje s optickým snímačem [18]

Dotykové snímací přístroje využívají k měření profilovou metodu. Od toho se nazývají profilometry. Základní a nejdůležitější částí profilometru je hrot z diamantu. Hrot má dané parametry normou a ty nejdůležitější jsou uvedené v Tabulce 1. Podstatou kontaktní měřicí metody je posuv diamantového hrotu po měřené součásti a následné přenesení přes vahadlový mechanismus do snímací části. Zde se mechanický signál pohybu vahadla zaznamená a převede se na elektrický signál. Výsledkem měření je digitalizovaný profil povrchu. Tento profil povrchu představuje jediný řez kontrolované součásti. Změřená data je možno dále zpracovávat dodaným softwarem. Jelikož výstupní signál není jen funkcí nerovnosti povrchu, ale i parametry pohybu, musí být pohyb dotykového hrotu přesný. A to z pohledu rovnoměrnosti a přímosti. Vlivem nerovnosti povrchu se měřicí hrot odchyluje od osy pohybu. Při nastavování přístroje se musí uvážit parametry pohybu, aby došlo k přesnému seřízení a nedocházelo k chybám vzniklých špatným nastavením.

JMENOVITÉ HODNOTY CHARAKTERISTIK PROFILOMETRU (podle normy ČSN EN ISO 3274)	
Geometrie hrotu snímače	Ideálním tvarem snímacího hrotu je kužel s kulovou špičkou: - Poloměr zaoblení špičky: $r_{tip} = 2 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$; - Vrcholový úhel kužele: $60^\circ, 90^\circ$, (přednostně 60°)
Statická měřicí síla	Jmenovitá hodnota statické měřicí síly ve střední poloze snímacího hrotu: $0,00075 \text{ N}$; Jmenovitá rychlost změny měřicí síly: 0 N.m^{-1}
Mezní vlnová délka filtru profilu (cut-off)	(Charakteristiky filtru podrobně popsány v ČSN EN ISO 11562) Jmenovité hodnoty mezních vlnových délek filtru profilu (cut-off) se vybírají z řady: $\dots \text{mm}; 0,08 \text{ mm}; 0,25 \text{ mm}; 0,8 \text{ mm}; 2,5 \text{ mm}; 8 \text{ mm}; \dots \text{mm}$

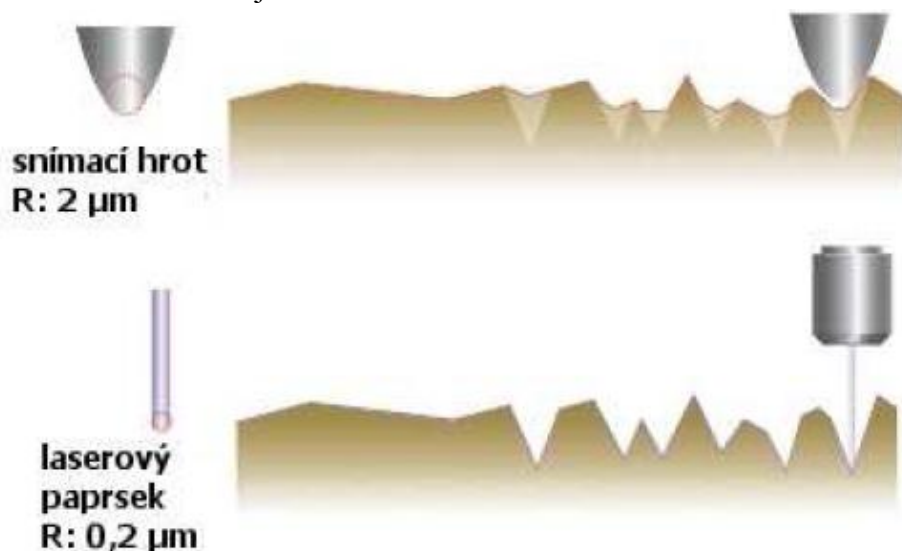
Tabulka 1 Nejdůležitější parametry hrotu [1]

3.1.1 Výhody kontaktní měřící metody

- Při dotyku snímacího hrotu s povrchem součásti může docházet k odsunutí nečistot z dráhy měření. Tímto nevznikají náhodné chyby měření, jestliže povrch není povrch očištěn od všech nečistot.
- Kontaktní měřící přístroje mohou měřit součástky, které nejsou ve vodorovné poloze. Tohoto se využívá například při měření kuželových ploch, kdy není zapotřebí šikmou plochu vyrovnávat.
- Použití těchto přístrojů je velice rozšířené a výsledky měření se všeobecně uznávají
- Korekce výsledků měření se všemi dalšími dotykovými přístroji

