

Přesnost kontaktního a bezkontaktního měření drsnosti povrchu u vybraných kovových i nekovových materiálů

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

Anežka Ciglerová

Vedoucí práce:

doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.

Katedra obrábění a montáže





Zadání bakalářské práce

Přesnost kontaktního a bezkontaktního měření drsnosti povrchu u vybraných kovových i nekovových materiálů

Jméno a příjmení: **Anežka Ciglerová**
Osobní číslo: S17000017
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra obrábění a montáže
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí dosavadních poznatků o problematice měření drsnosti povrchu pomocí kontaktních a bezkontaktních měřicích přístrojů.
2. Volba měřicích přístrojů a podmínek pro měření drsnosti povrchu. Výběr kovových i nekovových materiálů (plast, kompozit, sklo, keramika).
3. Návrh metodiky experimentů kontaktního a bezkontaktního měření drsnosti povrchu u kovových i nekovových materiálů.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení získaných výsledků kontaktního a bezkontaktního měření drsnosti povrchu u kovových i nekovových materiálů.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
30 – 40 stran textu
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. BUMBÁLEK, Bohumil, V. ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. *Drsnost povrchu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
2. DRASTÍK, František. *Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem: tolerování rozměrů a geometrických vlastností*. Ostrava: Montanex, 1996. ISBN 80-85780-18-6.
3. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
4. ODVODY, Vladimír. *Souhrnné směrnice pro volbu drsnosti povrchu ve všech oborech strojírenské výroby*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1964.
5. Přístrojové dokumenty.

Vedoucí práce:

doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.
Katedra obrábění a montáže

Datum zadání práce:

6. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

6. dubna 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková,
Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

24. června 2021

Anežka Ciglerová

Anotace:

Předkládaná bakalářská práce poskytuje informace o měření drsnosti povrchu dotykovým a bezdotykovým měřicím zařízením.

Hlavním cílem předkládané práce bylo porovnat metody dotykového a bezdotykového měření drsnosti a srovnat vyhodnocené výsledky měření.

Nezbytné základní pojmy týkající se řešené problematiky jsou uvedeny v teoretické části práce. Do této části práce jsou zahrnuty informace o měřených parametrech drsnosti a konkrétních způsobech měření drsnosti.

Dosažení cíle je věnována celá experimentální část, která obsahuje informace o metodice a realizaci experimentu. V závěru práce jsou popsány dosažené výsledky a celkové zhodnocení experimentu.

Klíčová slova: Drsnost, profilometr, textura povrchu, optický mikroskop

Anotation:

The presented bachelor thesis provides information on measuring the surface roughness with a contact and non-contact measuring devices.

The main goal of the presented work was to compare the methods of contact and non-contact roughness measurement and to compare the evaluated measurement results.

Necessary basic concepts related to the problem are given in the theoretical part of the work. This part of the work includes information about measured roughness parameters and specific methods of roughness measurement.

The whole experimental part is devoted to achieving the goal, which contains information about the methodology and implementation of the experiment. At the end of the work, the achieved results and the overall evaluation of the experiment are described.

Key words: roughness, profilometer, surface texture, optical microscope

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1315**

Jméno a příjmení: **Anežka Ciglerová**

Vedoucí práce: doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D
Konzultant: Ing. Miloslav Ledvina, Ph.D

Počet stran: 61
Počet příloh: 0
Počet tabulek: 22
Počet obrázků: 26
Počet diagramů: 14

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala především vedoucí své bakalářské práce paní doc. Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph.D. za ochotu, cenné rady, čas a úsilí, které mi při zpracování této bakalářské práce věnovala. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Miloslavu Ledvinovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady při vypracování této bakalářské práce, Ing. Pavlovi Hanusovi, Ph.D. za poskytnuté informace k optickému mikroskopu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za psychickou podporu během celého mého studia.

Obsah

1. Úvod	11
2. Teoretická část	12
2.1. Drsnost povrchu a její význam	12
2.1.1. Drsnost povrchu a její význam u strojních součástí	12
2.2. Základní pojmy drsnosti povrchu	14
2.2.1. Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu	17
2.3. Způsoby měření a měřicí přístroje	22
2.3.1. Metoda 2D – dotykové měření	23
2.3.2. Metoda 3D – bezdotykové měření	25
3. Metodika	28
3.1. Výroba vzorků	28
3.2. Použité měřicí přístroje	32
3.3. Vlastní měření drsnosti povrchu	33
4. Experimentální část	36
4.1. Kompozit	36
4.1.1. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro broušený kompozit	36
4.1.2. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro frézovaný kompozit	38
4.1.3. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro soustružený kompozit	39
4.2. Ocel	41
4.2.1. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro broušenou ocel	41
4.2.2. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro frézovanou ocel	42
4.2.3. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro soustruženou ocel	43
4.3. Plast	45
4.3.1. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro broušený plast	45
4.3.2. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro frézovaný plast	46
4.3.3. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro soustružený plast	47
4.4. Sklo	49
4.4.1. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro broušené sklo	49
4.4.2. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu pro neobrobené sklo	51
5. Diskuze	53
6. Závěr	59
7. Seznam použité literatury	60

Seznam použitých zkratek a symbolů

2D	[-]	dvourozměrné
3D	[-]	třírozměrné
a_p	[mm]	přísuv
ČMI	[-]	Český metrologický institut
ČSN	[-]	Česká technická norma
EN	[-]	Evropská norma
f	[m.min ⁻¹]	posuv za minutu
f_n	[m.ot ⁻¹]	posuv za otáčku
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci
l	[mm]	základní délka
LSCM	[-]	laserová rastrovací konfokální mikroskopie
m	[-]	střední aritmetická čára profilu
M_r	[%]	materiálový poměr
M_{r1}	[%]	podíl materiálu nad povrchem
M_{r2}	[%]	podíl materiálu pod povrchem
P-parametry	[-]	Parametry základního profilu
R_a	[μ m]	průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti
R_k	[μ m]	výška jádra profilu drsnosti
R- parametry	[-]	parametry profilu drsnosti
R_{pk}	[μ m]	redukováná výška výstupků
R_t	[μ m]	celková výška profilu drsnosti
r_{tip}	[mm]	poloměr zaoblení snímacího hrotu
R_{vk}	[μ m]	redukováná hloubka prohlubní
R_z	[μ m]	největší výška profilu drsnosti
S	[mm ²]	plocha
SK	[-]	slinutý karbid
TSM	[-]	konfokální mikroskopie s rotujícím diskem
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
W-parametry	[-]	parametry profilu vlnitosti
x,y	[mm]	osy souřadného systému pro měření povrchu náležící povrchu
y_i	[mm]	souřadnice n bodů profilu povrchu v mezích délka

$y_{p_{\max}}$	[mm]	výška prohlubní
$y_{v_{\max}}$	[mm]	výška výstupků
γ	[°]	úhel snímacího hrotu
λ	[nm]	vlnová délka
λ_c (λ cut-off)	[nm]	mezní vlnová délka
λ_f	[nm]	vlnová délka dlouhovlnného filtru profilu
λ_s	[nm]	vlnová délka krátkovlnného filtru profilu

1 Úvod

Pod pojmem jakosti z hlediska technologie výroby je třeba chápat přesnost rozměrů, přesnost geometrického tvaru, polohy a drsnosti povrchu. K těmto hodnotám přistupuje ještě sledování chemických a fyzikálních změn vlastností materiálu v povrchové vrstvě obrobene součásti, vzniklých v důsledku vlastního procesu řezání. Jakost povrchu, tj. drsnost, resp. mikrogeometrie povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy, ovlivňují velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti povrchu závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, doba záběhu, ztráty třením, elektrická vodivost, přestup tepla, únavová pevnost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi apod. Drsnost povrchu tedy ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti. [1]

Vzhledem k výraznému vývoji měřicích technologií během posledních několika desetiletí vzniká potřeba přehledu o používaných přístrojích, vyhodnocovaných parametrech a jejich vzájemné porovnání. Moderními trendy se stávají zejména bezdotyková měření, která poskytují významné výhody, zejména v oblasti plošného hodnocení daného povrchu a měření ploch se specifickými fyzikálními a technickými parametry. [4]

Předložená bakalářská práce se zabývá problematikou měření drsnosti povrchu metodou dotykovou a bezdotykovou.

Hlavním cílem předkládané práce bylo porovnat metody dotykového a bezdotykového měření drsnosti a srovnat vyhodnocené výsledky měření.

Bakalářská práce je rozdělena do 3 částí: teoretické, experimentální a závěrečné.

V teoretické části je věnována pozornost drsnosti povrchu a jejímu významu, základním pojmům drsnosti povrchu, způsobům měření a měřicím přístrojům. Celá teoretická část vychází z tuzemské a mezinárodní odborné literatury.

Experimentální část obsahuje popis metodiky pro měření drsnosti povrchu, včetně celkového vyhodnocení naměřených výsledků.

Závěrečná část zhodnocuje a diskutuje výsledky získané v rámci výzkumu.

2 Teoretická část

V teoretické části práce jsou uvedeny dosavadní poznatky o drsnosti povrchu a jejím významu u strojních součástí, základní pojmy drsnosti povrchu a její způsoby měření, které byly použity v této práci.

Uvedené informace v této kapitole jsou obecně známé. Tyto informace je vhodné uvést kvůli lepší orientaci v řešené problematice.

2.1 Drsnost povrchu a její význam

Moderní konstrukce jsou z velké části namáhány dynamicky. Proto je řada konstrukcí limitována únavovými činiteli, vlastnostmi materiálu, jeho strukturou apod. [1]

Moderní výrobní metody jsou dnes zaměřeny nejen na opracování běžných konstrukčních materiálů, ale i materiálů o vysoké pevnosti, materiálů žárovevých, korozivzdorných apod. Problémy s oddělováním, třísky u těchto materiálů prakticky nejsou. Konstrukce však přichází s novými požadavky jako např. nižšími rozměrovými tolerancemi, se zpřesněnými požadavky na geometrický tvar a drsnost povrchu, s cílem zabezpečit náročnější funkce součástí. [1]

2.1.1 Drsnost povrchu a její význam u strojních součástí

Vztah mezi funkcí a jakostí povrchu plochy, která je vytvořena jistou technologickou metodou, je možné hodnotit ze dvou hledisek. Prvním je prostorové uspořádání (textura, morfologie) povrchu, které je vyjadřováno především jeho drsností. Druhým hlediskem jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchové vrstvy součástí. Jejich ovlivnění metodami výroby ve vztahu k funkci lze vyjádřit pojmem integrita povrchu. Integrita povrchu tak v sobě zahrnuje podmínky, za kterých funkční povrch vzniká, účinky technologických metod a jejich vliv na vlastnosti nově vytvořené plochy, a dává je do vztahu s funkčními požadavky na výrobek. [1]

Během výroby mohou v důsledku výrobního procesu vzniknout na opracované ploše následující změny: povrch je plasticky deformován v důsledku mechanického a tepelného účinku, dochází k rekrystalizaci, resp. k fázovým transformacím, mění se tvrdost povrchové vrstvy, vznikají mikrotrhliny a makrotrhliny, vznikají zbytková napětí v povrchové vrstvě, dochází ke změnám vlastností povrchové vrstvy v důsledku chemické absorpce apod. [1]

Tyto změny vznikají nejen při běžných hrubovacích operacích, ale i při operacích dokončovacích a mohou být možnými příčinami poruch, které potom snižují spolehlivost strojních součástí. [1]

Podstatný vliv na jakost funkčních ploch strojních součástí má **mikrogeometrie (drsnost) povrchu**. Její význam ještě více vynikne, je-li uvažována v souhrnu vlastností zabezpečujících vhodnost výrobku pro danou funkci. Vztah mezi jakostí povrchu a funkčními požadavky významných a důležitých ploch není zatím obecně stanoven. To proto, že nejsou dobře definovány údaje o funkci plochy. Ta by měla být popsána a vyjádřena v pojmech a parametrech výrobních procesů, kterými je plocha dokončována. Je totiž nutné znát, co a jak specifikovat, aby bylo možné vyjadřovat odolnost, hodnocené plochy proti nějakému namáhání. To nelze, provést, dokud nebude známo, které parametry jakosti povrchu mají významný vliv na určité namáhání plochy a jaký je důvod pro sledování a hodnocení tohoto vlivu. [1]

Jedním z předpokladů řešení jakosti odpovídajícími ukazateli, závislý mi na jakosti povrchu, je objasňování mechanismu vytváření drsnosti povrchu, a to v závislostech na vlastnostech použitého materiálu, metodách dokončování, pracovních podmínkách, na nástrojích, obráběcích strojích a dalších konstrukčních i technologických parametrech. Poznání a definování vztahů mezi drsností povrchu, funkčními ukazateli a technologickými činiteli je předpokladem vědeckého ovlivňování parametrů jakosti. Drsnost povrchu má proto své místo, jako činitel jakosti, a to ve všech stádiích vědeckého zkoumání, v konstrukci i technologické projekci, v přípravě výroby i v exploataci. [1]

Funkce každé součásti je tedy úzce spojena s povrchem obrobené plochy. To proto, že funkční vlastnosti povrchu jsou do značné míry určovány jeho geometrickými parametry. Přesnost dodržení předepsaných geometrických parametrů je dána souhrnem jejich odchylek od ideální geometrie. [1]

Odchyšky jsou definovány jako rozdíly skutečného tvaru plochy a tvaru plochy jmenovité (ideální geometrie). Vznikají v důsledku nedokonalosti a nepřesnosti při výrobě. Odchyšky se dají klasifikovat do skupin podle tab. 1. Příčiny vzniku těchto odchylek je možné hledat v kinematice procesu výroby funkčních ploch, v mechanismu vytváření nového povrchu, který je vlastně procesem plastické deformace, a konečně ve chvění celého systému stroj, nástroj, obrobek. První z uvedených příčin ovlivňuje periodickou složku nerovností, druhá složka je náhodná (aperiodická) a třetí může ovlivnit obě složky. [1]

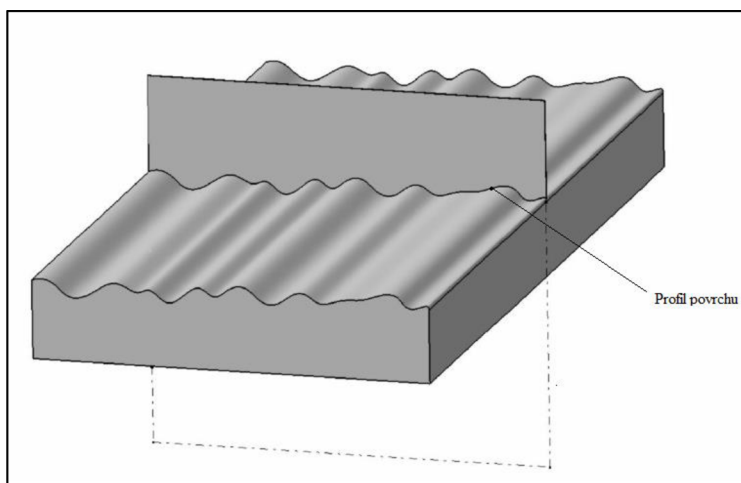
Základní informace o uvedených nerovnostech i jejich odchylkách je možné získat z profilu, který vznikne jako průsečnice roviny řezu kolmé k obrobené ploše. Obvykle je tato rovina vedena kolmo na hlavní směr nerovností. [1]

Profil nerovností je rozkládán na složky odpovídající jednotlivým parametrům geometrické nepřesnosti. Tvar a vlnitost jsou označovány jako makrogeometrie, drsnost povrchu jako mikrogeometrie. [1]

2.2 Základní pojmy drsnosti povrchu

Následující definice jsou podle normy ČSN EN ISO 4287 [2] a ČSN EN ISO 16610-21 [3].

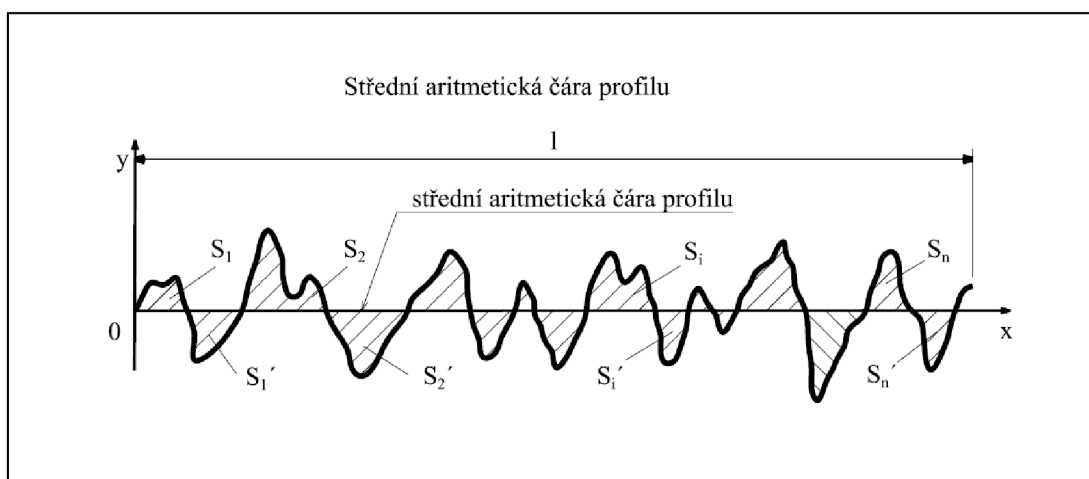
Tvar nerovností povrchu je velmi rozmanitý. Lze to dokumentovat řadou povrchů dokončených různými metodami obrábění. [4]



Obr. 2.1 Skutečný profil a profil povrchu [4]

Skutečný povrch je definován jako povrch vymezuující těleso a oddělující ho od okolního prostředí a **profil povrchu** pak jako průsečnice skutečného povrchu a řezné roviny, obvykle kolmé na tento povrch, viz obr. 2.1. Vhodný směr řezné roviny je ten, ve kterém jsou hodnoty výškových parametrů maximální. Zvláště v případě anizotropních povrchů, kdy se výsledky měření profilovou metodou v jednom směru výrazně liší od výsledků v jiném směru, jako tomu je např. v případě soustružené plochy, kdy je správný směr pro měření shodný se směrem posuvu. V opačném případě by měření ukázalo zavádějící výsledky hodnocení textury povrchu. [4]

Posuzování profilu podle ČSN EN ISO 4287 [2] se koná standardně pomocí střední čáry aritmetické profilu [4]. **Střední aritmetická čára profilu m** je základní čára, která má tvar jmenovitého profilu, je ekvidistantní se směrem skutečného profilu a rozděluje skutečný profil tak, že v rozsahu základní délky jsou součty ploch po obou jejích stránkách stejné (obr. 2.2). [1]

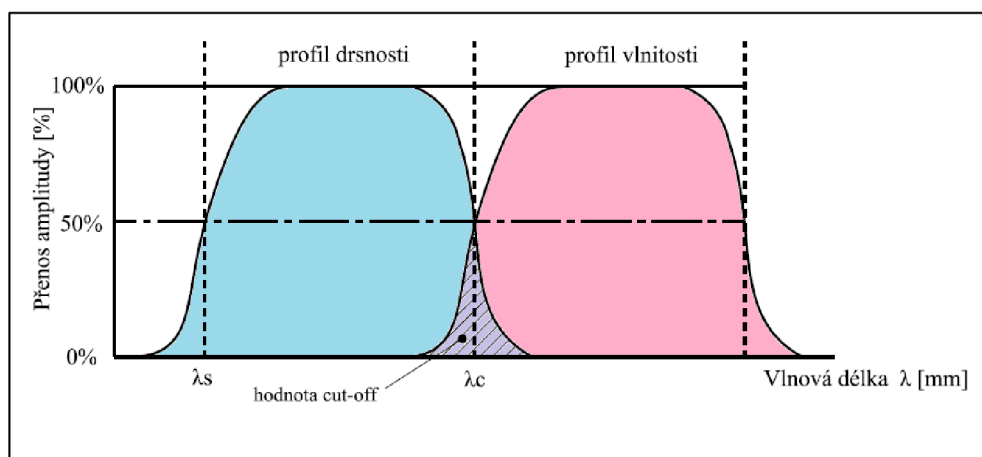


Obr. 2.2 Střední aritmetická čára profilu [1]

Základní délka l je délka základní čáry užívaná pro oddělení nerovností charakterizujících drsnost povrchu od jiných geometrických úchylek. Nerovnosti povrchu, které patří k drsnosti povrchu, lze například prakticky oddělit nastavením mezní rozteče λ_v , (cut-off) rovné základní délce l . To znamená, že na délce λ_v se přenáší 75% amplitudy sinusového tvaru profilu při užití předepsaného filtru. [1]

Z naměřeného profilu povrchu je nadále potřeba odfiltrovat nežádoucí složky. Pomocí **filtrů** blíže specifikovaných v normě ČSN EN ISO 11562 [5] je provedena separace dlouhovlnných a krátkovlnných složek profilu podle příslušné vlnové délky, tzv. *cut-off*.

