



Bezkontaktní měření drsnosti povrchu u součástí z plastů a kompozitů

Bakalářská práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

B0715A270008 Strojírenství

Jakub Svoboda

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Katedra obrábění a montáže





Zadání bakalářské práce

Bezkontaktní měření drsnosti povrchu u součástí z plastů a kompozitů

Jméno a příjmení: **Jakub Svoboda**
Osobní číslo: S19000358
Studijní program: B0715A270008 Strojírenství
Zadávací katedra: Katedra obrábění a montáže
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristiky nejpoužívanějších parametrů drsnosti povrchu.
2. Bezkontaktní měření parametrů drsnosti povrchu konfokálním mikroskopem.
3. Návrh metodiky pro měření drsnosti povrchu u součástí z plastů a kompozitů.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení výsledků měření.
6. Shrnutí 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. NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., aj. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
2. BÁTORA, B., VASILKO, K. *Obrobené povrchy – technologická dedičnosť, funkčnosť*. 1. vyd. Trenčín: TU v Trenčíne a GC Tech, 2000. 184 s. ISBN 80-88914-19-1.
3. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.
4. ČSN ISO 8688-1. Testovanie trvanlivosti pri frézovaní, Časť 1: Rovinné frézovanie. 1993. Praha: Centrum služeb pro normalizaci.
5. SERBUS, D. Ověření metodiky pro měření drsnosti povrchu na konfokálním mikroskopu Olympus LEXT (bakalářská práce). - Praha: ČVUT, 2018. [cit. 12. září 2019]. Dostupné na: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79407/F2-BP-2018-Serbus-David-Overeni%20metodiky%20pro%20mereni%20drsnosti%20povrchu%20na%20konfokalnim%20mikroskopu%20Olym1&isAllowed=y>. ISBN-

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Katedra obrábění a montáže

Datum zadání práce:

5. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

5. 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 vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

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

14. ledna 2022

Jakub Svoboda

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá nejnovějšími informacemi o procesu měření drsnosti povrchu technických materiálů s použitím dotykové a bezdotykové metody měření za využití přístrojové měřicí techniky.

Hlavním cílem bakalářské práce je porovnání dosažených výsledků měření metodou dotykového a bezdotykového měření drsnosti povrchu.

V teoretické části práce jsou představeny informace o zmíněných metodách měření drsnosti a základní pojmy vysvětlující řešenou problematiku.

Vedle toho v práci zmiňuji informace o měřených parametrech drsnosti povrchu a popisují konkrétní metody 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. Parametry povrchu. Optický mikroskop.

ANNOTACION

This bachelor thesis presents the latest information on the process of measuring the surface roughness of technical materials using tactile and non-contact measuring methods using instrumental measuring techniques.

The main goal of the bachelor thesis was to compare the achieved measurement results by the method of contact and non-contact surface roughness measurement.

The theoretical part of the thesis presents basic information about the mentioned methods of roughness measurement, basic concepts explaining the problem.

In addition, information on the measured surface roughness parameters is mentioned and specific methods of roughness measurement are described.

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.

Keywords

Roughness. Profilometer. Surface parameters. Optical microscope

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1316**

Jméno a příjmení: **Jakub Svoboda**

Vedoucí práce: doc. Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.

Počet stran: 68

Počet příloh: 3

Počet tabulek: 34

Počet obrázků: 13

Počet diagramů: 21

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování vedoucímu práce panu docentovi Ing. Janu Jersákovi, CSc., za jeho čas, trpělivost a metodickou pomoc při vedení mé bakalářské práce.

Velké poděkování patří i paní docentce Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph.D., která mi v závěru práce poskytla mnoho cenných rad a podnětů, vedoucích ke zdárnému dokončení práce. Rád bych i poděkoval panu bakaláři Martinovi Váňovi, za jeho cenné připomínky a odborné rady, které byly podnětné pro tvorbu této bakalářské práce.