3.1.2 Nevýhody kontaktní měřící metody [17]

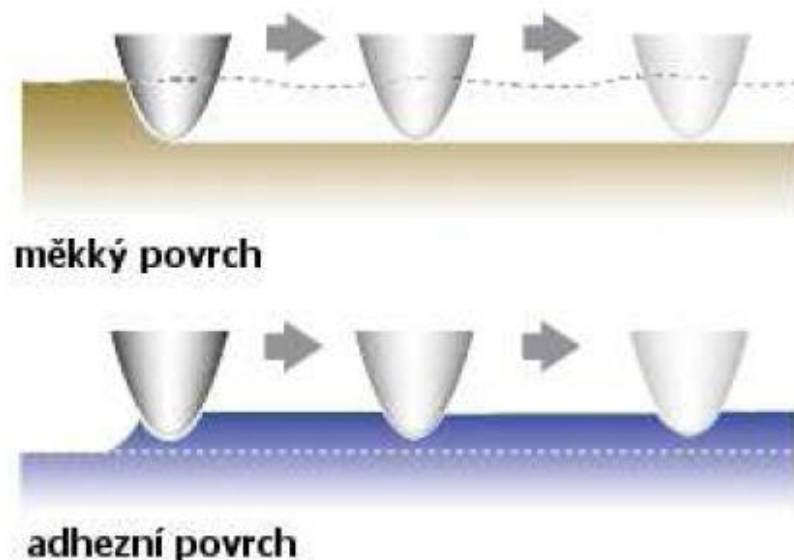
- U dotykového měřícího přístroje snímá povrch diamantový hrot. Ten však není ostrý, ale na špičce je rádius. Tvar diamantového hrotu způsobuje, že špička neměří povrch, ale zaznamená kontaktní body špičky a měřeného povrchu. Z tohoto důvodu nejsou přístroje schopny měřit mikro nerovnosti povrchu menší než průměr špičky snímacího hrotu. Laserový paprsek tuto nevýhodu odstraňuje. Průměr paprsku je 10x menší než průměr špičky hrotu. Porovnání demonstruje Obr. 23.



Obr. 23 Porovnání snímání hrotem a laserovým paprskem [17]

- Dotykové metody využívají k měření tvrdý diamantový hrot. Ten je v kontaktu s měřenou součástí. I když na hrot nepůsobí velká přítlačná síla, může nastat stav, kdy je měřený povrch příliš měkký a hrot by mohl poškodit

nebo zdeformovat měřenou součást. Komplikace ještě nastávají u adhezních povrchů, kdy by bylo možné, že by se hrot mohl přichytit k měřené součásti a následně by se poškodil přístroj. Snímání adhezního a měkkého povrchu zobrazuje Obr. 24.

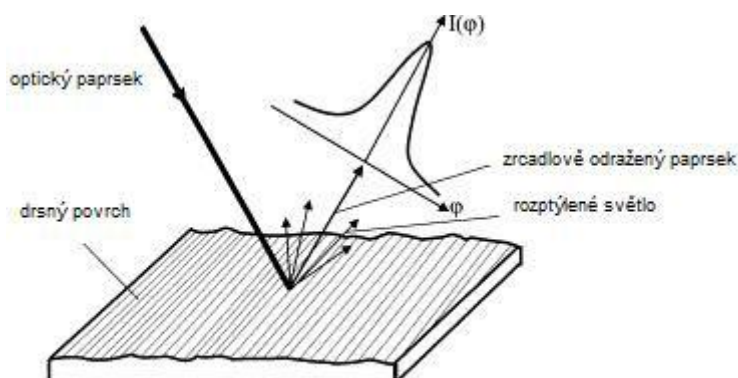


Obr. 24 Snímání adhezního a měkkého povrchu [17]