Filtry původně vznikly zvláště pro dotyková měřicí zařízení, kdy v procesu byla zahrnuta také korekce poloměru snímacího hrotu. Je potřeba používat tzv. **fázově korigované filtry profilu**, tzn. filtry, které nezpůsobují fázový posuv vedoucí k asymetrickému zkreslení profilu. [4]



Obr. 2.3 Přenosová charakteristika profilových filtrů [4]

Dle ČSN EN ISO 11562 [5] se v závislosti na drsnosti dané plochy definují tři filtry se stejnými přenosovými vlastnostmi, ale rozdílnými hodnotami mezní vlnové délky *cut-off*. Pomocí těchto filtrů je možné získat profil drsnosti a vlnitosti, na základě kterých se dále vyhodnocují parametry definující danou plochu. [4]

Samotný proces filtrování probíhá následovně: nejdříve se na skutečný profil povrchu aplikuje krátkovlnný filtr λ_s , pomocí kterého se odfiltrují od naměřeného profilu složky s kratší vlnovou délkou, které jsou přítomné na povrchu, jako jsou např. rýhy, trhliny, póry, staženiny, koroze, mikrotrhliny apod. Takto vznikne **základní profil**. [4]

Po aplikaci filtru λ_c na základní profil jsou potlačeny dlouhovlnné složky profilu. Po separaci složek drsnosti a vlnitosti zůstává pouze **profil drsnosti**. [4]

Třetí typ profilu, **profil vlnitosti**, vzniká ze základního profilu kombinovaným potlačením krátkovlnných složek filtrem λ_c a dlouhovlnných složek filtrem λ_f . [4]

2.2.1 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu

Mezi základní parametry se řadí 3 sady 13 parametrů definované v ČSN EN ISO 4287 [2]. Mezi ně patří *R-parametry* odvozené z profilu drsnosti, ke kterým existují analogicky *P-parametry* a *W-parametry*, odvozené resp. ze základního profilu a z profilu vlnitosti. Nejčastěji jsou využívány následující parametry drsnosti. Kompletní přehled parametrů v normě ISO 4287 [2].

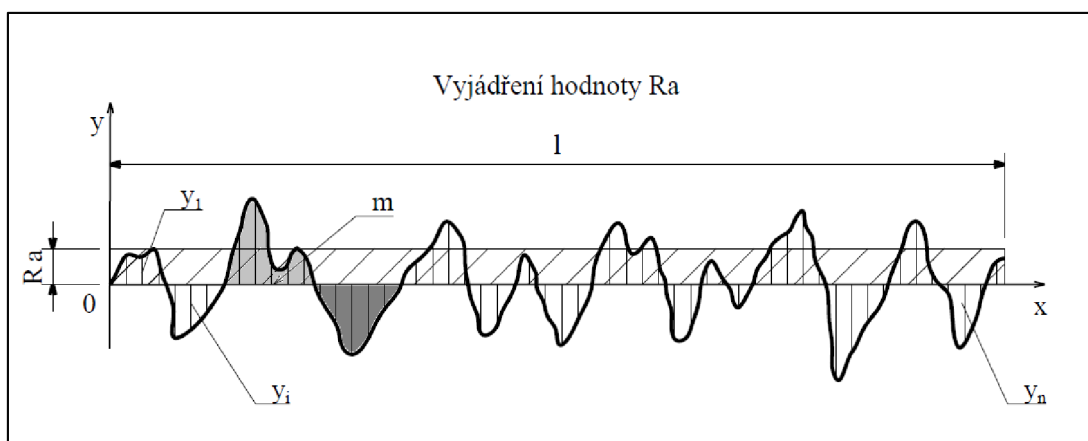
Ra- průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

Jedná se o nejčastěji užívaný parametr pro posuzování drsnosti povrchu. Je natolik rozšířený, že ho lze změřit i na nejjednodušších měřicích přístrojích. [4]

Jeho rozšířenost je podpořena také faktem, že je tento parametr zahrnutý v přesnosti použité normy ve výkresové dokumentaci v případě, kdy není zadána konkrétní drsnost dané plochy. [4]

Statisticky se jedná o velmi stabilní a opakovatelný parametr, který je vhodný zejména pro neperiodické povrchy, např. povrchy po broušení apod. [4]

Na druhou stranu ale tento parametr nerozlišuje výstupky od prohlubní (viz obr. 2.4), takže plochy vytvořené velmi rozdílnými metodami není vhodné porovnávat pomocí tohoto parametru. Avšak pro porovnávání ploch vytvořených stejnými nebo velice podobnými metodami a za podobných podmínek je použití tohoto parametru zcela korektní. [4]

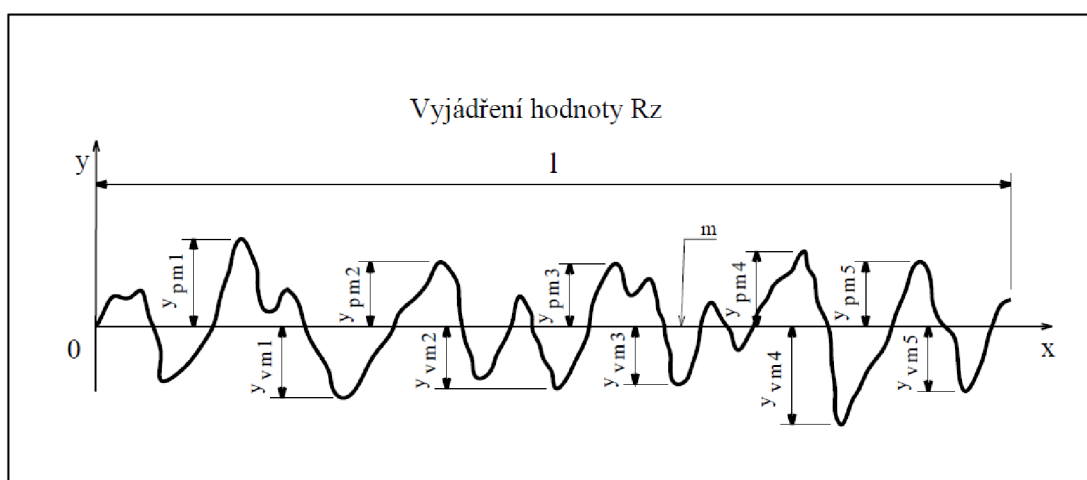


Obr. 2.4 Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti Ra [1]

Tento parametr také není vhodný v případě definice dosedacích ploch, lépe řečeno je doporučováno doplnit definici těchto ploch o další parametry, aby se předešlo problémům s dosednutím, popř. těsněním daných ploch. [4]

Rz-největší výška profilu

Parametr R_z je velmi rozšířený. Je podobný parametru R_t , který je ale vyhodnocovaný na vyhodnocované délce, na rozdíl od R_z , který je vyhodnocovaný na základní délce. [4]



Obr. 2.5 Největší výška profilu R_z [1]

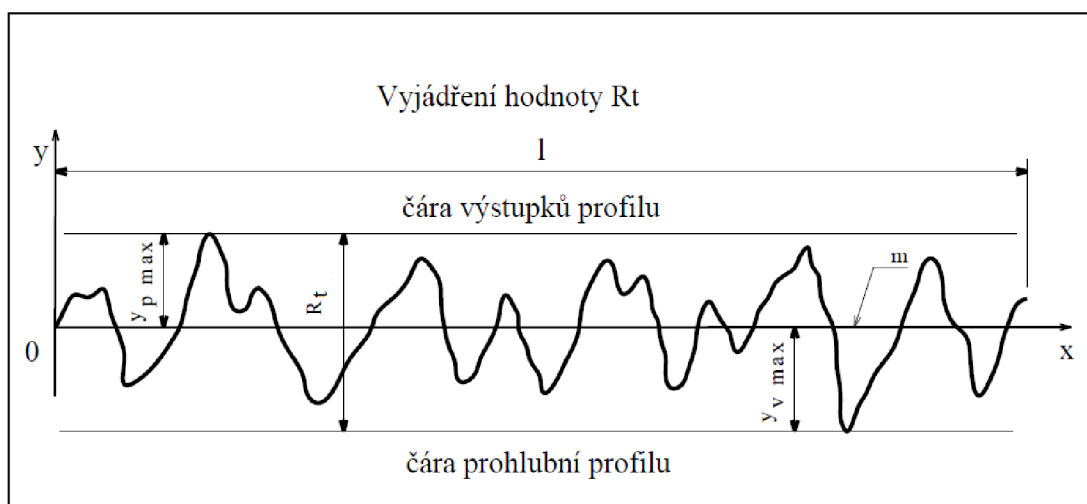
Jeho význam je jiný oproti průměrovým parametrům (R_a). Jak naznačuje jeho název, tento parametr je daleko citlivější na změny textury povrchu, protože se jedná čistě o výškový parametr a ne o parametr vycházející z průměru. [4]

Charakteristika R_z je zvláště vhodná pro hodnocení hrubých povrchů, například tam, kde není možno tyto povrchy pro jejich hrubost zhodnotit dotykovými profilometry, u nichž není možno nastavit příslušnou hodnotu mezní rozteče nerovnosti. [1]

Tento parametr je vhodné použít zejména v případě, kdy není přípustné poškození protější dosedací plochy, nebo v případě o těsnicí plochy, kdy nedostatečné lícování s protilehlou plochou může způsobit dysfunkci tohoto spojení. [4]

Rt- celková výška profilu

Parametr R_t je výšková charakteristika drsnosti povrchu, určená vzdáleností mezi čarou výstupků profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky, tedy $R_t = y_{pmax} + y_{vmax}$ (obr. 2.6). [1]

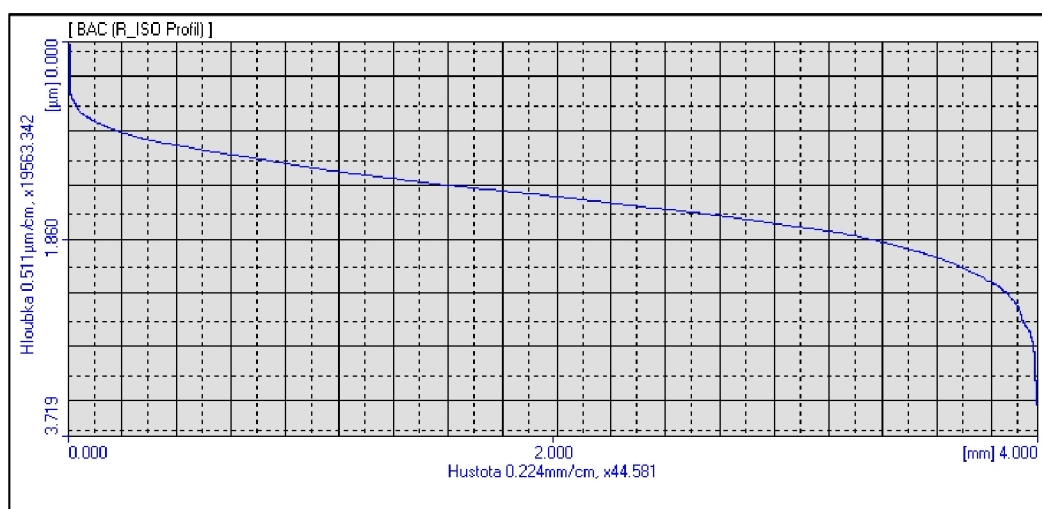


Obr. 2.6 Celková výška profilu drsnosti R_t [1]

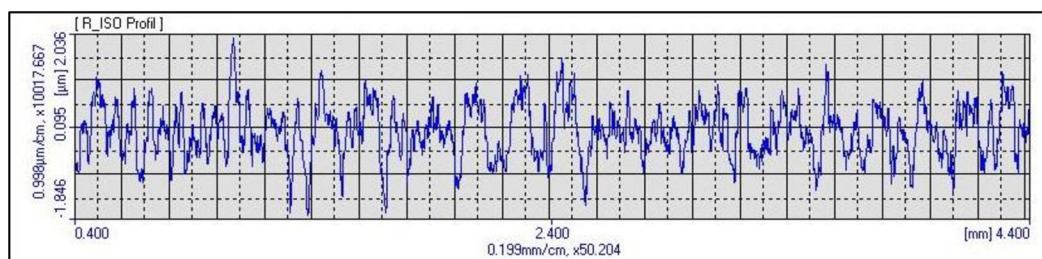
Největší výška R_t udává pouze největší hloubku profilu kontrolované plochy v rozsahu základní délky. Je využívána většinou pouze jako doplňkové měřítko drsnosti povrchu. Jako míra drsnosti povrchu má u funkčních povrchů poměrně malý význam, protože v řadě případů nevyjádří správně drsnost povrchu. Například hlubší rýha u poměrně hladkého broušeného povrchu ovlivní měřenou hodnotu R_t , a tím i názor na celkovou drsnost, eventuálně jemnost zkoumaného povrchu. Proto se také při určování charakteristiky R_t vyžaduje více měření. Mnohdy se pak nebere zřetel na náhodné extrémní výstupky a prohlubně. [1]

Parametry vztahující se ke křivce nosného podílu

Křivka nosného podílu, nazývaná také Abbott-Firestoneova křivka, procentuálně vyjadřuje množství materiálu prvků profilu na dané výškové úrovni c vzhledem k vyhodnocované délce, viz obr. 2.8, kdy je nulová hodnota výšky křivky nosného podílu shodná s výškou profilu v úrovni střední čáry. Tato křivka je zmíněna v normě ČSN EN ISO 4287 [2], ale podrobně je definována normou ČSN EN ISO 13565-2 [6]. Význam této křivky je výrazný převážně při předpovědi prvotního opotřebení, vývoje opotřebení za provozu a schopnosti zadržovat mazivo pro danou plochu. [4]



Obr. 2.7 Příklad křivky nosného podílu

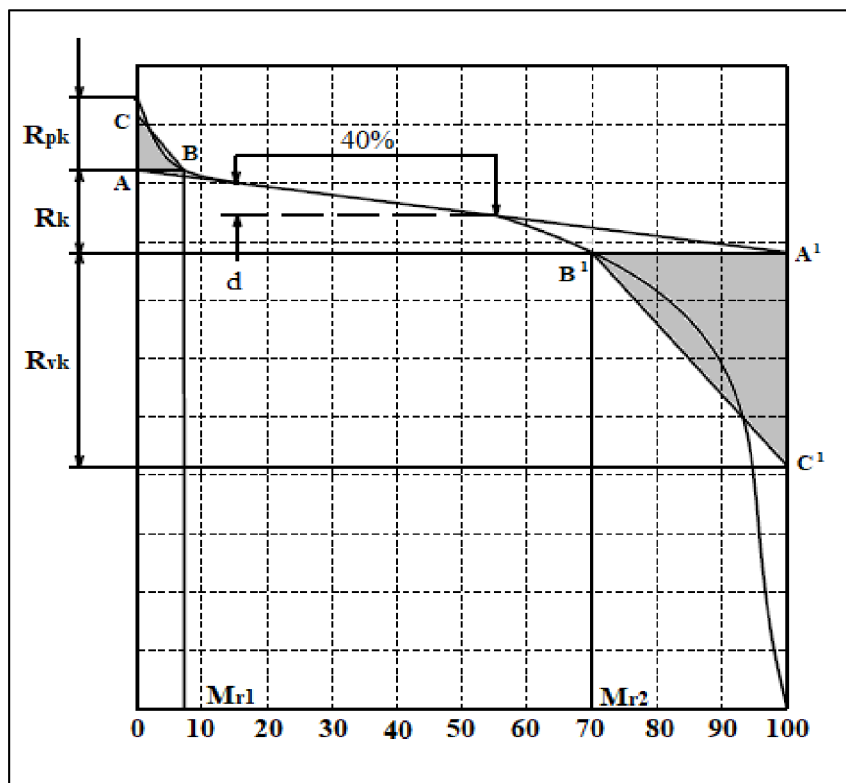


Obr. 2.8 Vyhodnocovaná délka křivky nosného podílu

Rk jádro profilu drsnosti

Parametry této křivky jsou odvozeny ze základního rozdělení křivky na tři části, kdy je střední oblast křivky aproximována náhradní přímkou procházející 40% materiálového podílu Mr . Náhradní přímka je vytvořena výpočtovým algoritmem pomocí metody nejmenších čtverců tak, aby byl její sklon v daném rozsahu dat minimální. [4]

Na obr. 2.9 lze vidět grafické znázornění náhradní přímky, zde označené A . Rozdíl výškových souřadnic jejich průsečíků se souřadnicemi Mr pro 0%, resp. 100% určuje hloubku jádra drsnosti R_k . Průsečíky těchto dvou přímek s původní křivkou nosného podílu pak určují v procentech úrovně $Mr1$ a $Mr2$. [4]



Obr. 2.9 Křivka nosného podílu pro daný profil [4]

Samotné **jádro profilu drsnosti** je pak vymezeno náhradní přímkou a dvěma rovnoběžnými přímkami (AB a $A'B'$) určujícími parametr R_k - viz obr. 2.9. Jedná se tedy o výšku jádra, odděleného od vyčnívajících výstupků a prohlubní. [4]

Parametr R_k je velmi důležitý, protože udává informaci o množství materiálu, který je možno během provozu efektivně opotřebit. Hodnota doslova udává výšku a v kombinaci s parametry $Mr1$ (podíl materiálu nad povrchem) a $Mr2$ (podíl materiálu pod povrchem) i rychlost opotřebení, než bude dosažena celkové úrovně prohlubní. Obecně jsou preferovány plochy s menším sklonem náhradní přímky, které jsou více odolné vůči opotřebení a jejichž správná funkce bude déle zajištěna. [4]

Rpk – redukováaná výška výstupků, Rvk – redukováaná hloubka prohlubní

Parametry *Rpk* a *Rvk* se definují na základě výše zmíněných ploch výstupků a prohlubní, které jsou aproximovány do tvarů pravoúhlých trojúhelníků sestrojených tak, aby měly stejný obsah jako plocha výstupků, resp. prohlubní. [6]

Redukovaná výška výstupků Rpk vyjadřuje množství materiálu, které bude odstraněno během počátečního opotřebení, tzn. v první časové fázi provozu součásti. Nižší hodnota *Rpk* je vhodnější zvláště z důvodu vyšší rozměrové přesnosti i během provozu součásti, a to převážně válcovitých součástí s vysokým nárokem na tvarovou i rozměrovou přesnost. Navíc velké množství vysokých výstupků, které se v prvních hodinách provozu opotřebí, může v mezním případě až způsobit poruchu stroje. [4]

Redukovaná hloubka prohlubní Rvk vyjadřuje schopnost povrchu zadržovat kapaliny, tzn. množství prohlubní, které jsou k tomuto účelu stále dispozici. Nejčastěji se jedná o mazivo, ale může se jednat i o povlak či nátěr. Plocha s nízkou hodnotou *Rvk* může mít za následek v krajním případě i např. zadření motoru. [4]

Parametry křivky nosného podílu mají i v trojrozměrném hodnocení podobný význam, jako v dvourozměrném, s tím rozdílem, že je uvažována plocha jako celek a nejen profil, takže udávají ucelenější informaci. [4]

2.3 Způsoby měření a měřicí přístroje

Oblast měřicí techniky a zařízení zažívá v posledních desetiletích obrovský rozvoj. Se vzrůstajícími nároky na přesnost výroby vzrůstají také požadavky na přesnost měření, ale i na stabilitu a opakovatelnost naměřených výsledků. [4]

Zároveň je nutné prokázat přímou vazbu naměřeného výsledku na příslušnou zákonnou jednotku (v případě měření textury povrchu na základní jednotku délky - metr). Tato skutečnost se nazývá metrologická návaznost a je prokázána pomocí certifikátu, vydaného příslušným národním nebo nadnárodním institutem. [4]

Pro uživatele zůstávají rozhodujícím faktorem v procesu volby měřicího přístroje výše zmíněné požadavky. Tyto požadavky spolu s rychlostí snímání a možným největším rozsahem měření jsou dány do poměru k ekonomické dostupnosti pro zákazníka. [4]

Pro měření drsnosti a profilu povrchu jsou používány 4 základní metody. Jsou to metody **vizuální, porovnávací, dotyková a bezdotyková**. V rámci bakalářské práce bude nyní pozornost věnována dotykové metodě a bezdotykové metodě.

