



Lesnická
a dřevařská
fakulta

Kvalita povrchu obrobené plochy

Ing. Lud'ka Hlásková, Ph.D.

Mendelova
univerzita
v Brně



Jakost

- Pojem kvality se přenesl do běžného života, do obchodu a marketingu
- V moderním řízení výroby se pak často hovoří o systémech řízení jakosti nebo kvality
- Průběžná kontrola výrobků, ale také odstraňování zjištěných nedostatků, vylepšování výrobků i motivace pracovníků, aby si kvality hleděli.



Rozdělení metrologie

Vědecká metrologie - se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich uchováváním (nejvyšší úroveň).

Průmyslová metrologie - zabezpečuje jednotnost a správnost měření zejména ve výrobě a zkušebnictví.

Legální metrologie - zabývá se měřením tam, kde má vliv na správnost obchodního styku, obchodního styku, ochranu zdraví nebo bezpečnosti. Legální metrologie se týká tzv. stanovených měřidel.

Fundamentální metrologie - zabývá se soustavou měřících jednotek, realizací etalonů, soustavou fyzikálních konstant a metodami měření.

Rozdělení měřidel

Etalon - etalon měřící jednotky anebo stupnice nějaké veličiny je měřidlo sloužící k realizaci a uchování takové jednotky nebo stupnice. Dále slouží k přenosu na měřidla nižší přesnosti.

Stanovená měřidla - jsou měřidla stanovená vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb. Stanovená měřidla se nekalibrují, ale ověřují.

Pracovní měřidla - jsou to taková měřidla, která nejsou ani etalonem ani stanoveným měřidlem.

Certifikované referenční materiály - jsou materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností, používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určování vlastností materiálů.

Kalibrace a ověřování

- Ověřování měřidel je dáno vyhláškou a výstupem z ověřování je ověřovací list.
- Lhůty pro ověřování jsou stanoveny vyhláškou.
- Kalibrace se týká nestanovených měřidel, kdy výstupem kalibrace je kalibrační list.
- Lhůty pro kalibrace jsou stanoveny podle potřeb uživatele, tzn. že nejsou stanoveny žádnou vyhláškou, normou, apod.



 **ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT**
Oblastní inspektorát Brno, Okružní 31
638 00 Brno

KALIBRAČNÍ LIST
č. 6011-KL-K120-05

Datum vystavení: 08.04.2005


Ing. Radovan WIECEK
Ředitel Oblastního inspektorátu
Brno

 LI

Zadavatel: MEGA-Měřicí Energetické Aparity, s.r.o., Letovická 14124, 621 0

Měřidlo:
Název: Monitor PQ-VN

Právní předpisy

Zákon č. 505/1990 Sb. v platném znění, o metrologii.

Zákon č. 20/1993 Sb. v platném znění, o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví.

Zákon č. 22/1997 Sb. v platném znění, o technických požadavcích na výrobky.

Vyhláška MPO č. 262/2000 Sb. v platném znění, kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření.

Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a jejich označování.

Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu.

Organizace metrologie v ČR

V ČR je nejvyšší institucí působící v oblasti metrologie Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO).




Pod něj spadají v oblasti metrologie další tři instituce:

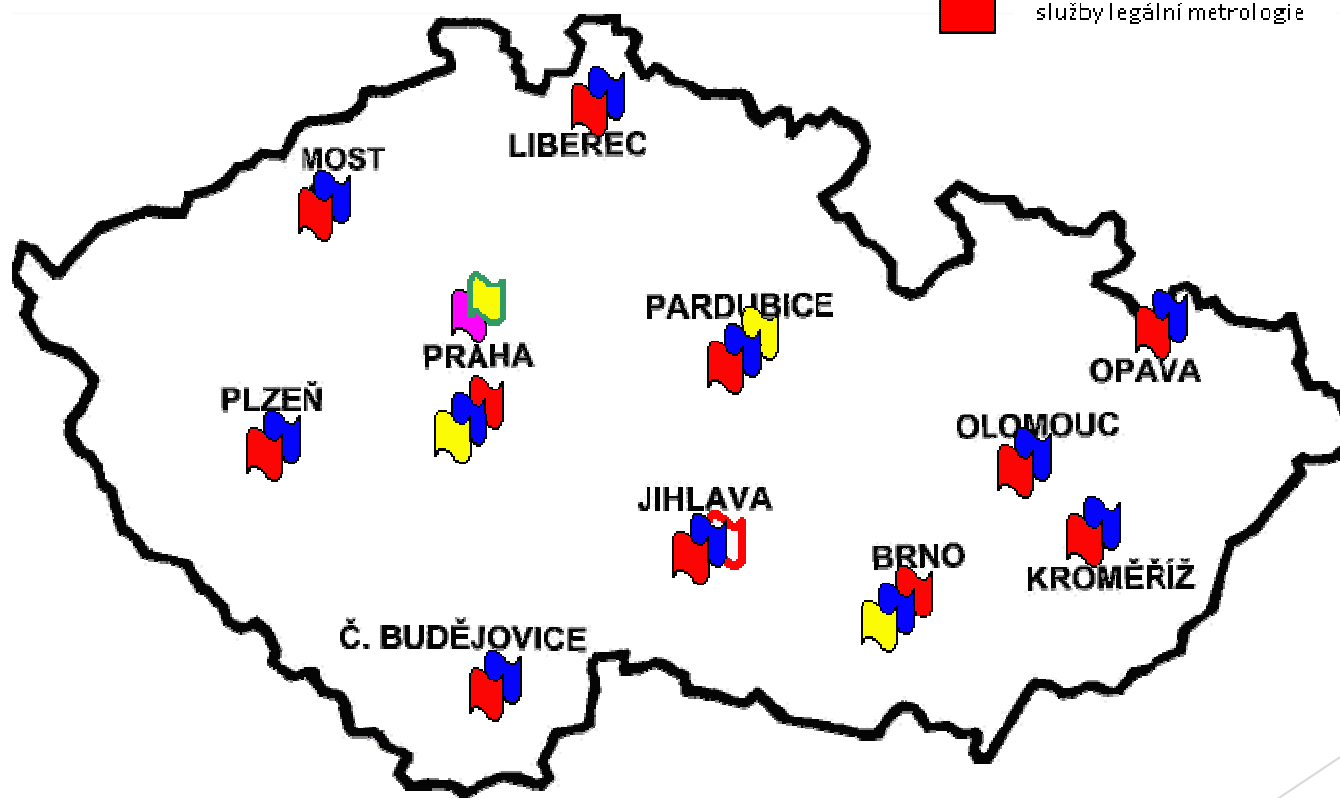
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ)
- Český metrologický institut (ČMI)
- Český institut pro akreditaci (ČIA)

Dalšími subjekty na nižším stupni jsou Státní metrologická střediska (SMS) a Střediska kalibrační služby (SKS).

Ještě pod nimi jsou jednotliví výrobci, opravci a organizace provádějící montáž měřidel a na konci jsou samozřejmě uživatelé měřidel.

ČMI

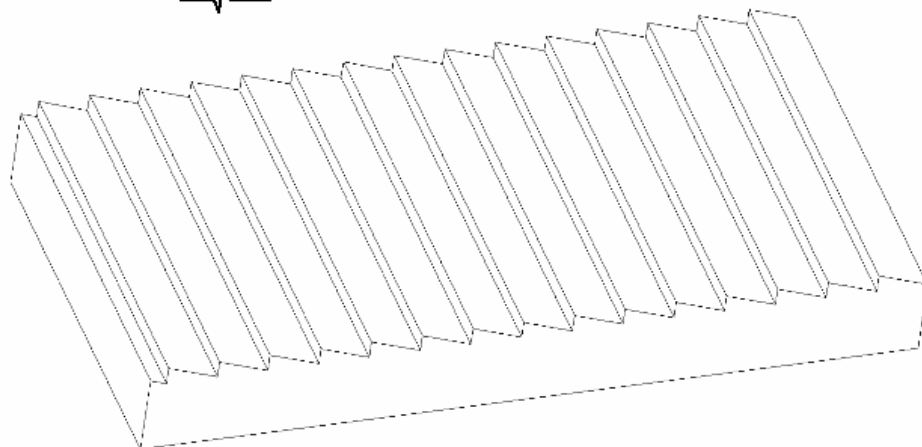
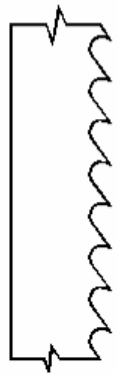
-  státní etalony
-  kalibrační služby
-  služby legální metrologie



Povrch dle použité technologie

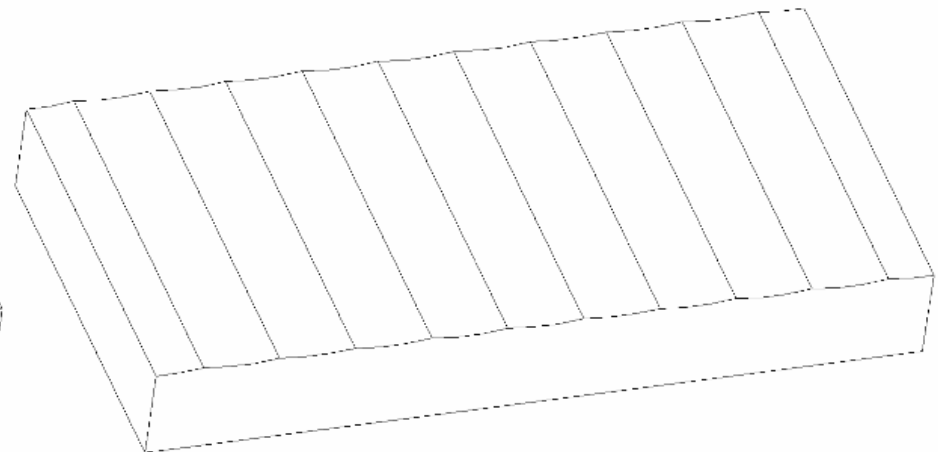
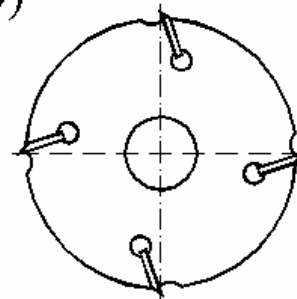
Pásová pila

a)



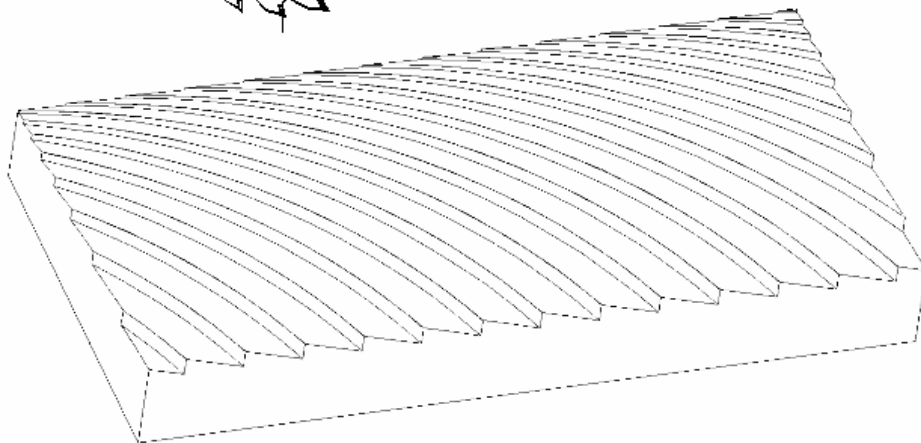
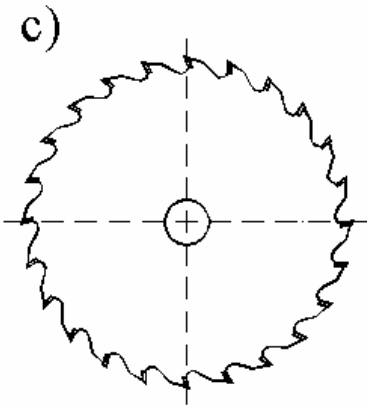
Frézka

b)