3.2 Bezkontaktní měřicí metoda [2, 12, 17]

Technický vývoj, který se v posledních letech stále zdokonaluje, v odvětví měřicí techniky struktury povrchu úzce souvisí se zvyšujícími požadavky na funkční plochy součástí. Výrobní proces vyžaduje díky použití nově vyvíjejících materiálů, kde je kladen důraz na přesnost rozměrů a kvalitu povrchu, přístroje, které jsou schopny kvalitativně a kvantitativně zajišťovat měření. V současné době je třeba přístrojů, které mají schopnost rozlišení v řádech 1 nm. Takovéto přesnosti už kontaktní měřicí metoda není schopna rozlišit. Proto došlo k vývoji optických souřadnicových přístrojů. Tyto přístroje umožňují snímání od parametrů základního profilu až po rychlé a spolehlivé 3D snímání nástrojů, ale i snímání lékařské techniky, či miniaturizovaných elektronických komponent. Bezkontaktní měřicí přístroje nahrazují dotykové při měření povrchů citlivých na mechanické poškození a měkkých materiálů. Přesnost provedení jednotlivých částí a celkově vysoká tuhost přístroje, kvalitní software pro vyhodnocení výsledků a dlouholeté zkušenosti výrobců měřicí techniky mohou zaručit zákazníkovi vysoký standart přístrojů. Tyto vlastnosti se však stále zdokonalují a vyvíjí, aby výrobci uspokojili stále se zvětšující požadavky zákazníků.

Princip bezkontaktní měřicí metody spočívá ve využití světelného paprsku. Světelný paprsek je promítán na drsný povrch Obr. 25.



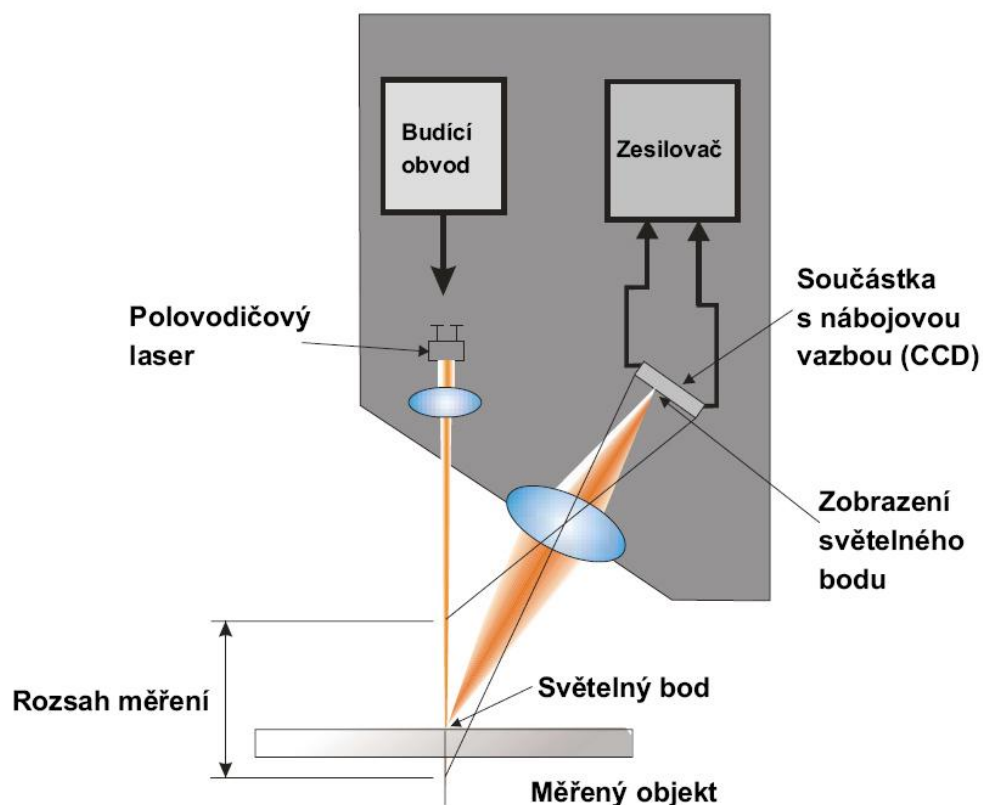
Obr. 25 Laserový paprsek rozptýlený od drsného povrchu a odpovídají rozložení světelného paprsku [2]

Mikroskopické nerovnosti na povrchu rozptýlí světelný paprsek. Vrstva na povrchu, která vznikla způsobem obrábění, určuje rozptyl světla. U hladkého povrchu se světlo rozptyluje hlavně v zrcadlovém směru. U ideálně hladkého povrchu nedochází k žádnému rozptylu světla. Čím se však drsnost zvyšuje, zrcadlová složka klesá a rozptylové složky se zvyšují. Pokud je výška nerovností menší než vlnová délka rozptýleného světla, užívá se k určení drsnosti vektor difrakce a skalární Bechmannova teorie. Pro parametry jako je R_a se dále užívá předpoklad Gaussova rozdělení, kde se získají přesné elektromagnetické okrajové podmínky. Pro tyto parametry se to užívá z důvodu obtížné získání analytické hodnoty drsnosti z rozptylu světla. Stanovení charakteristických hodnot je založeno na matematicko-statistických metodách.