2.3.1 Dotyková metoda – Metoda 2D

Vyhodnocování textury povrchu dotykovou metodou je tradiční a v průmyslu nejčastěji používaný způsob měření. Dotykový měřicí přístroj - profilometr, je definován jako přístroj, který zkoumá dané povrchy snímacím hrotem. Tím získává úchytky ve formě profilu povrchu, vypočítává parametry a je zároveň schopen tento profil zaznamenat. [4]

Základní a nejdůležitější částí profilometru je hrot z diamantu. Dotykový hrot se po měřeném povrchu pohybuje ve dvou polohách. V první poloze dotyk snímá povrch, a tedy měří drsnost a druhá poloha je zpětná. V této fázi se dotyk vrací do nulové pozice dané výrobcem přístroje. [8] Ideálním tvarem snímacího hrotu je dle normy ČSN EN ISO 3274 kužel s kulovou špičkou. Vrcholovým úhlem kužele může být buď 60° nebo 90°. Jmenovitý poloměr zaoblení špičky je 2, 5 a 10 μm . Statická měřicí (přítlačná) síla ve střední poloze hrotu je 0,00075 N. [9]

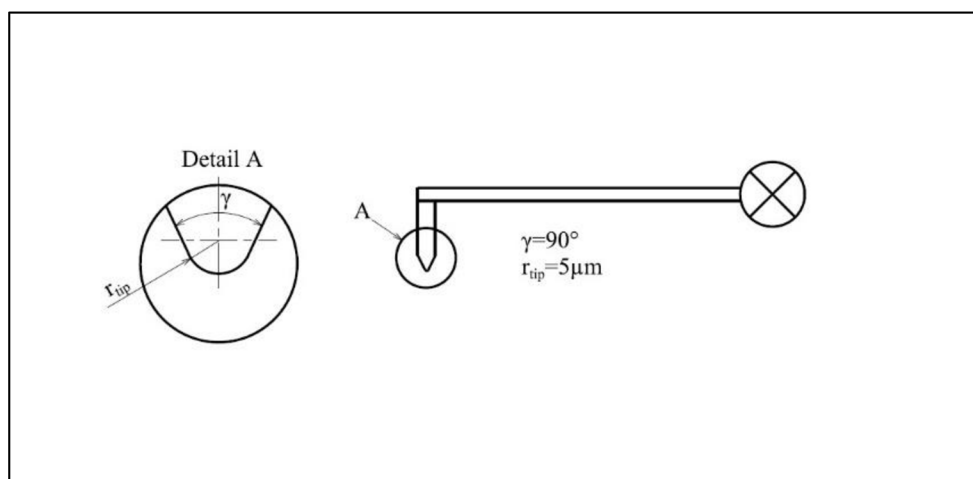
Dotykový profilometr se skládá z částí mechanické a elektronické (snímací).

Mechanická část je tvořena stolkem, na který se umísťuje měřená součást. Dále ramenem se snímacím hrotem, které se pohybuje určitou konstantní rychlostí a snímací hrot snímá nerovnosti povrchu, a elektromotorkem (popř. pneumaticky), který zajišťuje přímočarý vratný pohyb. [9]

Elektronická část transformuje mechanický signál generovaný snímacím hrotem sledujícím nerovnosti kontrolovaného povrchu na elektrický signál, který je následně konvertován na digitální signál, jehož výstup je možno analyzovat na připojeném počítači. Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný co do přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost musí

být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému (nepoškození povrchu, věrné snímání nerovnosti). [9]

Jelikož je tato metoda využívána již několik desetiletí, jsou výsledky těchto měření velmi často považovány za referenční hodnoty. [2]

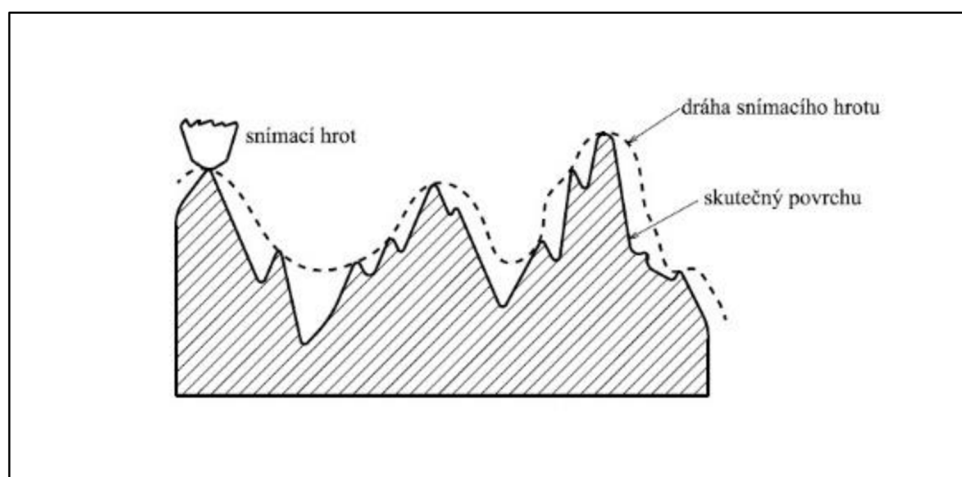


Obr. 2.10 Definice geometrie diamantového hrotu - podle [11]

Profilové měření dotykovou metodou je stanoveno normou ČSN EN ISO 3274. [10]

Pomocí hrotu je naměřený určitý profil, který přesně neodpovídá profilu reálného povrchu. Jedná se prakticky o ekvidistantní křivku ve vzdálenosti poloměru zaoblení snímacího hrotu od měřeného profilu. To je způsobeno převážně zaoblením špičky snímacího hrotu, viz obr. 2.11. Vliv této chyby je zmenšen pomocí daných korekcí. [4]

Při měření pomocí hrotu je nutné, aby jeho poloměr zaoblení byl dostatečně malý, aby byl schopen věrohodně sledovat texturu dané plochy. Při výraznější struktuře plochy má snímací hrot tendence vynechávat úzké prohlubně, čímž mechanicky separuje tyto prvky s velmi krátkou vlnovou délkou. [4]



Obr. 2.11 Náskres snímaného profilu [4]

Dotykové metody využívají k měření tvrdý diamantový hrot. Ten je v kontaktu s měřenou součástí. I když na hrot nepůsobí velká přitlačná síla, může nastat stav, kdy je měřený povrch příliš měkký a hrot by mohl poškodit nebo zdeformovat měřenou součást. [12]

Při dotyku snímacího hrotu s povrchem, diamantový hrot odsune nečistoty na povrchu, není-li povrch dostatečně očištěn. Tím nevznikají náhodné chyby měření. Dále také kontaktní měřicí přístroje mohou měřit součástky, které nejsou ve vodorovné poloze. Toho se využívá například při měření kuželových ploch a u vnitřních povrchů. Použití těchto přístrojů je velice rozšířené a výsledky měření se všeobecně uznávají. [12]

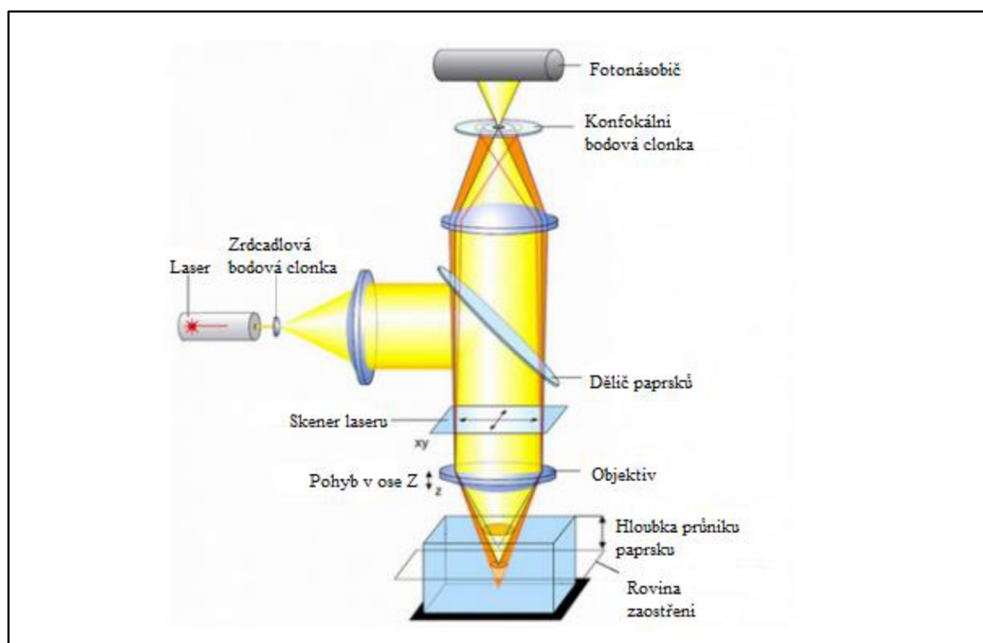
2.3.2 Bezdotyková metoda – Metoda 3D

Podle [13] existují dva druhy konfokální mikroskopie: **laserová rastrovací konfokální mikroskopie** (LSCM z anglického *Laser Scanning Confocal Microscopy*) závisující na posunu ohniska a **konfokální mikroskopie s rotujícím diskem** (TSM z anglického *Tandem Scanning Microscopy*) obsahující Nipkowovův kotouč s otvory uspořádanými v Archimédových spirálách. [4]

U bezdotykových přístrojů platí opačný postup vyhodnocování dat než u dotykových přístrojů, tzn. že je nejdříve provedena rekonstrukce dané plochy, na základě které jsou po příslušných filtračních operacích vyhodnocovány dané parametry textury povrchu. I profilové parametry jsou získávány na základě těchto dat, a to definicí žádaného profilu napříč touto plochou. Oproti tomu dotyková metoda funguje výhradně na základě metody profilové, kdy na základě profilů je skládána plocha, nikoli že jsou profily z dané plochy extrahovány jako v bezdotykové metodě. [4]

Ve výběru měřicího přístroje se lze řídit v případě optických zařízení podobnými zásadami, jako pro ostatní měřicí přístroje. Avšak kromě horizontálního a vertikálního rozlišení, rychlosti snímání a ceny je třeba vzít v úvahu i schopnost přístroje měřit relativně strmé plochy, a také pracovní vzdálenost, tj. minimální vzdálenost objektivu od vzorku. Obecným trendem je maximalizace této vzdálenosti, což umožňuje např. prevenci kolize se vzorkem nebo větší skenovací objem. [4]

Princip bezkontaktního měření spočívá v tom, že místo diamantového hrotu je použit světelný paprsek, který se odráží, případně rozptyluje na daném měřeném povrchu. [8] Mikroskop zaměří světelný (laserový) paprsek na plochu o průměru rozlišovací (difrakční) meze, a poté skenuje povrch na této výškové úrovni. Snímačem se zachytí paprsek odražený od vzorku a tento signál je následně zpracován na připojeném počítači. [4]



Obr. 2.12 Konfokální mikroskop [8]

Výsledek měření je značně ovlivněn hloubkou vniknutí světelného paprsku. V závislosti na součiniteli absorpce měřeného materiálu se tato hloubka mění. Veškerá měření mohou ovlivnit vlastnosti měřeného materiálu. Mezi kritická místa měření jsou řazeny také sklony (úhly) textury, neboť v těchto místech mohou být různé odrazivosti. [8]

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. [12]

V případě kovových povrchů je součinitel absorpce a odrazu vysoký. Naopak pro jiné materiály, kde dopadající světlo proniká do materiálu, jsou součinitele nízké. Pro povrchy, které není možné změřit dotykovým snímačem, se používá přístrojů, které jsou vybaveny senzorem bílého světla. [8]

Měření na bezdotykovém přístroji je oproti dotykovému velice rychlé. Bezkontaktní měřicí metodou nejsou měřené vzorky tolik náchylná na opotřebení a poškození. Bezkontaktním přístrojem je možné měřit měkké, pružné, adhezní a citlivé materiály, které na dotykovém přístroji měřit nelze. [12]

Výsledek měření ovlivňuje okolní prostředí. Největší vliv má nežádoucí okolní světlo a vibrace. [12]

3 Metodika

Metodika je část práce, která pojednává o přípravě vzorků, jejich obrobení a popisu měření potřebných veličin pro zpracování hodnot podle cíle bakalářské práce.

Zkoumané vzorky byly obrobeny při různých podmínkách. Materiály byly zkoumány z hlediska drsnosti povrchu na dvou měřicích přístrojích.

Všechny použité stroje, nástroje a zařízení potřebné ke ztvárnění experimentu jsou majetkem laboratoře Katedry obrábění a montáže na Technické univerzitě v Liberci.

3.1 Výroba vzorků

V této práci byly aplikovány technologie broušení, frézování a soustružení ploch 4 různých materiálů a to kompozit, ocel, plast a sklo. Od každého materiálu byly obrobeny 3 vzorky označené jako n1, n2 a n3. Každý vzorek byl obroben za různých obráběcích podmínek.

V tab. 3.1 jsou uvedeny stroje a nástroje, se kterými byly vzorky zhotoveny při konkrétních technologiích.

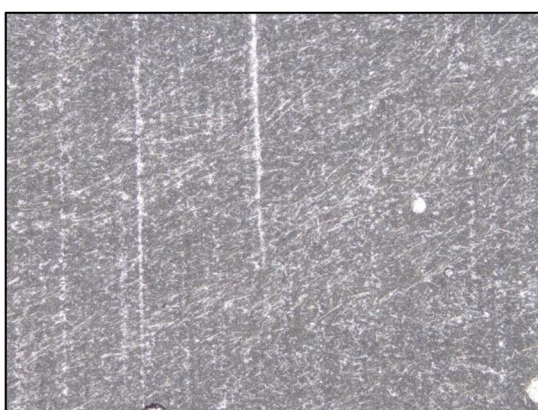
Tab. 3.1 Stroje a nástroje použité při obrábění

	STROJ	NÁSTROJ
BROUŠENÍ	BPH 320 A	kotouč RN
FRÉZOVÁNÍ	FNG 32	fréza Ø80 mm s 7x VBD
SOUSTRUŽENÍ	SU50	soust. nůž s VBD-SK

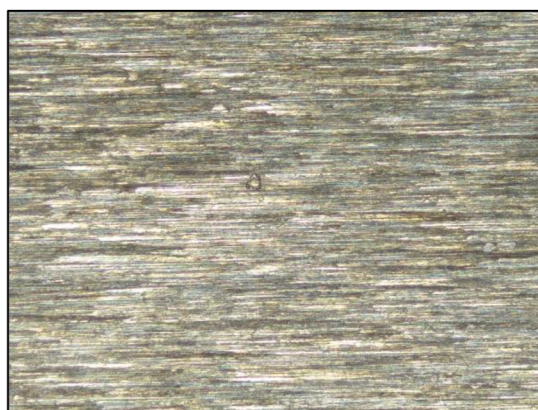
Každý vzorek byl vyroben za jiných řezných podmínek. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.2, 3.3 a 3.4.