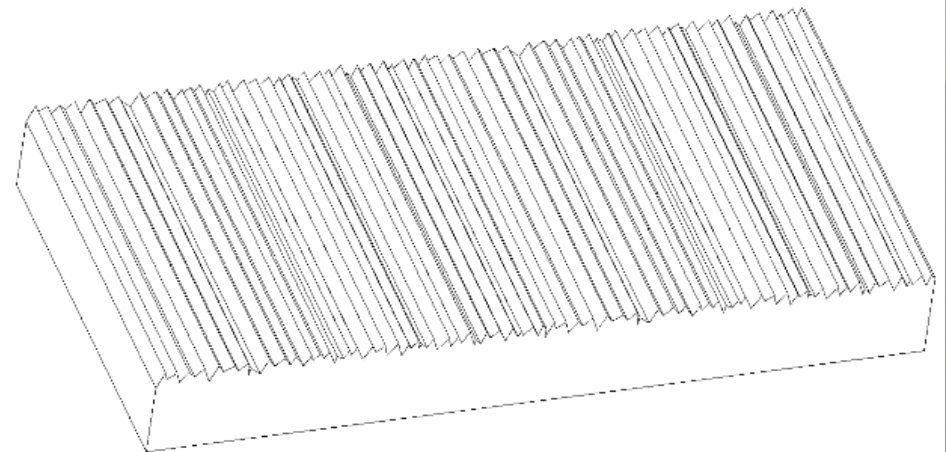
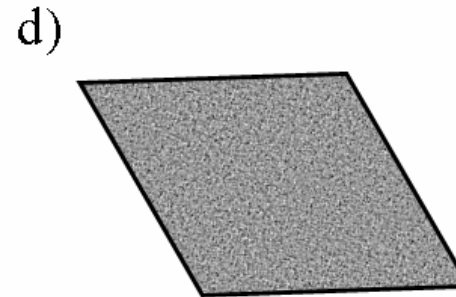


Povrch dle použité technologie

Kotoučová pila

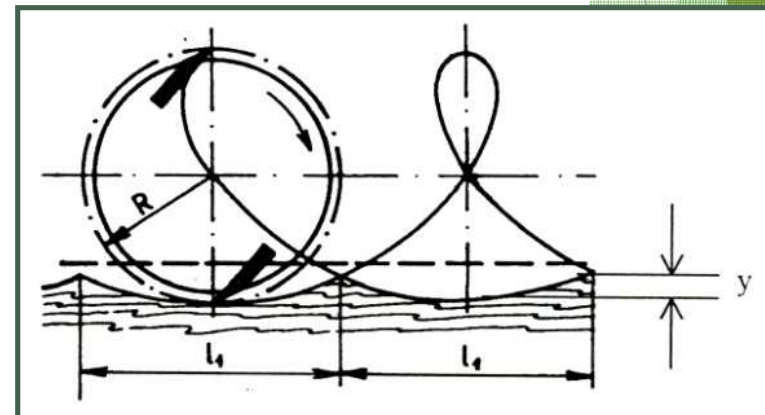


Pásová bruska



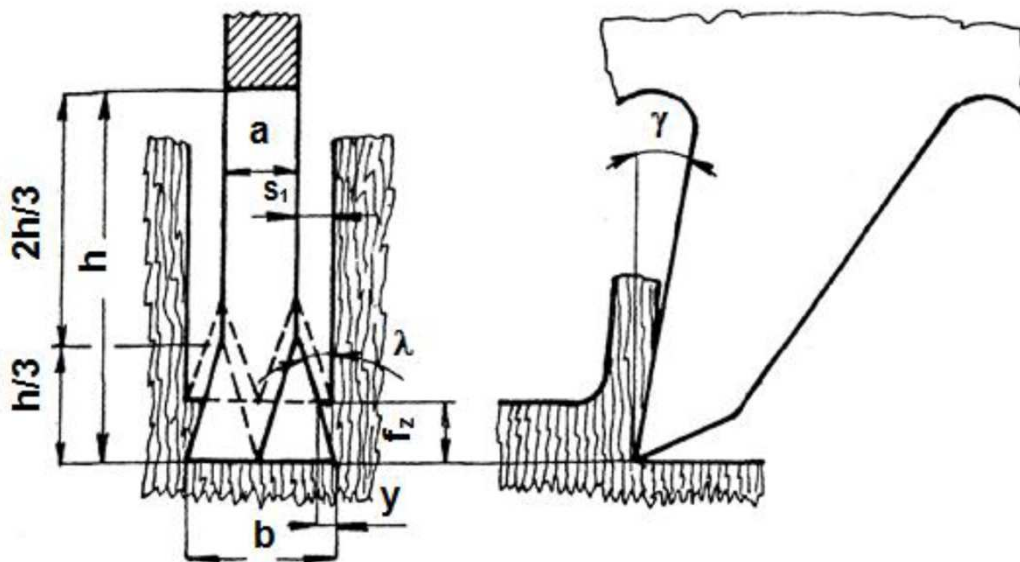
Faktory ovlivňující kvalitu povrchu

- Materiál obrobku
- Použitá technologie
- Zvolený typ nástroje
- Otupení nástroje
- Vyváženost a upnutí nástroje
- Technologické parametry
 - Tloušťka odebírané vrstvy
 - Řezná rychlost
 - Posuv na zub



Kvalita - pilový kotouč

- ▶ Procesy obrábění jsou vlastně řezáním v drážce s velkým počtem řezných klínů na těle nástroje.
- ▶ Z praxe je známo, že se zuby proti nadměrnému zahřívání v řezné spáře upravují rozváděním nebo pěchováním, aby řezná spára byla větší než tloušťka řezného nástroje.



Hloubka rýhování, teoretický model

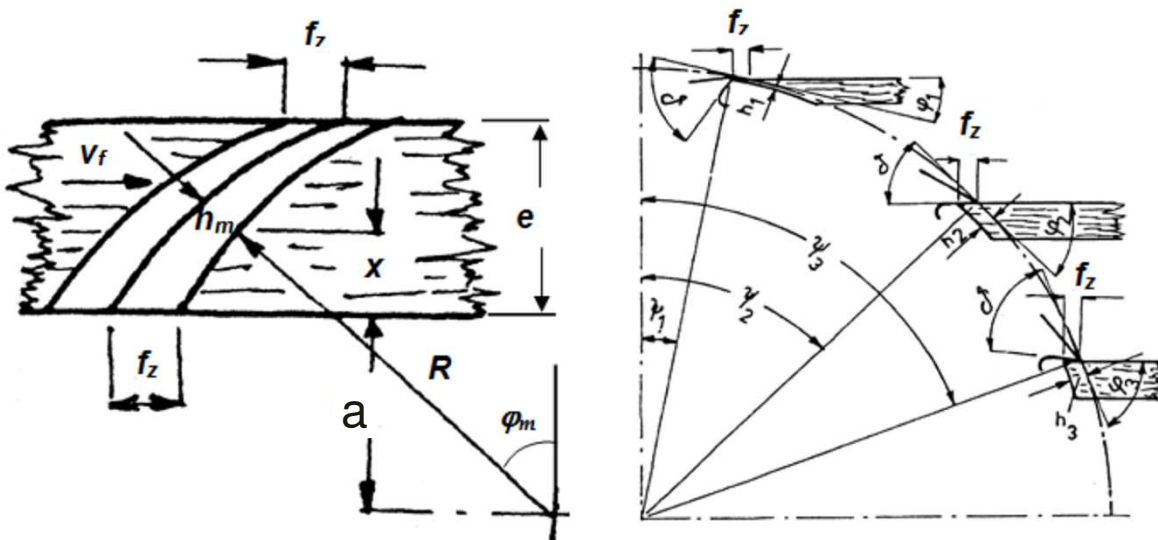
- ▶ Pro pěchované zuby nebo zuby ze slinutých karbidů s lichoběžníkovým profilem lze stanovit teoretickou hloubkou rýh y a vypočítat jí podle rovnice:

$$y = \frac{3 \cdot s_1}{h} \cdot f_z$$

- ▶ Z důvodů nepřesnosti rozvádění zubů, ale zejména chvění, je skutečná hloubka rýh podstatně větší než hloubka vypočítaná

Hloubka rýhování - pilový kotouč

- Vyjdeme-li z úvahy, že teoretická hloubka rýhování y je podstatně ovlivněna tloušťkou třísky, můžeme analogicky z geometrie sestavit rovnici a dosazením za střední tloušťku třísky h_m z rovnice tuto rovnici dále rozvinout.



$$y = \frac{s_1}{h} \cdot \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{a + x}{R} \right)^2}$$

Stanovení hloubky rýhování při podélném řezání smrku

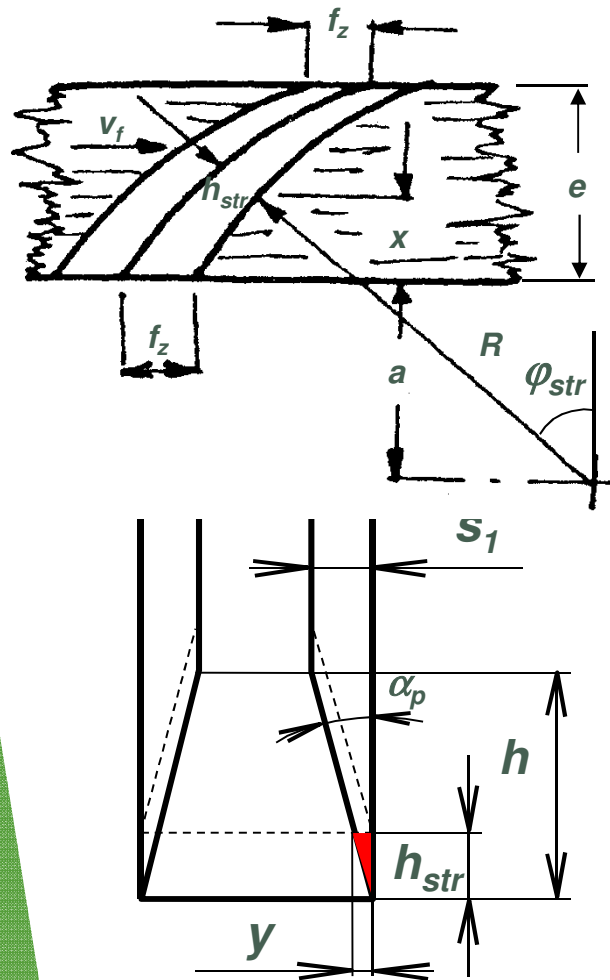


Vypočtete:
teoretickou hloubku rýhování y

Dáno:
průměr pilového kotouče $D = 450 \text{ mm}$,
počet zubů $z = 24$,
otáčky $n = 2550 \text{ min}^{-1}$,
vychýlení zubu $s_1 = 0,7 \text{ mm}$,
výška zubu $h = 10,5 \text{ mm}$,
podávací rychlost $v_f = 12,24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
nastavení obrobku vůči ose pilového
kotouče $a = 75 \text{ mm}$ a $x = 50 \text{ mm}$,
řezná výška $e = 100 \text{ mm}$.