OBSAH	
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	7
1 ÚVOD	8
2 SOUČASNÝ STAV MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU MATERIÁLU	9
2.1 Dotykové měření	10
2.2 Bezdotykové měření	13
3 METODIKA	17
3.1 Zhotovení vzorků	17
3.2 Testovací materiál a jeho charakteristika	18
3.2.1 Charakteristika oceli S355 dle EN 10025-2	18
3.2.2 Charakteristika Polyamidu PA 6 – vytlačovaný polyamid	18
3.2.3 Charakteristika Polyoxymetylen POM C	19
3.2.4 Charakteristika PE 1000 recyklovaný	19
3.2.5 Čistá epoxidová pryskyřice	20
3.2.6 Uhlíkové vlákno tkanina	20
3.2.6 Uhlíkové vlákno prameny	20
3.3 Strojní součásti	20
3.4 Řezné podmínky	21
3.5 Použité měřicí přístroje	22
3.6 Měřené parametry	24
3.6.1 Parametr Ra	24
3.6.2 Parametr Rz	25
3.6.3 Materiálový podíl profilu (nosný podíl) $R_{mr(c)}$, WS_m , PS_m	25
3.7 Podmínky měření	26
3.7.1 Příprava vzorků před měřením	26
3.8 Statistické zpracování dat	26
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
4.1 Plast	27
4.1.1 Frézování silonu – PA 6	27
4.1.2 Soustružení silonu – PA 6	28
4.1.3 Broušení silonu – PA 6	29
4.1.4 Frézování Polyacetalu (POM)	31
4.1.5 Soustružení Polyacetalu (POM)	32
4.1.6 Broušení Polyacetalu (POM)	33
4.1.7 Frézování PE 1000 Recyklovaný	35
4.1.8 Soustružení PE 1000 Recyklovaný	36
4.1.9 Broušení PE 1000 Recyklovaný	37
4.2 Kompozit	39
4.2.1 Frézování čisté epoxidové pryskyřice	39
4.2.2 Soustružení čisté epoxidové pryskyřice	40

4.2.3 Broušení čisté epoxidové pryskyřice	41
4.2.4 Frézování epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)	43
4.2.5 Soustružení epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)	44
4.2.6 Broušení epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)	45
4.2.7 Frézování epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů).....	47
4.2.8 Soustružení epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů)	48
4.2.9 Broušení epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů)	49
4.3 Ocel	51
4.3.1 Frézování oceli S355J2	51
4.3.2 Soustružení oceli S355J2	52
4.3.3 Broušení oceli S355J2.....	53
5 DISKUZE	55
6 ZÁVĚR.....	60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
SEZNAM PŘÍLOH	64

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

2D	[-]	dvourozměrné
3D	[-]	třírozměrné
a_p	[-]	přísuv
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
Lr	[mm]	základní délka
M	[-]	střední aritmetická čára profilu
Mr	[%]	materiálový poměr
Mr1	[%]	podíl materiálu nad povrchem
Mr2	[%]	podíl materiálu pod povrchem
NJOD	[-]	nejnižší hodnota / dotyková metoda
NVHO	[-]	nejvyšší hodnota / optická metoda
P – parametry	[-]	parametry základního profilu
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
Rc	[μm]	průměrná výška prvku drsnosti
R – parametry	[-]	parametry profilu drsnosti
Rq	[μm]	střední kvadratická hodnota drsnosti
Rz	[μm]	maximální výška profilu drsnosti
$R_{mr(c)}$, WS_m	[%]	materiálový podíl profilu (nosný podíl)
S	[mm ²]	plocha
SK	[-]	slinutý karbid
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
Vc	[m.mm ⁻¹]	řezná rychlost
W – parametry	[-]	parametry profilu vlnitosti
x,y	[mm]	osy souřadného systému pro měření povrchu
ypmax	[mm]	výška prohlubní
yvmax	[mm]	výška výstupků
γ	[°]	úhel snímacího hrotu
λ	[nm]	vlnová délka
λc (λ cut-off)	[nm]	mezní vlnová délka
λf	[nm]	vlnová délka dlouhovlnného filtru profilu
λs	[nm]	vlnová délka krátkovlnného filtru profilu

1 ÚVOD

Rozvoj výrobní technologie spolu se zaváděním nových pokrokových měřících metod nám pomáhají lépe zkoumat kvalitu a vlastnosti povrchu různých průmyslových součástí. Vlastnosti povrchové vrstvy výrazně ovlivňují spolehlivost a životnost součástí během jejich celého provozního cyklu. [1]