K hodnocení struktury povrchu se užívají tyto typy měřících přístrojů.

- Laserový triangulační snímač Obr. 26. - bezkontaktní rychlý snímač. Polovodičový laserový paprsek se odráží od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Odražený paprsek je zaostřován na CCD (Charge Coupled Device) snímacím poli. CCD zajišťuje kvalitní hodnotu rozdělení množství světla v bodě zobrazení paprsku. CCD obrazové prvky na ploše bodu paprsku určují přesné polohy zaměřeného bodu. Odražený paprsek od povrchu se mění s povrchovou texturou a přináší různé rozptylové modely. Velké rozptylování světla ovlivňuje především poškrábání na obroběném povrchu díky nástroji. Zaznamená rozdíly mezi

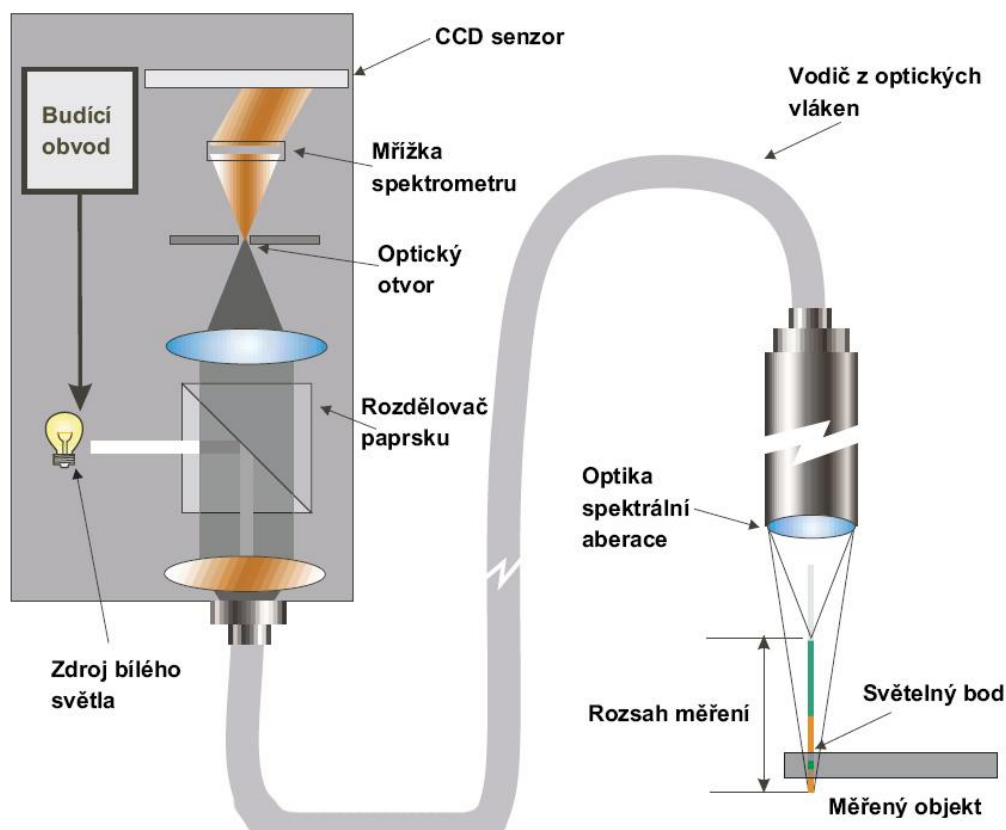
podélnou a příčnou drsností.



Obr. 26 Laserový triangulační snímací přístroj (schéma) [1]

- CLA (Chromatic Length Aberration) snímač Obr. 27. – vysoko přesný bezkontaktní snímač. Bílé nebo modré (LED) světlo je rozkládáno a optikou se spektrální aberací je směřováno na měřený povrch. Světlo se v optice rozloží podle vlnových délek a v každém bodě na povrchu vzorku je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo zpětně odražené od povrchu prochází otvorem, kterým projde jen světlo zaostřené vlnové délky. Ve spektrometru se vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu

přiřazována prostorová poloha.