Hloubka rýhování, teoretický model Pilový kotouč

Teoretická hloubka rýhování povrchu
trapézovým zubem



$$y = \frac{s_1}{h} \cdot \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{a + x}{R} \right)^2}$$

Hloubka vlnky frézovaného povrchu

Při nahrazení cykloidy kruhovým obloukem a při použití Pythagorovy věty můžeme pro vyjádření hloubky vlnky y použít vztah:

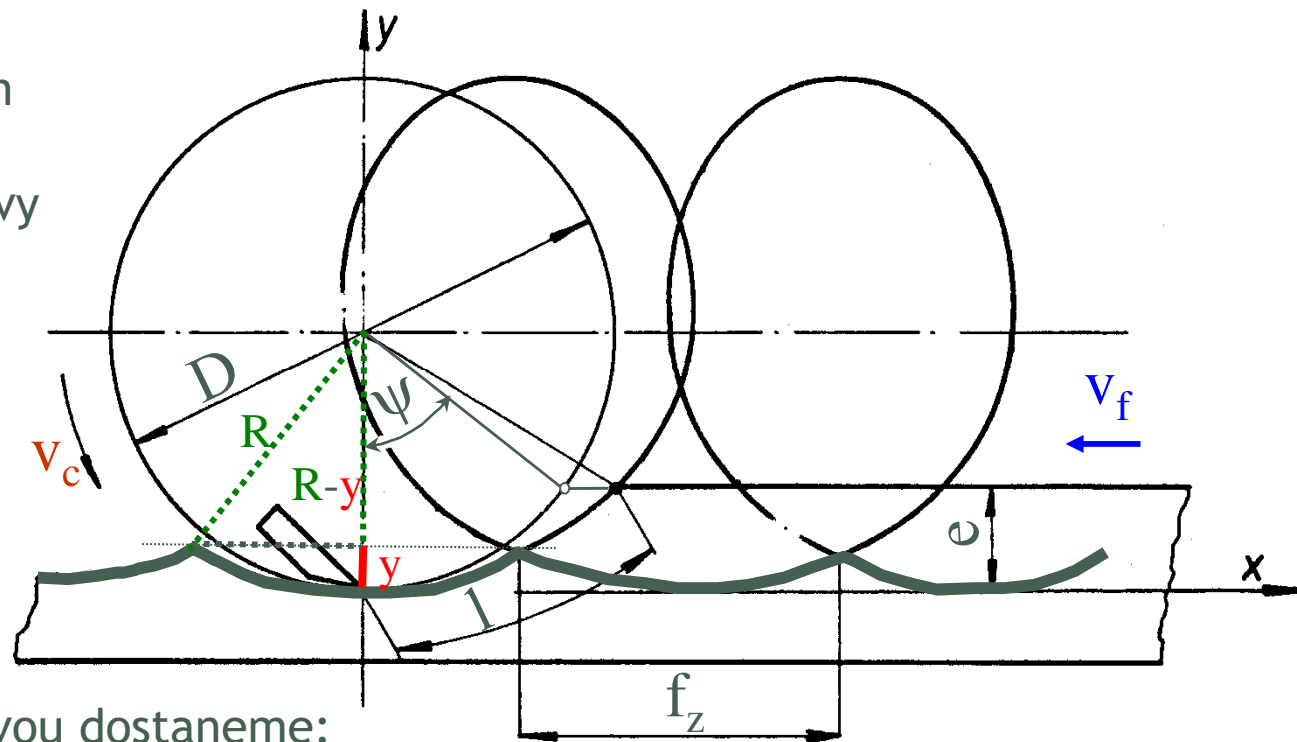
$$R^2 = (R - y)^2 + \left(\frac{f_z}{2}\right)^2$$

Jednoduchou úpravou dostaneme:

$$2R \cdot y - y^2 = \left(\frac{f_z}{2}\right)^2$$

Potom je možné hloubku vlnky vyjádřit podle známého vztahu:

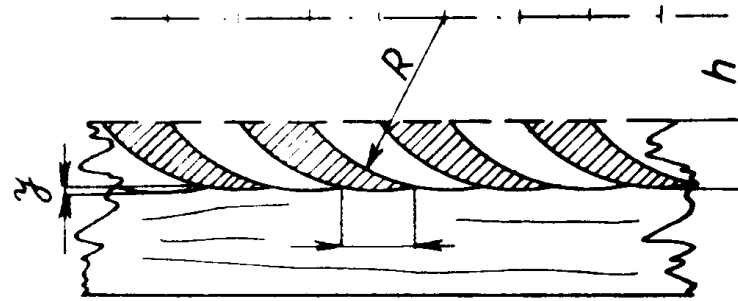
$$y = \frac{f_z^2}{8R}$$



Určení rychlosti posuvu pro dosažení dobré kvality povrchu obrobku

Úpravou rovnice pro hloubku vlnky dostaneme závislost posuvu na zub na kvalitě obrobeneho povrchu:

$$y = \frac{f_z^2}{8R}$$



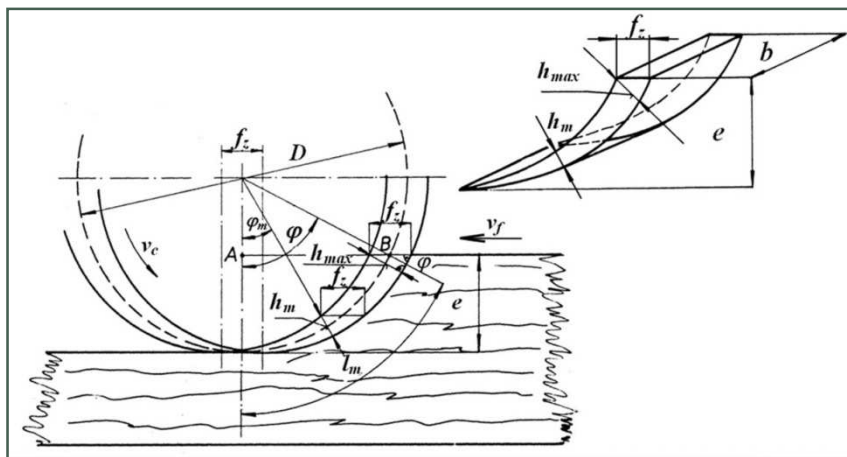
$$f_z = \sqrt{8 \cdot R \cdot y}$$

Odtud pro posuvnou rychlost platí:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = \sqrt{8 \cdot R \cdot y} \cdot n \cdot z$$

Poznámka: Vztah pro v_f platí v případě, že všechny nože (počet z) jsou přesně nastaveny a řezou na stejném poloměru. Při nestejném nastavení ve skutečnosti řeže menší počet nožů (břitů) se všemi s tím souvisejícími negativními důsledky na kvalitu povrchu (jeho zvlnění).

Vysokorychlostní frézování dřeva



Vstupní parametry

Nástroj: průměr nožové hlavy
počet nožů
řezná rychlost

Materiál: výška frézované vrstvy

Hloubka vlnky $y = 0,005$ mm

$D = 95$ mm

$z = 4$

$v_c = 26$ m.s⁻¹

$e = 5$ mm

$$vf_{\max} = \frac{(\sqrt{8 \cdot R \cdot y}) \cdot n \cdot z}{1000}$$

Metody vyhodnocování kvality povrchu obráběného materiálu

- ▶ Kvalita povrchu obráběného materiálu je velmi důležitá pro celkovou estetiku výrobku a je rozhodující pro operace, které následují po obrábění. Proto je třeba věnovat se i hodnocení kvality povrchu obrobeného řezáním.
- ▶ Cílem metrologie povrchu je získání přesného popisu geometrických a fyzikálních vlastností

Vizuální metoda

- ▶ Vizuální metoda je nedestruktivní metoda, která patří mezi nejstarší a nejjednodušší metody.
- ▶ Jedná se o hodnocení vlastností povrchu obráběného materiálu lidským okem nebo lupou.
- ▶ Tato metoda je pro svou nízkou přesnost velmi málo používána.



- Položte vzorek na světlo
- Je-li třeba, použijte lupu

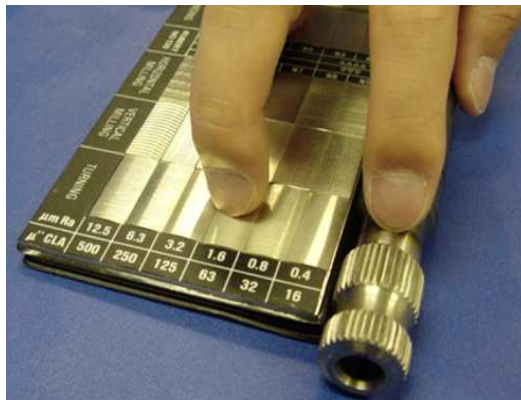
Sledujeme:

- Směr vláken
- Stopy po obrábění
- Defekty / Škrábance

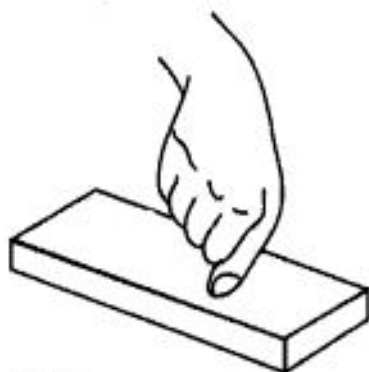


Porovnávací metoda

- ▶ Tato metoda také patří mezi metody, které jsou založeny na lidském vnímání.
- ▶ Patří také mezi méně spolehlivé metody, protože velmi závisí na lidském faktoru.
- ▶ Funguje tak, že na každý hodnocený materiál jsou vytvořeny porovnávací stupnice tzv. etalony, podle kterých dochází k hodnocení. Nejprve zkusíme dotykem povrch zkoumaného povrchu a potom jednotlivé povrchy na etalonu. Zkoušíme to tak dlouho, než najdeme povrch podobné drsnosti.



Princip porovnávací metody



hmatem

Jednotlivé vzorkovnice drsnosti jsou rozděleny do sekcí o různých definovaných drsnostech, které jsou příslušně označeny. Jednotlivé části mají hrubozrnné (ostrohranné) částice i otrýskané (oblé) částice.

- Uvedené hodnoty drsnosti jednotlivých sekcí jsou získány jako průměry z několika sérií měření rozdílů mezi nejvyššími a nejnižšími body daného prostoru.
- Porovnání se provádí buď pohledem (s nebo bez zvětšení) nebo dotekem a mělo by být provedeno v několika místech charakterizujících drsnost daného povrchu

Etalon pro hodnocení povrchu

Rugotest 1

Vzorkovnice obsahuje -
válcované frézování,
frézování, soustružení,
hoblování, lapování, broušení ploch,
honování, superfiniš

Rozměr vzorkovnice: 135 x 105 mm



		Drsnost (μm)
Válcované frézování	(N8 - N10)	Ra 3,2 - 12,5
Frézování	(N6 - N10)	Ra 0,8 - 12,5
Soustružení/hoblování	(N6 - N10)	Ra 0,8 - 12,5
Lapování	(N2 - N5)	Ra 0,05 - 0,4
Broušení ploch	(N2 - N7)	Ra 0,05 - 1,6
Honování/superfiniš	(N2 - N5)	Ra 0,05 - 0,4

Etalon pro frézování

Rugotest 103 - frézování

Rožměř vzorkovnice: 11x5 cm, počet vzorků 6

Drsnost Ra: 0,4 - 12,5 μm (N5 - N10)

Dle ISO 2632/I, ISO 2632/II a NF E 05-051

	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Ra (μm)	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5

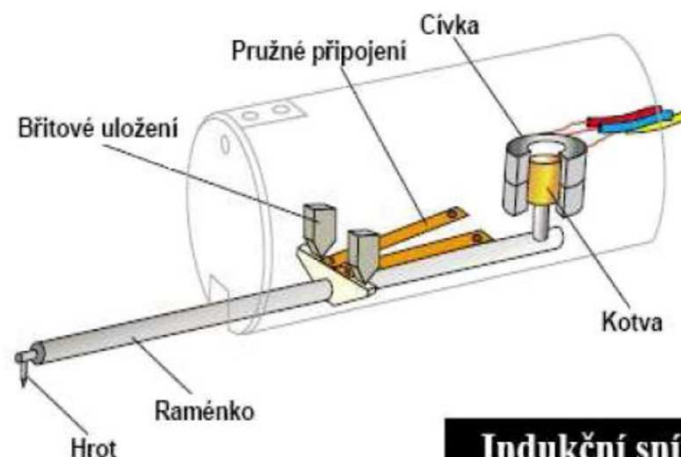
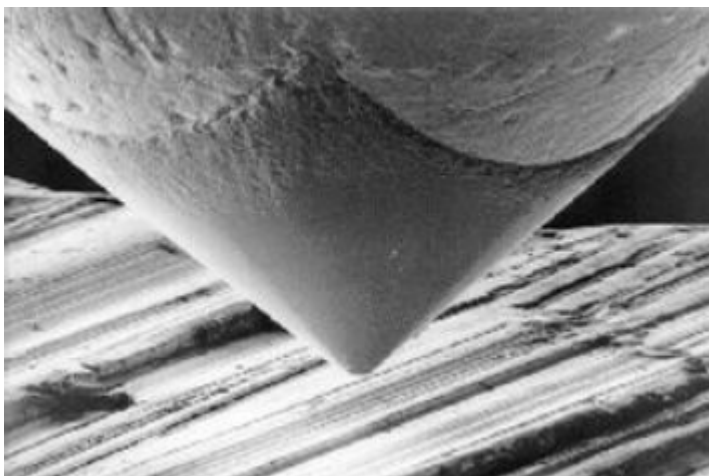