Z technologického hlediska výroby pod výrazem kvalita rozumíme veličiny jako přesnost rozměru, přesnost geometrického tvaru polohy a drsnosti povrchu. Drsnost povrchu materiálu ovlivňuje přesnost chodu součásti stroje, jejich hlučnost, dobu záběhu, ztráty třením, přesnost tepla únavovou pevnost a podobně. [1] [14]

Hlavním cílem této bakalářská práce bylo porovnání dosažených výsledků měření drsnosti zkoumaného povrchu u zvolených materiálů. Předkládaná práce se zabývá problematikou a měřením drsnosti povrchu dvěma metodami dotykovou a bezdotykovou. V současné době se upřednostňuje bezdotykové měření, které poskytuje mnoho výhod zejména v oblasti plošného hodnocení daného povrchu a měřené plochy se specifickými fyzikálními a technickými parametry.

Bakalářská práce představuje nejnovější informace o procesu měření drsnosti povrchu technických materiálů s použitím dotykové a bezdotykové metody měření za využití přístrojové měřící techniky.

Zásadním cílem bakalářské práce je porovnání dosažených výsledků měření drsnosti a dosažené výsledky porovnat.

Bakalářská práce je členěna do teoretické, experimentální a závěrečné části. Teoretická část pojednává o problematice drsnosti povrchu a jejímu významu, dále se popisují základní pojmy drsnosti povrchu, způsoby měření a měřící přístroje. Vychází se zde z informací tuzemské i mezinárodní odborné literatury. Experimentální části popisují metodiku měření drsnosti povrchu s následným zobrazením a vyhodnocením naměřených výsledků.

Závěrečná část porovnává výsledky dosažené v rámci laboratorních měření.

2 SOUČASNÝ STAV MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU MATERIÁLU

Současný růst kvality při výrobě strojních dílů vyžaduje ruku v ruce vývoj nových mnohem kvalitnějších a výkonnějších měřících přístrojů pro zachycení skutečného stavu finální výroby.

U těchto měřících přístrojů se klade důraz na vysokou přesnost, opakovatelnost a na stabilitu chování v procesu měření. [1] [14]

Vysoká přesnost měření vyžaduje dostatečné vertikální i horizontální rozlišení ke zvolenému cíli měření. Aby se naměřený výsledek minimálně lišil u různých přístrojů je potřeba zajistit vazbu naměřeného výsledku na danou základnu u měření drsnosti na základní délky, což je metr. [1] [14]

Tato vazba se nazývá metrologická návaznost, a ta se prokazuje zkouškou a následným vydáním certifikátu (protokolu) vydaným příslušným národním institutem. Volba měřícího přístroje se musí zodpovědně zabývat výše zmíněnými požadavky, které spolu s rychlostí snímáním a rozsahem měřené veličiny souvisejí. Tyto faktory jsou důležité pro správné plnění funkcí měřícího přístroje, a aby se naplňovalo měřítko nákladů pro pořízení k výkonu.

Na trhu v současné době působí mnoho renomovaných firem, které dodávají přístroje odolné na okolní vlivy (vibrace u bezdotykový přístrojů na okolní světlo). [1] [14]

a) Kvalitativní měření (vizuální)

Při tomto měření se využívá lidských smyslů, a to hmatu a zraku. Porovnává se zkontrolovaný povrch materiálu se vzorkovými plochami, které mají stanovenou drsnost. Pro usnadnění nalezení poruchy materiálu, lze používat různé optické přístroje jako například lupy, mikroskop a další. Tato metoda je však omezena rozlišovací schopností lidských smyslů a vlastností optických pomůcek. [1] [14]

b) Porovnávací metoda

Jedná se o spojení vizuální a dotykové metody, kdy k vyhodnocení povrchu používáme speciálních měrek (etalonů).

Metoda spočívá v porovnávání měřeného vzorku s etalony.

Pro kvalitnější posouzení povrchu provádíme porovnávání na více místech. I tato metoda je velmi zatížena lidským faktorem, ale je přesnější než metoda vizuální. [1] [14]

c) Dotykové měření

V tomto měření se používá rovnoměrný pohyb měřícího doteku po ploše kontrolovaného vzorku. Využívají se přístroje, které jsou schopny zkoumat daný povrch pomocí snímacích hrotů. Tyto hroty zaznamenávají úchyly ve změně profilu povrchu. Přístroj

je dále schopen vypočítat parametry, aby se daly dobře rozpoznat změny drsnosti. Výsledky se zobrazují v daném zvětšení. [1] [14]

d) Bezdotykové měření (optické)