Tab. 3.2 Řezné podmínky při broušení

BROUŠENÍ	f=15,5 m/min	n1 [ot/min]	n2 [ot/min]	n3 [ot/min]
	a _p =0,02 mm			
Kompozit		2500	2000	1500
Ocel		2500	2000	1500
Plast		2500	2000	1500
Sklo		2500	2000	1500



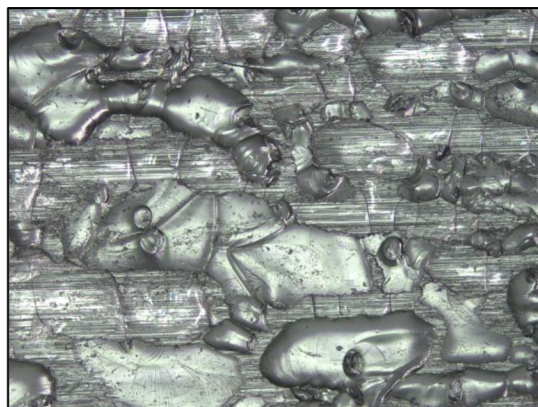
Obr. 3.1 Kompozit - broušeno



Obr. 3.2 Ocel - broušeno



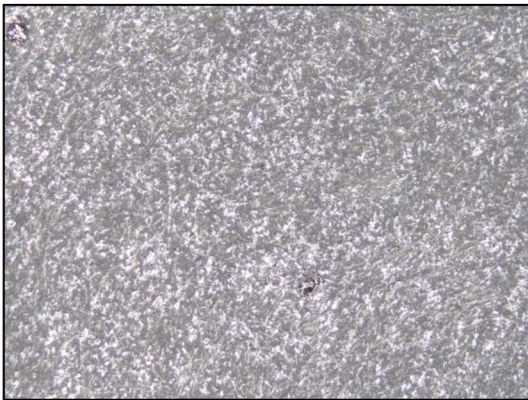
Obr. 3.3 Plast - broušeno



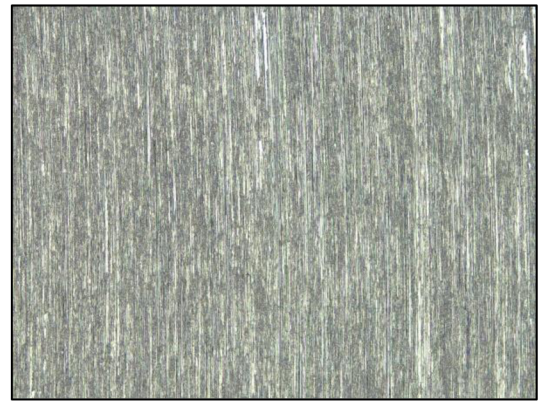
Obr. 3.4 Sklo - broušeno

Tab. 3.3 Řezné podmínky při frézování

FRÉZOVÁNÍ	f=120 mm/min	n1 [ot/min]	n2 [ot/min]	n3 [ot/min]
	a _p =1 mm			
Kompozit		3000	2000	1000
Ocel		1500	1000	500
Plast		3000	2000	1000



Obr. 3.5 Kompozit - frézováno



Obr. 3.6 Ocel - frézováno



Obr. 3.7 Plast - frézováno

Tab. 3.4 Řezné podmínky při soustružení

SOUSTRUŽENÍ	$f_n=0,2$ mm/ot	n1 [ot/min]	n2 [ot/min]	n3 [ot/min]
	$a_p=1$ mm			
Kompozit		1400	710	224
Ocel		900	560	140
Plast		1400	710	224



Obr. 3.8 Kompozit - soustruženo



Obr. 3.9 Ocel - soustruženo



Obr. 3.10 Plast -soustruženo

3.2 Použité měřicí přístroje

Vybrané profilové a plošné parametry byly vyhodnocovány pomocí dotykové i bezdotykové metody.

Pro dotykové měření textury povrchu byl použit přístroj Surftest SV-2000 N2 výrobce Mitutoyo - viz obr. 3.11. Naměřená data byla naměřena a zpracována v softwaru SURFPAK. Použitý snímací hrot měl doporučený poloměr zaoblení 5 μm , profil byl analyzován ve směru kolmém na směr posuvu. Princip měření tohoto přístroje je popsán v kapitole 2.3.1.

Měření vyhodnocované charakteristiky bylo provedeno na dráze 5,6 mm rychlostí 0,50 mm/s, λ_s (Cut Off) 0,80 mm.

Tab. 3.5 Údaje o měřidle Mitutoyo SV-2000 N2

Výrobce	Typ	Výrobní číslo	Snímač	Evidenční číslo
Mitutoyo	Surftest SV-2000 N2	430112	12AAB404	55152

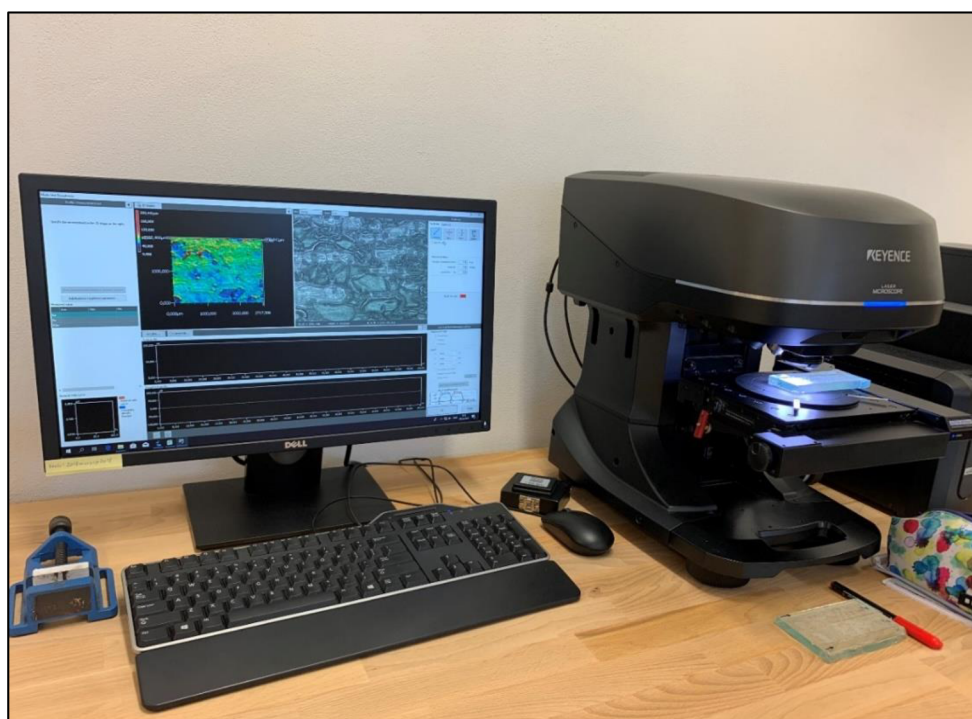


Obr. 3.11 Profilometr Mitutoyo SV-2000 N2

Pro bezkontaktní měření byl použit přístroj VK-X1000 od výrobce KEYENCE- viz obr. 3.2, jehož princip měření je detailně popsán v kapitole 2.3.2. Naměřená data byla analyzována pomocí softwaru AI-ANALYZER dodaného tímto výrobcem.

Tab. 3.6 Údaje o měřidle KEYENCE VK-X1000

Výrobce	Typ	Výrobní číslo	Objektiv
KEYENCE	VK-X1000	4D810012	50x

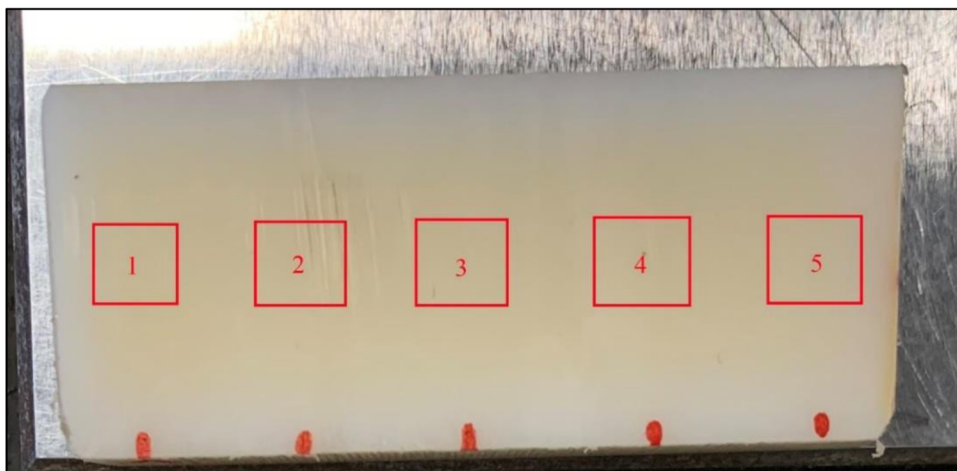


Obr. 3.12 Mikroskop KEYENCE VK-X1000

3.3 Vlastní měření drsnosti povrchu

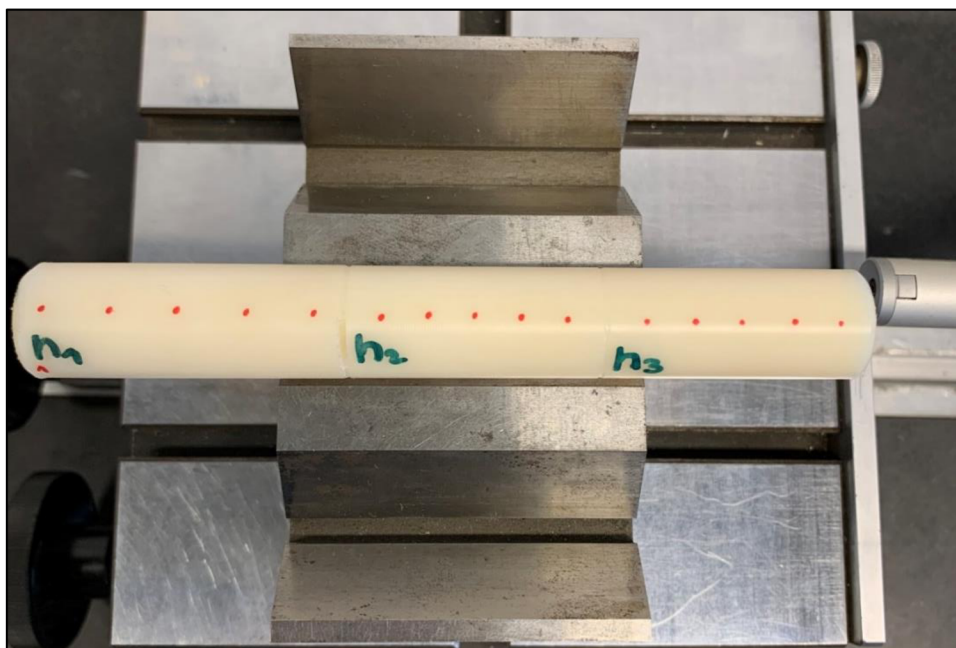
Vyhodnocované parametry byly střední aritmetická úchylka R_a , největší výška profilu R_z a celková výška profilu R_t .

Měření byla provedena na čelních plochách všech vzorků v místech označených na obrázku 3.13.



Obr. 3.13 Označení měřených oblastí na vzorku

Měření na soustružených plochách bylo provedeno ve vyznačených místech viz obr. 3.14.



Obr. 3.14 Označení měřených oblastí na vzorku při soustružení

Při měření soustružených dílů byl použit svěrák nebo speciální přípravek.

Každé měření bylo 5x opakováno pro každou oblast na vzorku a na každém vzorku.

Podmínky měření

Přístroj Surftest SV-2000 N2 od výrobce Mitutoyo je umístěn v laboratoři, kde bylo provedeno měření při teplotě $22\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$.

V laboratořích, kde je umístěn přístroj VK-X1000 od výrobce KEYENCE, bylo provedeno měření při teplotě $22\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$. Hodnota $\pm 0,5\text{ °C}$ udává maximální odchylku teploty v laboratoři.

Příprava vzorků

Vzorky byly umyty pomocí vaty a lékařského benzínu a uloženy k temperaci na ocelovou desku (Surftest SV-2000 N2) nebo vloženy přímo na stolek měřicího přístroje (VK-X1000).

Předepsaná laboratorní teplota byla u obou přístrojů $22\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ a standardní atmosférický tlak 101 325 Pa. Při měření vzorků nedošlo k přímému kontaktu vzorku s pokožkou ruky, k manipulaci se vzorkem docházelo pouze s použitím rukavic a pinzet.

Statistické zpracování dat

Z naměřených dat byl vypočten aritmetický průměr \bar{x} , následně byla vypočtena nejistota měření.

Nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013.

4 Experimentální část

Daná kapitola obsahuje informace o naměřených hodnotách, které se týkají průměrné aritmetické úchylky, nejvyšší výšky profilu a celkové výšky profilu. Každý vzorek byl měřen na 5 úsecích. V každém úseku bylo provedeno 5 měření.

Nejnižší naměřené hodnoty v tabulkách 4.1 až 4.11 jsou vyznačeny modrou barvou. Naopak nejvyšší hodnoty jsou označeny barvou červenou.

4.1 Kompozit

4.1.1 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro broušený kompozit

Nejvyšší hodnota R_a vyplývá z tabulky 4.1 jako hodnota $1,150 \mu\text{m}$, která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n3 v 1 úseku. Nejnižší hodnotu R_a změřil optický mikroskop a to hodnotu $0,719 \mu\text{m}$ u vzorku n1 v úseku 3.

Hodnota R_z byla vyhodnocena jako nejnižší při měření optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 3 úseku, jejíž hodnota byla $4,527 \mu\text{m}$. Nejvyšší hodnotou R_z byla hodnota $9,692 \mu\text{m}$, a to v úseku 5 u 3 vzorku, zjištěna také optickým mikroskopem.

Nejnižší hodnota R_t odpovídá hodnotě $8,170 \mu\text{m}$. Tato hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n1 v úseku 4. Z tabulky dále vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_t byla hodnota $17,652 \mu\text{m}$, vyhodnocena dotykovým profilometrem u vzorku n2 v 5 úseku.

Tab. 4.1 Hodnoty drsnosti broušeného kompozitu [μm]

Broušení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	0,888 $\pm 0,127$	6,895 $\pm 1,837$	9,645 $\pm 1,094$	0,934 $\pm 0,065$	7,330 $\pm 0,797$	11,033 $\pm 1,420$	1,096 $\pm 0,118$	8,718 $\pm 0,429$	14,874 $\pm 1,553$
	optický	1,052 $\pm 0,091$	8,992 $\pm 1,136$	9,992 $\pm 0,483$	0,998 $\pm 0,129$	7,722 $\pm 0,789$	15,154 $\pm 0,834$	1,150 $\pm 0,513$	8,155 $\pm 0,587$	16,372 $\pm 0,936$
2	dotykový	1,014 $\pm 0,091$	7,270 $\pm 0,590$	14,827 $\pm 0,936$	1,004 $\pm 0,085$	8,275 $\pm 0,782$	15,791 $\pm 1,979$	1,034 $\pm 0,124$	7,719 $\pm 1,286$	16,354 $\pm 1,651$
	optický	1,053 $\pm 0,136$	8,171 $\pm 0,840$	14,598 $\pm 1,177$	1,100 $\pm 0,359$	8,231 $\pm 0,513$	15,185 $\pm 0,405$	1,090 $\pm 0,086$	7,707 $\pm 0,509$	17,307 $\pm 0,845$
3	dotykový	0,798 $\pm 0,063$	5,395 $\pm 0,584$	8,457 $\pm 1,720$	0,998 $\pm 0,099$	8,189 $\pm 0,956$	11,515 $\pm 1,601$	0,961 $\pm 0,096$	7,369 $\pm 1,136$	9,984 $\pm 1,532$
	optický	0,719 $\pm 0,068$	4,527 $\pm 0,347$	8,534 $\pm 1,333$	0,931 $\pm 0,239$	9,003 $\pm 0,678$	14,803 $\pm 1,041$	0,993 $\pm 0,086$	7,945 $\pm 1,249$	10,145 $\pm 1,338$
4	dotykový	0,884 $\pm 0,053$	5,990 $\pm 0,426$	8,170 $\pm 1,068$	1,125 $\pm 0,155$	9,409 $\pm 0,774$	14,779 $\pm 1,977$	1,033 $\pm 0,114$	8,051 $\pm 1,209$	15,405 $\pm 1,701$
	optický	0,891 $\pm 0,061$	5,657 $\pm 0,460$	8,258 $\pm 0,469$	1,121 $\pm 0,186$	8,266 $\pm 0,732$	15,066 $\pm 0,487$	0,940 $\pm 0,050$	8,075 $\pm 1,031$	15,475 $\pm 1,081$
5	dotykový	0,898 $\pm 0,092$	6,766 $\pm 0,926$	9,313 $\pm 1,603$	1,044 $\pm 0,179$	9,183 $\pm 1,058$	17,652 $\pm 1,683$	1,059 $\pm 0,141$	7,398 $\pm 0,867$	8,753 $\pm 1,252$
	optický	0,781 $\pm 0,086$	5,517 $\pm 0,667$	9,721 $\pm 1,184$	1,076 $\pm 0,255$	9,692 $\pm 0,759$	15,492 $\pm 1,382$	1,026 $\pm 0,096$	7,802 $\pm 0,669$	10,002 $\pm 0,834$
\bar{x}	dotykový	0,896 $\pm 0,053$	6,463 $\pm 0,733$	10,082 $\pm 1,134$	1,021 $\pm 0,085$	8,477 $\pm 0,733$	14,154 $\pm 1,582$	1,037 $\pm 0,087$	7,851 $\pm 0,845$	13,074 $\pm 1,388$
	optický	0,899 $\pm 0,063$	6,573 $\pm 0,580$	10,221 $\pm 0,809$	1,045 $\pm 0,209$	8,583 $\pm 0,584$	15,140 $\pm 0,710$	1,040 $\pm 0,141$	7,937 $\pm 0,699$	13,860 $\pm 0,887$

4.1.2 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro frézovaný kompozit

Z tabulky 4.2 vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_a byla hodnota 0,688 μm , vyhodnocena optickým mikroskopem u vzorku n2 ve 4 úseku. Nejnižší hodnotu R_a změřil optický mikroskop a to hodnotu 0,458 μm u vzorku n2 v úseku 5.

Nejvyšší hodnota R_z vyplývá z tabulky jako hodnota 6,394 μm , která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n2 v 1 úseku. Hodnota R_z byla vyhodnocena jako nejnižší při měření optickým mikroskopem u vzorku n2 v 5 úseku, jejíž hodnota byla 3,814 μm .

Nejvyšší hodnota R_t odpovídá hodnotě 8,107 μm . Hodnota byla naměřena optickým mikroskopem a to konkrétně u vzorku n3 v 5 úseku. Nejnižší hodnotu R_t změřil optický mikroskop a to hodnotu 4,594 μm u vzorku n1 v úseku 5.