Dotykové metody

- ▶ Měření se provádí tzv. drsnoměry, které se skládají z posuvové a měřící jednotky, raménka a z různého typu snímače.
- ▶ Jejich výhodou je, že mají větší toleranci vůči znečištění, dále mají vysokou přesnost a citlivost měření a dále možnost převodu analogového signálu na digitální.
- ▶ Mezi nevýhody patří, že svým hrotem mohou při vyvinutí větší přitlačné síly způsobit nevratné poškození povrchu

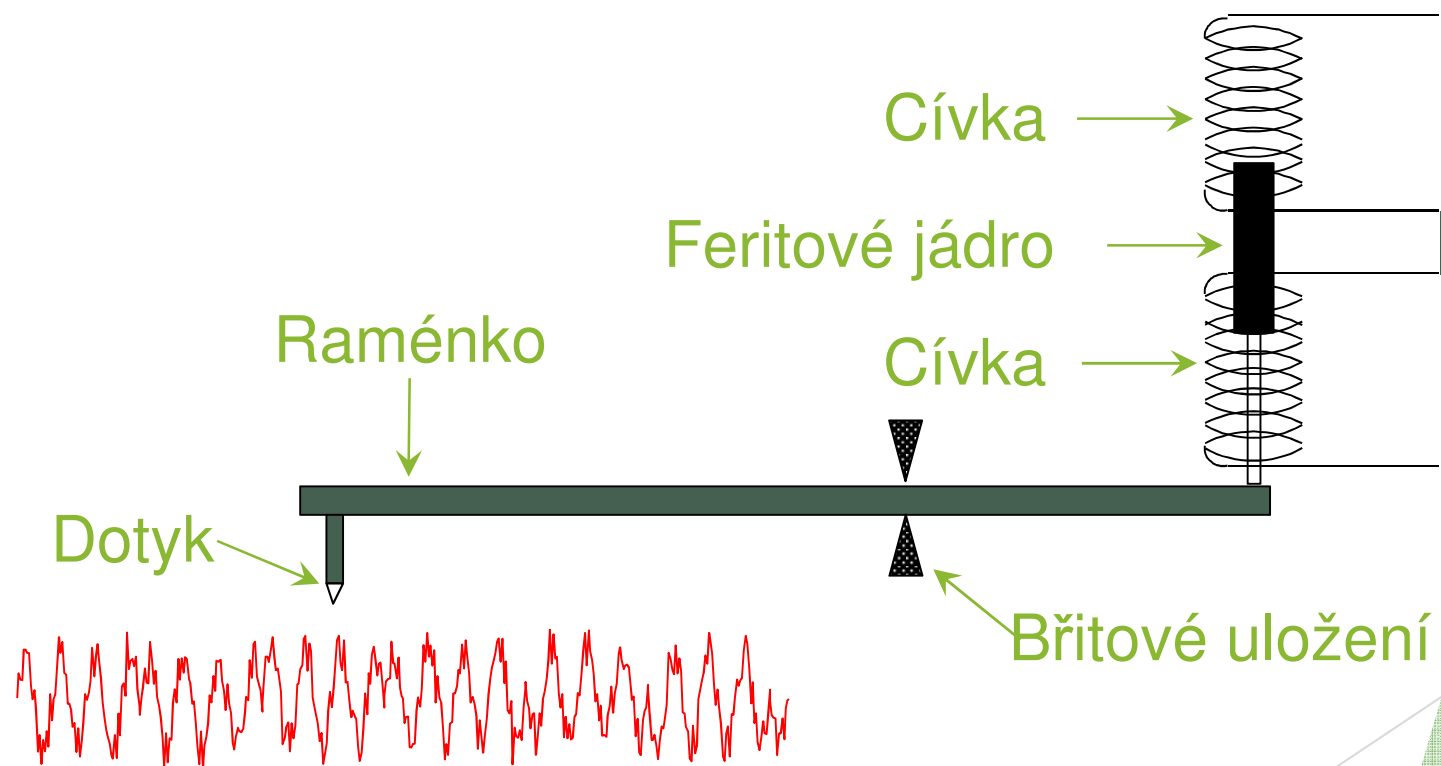
Indukční snímač

- ▶ Diamantový hrot na snímacím raménku je posouván po povrchu.
- ▶ Vertikální pohyb hrotu při přechodu výstupků a prohlubní je indukčním měřidlem převáděn na elektrický signál.
- ▶ Pro tento systém je charakteristická malá měřicí síla, což minimalizuje nebezpečí poškození měřeného povrchu.
- ▶ Snímač disponuje vysokým rozlišením, pomocí kterého lze měřit s vysokou přesností. S indukčním snímačem je také možné měřit vnitřní povrchy.



Indukční snímač

Dotykové: Indukční snímač



Přístroje pro kontaktní hodnocení povrchu

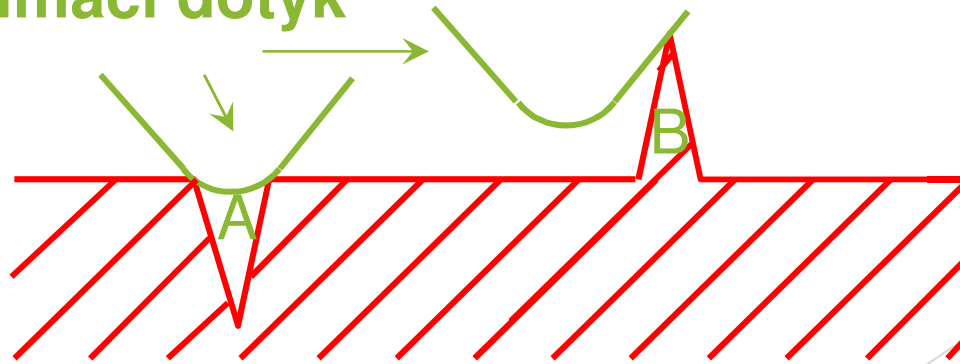


Zobrazení povrchu - omezení měření

Profil zobrazený
snímačem

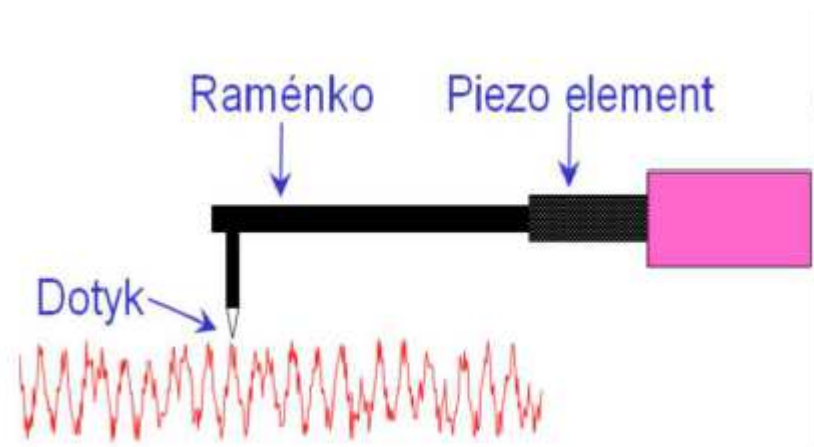


Snímací dotyk



Piezelektrický snímač

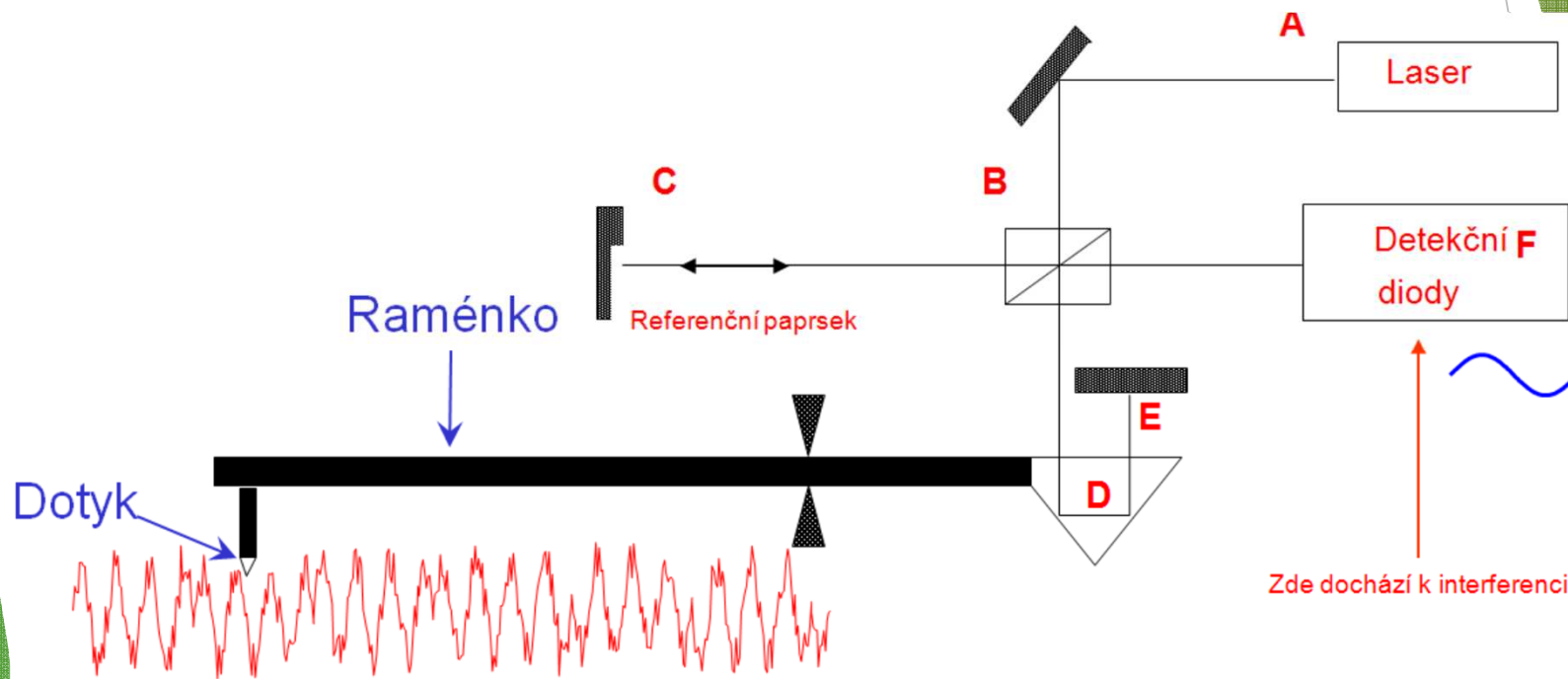
- ▶ Využívají piezelektrického jevu
- ▶ Předností piezelektrických snímačů jsou jejich malé rozměry, konstrukční jednoduchost a lineární charakteristika.
- ▶ Má ale také bohužel řadu nevýhod, např. že rozsah snímače je malý, má pomalou odezvu a linearitu na nízkých frekvencích a navíc je citlivý na teplotu a vlhkost.



Interferometrický laserový snímač

- ▶ Patří dnes mezi nejpřesnější přístroje.
- ▶ Jako jednotka délky se využívá vlnová délka světla helium neonového laseru 0,633 mikrometru. Světlo necháme na sledovaném předmětu odrazit zpět a počítáme vlnové délky, které se vejdou do proběhnuté dráhy světla. Vlnové délky sledujeme pomocí interference světla.
- ▶ Měřicí paprsek vráceným zrcadlem předmětu necháme v interferometru interferovat s referenčním paprskem odraženým od pevného zrcadla. Snímací fotodioda snímá intenzitu interferovaného světla - každé zatmění reprezentuje jednu vlnovou délku
- ▶ Snímač vyniká velmi vysokou přesností, velkým rozsahem při vysokém rozlišení, které není závislé na rozsahu snímače.