Zde se využívá principu chromatické vady. Chromatická vada je barevná vada čočky. Příčinou vady je závislost ohniskové délky optického přístroje na dané vlnové délce použitého světla. Vychází se ze skutečnosti, že se světlo každé barvy v optickém přístroji láme jinak: záření dlouhovlnné červené nejméně, krátkovlnné fialové nejvíce. [1] [14]

Optické metody měření drsnosti povrchu mají ve srovnání s metodou dotykovou následující výhody:

- bezkontaktnost (tj. nedestruktivnost)
- potenciální možnost poskytovat výsledky měření téměř okamžitě
- „integrálnost“ získané informace o povrchu (informace je získávána většinou z větší či menší plochy povrchu).

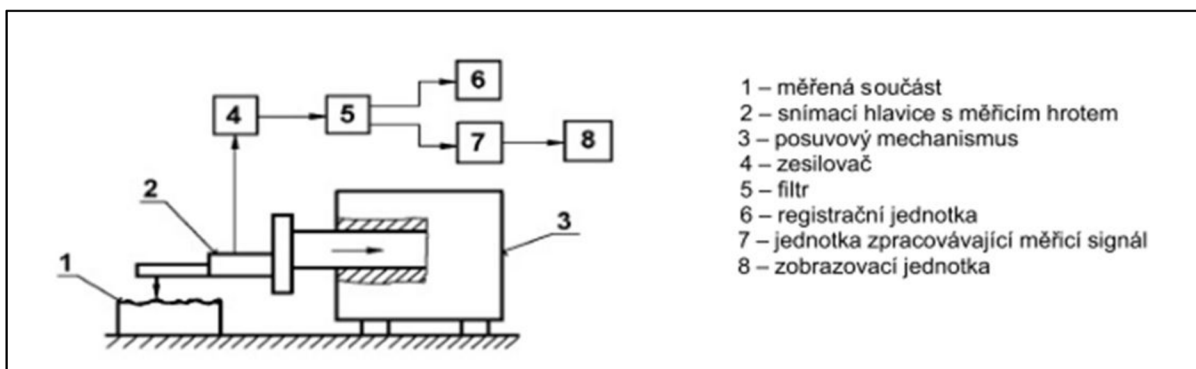
Nevýhody této metody:

- ve většině případů nutnost apriorních předpokladů o charakteru drsnosti neznámého měřeného povrchu (které jsou nutné pro řešení interakce světla s povrchem)
- nejsou v praxi tak široce užívány, jako kontaktní profiloměr. [1] [14]

2.1 Dotykové měření

Dotykové měřicí přístroje se v současnosti stále ještě ve velké míře používají. Dle normy ČSN EN 3274 je dotykový měřicí přístroj definován jako přístroj, který je uzpůsoben zkoumat dané povrchy pomocí snímacího hrotu. Svým pohybem na povrchu podává informace ohledně úchylek ve formě profilu povrchu, zároveň přístroj vypočítává parametry a v konečné fázi je zaznamenává. [12] [16] [22]

Nejdůležitější částí dotykových měřicích přístrojů (profilometrů) je hrot vyrobený z diamantů. Tvar snímacího hrotu udává norma ČSN EN 3274 jako kužel s kulovou špičkou. Statická přitlačná síla na hrot ve střední poloze je 0,00075 N. [12] [16] [22]



Obr. 2.1 Schéma konfokálního snímání povrchu [16] [22]

Správnost výsledků měření ovlivňuje:

- poloměr zaoblení snímacího hrotu (2 μm , 5 μm , 10 μm),
- vrcholový úhel snímacího hrotu (60°, 90°),
- měřicí (přítlačná) síla (cca 0,00075 N),
- rychlost změny měřicí síly,
- poloměr zaoblení kluzné patky snímače (u relativní metody),
- celkové geometrické uspořádání systému snímače.

Dotykový měřicí přístroj je tvořen částmi:

a) Mechanická část

Stolek – na který měřenou součást umístíme.