Tab. 4.2 Hodnoty drsnosti frézovaného kompozitu [μm]

Frézování		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	0,629 ±0,056	5,354 ±0,354	6,386 ±0,527	0,549 ±0,080	5,610 ±0,842	7,772 ±0,961	0,525 ±0,059	4,690 ±0,437	6,144 ±1,072
	optický	0,650 ±0,045	5,871 ±0,369	7,871 ±0,379	0,635 ±0,127	6,394 ±0,738	7,994 ±1,072	0,534 ±0,072	4,351 ±0,520	6,554 ±0,653
2	dotykový	0,555 ±0,048	4,716 ±0,313	6,156 ±0,544	0,479 ±0,069	3,914 ±0,469	5,099 ±0,584	0,513 ±0,055	4,681 ±0,743	6,359 ±1,074
	optický	0,570 ±0,045	4,832 ±0,650	7,432 ±0,789	0,535 ±0,086	4,304 ±0,554	5,104 ±0,966	0,550 ±0,103	4,738 ±0,440	7,938 ±0,981
3	dotykový	0,635 ±0,096	5,699 ±0,746	7,366 ±1,063	0,492 ±0,067	4,521 ±0,569	6,658 ±1,053	0,521 ±0,060	4,486 ±0,658	7,111 ±1,812
	optický	0,643 ±0,085	5,716 ±0,451	7,476 ±0,760	0,475 ±0,095	4,333 ±0,856	6,933 ±0,700	0,511 ±0,041	4,492 ±0,327	8,100 ±0,673
4	dotykový	0,512 ±0,059	4,714 ±0,659	6,845 ±0,691	0,507 ±0,057	4,656 ±0,689	7,163 ±1,055	0,517 ±0,053	4,472 ±0,606	6,083 ±0,712
	optický	0,576 ±0,119	4,794 ±0,820	6,596 ±0,784	0,688 ±0,196	5,658 ±0,882	7,858 ±0,937	0,541 ±0,056	4,952 ±0,673	6,352 ±0,822
5	dotykový	0,584 ±0,053	4,960 ±0,403	6,980 ±1,015	0,475 ±0,066	4,233 ±0,748	6,147 ±1,161	0,603 ±0,044	5,740 ±0,580	7,205 ±0,495
	optický	0,609 ±0,058	4,794 ±0,677	4,594 ±0,765	0,458 ±0,091	3,814 ±0,688	6,815 ±0,529	0,624 ±0,122	5,706 ±0,762	8,107 ±0,821
\bar{x}	dotykový	0,583 ±0,031	5,089 ±0,355	6,747 ±0,618	0,500 ±0,031	4,587 ±0,355	6,568 ±0,618	0,536 ±0,022	4,814 ±0,465	6,580 ±0,883
	optický	0,610 ±0,045	5,201 ±0,483	6,794 ±0,575	0,558 ±0,094	4,901 ±0,634	6,941 ±0,721	0,552 ±0,054	4,848 ±0,434	7,410 ±0,670

4.1.3 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro soustružený kompozit

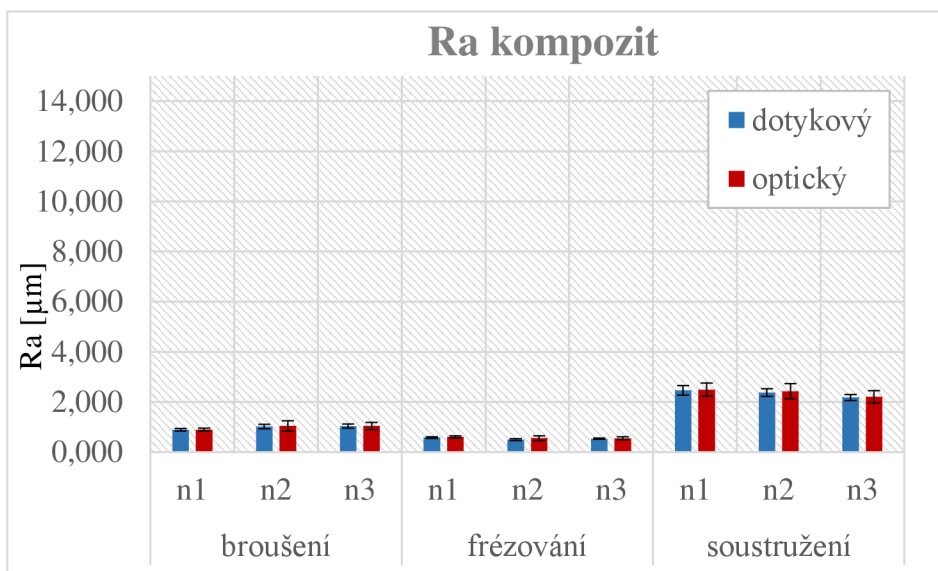
Nejvyšší hodnota Ra vyplývá z tabulky 4.3 jako hodnota 2,749 μm , která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 2 úseku. Nejnižší hodnota Ra odpovídá hodnotě 2,047 μm . Tato hodnota byla naměřena optickým mikroskopem u vzorku n3 v úseku 3.

Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší hodnotou Rz byla hodnota 15,476 μm , vyhodnocena dotykovým profilometrem u vzorku n1 v 5 úseku. Nejnižší hodnotu Rz změřil optický mikroskop a to hodnotu 11,615 μm u vzorku n3 v úseku 3.

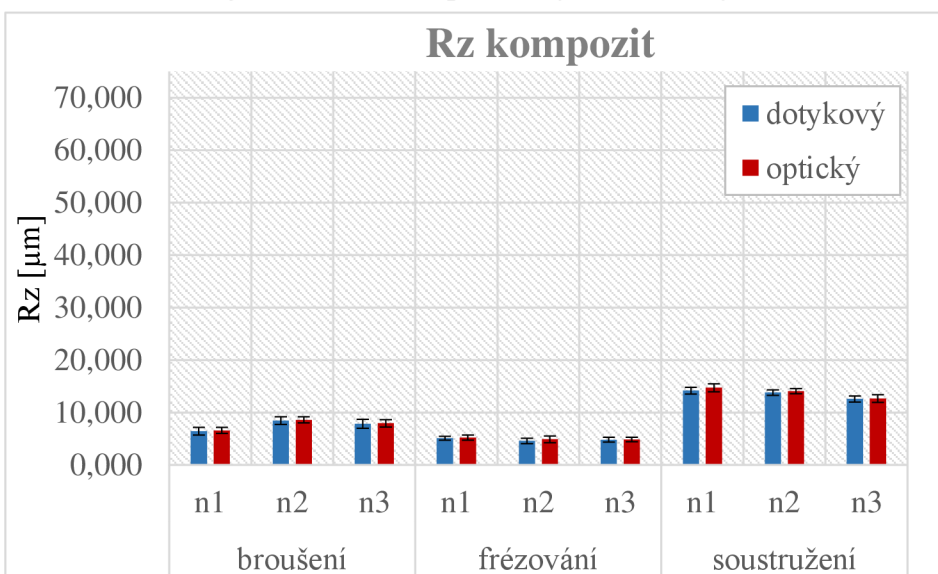
Nejvyšší hodnotou Rt byla hodnota 19,762 μm , která byla dosažena dotykovým profilometrem, a to v úseku 5 u vzorku n1. Hodnota Rt byla vyhodnocena jako nejnižší při měření optickým mikroskopem u vzorku n3 ve 2 úseku, jejíž hodnota byla 14,991 μm .

Tab. 4.3 Hodnoty drsnosti soustruženého kompozitu [μm]

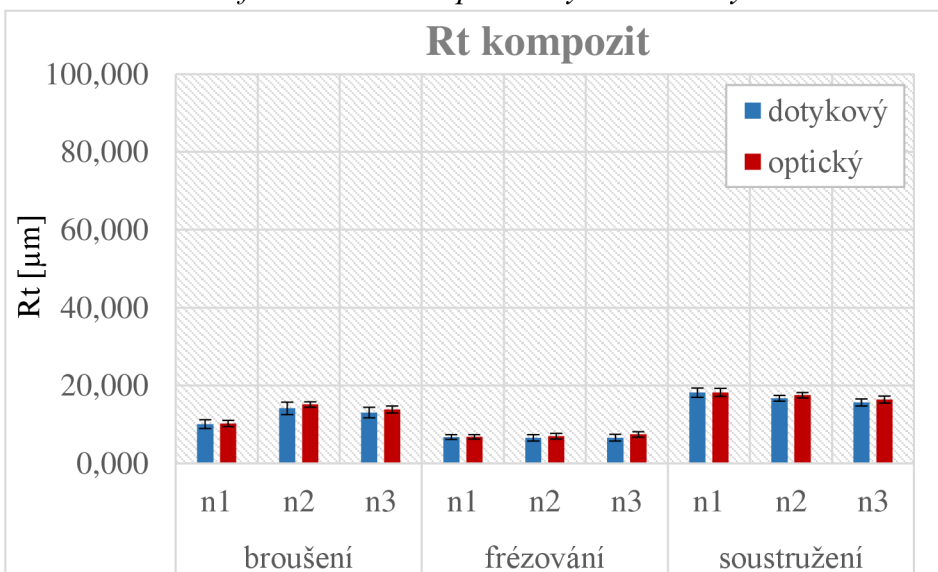
Soustružení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	2,340 $\pm 0,275$	13,598 $\pm 0,624$	16,173 $\pm 0,883$	2,410 $\pm 0,148$	13,048 $\pm 0,439$	15,618 $\pm 0,790$	2,196 $\pm 0,245$	12,111 $\pm 0,737$	15,273 $\pm 0,795$
	optický	2,339 $\pm 0,272$	15,169 $\pm 0,864$	16,402 $\pm 1,100$	2,501 $\pm 0,357$	13,612 $\pm 0,781$	17,412 $\pm 0,886$	2,441 $\pm 0,496$	12,145 $\pm 0,740$	16,345 $\pm 0,690$
2	dotykový	2,584 $\pm 0,316$	13,726 $\pm 0,822$	17,524 $\pm 1,332$	2,441 $\pm 0,221$	14,344 $\pm 0,576$	17,160 $\pm 0,840$	2,117 $\pm 0,135$	12,660 $\pm 0,903$	14,991 $\pm 1,131$
	optický	2,749 $\pm 0,363$	14,763 $\pm 0,585$	18,371 $\pm 1,093$	2,395 $\pm 0,326$	13,960 $\pm 0,661$	17,760 $\pm 0,637$	2,133 $\pm 0,147$	13,341 $\pm 1,097$	15,402 $\pm 1,198$
3	dotykový	2,358 $\pm 0,180$	13,544 $\pm 0,914$	17,833 $\pm 1,712$	2,445 $\pm 0,175$	13,714 $\pm 0,863$	15,921 $\pm 0,794$	2,229 $\pm 0,097$	13,034 $\pm 0,505$	16,332 $\pm 0,990$
	optický	2,559 $\pm 0,249$	14,054 $\pm 1,331$	18,677 $\pm 1,305$	2,573 $\pm 0,348$	14,409 $\pm 0,675$	16,811 $\pm 0,935$	2,047 $\pm 0,158$	11,615 $\pm 1,030$	16,620 $\pm 1,051$
4	dotykový	2,507 $\pm 0,180$	14,462 $\pm 0,914$	19,612 $\pm 1,712$	2,233 $\pm 0,176$	13,507 $\pm 0,752$	16,570 $\pm 0,861$	2,280 $\pm 0,125$	12,624 $\pm 0,605$	16,512 $\pm 1,288$
	optický	2,539 $\pm 0,249$	15,290 $\pm 1,331$	18,891 $\pm 1,305$	2,227 $\pm 0,209$	13,730 $\pm 0,533$	17,330 $\pm 0,572$	2,169 $\pm 0,148$	13,064 $\pm 0,469$	17,267 $\pm 0,997$
5	dotykový	2,530 $\pm 0,210$	15,476 $\pm 0,896$	19,762 $\pm 1,436$	2,368 $\pm 0,208$	14,398 $\pm 0,745$	18,506 $\pm 1,164$	2,062 $\pm 0,150$	12,444 $\pm 0,865$	15,263 $\pm 1,130$
	optický	2,287 $\pm 0,169$	14,323 $\pm 0,701$	18,923 $\pm 1,076$	2,448 $\pm 0,374$	14,669 $\pm 0,379$	18,285 $\pm 1,010$	2,230 $\pm 0,378$	13,172 $\pm 0,926$	16,372 $\pm 1,065$
\bar{x}	dotykový	2,464 $\pm 0,196$	14,161 $\pm 0,661$	18,181 $\pm 1,211$	2,379 $\pm 0,154$	13,802 $\pm 0,535$	16,755 $\pm 0,740$	2,177 $\pm 0,118$	12,575 $\pm 0,583$	15,674 $\pm 0,917$
	optický	2,495 $\pm 0,258$	14,720 $\pm 0,775$	18,253 $\pm 1,034$	2,429 $\pm 0,298$	14,076 $\pm 0,495$	17,520 $\pm 0,688$	2,204 $\pm 0,240$	12,667 $\pm 0,742$	16,401 $\pm 0,880$



Obr. 4.1 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.2 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.3 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rt

4.2 Ocel

4.2.1 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro broušenou ocel

V tabulce 4.4 lze vidět, že nejvyšší hodnota R_a byla změřena optickým mikroskopem v úseku 1 na vzorku n3 a této hodnotě odpovídá 0,536 μm . Nejnižší hodnota R_a vyplývá z tabulky jako hodnota 0,347 μm a byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n1 v 1 úseku.

Nejvyšší hodnotou R_z byla naměřena hodnota 3,719 μm , a to v úseku 1 u 1 vzorku, zjištěna byla optickým mikroskopem. Nejnižší hodnotu R_z změřil dotykový profilometr a to hodnotu 2,546 μm u vzorku n1 v úseku 3.

Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_t byla hodnota 5,151 μm , vyhodnocena optickým mikroskopem u vzorku n2 ve 4 úseku. Nejnižší hodnota R_t odpovídá hodnotě 3,806 μm . Takto hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n2 v úseku 3.

Tab. 4.4 Hodnoty drsnosti broušené oceli [μm]

Broušení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	0,381 ±0,053	2,755 ±0,325	3,952 ±0,949	0,413 ±0,048	3,295 ±0,677	4,029 ±0,631	0,421 ±0,041	3,245 ±0,267	4,131 ±0,470
	optický	0,347 ±0,058	2,565 ±0,314	4,365 ±1,020	0,413 ±0,044	3,637 ±0,784	4,783 ±1,015	0,536 ±0,051	3,719 ±0,362	4,319 ±0,515
2	dotykový	0,361 ±0,051	2,725 ±0,427	3,986 ±1,175	0,423 ±0,066	3,034 ±0,275	3,856 ±0,436	0,420 ±0,047	3,454 ±0,323	4,655 ±0,485
	optický	0,401 ±0,083	2,921 ±0,418	4,539 ±1,110	0,511 ±0,051	3,531 ±0,394	3,870 ±0,833	0,450 ±0,062	3,565 ±0,341	4,758 ±0,917
3	dotykový	0,351 ±0,050	2,546 ±0,331	3,895 ±0,494	0,427 ±0,061	3,079 ±0,279	3,806 ±0,382	0,463 ±0,051	3,617 ±0,351	4,713 ±0,366
	optický	0,438 ±0,066	3,275 ±0,351	4,135 ±0,370	0,433 ±0,060	3,091 ±0,317	4,175 ±0,850	0,416 ±0,042	3,667 ±0,429	4,867 ±0,300
4	dotykový	0,391 ±0,053	3,457 ±0,642	4,650 ±1,097	0,447 ±0,062	3,422 ±0,491	4,407 ±0,469	0,427 ±0,048	3,561 ±0,429	4,521 ±0,458
	optický	0,434 ±0,052	2,964 ±0,244	4,436 ±0,726	0,423 ±0,103	3,020 ±0,468	5,151 ±1,032	0,399 ±0,050	3,625 ±0,316	5,035 ±0,921
5	dotykový	0,397 ±0,056	3,003 ±0,540	4,844 ±1,218	0,450 ±0,050	3,205 ±0,386	4,105 ±0,554	0,438 ±0,050	3,460 ±0,393	4,600 ±0,579
	optický	0,403 ±0,065	3,442 ±0,609	4,493 ±0,705	0,472 ±0,079	3,264 ±0,410	4,351 ±0,862	0,410 ±0,064	3,024 ±0,400	4,550 ±0,535
\bar{x}	dotykový	0,376 ±0,021	2,897 ±0,313	4,265 ±0,837	0,432 ±0,026	3,207 ±0,282	4,041 ±0,344	0,434 ±0,016	3,467 ±0,213	4,524 ±0,322
	optický	0,405 ±0,040	3,033 ±0,453	4,394 ±0,987	0,450 ±0,042	3,309 ±0,422	4,466 ±0,494	0,442 ±0,029	3,520 ±0,353	4,706 ±0,472

4.2.2 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro frézovanou ocel

Z tabulky 4.5 vyplývá, že nejvyšší hodnotou Ra byla hodnota 0,472 μm , vyhodnocena optickým mikroskopem u vzorku n3 ve 2 úseku. Nejnižší hodnotou Ra byla hodnota 0,299 μm a byla změřena u vzorku n1 v úseku 2 optickým mikroskopem a dotykovým profilometrem v úseku 4 a u vzorku n2 dotykovým profilometrem.

Nejvyšší hodnota Rz odpovídá hodnotě 3,672 μm . Takto hodnota byla naměřena optickým mikroskopem u vzorku n1 v úseku 5. Nejnižší hodnotou Rz byla hodnota 2,110 μm , a to v úseku 4 u 2 vzorku, zjištěna dotykovým profilometrem.

Nejvyšší hodnota Rt vyplývá z tabulky jako hodnota 4,922 μm , která byla změřena dotykovým profilometrem u vzorku n3 ve 4 úseku. Nejnižší hodnota Rt odpovídá hodnotě 2,835 μm , která byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n1 v úseku 3.

Tab. 4.5 Hodnoty drsnosti frézované oceli [μm]

Frézování		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	0,344 ±0,058	2,393 ±0,333	3,526 ±0,339	0,332 ±0,049	3,008 ±0,457	4,332 ±1,022	0,431 ±0,053	3,161 ±0,285	3,884 ±0,336
	optický	0,431 ±0,053	3,006 ±0,263	3,203 ±0,424	0,361 ±0,058	3,059 ±0,719	4,423 ±0,828	0,423 ±0,038	3,070 ±0,597	4,768 ±0,940
2	dotykový	0,331 ±0,064	2,364 ±0,289	3,356 ±0,420	0,329 ±0,048	2,343 ±0,264	3,592 ±0,529	0,419 ±0,051	2,783 ±0,234	3,371 ±0,456
	optický	0,299 ±0,051	2,448 ±0,410	3,757 ±0,760	0,330 ±0,055	2,532 ±0,513	4,247 ±0,850	0,472 ±0,041	2,776 ±0,273	3,611 ±0,347
3	dotykový	0,323 ±0,061	2,409 ±0,367	2,835 ±0,526	0,299 ±0,054	2,194 ±0,331	2,925 ±0,457	0,442 ±0,049	3,567 ±0,278	4,760 ±0,412
	optický	0,395 ±0,046	2,658 ±0,252	3,307 ±0,568	0,378 ±0,042	2,950 ±0,162	3,637 ±0,494	0,427 ±0,046	3,539 ±0,406	4,682 ±0,780
4	dotykový	0,299 ±0,076	2,226 ±0,317	3,136 ±0,486	0,303 ±0,063	2,110 ±0,307	2,898 ±0,370	0,437 ±0,053	3,304 ±0,409	4,922 ±1,059
	optický	0,326 ±0,046	2,780 ±0,543	3,154 ±0,898	0,358 ±0,034	2,599 ±0,338	2,922 ±0,810	0,437 ±0,050	3,433 ±0,364	4,641 ±0,765
5	dotykový	0,339 ±0,059	2,506 ±0,381	3,562 ±0,500	0,350 ±0,070	3,166 ±0,320	4,773 ±0,555	0,445 ±0,051	3,324 ±0,359	4,146 ±0,556
	optický	0,424 ±0,063	3,672 ±0,439	3,750 ±0,306	0,357 ±0,051	2,510 ±0,260	4,446 ±0,628	0,422 ±0,051	3,366 ±0,584	4,577 ±0,421
\bar{x}	dotykový	0,327 ±0,032	2,380 ±0,197	3,283 ±0,304	0,323 ±0,025	2,564 ±0,196	3,704 ±0,437	0,435 ±0,020	3,228 ±0,173	4,217 ±0,414
	optický	0,375 ±0,027	2,913 ±0,337	3,434 ±0,454	0,357 ±0,023	2,730 ±0,336	3,935 ±0,587	0,436 ±0,020	3,237 ±0,313	4,456 ±0,564

4.2.3 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro soustruženou ocel

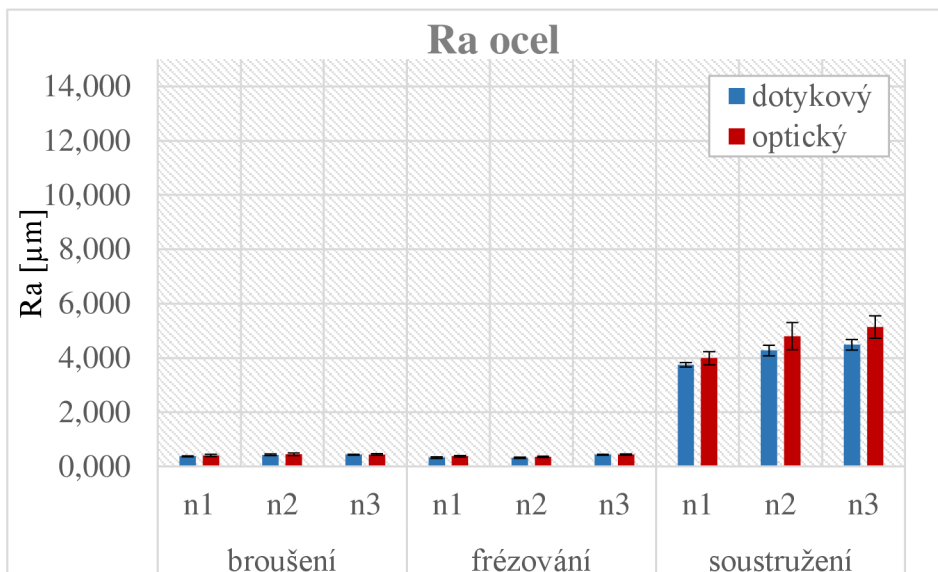
Nejvyšší hodnota R_a vyplývá z tabulky 4.6 jako hodnota 6,414 μm , která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n3 v 1 úseku. Nejnižší hodnotu R_a změřil dotykový profilometr a to hodnotu 3,658 μm u vzorku n1 v úseku 5.

Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_z byla hodnota 31,663 μm , vyhodnocena optickým mikroskopem u vzorku n3 v 2 úseku. Nejnižší hodnota R_z odpovídá hodnotě 18,361 μm . Tato hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n1 v úseku 1.

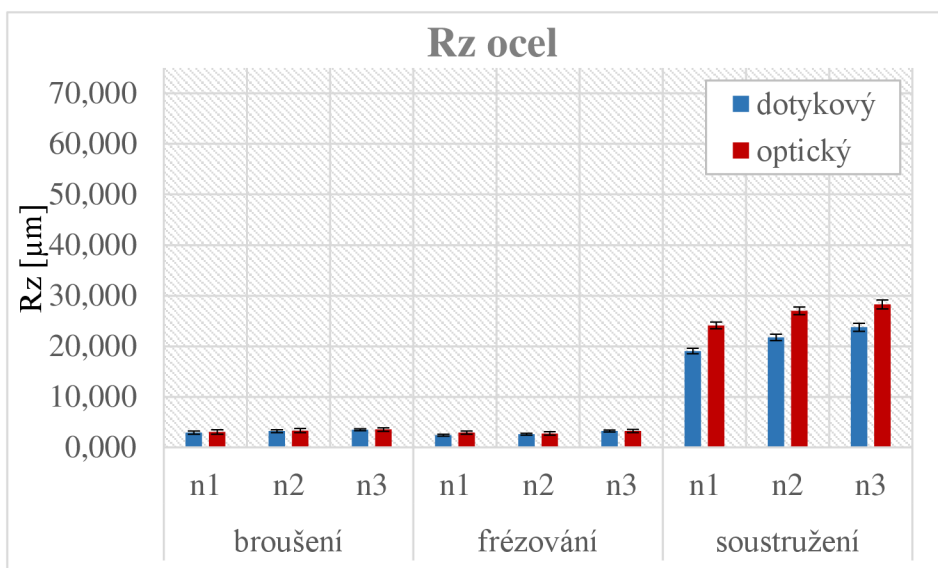
Hodnota R_t byla vyhodnocena jako nejvyšší při měření optickým mikroskopem u vzorku n3 v 1 úseku, jejíž hodnota byla 36,474 μm . Nejnižší hodnotou R_t byla hodnota 20,934 μm , a to v 1 úseku u vzorku n1. Tato hodnota byla zjištěna dotykovým profilometrem.

Tab. 4.6 Hodnoty drsnosti soustružené oceli [μm]

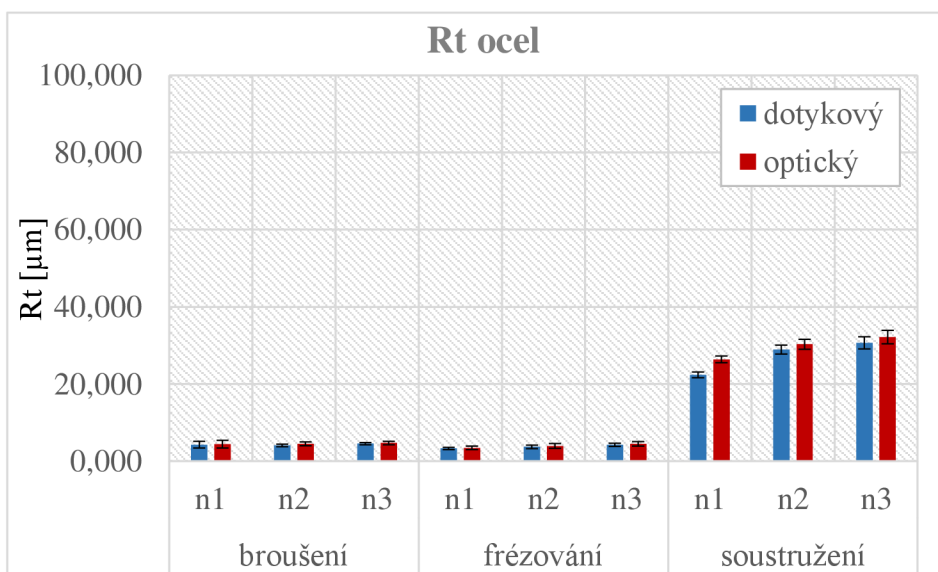
Soustružení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	3,720 ±0,096	18,361 ±0,475	20,934 ±0,877	4,393 ±0,140	22,456 ±0,636	28,797 ±1,083	5,192 ±0,246	27,684 ±0,854	34,580 ±1,944
	optický	4,032 ±0,187	24,557 ±0,780	27,039 ±0,876	4,341 ±0,227	28,154 ±0,637	29,153 ±1,282	6,414 ±0,494	28,790 ±1,030	36,474 ±1,582
2	dotykový	3,838 ±0,129	19,331 ±0,808	22,619 ±0,846	4,206 ±0,251	21,473 ±0,756	28,502 ±1,138	4,223 ±0,251	23,814 ±0,596	30,143 ±2,135
	optický	3,991 ±0,196	24,960 ±1,013	26,560 ±0,653	4,888 ±0,823	24,984 ±1,205	28,290 ±0,775	5,408 ±0,441	31,663 ±0,851	33,326 ±1,554
3	dotykový	3,662 ±0,092	18,649 ±0,768	22,283 ±0,600	4,337 ±0,242	21,411 ±0,486	29,745 ±1,112	4,517 ±0,177	23,639 ±0,833	32,074 ±1,296
	optický	3,879 ±0,368	24,011 ±0,686	25,012 ±0,890	5,027 ±0,359	27,609 ±0,997	31,215 ±1,526	4,878 ±0,489	28,293 ±0,994	32,307 ±1,871
4	dotykový	3,840 ±0,103	20,028 ±0,949	23,849 ±1,121	4,173 ±0,273	20,589 ±0,881	28,585 ±1,399	3,783 ±0,203	20,355 ±1,524	26,757 ±1,656
	optický	4,246 ±0,285	23,235 ±0,974	26,835 ±0,737	4,781 ±0,681	27,686 ±1,205	31,594 ±1,347	4,328 ±0,274	24,703 ±0,912	30,040 ±1,768
5	dotykový	3,658 ±0,156	18,949 ±0,365	22,328 ±0,989	4,257 ±0,250	22,793 ±1,013	29,098 ±1,833	4,708 ±0,227	23,262 ±0,726	29,877 ±1,624
	optický	3,814 ±0,291	23,836 ±0,875	26,522 ±0,971	4,974 ±0,557	26,518 ±1,269	31,306 ±1,344	4,676 ±0,487	27,908 ±1,340	28,717 ±1,741
\bar{x}	dotykový	3,744 ±0,083	19,064 ±0,533	22,403 ±0,736	4,273 ±0,199	21,744 ±0,614	28,945 ±1,163	4,485 ±0,189	23,751 ±0,767	30,686 ±1,581
	optický	3,992 ±0,240	24,120 ±0,673	26,394 ±0,886	4,802 ±0,504	26,990 ±0,754	30,312 ±1,313	5,141 ±0,412	28,271 ±0,907	32,173 ±1,731



Obr. 4.4 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.5 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.6 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rt

4.3 Plast

4.3.1 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro broušený plast

Z tabulky 4.7 je zřejmé, že nejvyšší hodnota Ra odpovídá hodnotě 7,766 μm a byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 2 úseku. Nejnižší změřená hodnota Ra byla 2,253 μm . Byla změřena optickým mikroskopem v úseku 4 na vzorku n3.

Nejvyšší hodnotou Rz byla hodnota 46,074 μm v úseku 3 na 2 vzorku. Zjištěna byla optickým mikroskopem. Hodnota Rz odpovídající 16,350 μm byla vyhodnocena jako nejnižší při měření optickým mikroskopem u vzorku n3 v úseku 1.

Nejvyšší hodnota Rt odpovídá hodnotě 64,569 μm . Tato hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n2 v úseku 3. Z tabulky také vyplývá, že nejnižší hodnotou Rt byla hodnota 21,995 μm , vyhodnocena dotykovým profilometrem u vzorku n3 ve 3 úseku a také optickým mikroskopem ve 4 úseku u vzorku n1.

Tab. 4.7 Hodnoty drsnosti broušeného plastu [μm]

Broušení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	4,126 $\pm 0,216$	24,578 $\pm 1,254$	30,415 $\pm 0,953$	5,220 $\pm 0,329$	29,374 $\pm 0,829$	36,630 $\pm 1,998$	2,575 $\pm 0,230$	16,788 $\pm 1,953$	23,940 $\pm 3,219$
	optický	4,159 $\pm 0,548$	25,766 $\pm 1,817$	26,494 $\pm 2,074$	5,606 $\pm 0,225$	35,127 $\pm 3,072$	35,136 $\pm 3,086$	2,584 $\pm 0,220$	16,350 $\pm 1,534$	23,941 $\pm 0,820$
2	dotykový	6,717 $\pm 1,649$	43,344 $\pm 3,350$	62,371 $\pm 4,003$	5,716 $\pm 0,369$	30,931 $\pm 2,909$	38,526 $\pm 3,293$	3,074 $\pm 0,262$	19,642 $\pm 1,954$	25,418 $\pm 1,286$
	optický	7,766 $\pm 0,796$	42,536 $\pm 3,896$	63,697 $\pm 2,604$	5,921 $\pm 0,348$	30,640 $\pm 2,675$	38,304 $\pm 3,496$	2,716 $\pm 0,221$	16,374 $\pm 1,936$	23,953 $\pm 2,579$
3	dotykový	4,108 $\pm 0,242$	23,540 $\pm 1,866$	31,785 $\pm 2,897$	5,479 $\pm 1,178$	35,031 $\pm 1,567$	64,569 $\pm 3,226$	2,771 $\pm 0,122$	16,881 $\pm 1,243$	21,995 $\pm 2,727$
	optický	4,872 $\pm 1,448$	35,294 $\pm 3,319$	35,303 $\pm 3,320$	5,380 $\pm 0,771$	46,074 $\pm 3,312$	64,242 $\pm 1,634$	2,554 $\pm 0,389$	17,291 $\pm 2,140$	22,486 $\pm 2,603$
4	dotykový	3,099 $\pm 0,142$	18,371 $\pm 0,902$	24,428 $\pm 1,359$	3,450 $\pm 0,305$	19,565 $\pm 0,565$	29,147 $\pm 0,675$	2,287 $\pm 0,187$	17,843 $\pm 2,909$	22,802 $\pm 1,381$
	optický	3,611 $\pm 0,426$	20,621 $\pm 3,505$	21,995 $\pm 3,213$	3,589 $\pm 0,336$	18,371 $\pm 2,826$	28,509 $\pm 2,743$	2,253 $\pm 0,188$	17,093 $\pm 1,345$	22,745 $\pm 0,717$
5	dotykový	4,161 $\pm 0,652$	22,349 $\pm 2,959$	32,263 $\pm 1,467$	3,807 $\pm 0,489$	24,065 $\pm 0,880$	47,889 $\pm 1,691$	3,425 $\pm 0,307$	19,849 $\pm 1,005$	28,885 $\pm 1,715$
	optický	4,884 $\pm 1,057$	25,305 $\pm 2,118$	35,424 $\pm 1,988$	3,903 $\pm 0,304$	21,510 $\pm 3,018$	45,319 $\pm 1,445$	4,402 $\pm 1,525$	24,189 $\pm 1,623$	28,989 $\pm 1,713$
\bar{x}	dotykový	4,442 $\pm 0,548$	26,436 $\pm 1,926$	36,252 $\pm 1,986$	4,734 $\pm 0,502$	27,793 $\pm 1,210$	43,352 $\pm 2,027$	2,826 $\pm 0,189$	18,201 $\pm 1,673$	24,608 $\pm 1,916$
	optický	5,058 $\pm 0,830$	29,904 $\pm 2,821$	36,583 $\pm 2,520$	4,880 $\pm 0,372$	30,344 $\pm 2,871$	42,302 $\pm 2,361$	2,902 $\pm 0,484$	18,259 $\pm 1,606$	24,423 $\pm 1,566$

4.3.2 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro frézovaný plast

Nejvyšší hodnota R_a vyplývá z tabulky 4.8 jako hodnota 15,146 μm , která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 3 úseku. Nejnižší hodnotu R_a změřil optický mikroskop a to hodnotu 0,338 μm u vzorku n3 ve 4 úseku.

Hodnota R_z byla vyhodnocena jako nejvyšší při měření optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 2 úseku, jejíž hodnota byla 103,634 μm . Nejnižší hodnotou R_z byla hodnota 2,237 μm , a to v úseku 2 u 3 vzorku, zjištěna dotykovým profilometrem.

Z tabulky také vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_t byla hodnota 117,185 μm , vyhodnocena optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 2 úseku. Nejnižší hodnota R_t odpovídá hodnotě 2,663 μm . Tato hodnota byla naměřena optickým mikroskopem u vzorku n3 v úseku 4.

Tab. 4.8 Hodnoty drsnosti frézovaného plastu [μm]

Frézování		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	10,661 ±0,346	55,317 ±1,315	83,048 ±7,655	0,458 ±0,081	3,234 ±0,545	4,830 ±0,760	0,371 ±0,057	2,571 ±0,612	3,270 ±0,893
	optický	12,145 ±0,919	64,955 ±1,768	90,483 ±5,421	0,439 ±0,064	2,888 ±0,359	4,680 ±0,339	0,496 ±0,081	3,082 ±0,356	3,511 ±0,887
2	dotykový	11,048 ±0,193	60,212 ±2,058	84,515 ±8,156	0,459 ±0,063	3,185 ±0,541	3,884 ±0,680	0,350 ±0,043	2,237 ±0,289	2,917 ±0,434
	optický	13,629 ±0,902	103,634 ±2,048	117,185 ±5,980	0,480 ±0,088	3,165 ±0,412	4,557 ±0,458	0,368 ±0,043	2,569 ±0,302	2,870 ±0,868
3	dotykový	12,209 ±0,459	65,682 ±3,164	95,073 ±6,694	0,388 ±0,040	2,735 ±0,339	3,244 ±0,528	0,359 ±0,054	2,379 ±0,362	2,831 ±0,469
	optický	15,146 ±3,036	63,940 ±3,440	90,077 ±6,567	0,510 ±0,038	3,237 ±0,294	3,600 ±0,731	0,372 ±0,041	2,673 ±0,376	2,876 ±0,777
4	dotykový	10,500 ±0,389	49,674 ±2,633	68,528 ±5,061	0,425 ±0,072	3,022 ±0,498	4,115 ±0,581	0,358 ±0,060	2,524 ±0,379	2,924 ±0,419
	optický	14,975 ±1,113	71,375 ±5,858	91,308 ±9,932	0,430 ±0,057	3,290 ±0,370	4,699 ±0,622	0,338 ±0,037	2,390 ±0,245	2,663 ±0,617
5	dotykový	12,212 ±0,976	68,052 ±3,190	102,537 ±4,766	0,379 ±0,051	2,635 ±0,370	3,527 ±0,351	0,347 ±0,066	2,256 ±0,345	2,801 ±0,480
	optický	12,444 ±1,605	73,076 ±4,889	97,712 ±3,700	0,413 ±0,083	2,879 ±0,433	3,164 ±0,417	0,415 ±0,046	2,792 ±0,240	3,198 ±0,535
\bar{x}	dotykový	11,326 ±0,441	59,787 ±2,332	86,740 ±6,316	0,422 ±0,030	2,962 ±0,319	3,920 ±0,430	0,357 ±0,024	2,393 ±0,257	2,949 ±0,389
	optický	12,912 ±1,490	66,315 ±3,491	89,406 ±6,200	0,454 ±0,041	3,092 ±0,264	4,140 ±0,393	0,398 ±0,025	2,701 ±0,194	3,024 ±0,617

4.3.3 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro soustružený plast

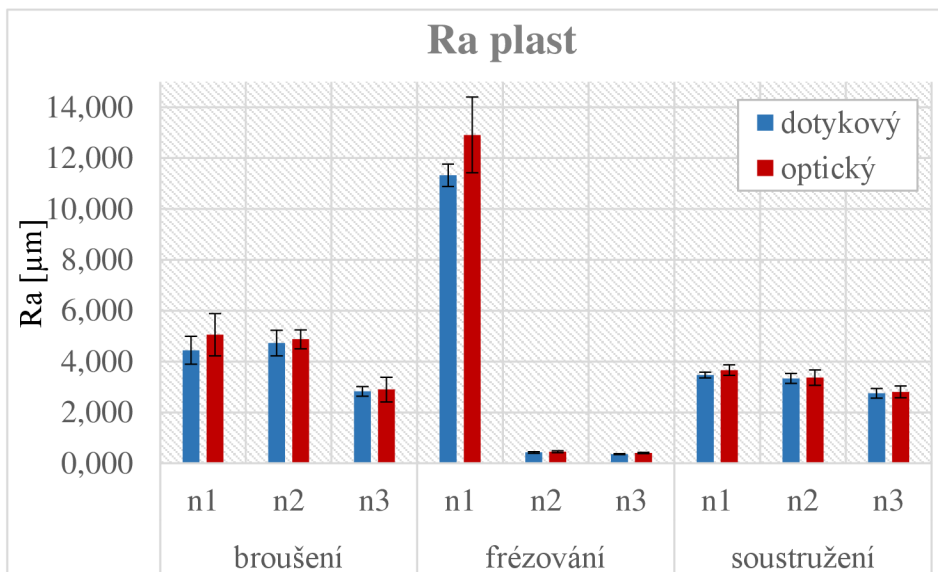
V tabulce 4.9 můžeme vidět, že nejvyšší hodnota R_a byla změřena optickým mikroskopem v úseku 2 na vzorku n1 a této hodnotě odpovídá 4,020 μm . Naopak nejnižší hodnota R_a vyplývá z tabulky jako hodnota 2,653 μm a byla změřena dotykovým profilometrem u vzorku n3 v úseku 5.