Interferometrický laserový snímač

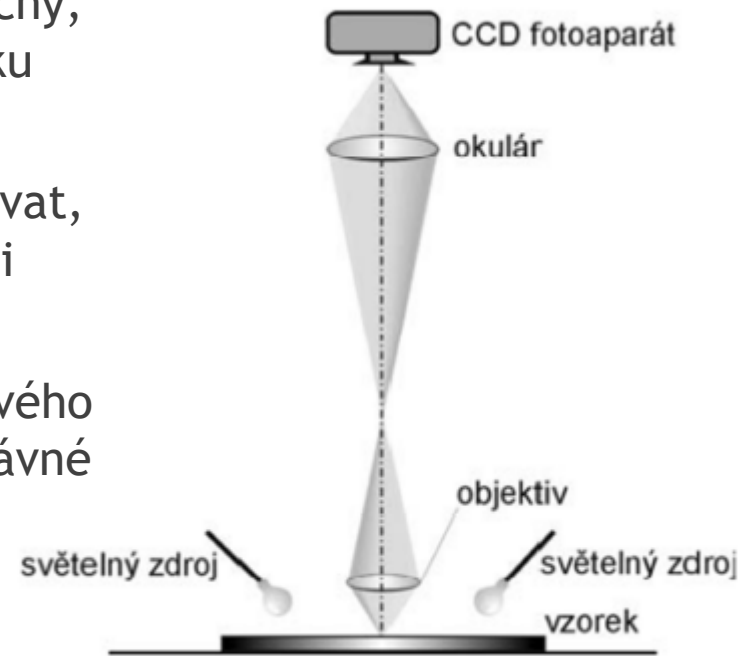


Bezdotykové metody

- ▶ Bezdotyková měření v metrologii mají výhodu v tom, že vylučují možnost poškození vzorku (deformace nebo poškrábání) při dotyku s měřícím nástrojem. Právě proto se v současné době stávají stále častěji používanými.
- ▶ Dělí se podle typu použitého snímače

Fotometrické hodnocení

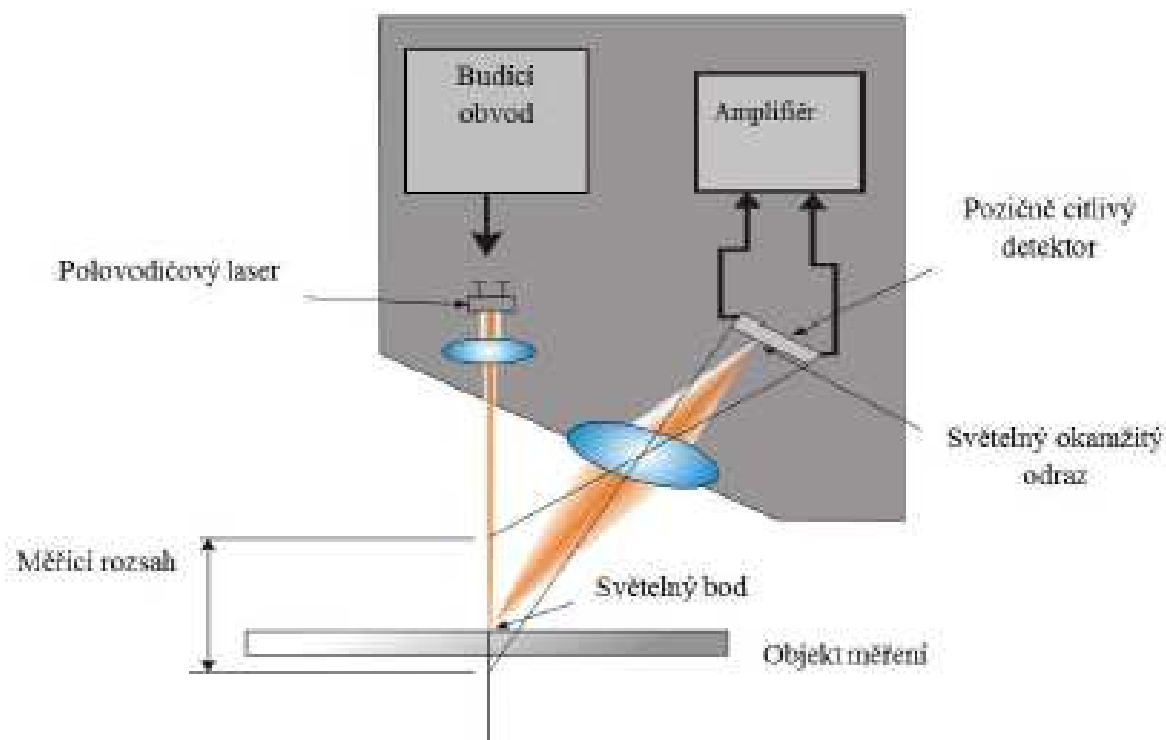
- ▶ Princip této metody je velmi jednoduchý, spočívá ve snímání povrchu obrobku CCD kamerou.
- ▶ Kamera, která se dá výškově přestavovat, je umístěna na stojanu nad snímanými vzorky.
- ▶ Snímky se vyhodnotí pomocí softwarového vybavení. Pracovník musí nastavit správné digitální měřítko. Touto metodou lze vyhodnotit hloubku a šířku vlnky.



Laserový triangulační snímač (PSD)

- ▶ Princip měření je založen na laserové triangulaci.
- ▶ Laserová dioda vysílá viditelný laserový paprsek, který je namířen na měřený objekt. Část tohoto paprsku je díky difuznímu odrazu vracena zpět přes optiku na CMOS CCD citlivý prvek.
- ▶ Pokud dojde ke změně vzdálenosti měřeného objektu od senzoru, dochází ke změně úhlu laserového paprsku a ten dopadá na jiné místo na CCD prvku. Z této změny pozice je pomocí jednoduchého propočtu vypočtena nová vzdálenost měřeného objektu.

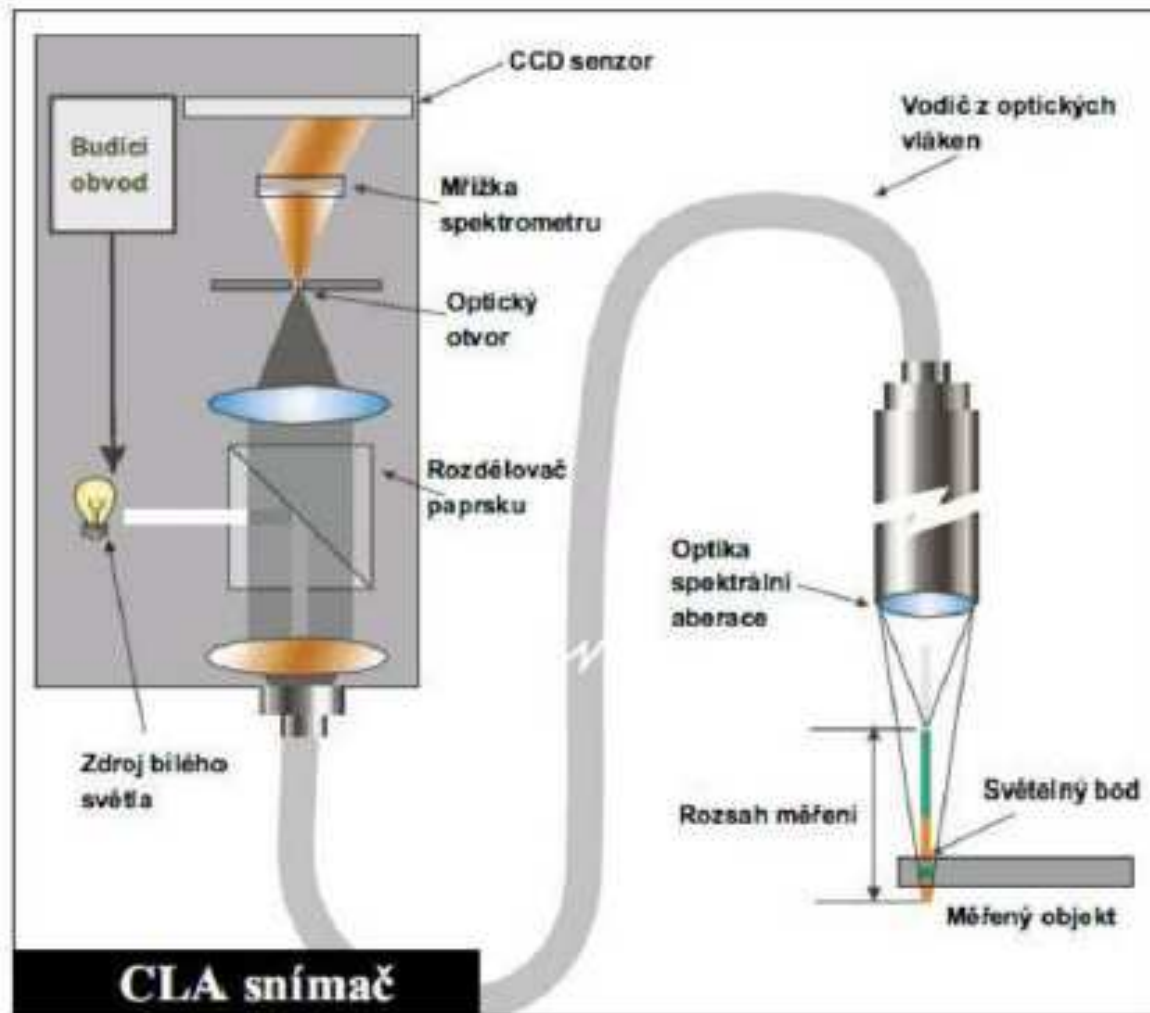
Bezdotykové: Laserový triangulační snímač



Konfokální snímač

- ▶ Princip činnosti konfokálního snímače je založen na tom, že bílé světlo je rozloženo a optikou se spektrální aberací je směřováno na kontrolovaný povrch.
- ▶ Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka.
- ▶ Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha.
- ▶ Mezi výhody tohoto snímače patří rychlé snímání ve vysokém rozlišení a vysoká přesnost.

Bezdotykové - konfokální snímač

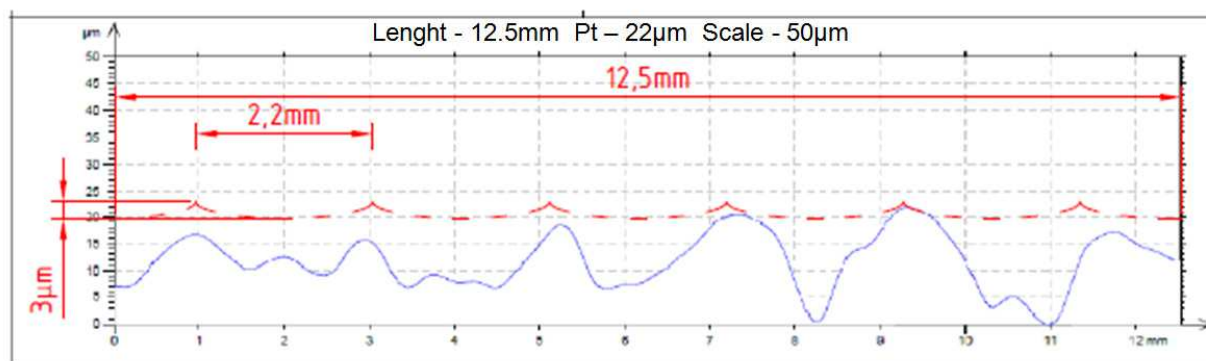
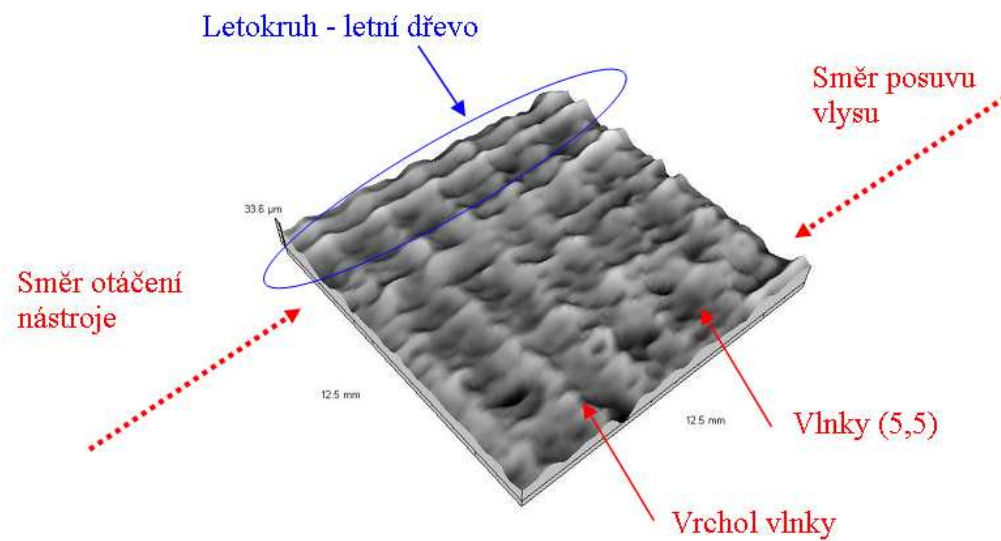