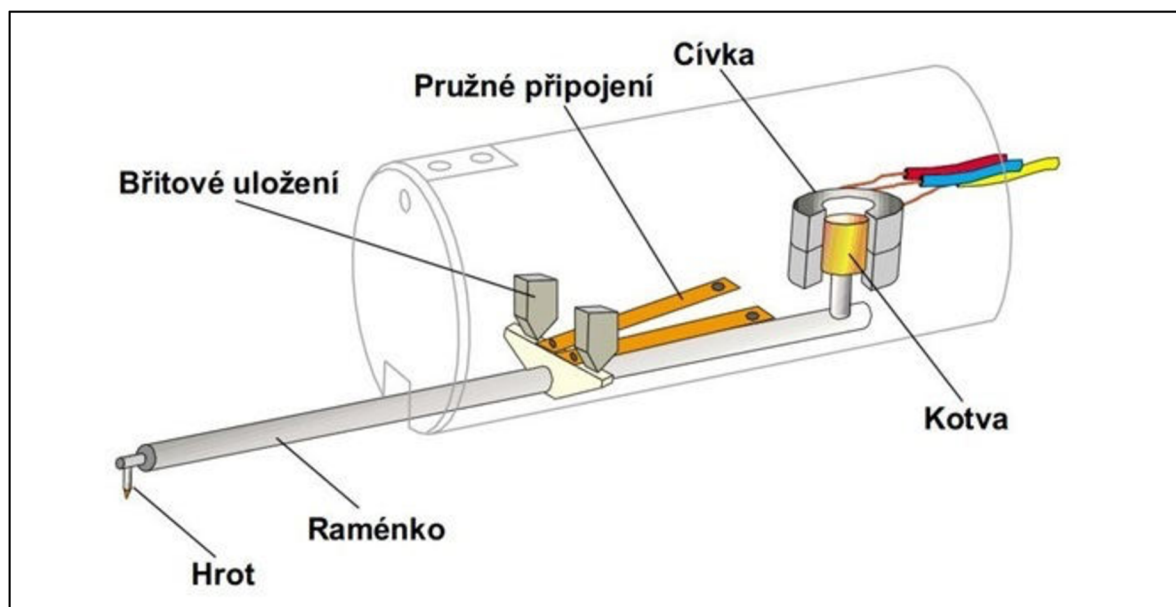
Snímací rameno – v němž je usazen snímací hrot, rameno zaručuje pohyb konstantní rychlosti a snímací hrot kopíruje nerovnosti povrchu.

Elektromotor – zajišťuje přímočarý (vratný) pohyb hrotu. [12] [16] [22]

b) Elektronická část

Mechanický signál generovaný snímacím hrotem převádí signál na elektrický, a ten se zpracovává a převádí na požadované hodnoty příslušnému parametru drsnosti nebo může vytvářet grafický záznam nerovností povrchu.

Měřicí hrot zaznamenává svým pohybem určitý profil, jenž nezobrazuje přesně profil reálného povrchu. Můžeme říci, že se jedná o ekvidistantní křivku ve vzdálenosti poloměru zaoblení snímacího hrotu od snímaného profilu. To způsobuje z velké části zaoblení špičky snímacího hrotu. Tuto chybu, respektive její vliv upravujeme pomocí daných korekcí. [12] [16] [22]



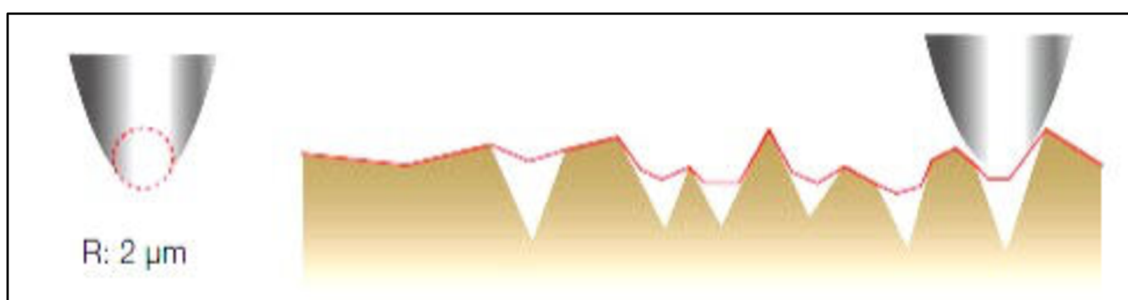
Obr.2.2 Schéma indukčního snímače [11]

Výhody dotkových metod:

- není potřeba dokonale lesklý povrch, diamantový hrot dokáže odsouvat nečistoty (olejové skvrny),
- vysoká přesnost, jednoduchost,
- přímé měření parametrů struktury povrchu,
- velká rozlišovací schopnost,
- vhodné pro kalibraci výsledků z nepřímých metod,

Nevýhody dotkových metod:

- možnost znehodnocení kontrolovaného povrchu,
- nemožnost měřit mikronerovnost – omezení rádiem špičky diamantového hrotu,
- možnost přichycení snímacího hrotu k měřenému adheznímu povrchu a následné poškození hrotu,
- omezený pohyb hrotu po měřeném povrchu,
- nutnost měnit hroty.