Obr. 27 CLA snímací přístroj (schéma) [1]

3.2.1 Výhody bezkontaktní měřící metody

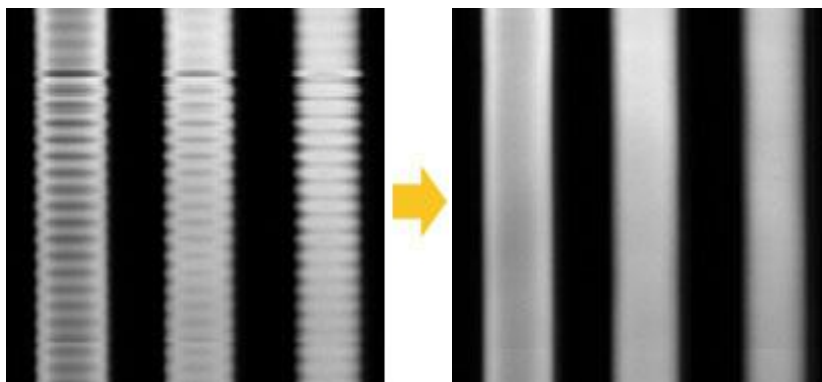
- Vysoká rychlost a obousměrné snímání povrchu – některé přístroje dosahují výkonů, kdy analyzují 400 přímkových řezů během 2 vteřin.
- Bezkontaktní měřící nejsou tolik náchylná na opotřebení a poškození
- Možnost měřit měkké, pružné, adhezní a citlivé materiály – viz. Nevýhody kontaktní měřící metody.
- Oblasti, které se vymykají měřenému rozsahu přístroje jako šikmé hrany, lze bezpečně přejít.
- Odstraňuje vliv velikosti hrotu na měření, kdy paprsek je 10x menší než rozměr hrotu – viz Nevýhody kontaktní měřící metody.

3.2.2 Nevýhody bezkontaktní měřící metody

- Při měření může dojít k nežádoucí tzv. ztrátě dat. Tento problém nastane v hraničních oblastech nebo v místě s náhlou změnou profilu. Paprsek se

neodrazí správně zpět do detektoru a data se nezaznamenají. Dodávaný software je schopný některé chyby napravit vhodnou interpolací okolních dat.

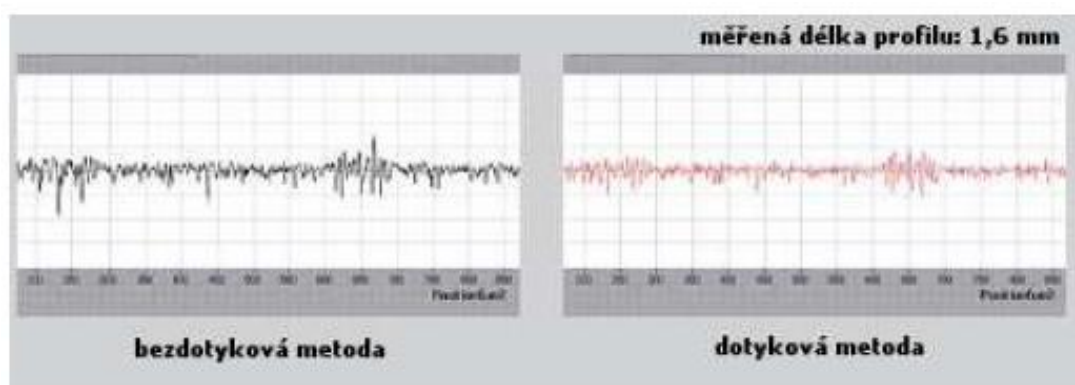
- Výsledek měření ovlivňuje okolní prostředí. Největší vliv má nežádoucí okolní světlo a vibrace. Vliv okolního světla se opraví pomocí úprav rovnic v softwaru přístroje a nežádoucím vibracím zamezuje hybridní tlumící mechanismus. Ten se skládá z vinutých pružin a tlumících gum Obr. 28.



Obr. 28 Vliv snížení vibrací pomocí vibroizolačního mechanismu [17]

3.3 Porovnání kontaktní a bezkontaktní měřící metody

Přední výrobce měřící a snímací techniky Olympus provedl snímání stejného vzorku dotykovou a bezdotykovou metodou. Bylo zjištěno, že je možno měřit drsnost povrchu oběma metodami. Oba přístroje byly kalibrovány stejným způsobem. Potřebné filtry a parametry byly použity dle normy ISO. Tato kalibrace umožnila získat výstupní výsledky z bezkontaktního přístroje v souladu s přístroji využívající kontaktní metodu. Výhoda u měření s bezkontaktním přístrojem byla rychlost snímání povrchu a následná možnost vytvoření textury celého povrchu. Na Obr. 29 je zobrazený výsledný graf porovnání kontaktní a bezkontaktní měřící metody. Díky stejné kalibraci je možnost tyto grafy porovnat. Z grafů je patrné, že při stejné snímané délce, stejnému místu měřeného povrchu, bezkontaktní měřící přístroj je schopen zaznamenat povrch s větší přesností. Jedná se hlavně o úzké mikro-nerovnosti, kde diamantový hrot pro své rozměry není schopen zaznamenat povrch. Tato nepřesnost pro běžnou dílenskou metrologii není znatelná. Pro měření povrchu, kde je třeba vysoká přesnost, je důležité se rozhodnout pro metodu, která bude vyhovovat a bude schopna změřit potřebné parametry.