Taylor Hobson Talysurf CLI 1000

- univerzální systém měření textury povrchu
- CLA konfokální snímač
- měření a analýzy povrchu ve třech osách
- Vyniká mimořádnou rychlostí a přesností měření v režimu 2D a 3D
- snadno ovladatelné a výkonné
- analýza dat při hodnocení struktury povrchu



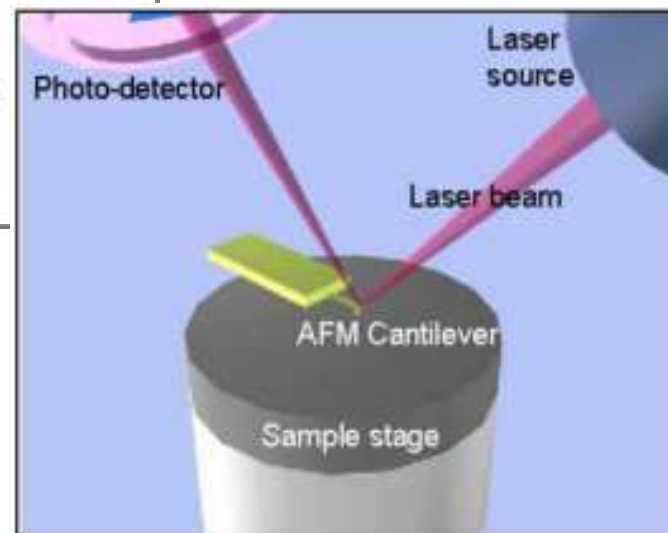
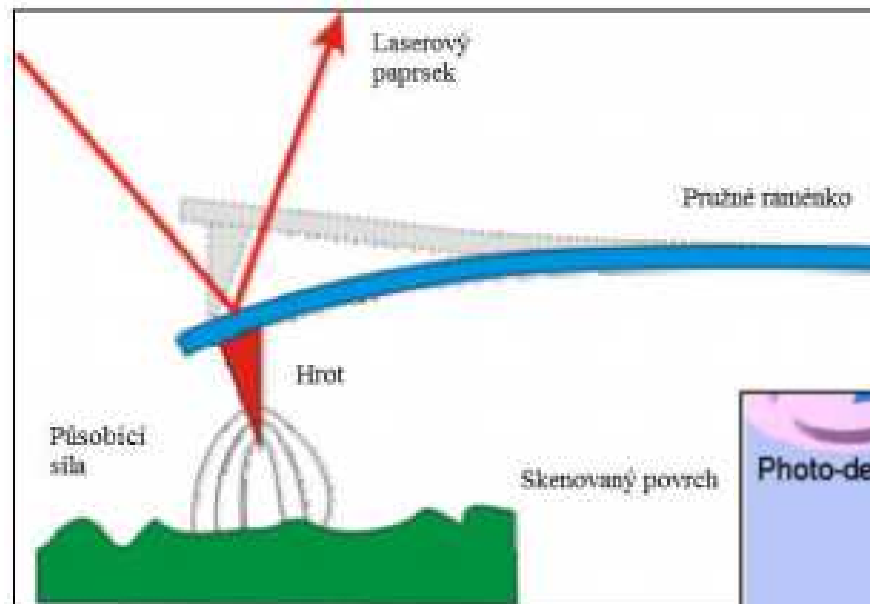
Talysurf - grafické výstupy



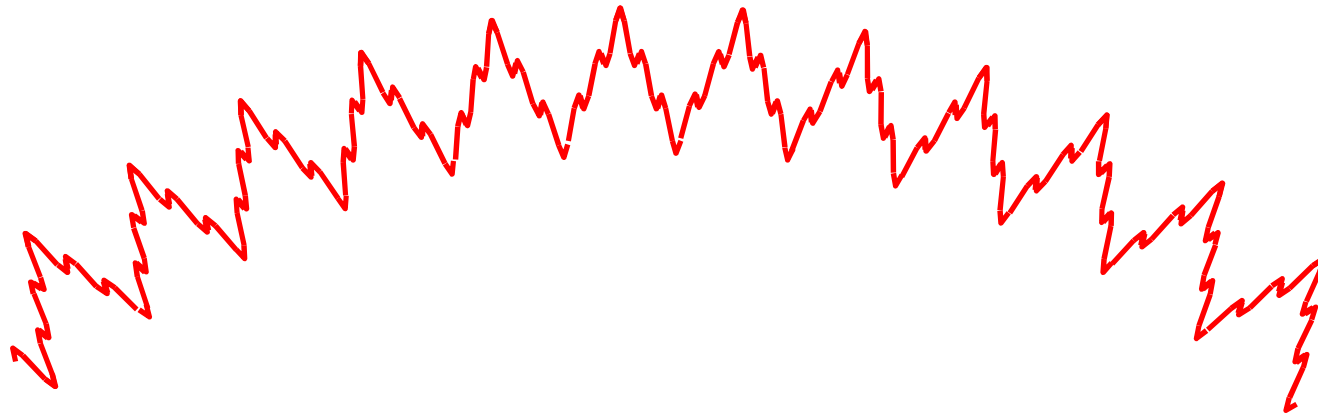
Mikroskopie atomové síly (AFM)

- ▶ Je moderní experimentální metoda, umožňující snadnou charakterizaci povrchů pevných látek. Tato metoda využívá malé sondy, která v těsné blízkosti povrchu mapuje topografii vzorku.
- ▶ Pomocí optické detekce laserovým paprskem je pak vyhodnocována poloha této sondy a topografie povrchu je dále softwarově zpracovávána.
- ▶ Hlavním prvkem mikroskopu atomové síly je hrot, délky několika mikrometrů, který je upevněn na volném konci pružného držáku. Poloměr špičky tohoto hrotu je 10-50 μm , ale díky silám krátkého dosahu, působícím mezi několika nejbližšími atomy hrotu a povrchu můžeme u mikroskopie atomové síly dosáhnout teoreticky až atomového rozlišení.

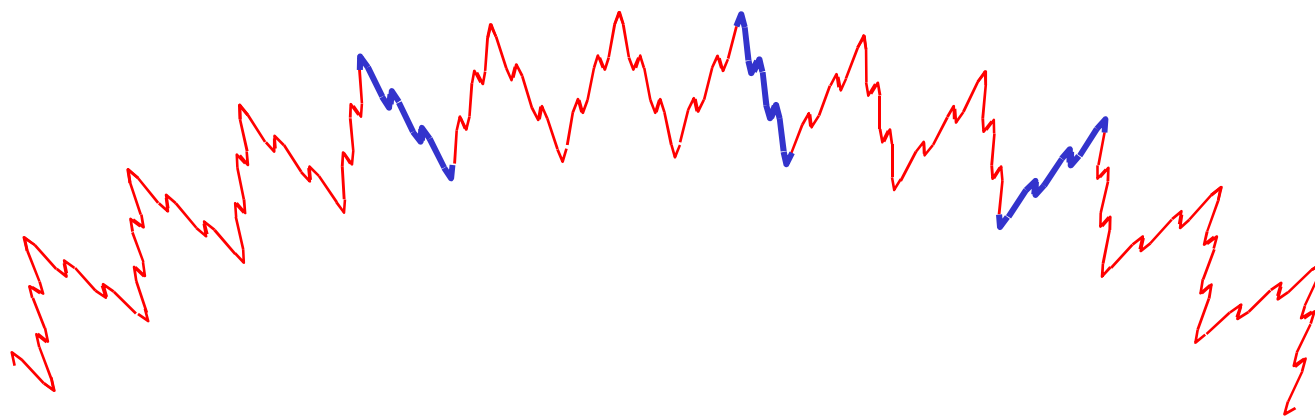
Mikroskopie atomové síly (AFM)