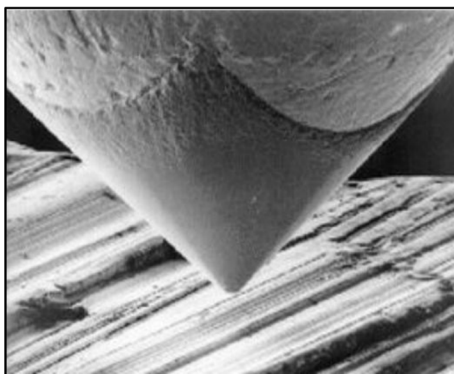


Obr.2.3 Snímací hrot – omezení rádiem špičky [30]

Měřicí hroty

Pro měření drsnosti se měřicí hroty vyrábí z diamantů pro jeho tvrdost. K dosažení co nejlepšího kontaktu měřicího hrotu s povrchem materiálu je určení neoptimálnějšího geometrického hrotu. Tuto schopnost ovlivníme volbou poměru kulového zakončení hrotu s jeho vrcholovým úhlem. Další faktor, který ovlivňuje kvalitu kontaktu hrotu s povrchem je velikost síly, kterou se hrot přitlačuje k povrchu. Pro sjednocení metodiky byla vydána norma ČSN EN 3274 ve které se jako neoptimálnější tvar hrotu předepisuje kužel hrot s kulovou špičkou. [1]

Jmenovitý poloměr zaoblení špičky může mít hodnotu 2–5 a 10 μm s vrcholovým úhlem kužele 60° nebo 90°. [1]



Obr.2.4 Diamantový hrot [11]

2.2 Bezdotykové měření

Prostorové měření a hodnocení povrchu nám přináší cenné a praktické využití informací o charakteristice povrchu a jeho funkčních vlastnostech. K lepšímu hodnocení textury povrchu, nám přispívá vývoj měřicí techniky a programového zabezpečení celého procesu. Pokrokové měřicí přístroje uplatňují ve větší míře bezdotykové způsoby snímání povrchu, a to především optické. Tyto přístroje využívají přesnější a výkonnější pohybové i náhonové uzly. Výsledkem je, že povrch je snímán výrazně rychleji v porovnání s klasickými metodami.

Měření a zpracování podstatně většího počtu dat, které popisují prostorový profil povrchu, získají velké množství informací pro skutečnou reálnou kontrolu povrchu.

Prostorová analýza povrchu vzniká pomocí grafického zobrazení, a to formou axometrického pohledu, topografické mapy, nebo záznamu rozdělení souřadnic. Charakteristika povrchu například velikost, tvar a rozložení výstupku a prohloubení profilu zvyšuje kvalitu hodnocení povrchu, a také využití pro výrobu vlastností funkčního zatížení povrchu. Díky rozšířeným možnostem, lze posoudit funkční vlastnosti povrchu jako například průběh opotřebení, tření, mazání nebo těsnění.

Výhodou dat získaných použitím bezdotykovým přístrojem probíhá opačně, než u přístrojů dotykových. V první fázi se provádí rekonstrukce dané plochy na jejím základě se vyhodnocuje daná textura povrchu.