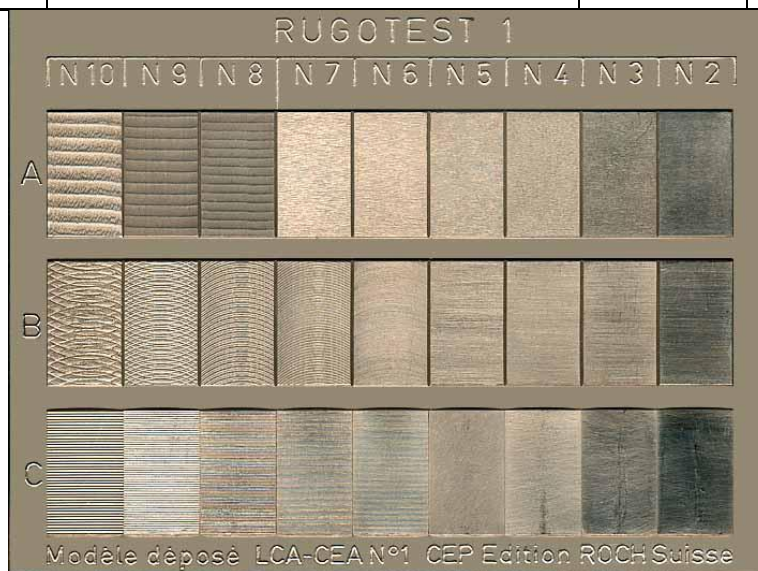
Obr. 29 Porovnání profilu drsnosti kontaktní a bezkontaktní metodou [17]

4 Zhodnocení a směr budoucího vývoje

Pro zhodnocení a směr budoucího vývoje bylo provedeno měření. Měření se provádělo na etalonu drsnosti RUGOTEST 1. Tento etalon drsnosti sloužil jako jedno z prvních měřidel, které byly používány pro zjištění stavu povrchu. Měření na rugotestu se provádělo porovnávací metodou pohledem a to se zvětšením nebo bez zvětšení. Dále se k ohodnocení využívalo dotyku. Etalon drsnosti je rozdělen do sekcí o různých definovaných drsnostech, které jsou příslušně označeny. Sloupce N10- N2 se liší drsností Ra. Řádky A- B se liší typem obrábění. Rozmístění typů obrábění a dosahované parametry jsou v Tabulce 2 a Obr. 30 zobrazuje RUGOTEST 1. Tento RUGOTEST sloužil jako měřený vzorek, jelikož drsnosti udané pro každý vzorek by měly souhlasit s drsnostmi předepsanými.

Tabulka 2 RUGOTEST 1

	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2
Ra[μm]	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
A	VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ			BROUŠENÍ					
B	ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ					LAPOVÁNÍ			
C	SOUSTRUŽENÍ/HOBLOVÁNÍ					HONOVÁ- NÍ	SUPERFINIŠOVÁNÍ		



Obr. 30 RUGOTEST 1 [20]

Dále se pro měření používal přístroj MarSurf M 300 od výrobce MAHR. Tento mobilní drsnoměr se skládá z posuvové a vyhodnocovací jednotky s možností bezdrátového propojení. Posuvová jednotka má měřicí rozsah 350 μm a snímač PHT 6 -

350 s diamantovým hrotem se zaoblením špičky 2 μm a vrcholovým úhlem 60°.



Obr. 31 MarSurf M 300 [19]

Na etalonu drsnosti byly provedeny měření na vzorkách N10, N8, N6, N4, N2 pro všechny typy povrchů. Na každé sekci byly provedeny tři náměry pro snížení nepřesnosti. Přístroj zaznamenal hodnoty R_a , R_z , R_t , R_{sm} . Z těchto třech hodnot se vypočítal aritmetický průměr pro každou hodnotu R . Z měření a porovnání s hodnotami v Tabulce 2. vyplývá, že hodnoty předepsané na etalonu drsnosti nebyly vždy změřeny. Velká odchylka nastala při měření povrchu, který byl válcově frézován. Předepsaná drsnost R_a byla 12,5 μm a změřená byla 2,999 μm . Dále velký rozdíl byl u téhož typu obrábění, ale na vzorku N8.