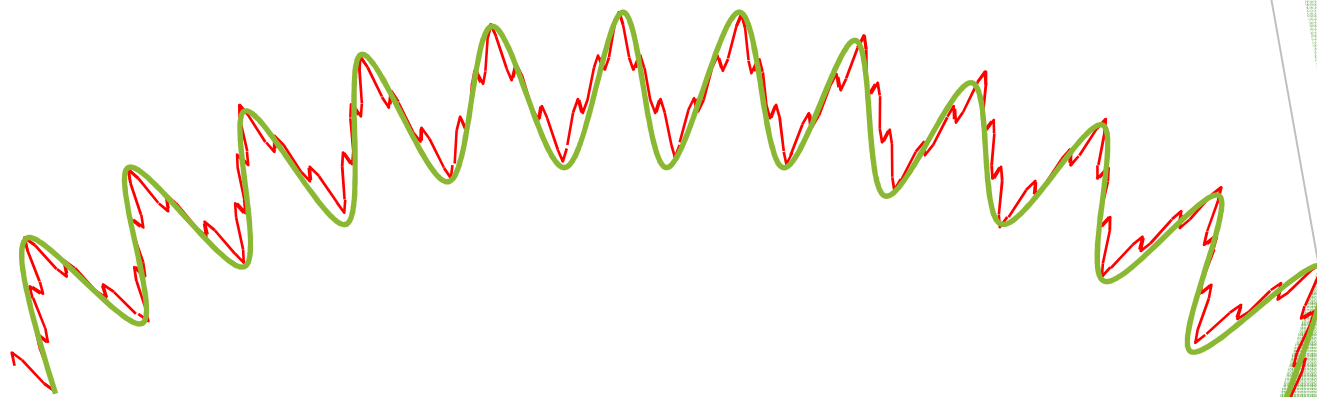
Názvosloví: Drsnost, vlnitost, tvar



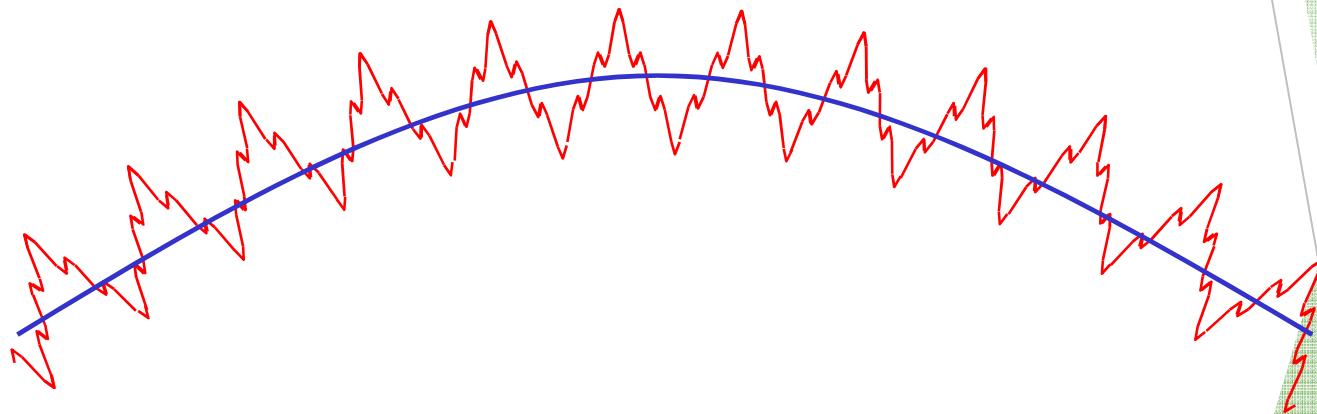
Drsnost, vlnitost, tvar

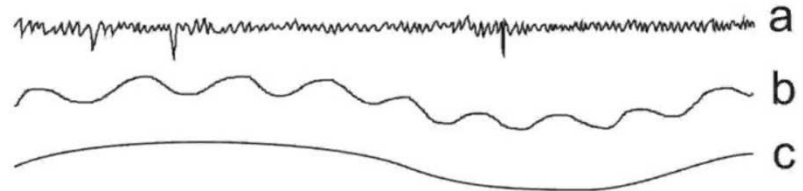
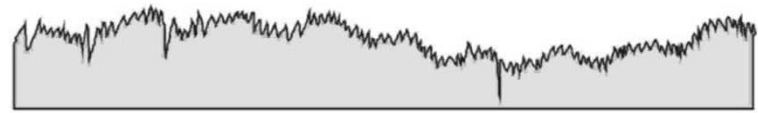
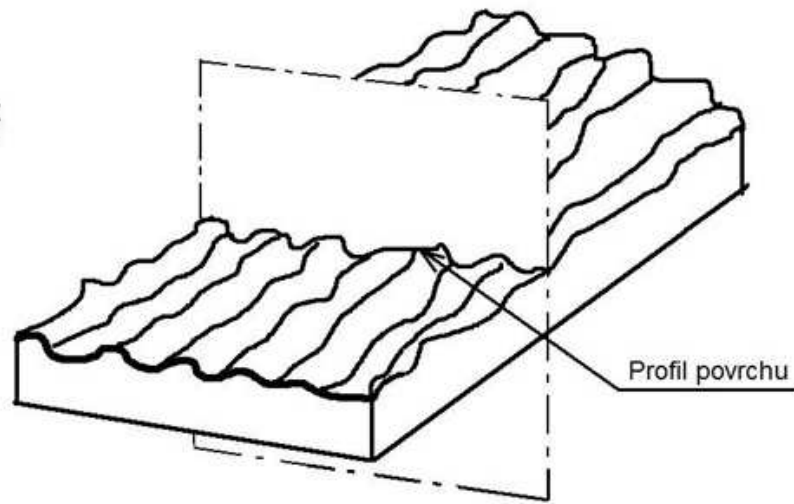
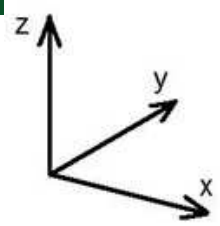