Nejvyšší hodnotou R_z byla naměřena hodnota 28,476 μm , a to v úseku 4 u 1 vzorku, zjištěna byla optickým mikroskopem. Nejnižší hodnota R_z odpovídá hodnotě 10,941 μm . Tato hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n3 v úseku 5.

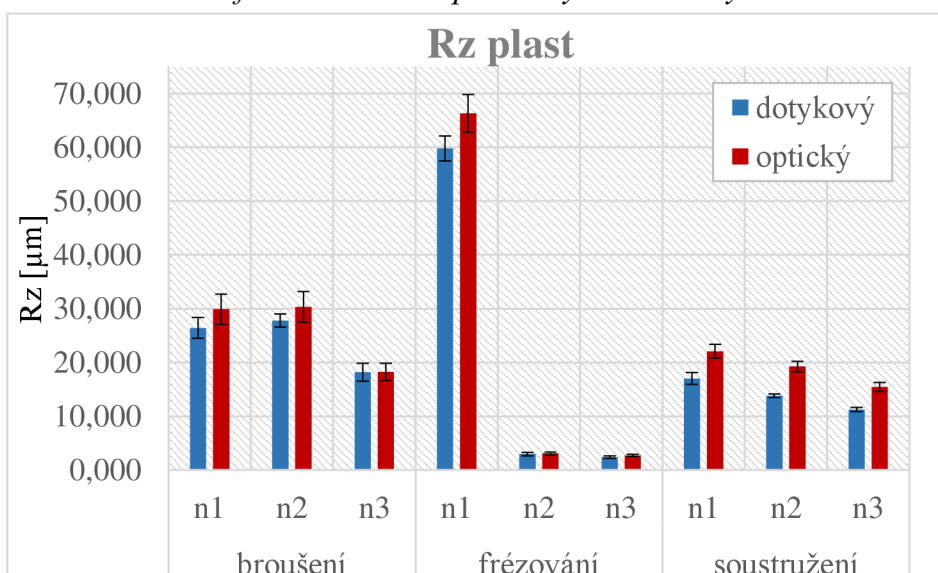
Dále z tabulky také vyplývá, že nejvyšší hodnotou R_t byla hodnota 30,588 μm , vyhodnocena byla optickým mikroskopem u vzorku n1 ve 4 úseku. Nejnižší hodnotu R_z změřil dotykový profilometr a to hodnotu 12,196 μm u vzorku n3 v úseku 2.

Tab. 4.9 Hodnoty drsnosti soustruženého plastu [μm]

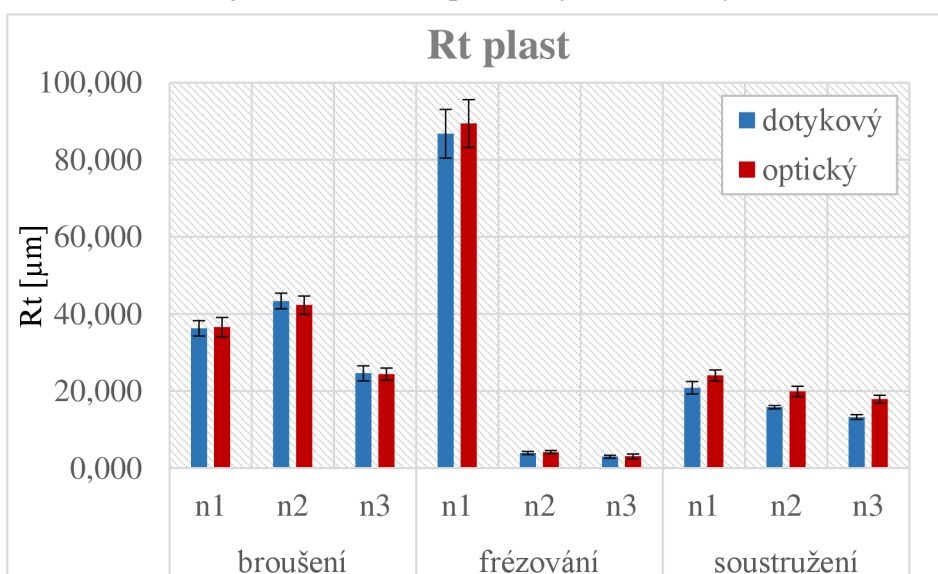
Soustružení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	3,052 $\pm 0,111$	14,339 $\pm 0,806$	16,942 $\pm 1,442$	3,587 $\pm 0,249$	15,025 $\pm 0,516$	16,233 $\pm 0,390$	2,700 $\pm 0,264$	11,290 $\pm 0,583$	12,681 $\pm 0,567$
	optický	3,558 $\pm 0,230$	17,044 $\pm 1,411$	20,559 $\pm 1,224$	3,665 $\pm 0,357$	17,716 $\pm 1,464$	19,923 $\pm 1,076$	2,716 $\pm 0,235$	16,023 $\pm 1,103$	15,948 $\pm 1,074$
2	dotykový	3,858 $\pm 0,221$	19,115 $\pm 1,959$	22,863 $\pm 1,889$	3,482 $\pm 0,301$	13,795 $\pm 0,316$	16,179 $\pm 0,435$	2,827 $\pm 0,166$	11,107 $\pm 0,429$	12,196 $\pm 0,481$
	optický	4,020 $\pm 0,240$	24,882 $\pm 1,085$	24,355 $\pm 1,455$	3,623 $\pm 0,336$	19,570 $\pm 1,142$	20,062 $\pm 1,651$	2,944 $\pm 0,219$	16,840 $\pm 0,979$	19,498 $\pm 0,914$
3	dotykový	3,406 $\pm 0,087$	16,908 $\pm 0,961$	21,610 $\pm 1,608$	3,224 $\pm 0,191$	12,786 $\pm 0,590$	15,075 $\pm 1,006$	2,829 $\pm 0,213$	11,340 $\pm 0,613$	14,947 $\pm 1,345$
	optický	3,186 $\pm 0,231$	19,852 $\pm 1,354$	20,369 $\pm 1,355$	3,000 $\pm 0,221$	19,825 $\pm 0,994$	19,282 $\pm 1,797$	2,812 $\pm 0,261$	18,059 $\pm 0,813$	18,402 $\pm 1,183$
4	dotykový	3,353 $\pm 0,114$	17,157 $\pm 1,527$	21,150 $\pm 2,081$	3,174 $\pm 0,174$	13,513 $\pm 0,507$	15,636 $\pm 0,657$	2,764 $\pm 0,213$	11,624 $\pm 0,521$	12,780 $\pm 0,597$
	optický	3,967 $\pm 0,290$	28,476 $\pm 1,975$	30,588 $\pm 1,886$	3,267 $\pm 0,414$	18,454 $\pm 0,813$	19,460 $\pm 1,845$	2,912 $\pm 0,405$	13,329 $\pm 1,116$	17,774 $\pm 1,558$
5	dotykový	3,687 $\pm 0,219$	17,654 $\pm 0,948$	21,653 $\pm 1,790$	3,226 $\pm 0,212$	13,994 $\pm 0,442$	15,929 $\pm 0,409$	2,653 $\pm 0,256$	10,941 $\pm 0,525$	13,509 $\pm 0,890$
	optický	3,603 $\pm 0,168$	20,176 $\pm 1,180$	24,435 $\pm 1,773$	3,277 $\pm 0,310$	20,751 $\pm 1,043$	20,789 $\pm 1,020$	2,673 $\pm 0,177$	12,979 $\pm 0,728$	17,798 $\pm 1,029$
\bar{x}	dotykový	3,471 $\pm 0,118$	17,035 $\pm 1,100$	20,844 $\pm 1,612$	3,339 $\pm 0,193$	13,823 $\pm 0,334$	15,810 $\pm 0,429$	2,755 $\pm 0,190$	11,260 $\pm 0,394$	13,223 $\pm 0,626$
	optický	3,667 $\pm 0,207$	22,086 $\pm 1,291$	24,061 $\pm 1,419$	3,366 $\pm 0,303$	19,263 $\pm 0,981$	19,903 $\pm 1,358$	2,811 $\pm 0,234$	15,446 $\pm 0,838$	17,884 $\pm 1,031$



Obr. 4.7 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.8 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.9 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rt

4.4 Sklo

4.4.1 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro broušené sklo

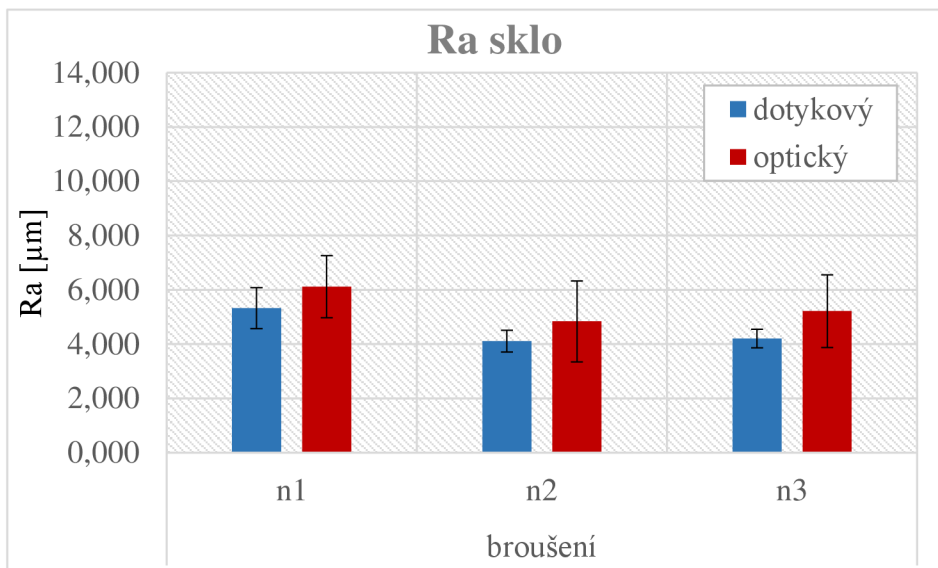
Nejvyšší hodnota Ra vyplývá z tabulky 4.10 jako hodnota 8,918 μm , která byla změřena optickým mikroskopem u vzorku n1 v 1 úseku. Nejnižší hodnotu Ra změřil dotykový profilometr a to hodnotu 3,138 μm u vzorku n2 v úseku 2.

Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší hodnotou Rz byla hodnota 30,443 μm , vyhodnocena dotykovým profilometrem u vzorku n3 v 2 úseku. Nejnižší hodnota Rz odpovídá hodnotě 18,493 μm . Tato hodnota byla naměřena dotykovým profilometrem u vzorku n3 v úseku 3.

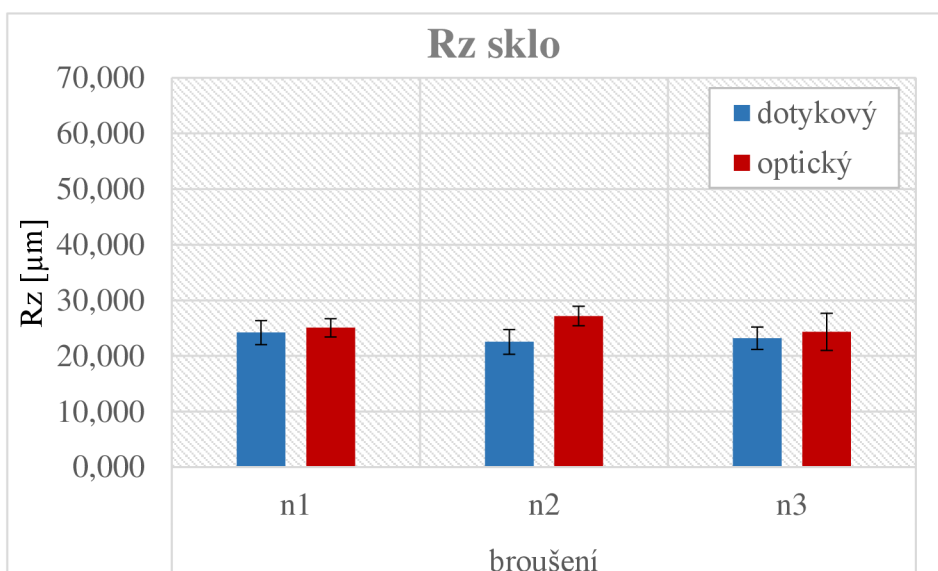
Hodnota Rt byla vyhodnocena jako nejvyšší při měření dotykovým profilometrem u vzorku n3 ve 2 úseku, jejíž hodnota byla 56,424 μm . Nejnižší hodnotou Rt byla hodnota 26,134 μm , a to ve 4 úseku u vzorku n2. Tato hodnota byla zjištěna dotykovým profilometrem.

Tab. 4.10 Hodnoty drsnosti broušeného skla [μm]

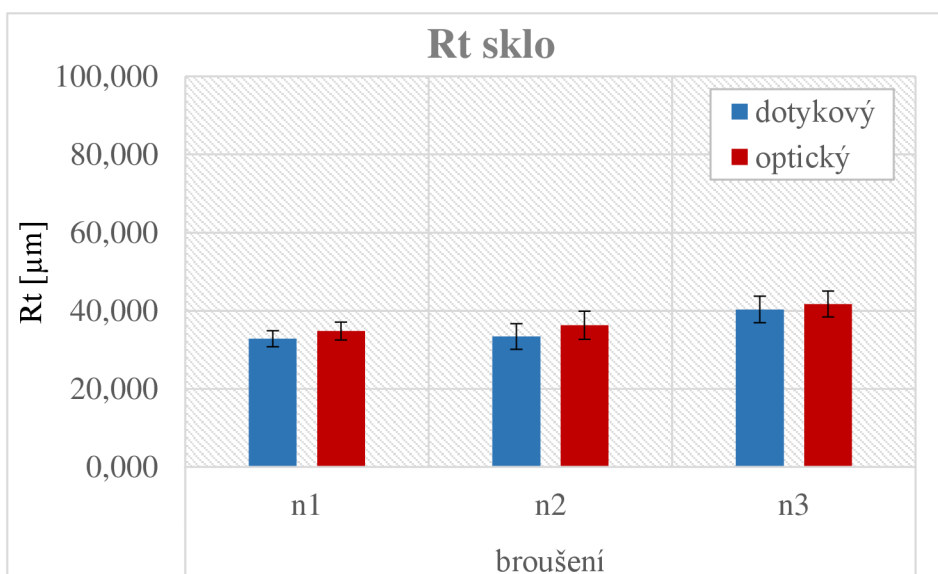
Broušení		n1			n2			n3		
		Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	dotykový	5,625 ±1,029	25,439 ±3,579	36,221 ±2,467	3,880 ±0,412	23,923 ±1,820	36,781 ±4,995	4,386 ±0,192	24,711 ±1,857	36,443 ±2,825
	optický	4,080 ±0,757	21,808 ±2,100	31,049 ±0,569	4,708 ±1,089	28,269 ±2,135	42,360 ±4,328	7,999 ±0,657	25,952 ±1,874	36,368 ±1,749
2	dotykový	4,499 ±0,523	21,481 ±1,841	27,523 ±1,179	3,138 ±0,162	18,848 ±1,742	27,965 ±1,631	5,589 ±0,148	30,443 ±1,074	56,424 ±2,501
	optický	8,918 ±1,527	25,300 ±2,326	36,219 ±3,909	5,508 ±1,141	25,637 ±2,430	27,714 ±4,113	5,523 ±2,049	28,356 ±1,964	56,181 ±3,898
3	dotykový	4,856 ±0,505	21,689 ±1,127	30,697 ±3,912	5,522 ±0,528	28,959 ±3,468	42,670 ±3,691	3,665 ±0,161	18,493 ±0,753	34,500 ±3,255
	optický	4,867 ±1,258	23,234 ±0,611	31,872 ±2,544	5,434 ±0,409	24,514 ±1,722	42,573 ±4,830	3,342 ±1,383	21,889 ±3,059	35,361 ±1,451
4	dotykový	5,913 ±0,610	26,767 ±2,096	33,977 ±1,955	3,365 ±0,354	19,180 ±1,018	26,134 ±1,799	4,150 ±0,909	22,308 ±4,643	41,354 ±5,222
	optický	5,763 ±1,320	28,515 ±2,486	38,290 ±2,707	4,667 ±2,557	28,134 ±0,461	29,502 ±2,846	5,799 ±1,959	25,361 ±4,761	45,367 ±4,768
5	dotykový	5,727 ±1,244	25,611 ±2,789	35,897 ±1,489	4,633 ±0,710	21,742 ±3,709	33,797 ±5,071	3,235 ±0,438	19,908 ±2,422	33,068 ±3,930
	optický	6,955 ±0,988	26,459 ±1,315	36,725 ±2,373	3,864 ±2,402	29,317 ±2,553	39,368 ±2,495	3,404 ±0,787	20,061 ±5,531	35,464 ±5,175
\bar{x}	dotykový	5,324 ±0,750	24,197 ±2,147	32,863 ±2,050	4,108 ±0,401	22,530 ±2,211	33,469 ±3,288	4,205 ±0,338	23,173 ±2,010	40,358 ±3,397
	optický	6,117 ±1,145	25,063 ±1,658	34,831 ±2,300	4,836 ±1,495	27,174 ±1,750	36,303 ±3,602	5,213 ±1,342	24,324 ±3,328	41,748 ±3,288



Obr. 4.10 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.11 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.12 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rt

4.4.2 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchu pro neobrobené sklo

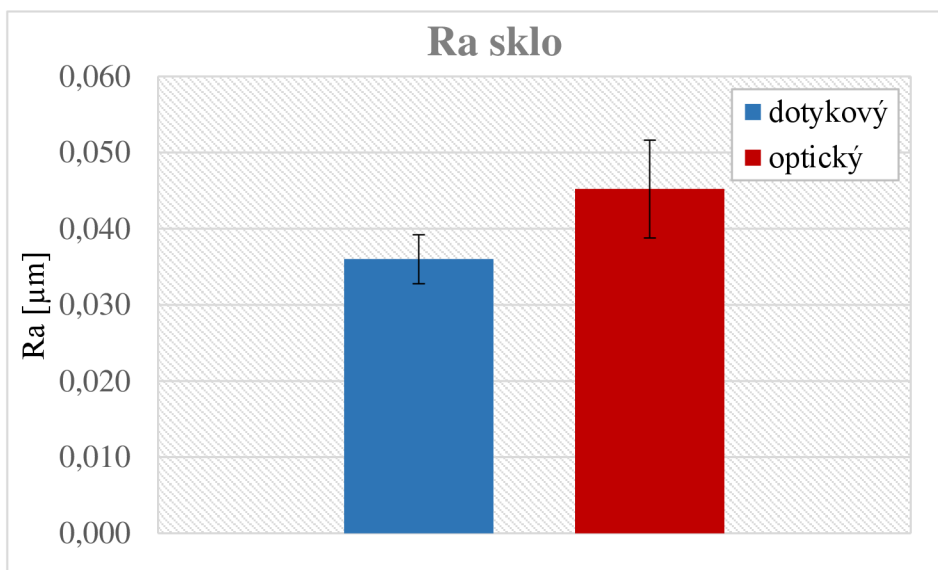
Z tabulky 4.11 je zřejmé, že nejvyšší hodnota R_a byla hodnota $0,059 \mu\text{m}$, která byla změřena optickým mikroskopem v 1 úseku. Naopak nejnižší hodnotu R_a změřil dotykový profilometr v úseku 3 a to konkrétní hodnotu $0,033 \mu\text{m}$.