Tabulka 3 Tabulka naměřených hodnot přístrojem MarSurf M 300

N10				
A	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]	\bar{R}_t [μm]	\bar{R}_{sm} [μm]
	2,999	15,150	18,997	226,000
B	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]	\bar{R}_t [μm]	\bar{R}_{sm} [μm]
	11,063	45,787	59,777	592,667
C	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]	\bar{R}_t [μm]	\bar{R}_{sm} [μm]
	12,887	52,510	53,917	431,667
N8				
A	\bar{R}_a [μm]	\bar{R}_z [μm]	\bar{R}_t [μm]	\bar{R}_{sm} [μm]
	1,480	6,980	9,844	444,000

B	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	2,733	15,090	16,653	295,000
C	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	3,245	11,673	11,987	261,667
N6				
A	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,770	4,932	6,126	102,667
B	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,743	4,430	5,296	62,667
C	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,705	3,732	4,281	89,667
N4				
A	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,265	1,699	3,214	83,000
B	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,232	2,114	3,416	88,333
C	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,155	1,436	2,000	64,000
N2				
A	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,077	0,763	1,443	30,667
B	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,076	0,858	1,917	85,667
C	$\bar{R}a$ [μm]	$\bar{R}z$ [μm]	$\bar{R}t$ [μm]	$\bar{R}sm$ [μm]
	0,042	0,354	0,492	-

Chyby v měření mohla zapříčinit velmi citlivé seřízení snímače. Po měření sekci na vzorku, které byly těžko dosažitelné, a snímač se přestavil ze stacionárního na nestacionární, bylo obtížné seřízení snímače, aby nehlásil chybu v měření. Tento přístroj má potenciál kvalitního dílenského mikroskopu, který by bylo vhodné používat pro měření větších obrobků ihned po obrobení. Pro použití v laboratoři metrologie je možnost dovybavení stojanem polotovarů a upínačem snímače. Toto přídavné zařízení zpřesňuje proces měření. Pro měření např. mikrogeometrie nástroje je vhodné použít laserový mikroskop. Ten je schopný měřit ve vzdálenosti 100 μm od řezné hrany. Při měření dotykovým přístrojem je nutné měřit ve vzdálenosti větší od řezné hrany, aby nedošlo ke sjetí hrotu z čelní plochy břitu a tím nedošlo k následné ztrátě dat a znehodnocení výsledků. Vývoj ve strojírenské metrologii nabízí stále kvalitnější přístroje, ale je vždy důležité zvolit vhodný přístroj pro požadovanou operaci měření.

5 Závěr

Tato bakalářské práce měla za úkol zjištění problematiky měření drsnosti povrchu. Z tohoto širokého okruhu pojmů se bakalářská práce věnuje vzniku drsnosti, její předepisování na výkrese, profilové versus plošné drsnosti a normám, které drsnost zahrnují a popisují. Dále je zde uvedeno porovnání dotykových a bezdotykových měřících přístrojů a jejich výhody a nevýhody. Práce dále uvádí zhodnocení a směr budoucího vývoje pomocí provedení měření na dotykovém měřicím přístroji, kdy se kontroloval etalon drsnosti RUGOTEST 1.

V první části této práce je úvod do problematiky spojené s drsností. Dochází zde k seznámení s vlastní drsností a její význam ve výrobním procesu. Dále jsou popsány cíle této bakalářské práce. Další část se věnuje rozboru současného stavu problematiky měření drsnosti. Je popsán vznik drsnosti a parametry, které tuto vznikající drsnost ovlivnit ať už při samotné výrobě nebo zvolením vhodných nástrojů a strojů. Tato část se i věnuje předepisování drsnosti v technické dokumentaci. Nejen správné zvolení, ale i popsání na výkrese je důležité z hlediska časového, a tím i ekonomického. Velká část této kapitoly je věnována měření profilové a plošné drsnosti. Při měření profilové drsnosti je možné zaznamenat mnoho parametrů. Tyto parametry jsou zde vyjmenovány, detailně popsány a nadefinován jejich význam v měřeném profilu povrchu. Měření plošné drsnosti je složitější, jelikož se jedná o trojrozměrný záznam povrchu. Je popsáno pomocí normy ISO 25 178, která se problematice týkající se plošné drsnosti věnuje. Jsou uvedeny i ostatní normy spojené s problematikou měření drsnosti, jedná se hlavně o normy, které se zabývají profilovou drsností. Ta je ve výrobě nejvíce rozšířená a není komplikované ji měřit.