Drsnost, vlnitost, tvar

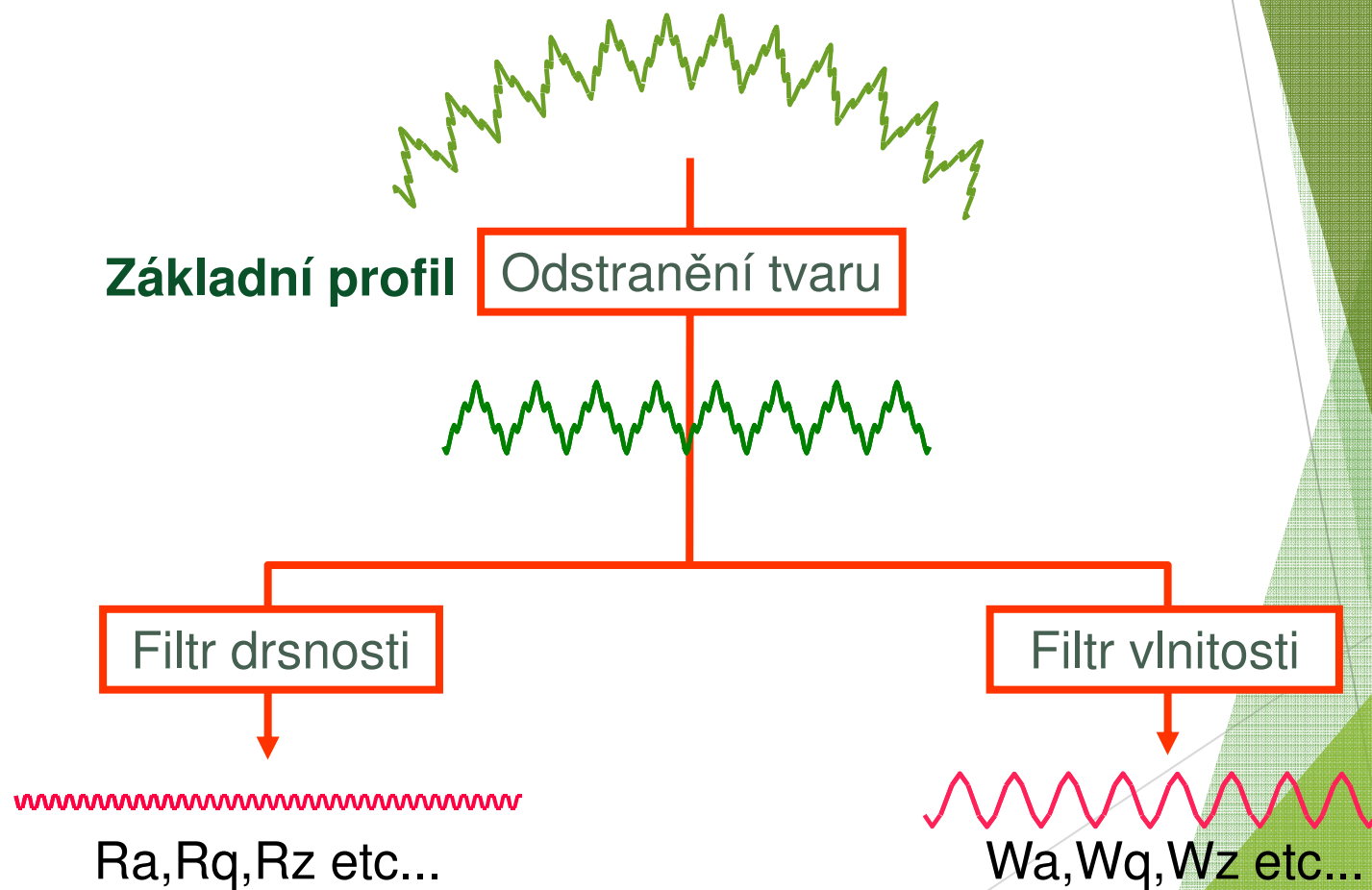


Drsnost, vlnitost, tvar





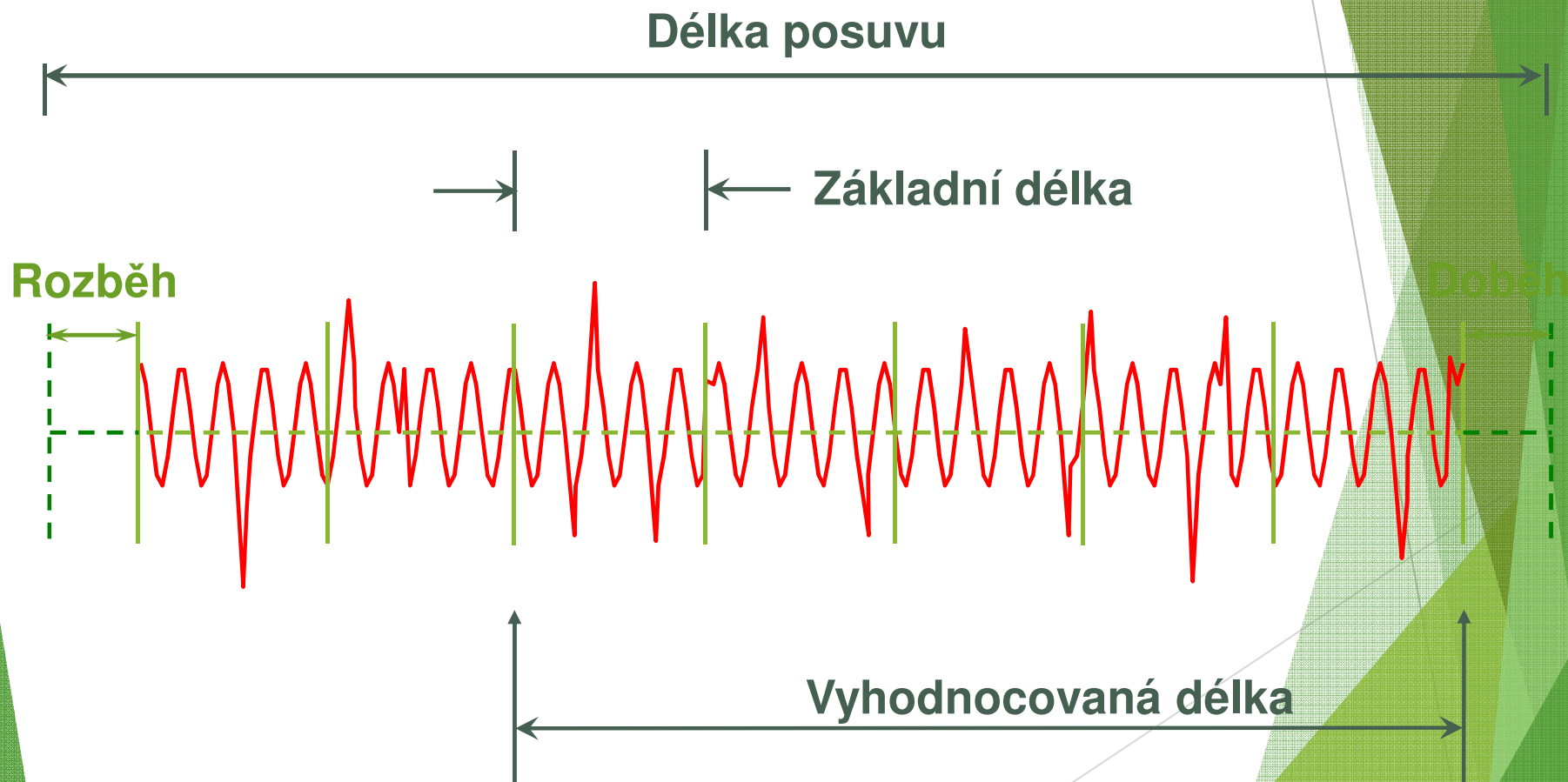
Filtry



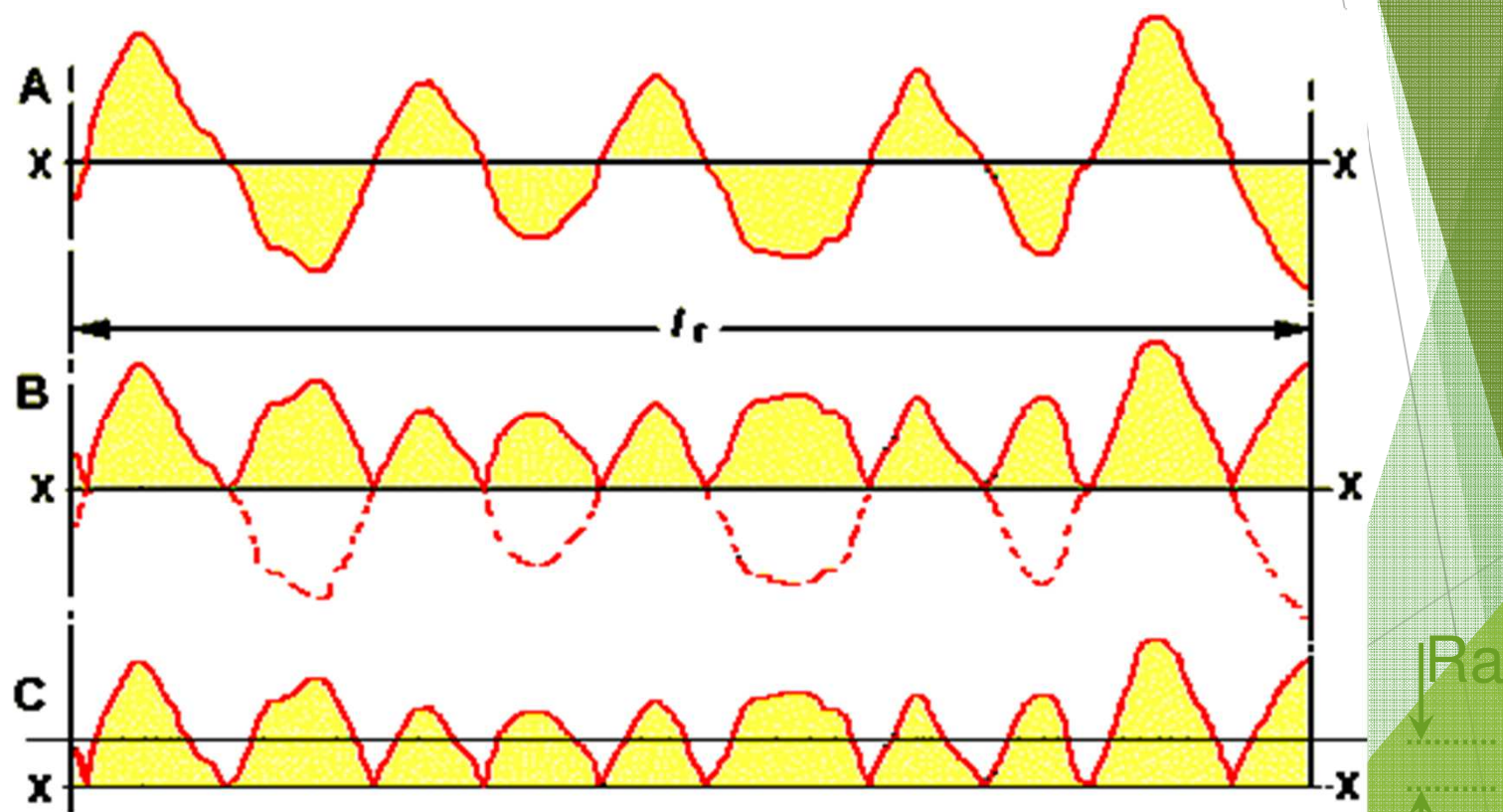
Typy parametrů

- Drsnost : Prefix **R**
- Vlnitost : Prefix **W**
- Základní : Prefix **P**

Délka posuvu, základní, vyhodnocovaná

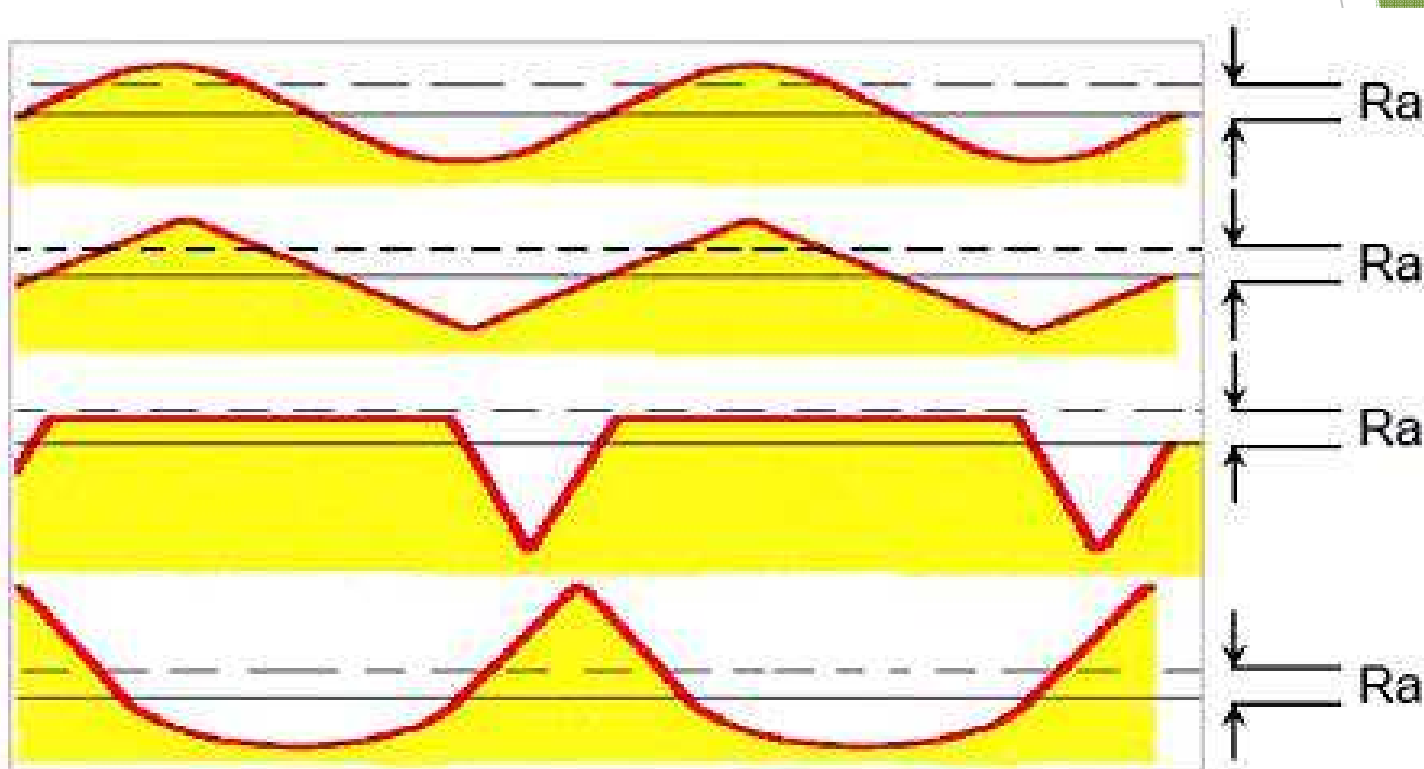


Ra - průměrná aritmetická úchylka profilu

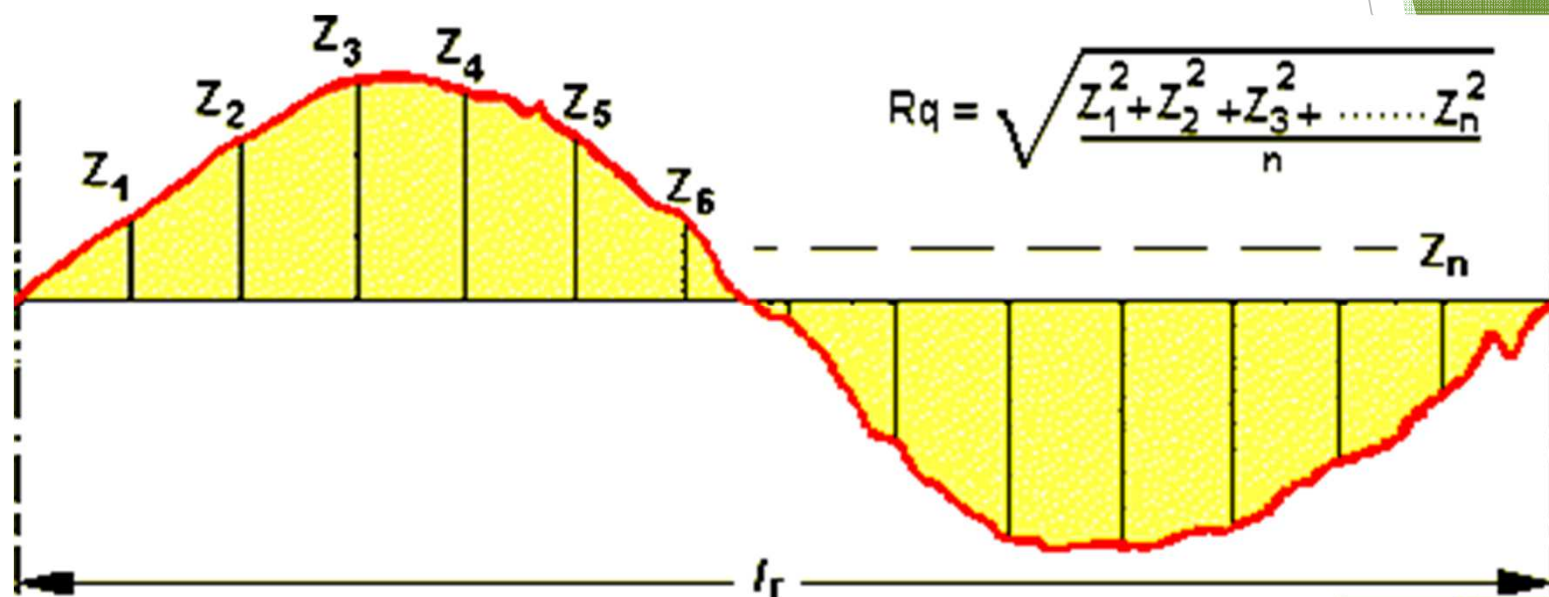


$l_r =$ Základní délka

Ra - průměrná aritmetická úchylka různých profilů



Rq - průměrná kvadratická úchylka profilu

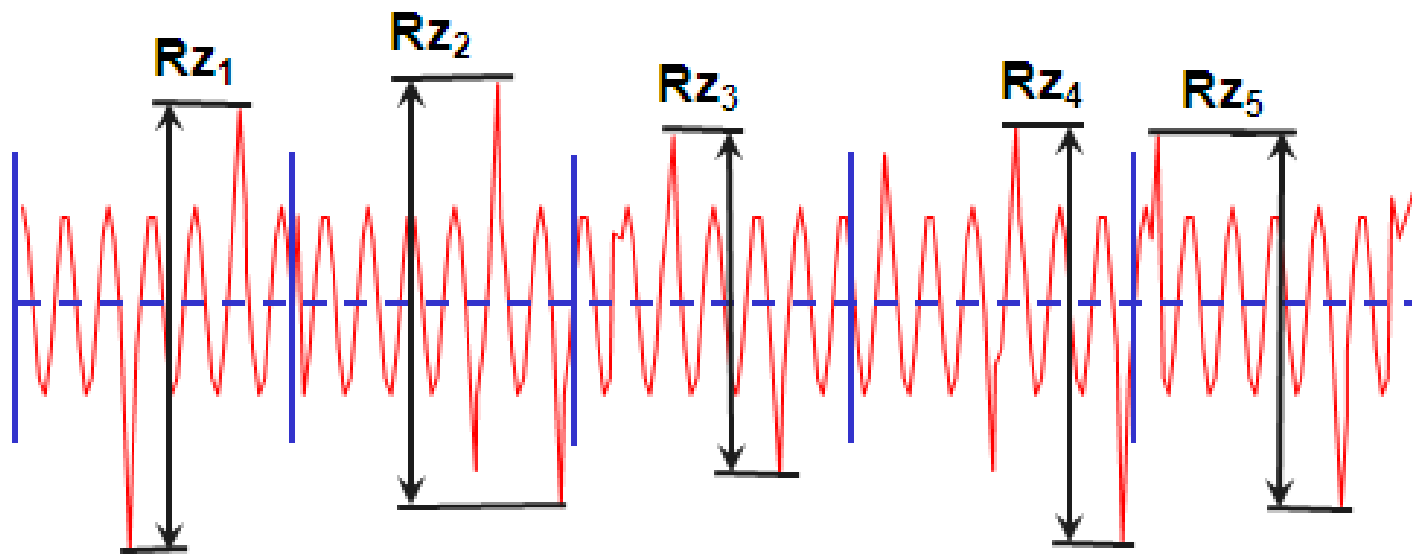


l_r = Základní délka

Parametry Ra a Rq

- Ra je kontrolní parametr, změní-li se výrazně hodnota Ra, změnil se kontrolovaný proces, např. řezná hrana nástroje, řezná rychlost, posuv.
- Ra je nejužívanější parametr v průmyslu a je k dispozici i na nejjednodušších nejlevnějších přístrojích všech výrobců.
- Pro extrémně jemné povrchy není Ra dost citlivý na náhodné nebo vzácné defekty, vhodnější je Rq.
- Rq má zvýrazňující efekt na jednotlivé nebo náhodné výstupky a prohlubně, a tím z něj činí parametr schopný rozlišit mezi velmi jemným povrchem a obdobným ale s netypickými stopami a defekty.

Rz - největší výška profilu



$$Rz = (Rz_1 + Rz_2 + Rz_3 + Rz_4 + Rz_5 \dots) / n$$

n = počet základních délek

Parametry Rt a Rz (Pt)

- Rt je maximální vzdálenost mezi výstupkem a prohlubní profilu ve vyhodnocované délce (l_n),
- nicméně protože se jedná o špičkový parametr, je zatížen velkým rozptylem hodnot a může být nestabilní. Ukazuje extrémní hranice profilu, ale ty nemusí být věrohodné.
- Rt se užívá jako kontrolní parametr,
- Základní verze Pt se používá k vyjádření celkové tvarové chyby součásti nebo povrchu.
- Rz parametr má podobné použití, jako Rt, ale díky průměrování přes několik základních délek je trochu stabilnější.
- Rz je alternativou k Rt jako kontrolní parametr.

Děkuji za pozornost