Nejvyšší hodnotou R_z byla hodnota $0,492 \mu\text{m}$, a to v úseku 1, zjištěna optickým mikroskopem. Dále byla vyhodnocena nejnižší hodnota R_z při měření dotykovým profilometrem ve 4 úseku, jejíž hodnota byla $0,269 \mu\text{m}$.

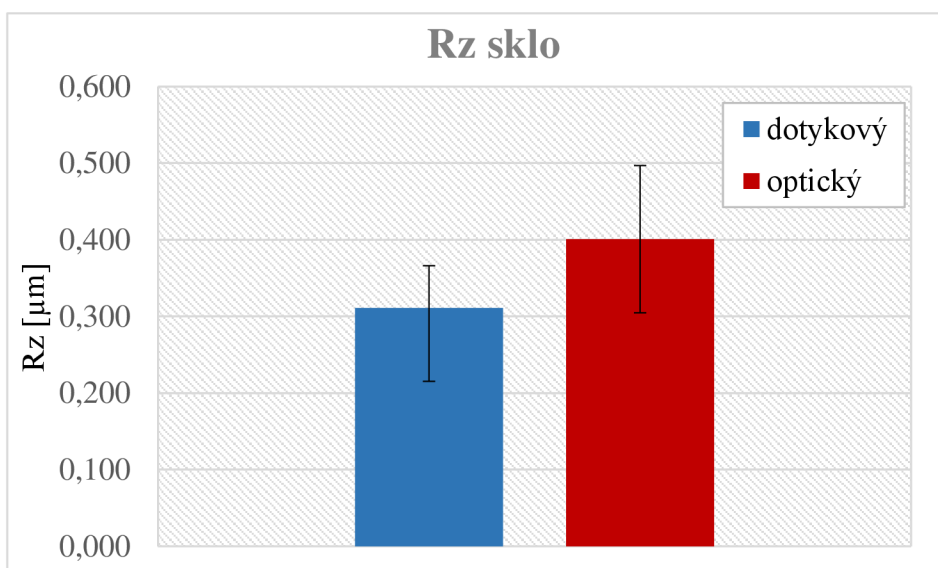
Nejvyšší hodnotou R_t byla naměřena hodnota $0,817 \mu\text{m}$, která byla změřena optickým mikroskopem na úseku 2. Nejnižší hodnota R_t naměřena dotykovým profilometrem v 5 úseku byla hodnota $0,332 \mu\text{m}$.

Tab. 4.11 Hodnoty drsnosti čistého neobrobeného skla [μm]

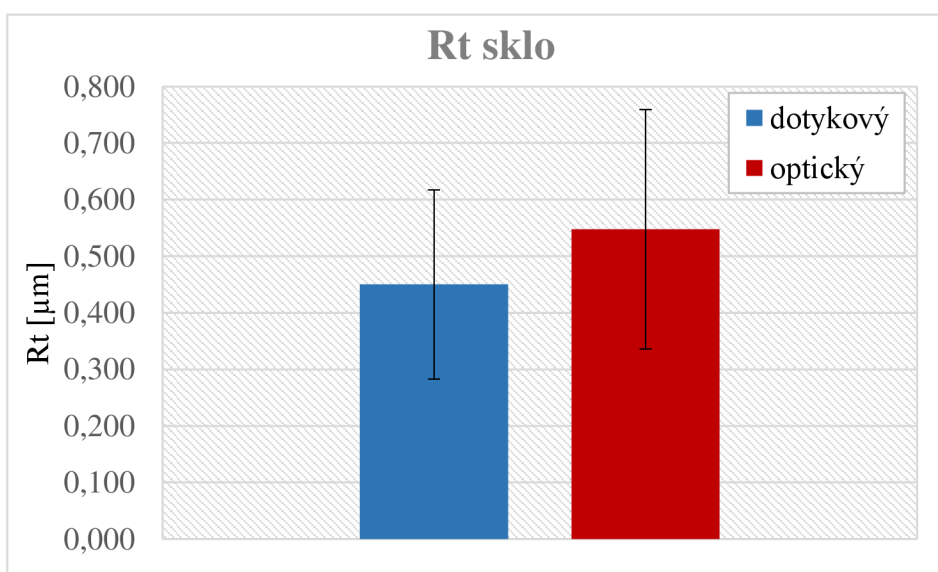
Čisté sklo		R_a	R_z	R_t
1	dotykový	0,040 $\pm 0,221$	0,360 $\pm 0,441$	0,611 $\pm 0,029$
	optický	0,059 $\pm 0,029$	0,492 $\pm 0,233$	0,675 $\pm 0,358$
2	dotykový	0,038 $\pm 0,295$	0,371 $\pm 0,551$	0,635 $\pm 0,036$
	optický	0,044 $\pm 0,036$	0,483 $\pm 0,329$	0,817 $\pm 0,704$
3	dotykový	0,033 $\pm 0,149$	0,276 $\pm 0,173$	0,335 $\pm 0,036$
	optický	0,044 $\pm 0,036$	0,366 $\pm 0,173$	0,417 $\pm 0,193$
4	dotykový	0,034 $\pm 0,155$	0,269 $\pm 0,231$	0,337 $\pm 0,028$
	optický	0,040 $\pm 0,028$	0,330 $\pm 0,144$	0,430 $\pm 0,227$
5	dotykový	0,035 $\pm 0,155$	0,280 $\pm 0,189$	0,332 $\pm 0,028$
	optický	0,039 $\pm 0,028$	0,332 $\pm 0,151$	0,399 $\pm 0,176$
\bar{x}	dotykový	0,036 $\pm 0,003$	0,311 $\pm 0,055$	0,450 $\pm 0,167$
	optický	0,045 $\pm 0,006$	0,401 $\pm 0,096$	0,548 $\pm 0,212$



Obr. 4.12 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.13 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.14 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků

5 Diskuze

Hlavním cílem předkládané práce je porovnání dotykového a bezdotykového měření drsnosti povrchu.

Základní informace týkající se dané problematiky měření drsnosti povrchu jsou uvedeny v kapitole 2. Kapitola obsahuje informace o dosavadních poznatcích týkající drsnosti povrchu a jejího významu (podkapitola 2.1) a dále udává informace základních pojmů drsnosti povrchu (podkapitola 2.2). Nedílnou součástí kapitoly 2 jsou také informace o způsobech měření a měřicích přístrojích (podkapitola 2.3).

Dosažení požadovaného cíle práce je věnována celá kapitola 3. Která obsahuje informace o výrobě vzorků, popisu podmínek a použitých měřicích přístrojích. Z rozsáhlého souboru měření a získaných výsledků uvedených v podkapitolách 4.1 – 4.4 je možno poukázat na následující:

V experimentální části byla aplikovaná dotyková i bezdotyková metoda měření hodnocení povrchu pro polotovary broušené, frézované a soustružené.

Průměrné hodnoty parametru Ra:

Průměrné hodnoty Ra se pohybovaly v rozmezí 0,323 – 12,912 μm , podle materiálu, způsobu obrábění materiálu a řezných podmínek. **Nejnižší hodnoty drsnosti Ra** (tab. 5.1) bylo dosaženo u frézovaného ocelového vzorku 2 s dotykovým profilometrem – 0,323 μm . **Nejvyšší hodnoty drsnosti Ra** bylo dosaženo u plastového vzorku 1 obráběného frézováním a naměřeno optickým mikroskopem – 12,912 μm .

Tab. 5.1 Shrnutí průměrných hodnot Ra [μm]

Parametr drsnosti Ra		Broušení	Frézování	Soustružení	
kompozit	n1	dotykový	0,896	0,583	2,464
		optický	0,899	0,571	2,495
	n2	dotykový	1,021	0,500	2,379
		optický	1,045	0,558	2,429
	n3	dotykový	1,037	0,536	2,177
		optický	1,010	0,532	2,204
ocel	n1	dotykový	0,376	0,327	3,744
		optický	0,405	0,375	3,992
	n2	dotykový	0,432	0,323	4,273
		optický	0,450	0,357	4,802
	n3	dotykový	0,434	0,435	4,485
		optický	0,442	0,436	5,141
plast	n1	dotykový	4,442	11,326	3,471
		optický	5,058	12,912	3,667
	n2	dotykový	4,734	0,422	3,339
		optický	4,880	0,454	3,183
	n3	dotykový	2,826	0,357	2,755
		optický	2,902	0,398	2,719

Průměrné hodnoty parametru Rz:

Průměrné hodnoty Rz se pohybovaly v rozmezí 2,380 – 66,315 μm , podle materiálu, způsobu obrábění materiálu a řezných podmínek. **Nejnižší průměrné hodnoty drsnosti Rz** (tab. 5.2) bylo dosaženo u frézované oceli n1 s dotykovým profilometrem – 2,380 μm . **Nejvyšší průměrné hodnoty drsnosti Rz** bylo dosaženo u frézovaného plastu n2 a naměřeno optickým mikroskopem – 66,315 μm .

Tab. 5.2 Shrnutí průměrných hodnot Rz [μm]

Parametr drsnosti Rz		Broušení	Frézování	Soustružení	
kompozit	n1	dotykový	6,463	5,089	14,161
		optický	6,573	5,153	14,720
	n2	dotykový	8,477	4,587	13,802
		optický	8,583	4,901	14,076
	n3	dotykový	7,851	4,814	12,575
		optický	7,937	4,848	12,667
ocel	n1	dotykový	2,897	2,380	19,064
		optický	3,033	2,913	24,120
	n2	dotykový	3,207	2,564	21,744
		optický	3,309	2,730	26,990
	n3	dotykový	3,467	3,228	23,751
		optický	3,520	3,237	28,271
plast	n1	dotykový	26,436	59,787	17,035
		optický	29,904	66,315	22,086
	n2	dotykový	27,793	2,962	13,823
		optický	30,344	3,092	19,263
	n3	dotykový	18,201	2,393	11,260
		optický	18,259	2,701	15,446

Průměrné hodnoty parametru R_t :

Hodnoty R_t se pohybovaly v rozmezí 2,949 – 89,406 μm , podle materiálu, způsobu obrábění materiálu a řezných podmínek. **Nejnižší hodnoty drsnosti R_t** (tab. 5.3) bylo dosaženo u frézovaného plastového vzorku n3 s dotykovým profilometrem – 2,949 μm . **Nejvyšší hodnoty drsnosti R_t** bylo dosaženo u plastového vzorku 1 obráběného frézováním a naměřeno optickým mikroskopem – 89,406 μm .

Tab. 5.3 Shrnutí průměrných hodnot R_t [μm]

Parametr drsnosti R_t			Broušení	Frézování	Soustružení
kompozit	n1	dotykový	10,082	6,747	18,181
		optický	10,221	6,794	18,253
	n2	dotykový	14,154	6,568	16,755
		optický	15,140	6,941	17,520
	n3	dotykový	13,074	6,580	15,674
		optický	13,860	7,410	16,401
ocel	n1	dotykový	4,265	3,283	22,403
		optický	4,394	3,434	26,394
	n2	dotykový	4,041	3,704	28,945
		optický	4,466	3,935	30,312
	n3	dotykový	4,524	4,217	30,686
		optický	4,706	4,456	32,173
plast	n1	dotykový	36,252	86,740	20,844
		optický	36,583	89,406	24,061
	n2	dotykový	43,352	3,920	15,810
		optický	42,302	4,140	19,903
	n3	dotykový	24,608	2,949	13,223
		optický	24,423	3,024	17,884

Průměrné hodnoty R_a , R_z i R_t u neobrobeného skla byly naměřeny jako nejnižší hodnoty ze všech vzorků. Byly změřeny dotykovým profilometrem a to hodnoty R_a – 0,036 μm , R_z – 0,311 μm , R_t – 0,450 μm .

Průměrné hodnoty R_a broušeného skla se pohybovaly v rozmezí 4,108 – 6,117 μm podle řezných podmínek. **Nejnižší hodnoty drsnosti R_a** (tab. 5.4) bylo dosaženo u vzorku n2 s dotykovým profilometrem – 4,108 μm . **Nejvyšší hodnoty drsnosti R_a** bylo dosaženo u vzorku n1 a naměřena byla optickým mikroskopem – 6,117 μm . **Nejnižší hodnoty drsnosti R_z** (tab. 5.4) bylo dosaženo u vzorku n2 s dotykovým profilometrem – 22,530 μm . **Nejvyšší hodnoty drsnosti R_z** bylo dosaženo u vzorku n2 a naměřeno optickým mikroskopem – 27,174 μm . **Nejnižší hodnoty drsnosti R_t** (tab. 5.4) bylo dosaženo u vzorku n1 naměřeno dotykovým profilometrem – 32,863 μm . **Nejvyšší hodnoty drsnosti R_t** bylo dosaženo u vzorku n3 a naměřeno optickým mikroskopem – 41,748 μm .

Tab. 5.4 Shrnutí průměrných hodnot skla R_a , R_z , R_t [μm]

Parametry drsnosti R_a , R_z , R_t			R_a	R_z	R_t
broušené sklo	n1	dotykový	5,324	24,197	32,863
		optický	6,117	25,063	34,831
	n2	dotykový	4,108	22,530	33,469
		optický	4,836	27,174	36,303
	n3	dotykový	4,205	23,173	40,358
		optický	5,213	24,324	41,748
neobrobené sklo	dotykový		0,036	0,311	0,450
	optický		0,045	0,401	0,548

Obecně lze konstatovat celkem uspokojivou shodu mezi souměřitelnými výškovými (R_a , R_z , R_t) parametry.

Porovnání metod:

Oba typy měření mají svoje výhody a nevýhody oproti druhé metodě, kterými se vzájemně odlišují. Již zřejmá zásadní odlišnost je ve způsobu snímání, jak už z názvu vyplývá. Určitě i možnosti všeobecného využití jsou mnohdy odlišné, ale mají společné to, že jsou všechny schopny vyhodnotit mikrogeometrii břitu nástroje. V tabulce 5.5 jsou srovnány obě metody již zmíněných dotykových a bezdotykových měření.

Tab. 5.5 Srovnání metod dotykového a bezdotykového měření

Kritérium	Dotyková metoda	Bezdotyková metoda	Komentář
Typ dat	2D/3D	2D/3D	Optická zařízení mohou měřit 3D povrchy v rámci jednoho měření, pro dotyková zařízení je proces 3D mapování pomalejší.
Poškození povrchu během snímání	Možné poškození	Bez poškození	Snímací hrot může poškodit nebo poškrábat měřený povrch, zvláště v případě měkkých materiálů.
Množství dat	Menší	Větší	Velké množství dat naměřených optickým přístrojem.
Měření ve výrobním prostředí	Ne	Ano	Optická zařízení mohou pracovat i v prostředí blízkém výrobě.
Ovládání	Jednoduché	Složitější	Optická zařízení si žádají složitější nastavení.
Algoritmy	Jednoduché	Složené	Dotykové systémy používají znatelně jednodušší algoritmy než optické.
Rychlost měření	Nízká	Vysoká	Optická zařízení mívají vyšší rychlost měření.
Rychlost analýzy dat	Vysoká	Nízká	Větší množství dat, ale i větší možnosti analýzy způsobují pomalejší analýzu naměřených dat.
Komplexnost tvarů	Nízká	Vysoká	Optickými 3D přístroji lze změřit větší množství součástí.
Cena	Levnější	Dražší	Investice do 3D optických zařízení je znatelně vyšší než do dotykových profilometrů.

6 Závěr

Měření drsnosti dotykovou metodou, pomocí přístroje Mitutoyo SV-2000 N2, je možno rychle a opakovatelně vyhodnocovat povrch, avšak bylo prokázáno, že při kontaktním měření hrozí poškození povrchu vzorku. Je možné, že kontaktním měřením může dojít k odsunutí nečistot z měřeného povrchu či k neúplnému vniknutí měřicího hrotu do prohlubní povrchu. Proto je velice pravděpodobné, že u změřených vzorků vyjdou výsledky měření dotykovou metodou nižší, než výsledky změřené optickým mikroskopem.

Bezdotyková metod, realizovaná pomocí přístroje KEYENCE VK-X1000, umožňuje i měření plošné, které tolik nezávisí na subjektivním faktoru výběru profilu, protože je uvažována celá plocha. Tím by se vyloučil vliv nepřesnosti polohování vzorku - natočení.

Bezdotyková metoda vyžaduje určité vlastnosti plochy a klade velmi vysoké nároky zejména na čistotu vzorku. Tato práce se zabývá i analýzou vysoce reflexního povrchu. Je tedy možné, že zde předložené výsledky naměřené optickým mikroskopem mohou obsahovat i náhodné chyby měření. Je také možné, že v naměřených datech může být systematická chyba, která byla způsobena nevhodným nastavením měření, protože jde o nový přístroj, který má velmi rozsáhlé možnosti nastavení měření i analýzy. Nejdůležitějším faktorem je správné nastavení zařízení. Zejména pak správné nastavení filtrů profilu.

Bezdotykovou metodou lze měřit velký počet dat a při vhodném nastavení jsou naměřeny s vysokou přesností, ale za cenu vyšší časové náročnosti nutné pro zpracování naměřených dat. Finanční investice do tohoto přístroje je mnohem vyšší než u dotykového přístroje.

Z obecných závěrů vyplývá, že bezdotyková metoda nemusí být vždy vhodná pro danou aplikaci. U této metody jsou kladeny vysoké požadavky na schopnosti měřicího technika, které mohou mít vliv na měření. Při vhodném nastavení je však bezdotyková metoda prakticky bezkonkurenční, protože umožňuje velkou variabilitu funkcí. Své uplatnění nachází zejména pro specifické aplikace, pro měření geometrie a mikrogeometrie nástrojů.

Vzhledem ke skutečnosti, že se jednalo o nový přístroj KEYENCE VK-X1000, je doporučeno hlubší prozkoumání možností tohoto bezdotykového přístroje.

Seznam použité literatury:

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil, V. ODVODY a Bohuslav OŠTĀDAL. Drsnost povrchu. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [2] ČSN EN ISO 4287 (014450) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014450-csn-en-iso-4287_4_55359.html.
- [3] ČSN ISO 16610-21 (014445) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014445-csn-iso-16610-21_4_90223.html.
- [4] METELKOVÁ, Jitka. Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
- [5] ČSN EN ISO 11562 (014448) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014448-csn-en-iso-11562_4_55364.html.
- [6] ČSN EN ISO 13565-2 (014446) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014446-csn-en-iso-13565-2_4_55367.html.
- [7] ČSN EN ISO 25178-6 (014451) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014451-csn-en-iso-25178-6_4_86773.html.
- [8] FROLO, David. Hodnocení jakosti povrchů na portfoliu polymerních výrobků pro automobilový průmysl. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Pata, Vladimír.
- [9] GAJDOŠÍK, David. Měření drsnosti povrchů se zaměřením na měřicí techniku Mytutoyo SJ 210. České Budějovice, 2013. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

[10] ČSN EN ISO 3274 (252322) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/252322-csn-en-iso-3274_4_55363.html.

[11] ČSN EN ISO 25178-601 (014451) - Technické normy ČSN. http://www.technicke-normy-csn.cz/014451-csn-en-iso-25178-601_4_87479.html.

[12] HOLADA, Jiří. Problematika měření drsnosti povrchu. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Ivana Česáková.

[13] KUSÁK, Ivo. Konfokální mikroskop. [online]. [cit.2021-05-24]. Dostupné z: http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/konfokalni_mikroskopie.pdf