Další část je věnována srovnání různých metod měření. Jedná se porovnání kontaktní a bezkontaktní měřicí metody. Jsou popsány principy dotykových a bezdotykových měřících přístrojů. Dále jsou uvedeny výhody a nevýhody těchto měřících metod. Je zde popsán rozdíl těchto dvou metod. Názorné srovnání vystihuje uvedený graf. V poslední části této bakalářské práce je zahrnuto měření. Toto měření bylo provedeno kontaktním měřicím přístrojem. Jako měřený vzorek sloužil RUGOTEST1. Naměřené hodnoty jsou pro snadnost porovnání zpracovány v tabulce. Některé naměřené hodnoty se od hodnot udaných na rugotestu lišily. Tuto odchylku mohla způsobit citlivost snímače na seřízení.

Drsnost povrchu je důležitá vlastnost povrchu materiálu. Patří mezi vlastnosti, které můžeme vidět. V současném výrobním procesu jsou kladené vysoké nároky na drsnost povrchu a na jeho měření. Výsledky měření se musí shodovat s předepsáním na výkrese, aby součásti byly vyrobeny podle požadavků konstruktéra. To vše slouží ke kvalitnímu výrobnímu procesu.

Použitá literatura

[1] AICHLER, JAROSLAV. SYSTÉM MANAGEMENTU MĚŘENÍ. BRNO, 2009.

Dostupné z:

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16794.

DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

[2] C.J Tay, S.H Wang, C Quan, H.M Shang, In situ surface roughness measurement using a laser scattering method, Optics Communications, Volume 218, Issues 1–3, 15 March 2003, Pages 1-10, ISSN 0030-4018, 10.1016/S0030-4018(03)01102-7. Dostupné z: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030401803011027>)

[3] ČSN EN ISO 1302. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků. Český normalizační institut, Prosinec 2002.

[4] ČSN EN ISO 13565. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda; povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti. 1.2.1999.

[5] ČSN EN ISO 3274. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů. Český normalizační institut, Únor 1999.

[6] DIN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Český normalizační institut, Březen 1999.

[7] Drsnost obrobeneho povrchu. Metal cutting technologies [online]. 24.3.2011. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>

[8] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso>

[9] FAQ - nejčastěji kladené otázky: O drsnosti. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/faq>

[10] FocusVariation Optické 3D měření. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/FocusVariation_Alicona_cz.pdf

[11] GADELMAWLA, E.S., M.M. KOURA, T.M.A. MAKSOU, I.M. ELEWA a H.H. SOLIMAN. 2002. Roughness parameters. Journal of Materials Processing Technology [online], roč. 123, č. 1, s. 133–145. [vid. 13. 6. 2013]. doi 10.1016/S0924-

0136(02)00060-2. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013602000602>

[12] H.Y Kim, Y.F Shen, J.H Ahn, Development of a surface roughness measurement system using reflected laser beam, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 130–131, 20 December 2002, Pages 662-667, ISSN 0924-0136, 10.1016/S0924-0136(02)00731-8. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013602007318>

[13] ISO 25 178-2. Geometrical product specifications (GPS) —Surface texture: Areal. 2006-4-6.

[14] ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Český normalizační institut, Březen 1999.

[15] KOTLANOVÁ, Doc. Anna. DRSNOST POVRCHU. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://zcu.yc.cz/TD/DRSNOST.doc>

[16] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. ALBRA. STROJNICKÉ TABULKY. Druhé doplněné vydání. Praha: ALBRA, 2005. ISBN 80-7361-011-6.

[17] LEXT OLS4000 Laser Confocal Microscopes. *Olympus* [online]. 2011 [cit. 2012-06-21]. Dostupné z: <http://www.olympus-ims.com/en/metrology/ols4000/>

[18] MarSurf UD/LD120. *Mahr Metrology* [online]. 2011 [cit. 2012-06-21]. Dostupné z: <http://www.mahr.cz/index.php?NodeID=3162>

[19] MarSurf: Přístroje a systémy pro měření kvality povrchu. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.mahr.cz/scripts/relocateFile.php?ContentID=10575&NodeID=13279&FileID=11432&ContentDataID=32080&save=0>

[20] Řezné nástroje: Soustružení. [online]. Business Media CZ, s.r.o., 03.05.2011 [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serial/rezne-nastroje/rezne-nastroje-5_8517.html

[21] RUGOTEST 1. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: http://perso.numericable.fr/rjeanmaxro44/rocbo/prod/elem_graph/metro/img/rugo/rugotest.jpg

[22] Staněk, Jiří, Němejc, Jiří, : Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací /1. vyd.. Plzeň : 2005. ISBN 80-7043-363-9.