Z těchto dat odvozujeme i profilové parametry a to definicí žádaného profilu napříč touto plochou. [14] [24]

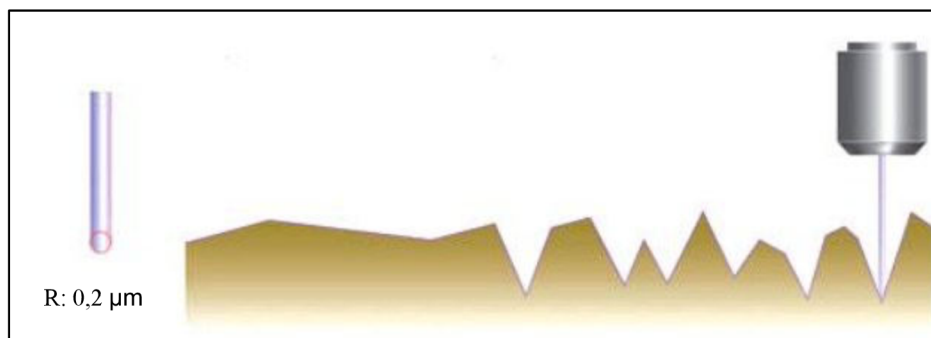
Dotyková metoda pracuje zásadně na základě metody profilové, což je pravý opak, protože se skládaná plocha tvoří na základě profilů a né že jsou profily z dané plochy tvarovány jako v bezkontaktní metodě. [14] [24]

V dnešní době se mezi nejpoužívanější bezkontaktní metody hodnocení povrchu řadí:

- Optická interferometrie (dvousvazkové či vícesvazkové, pomocí monochromatického nebo polychromatického optického zařízení),
- Mikroskopické metody (skenovací mikroskopie, holografická mikroskopie, skenovací optická mikroskopie blízkého pole),
- Optické rozptylové metody (založené na měření intenzity rozptýleného světla po odrazu na měřeném povrchu – používané zejména v praxi),
- Elektronová mikroskopie (SEM – Scanning Electron Microscopy, TEM – Transmission Electron Microscopy),
- Senzory (na bázi konfokálního principu při měření s polychromatickým zdrojem záření).

Výhody bezdotykových metod:

- vysoká rychlost snímání (obousměrné),
- nedestruktivnost kontrolovaného povrchu,
- možnost měřit mikronerovnost (nejsou omezeny rádiem špičky jako dotykové metody),
- lze měřit měkké, adhezní materiály,
- nedochází k opotřebení měřidla,
- opakovatelnost měření a okamžitost výsledků.



Obr.2.5 Měření mikronerovností pomocí laseru [30]

Nevýhody bezdotykových metod:

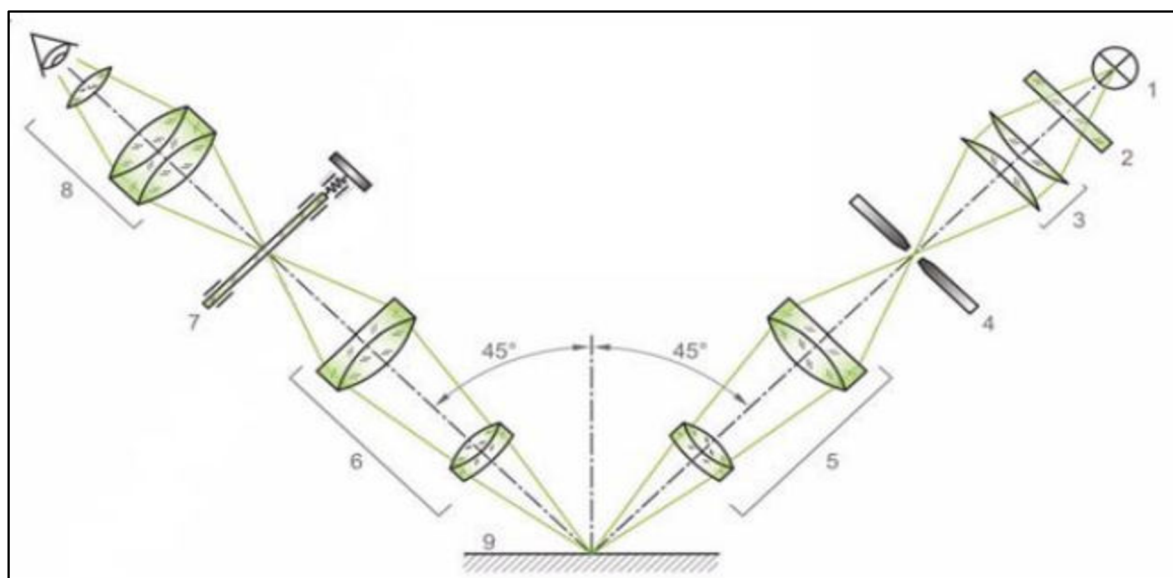
- možnost ztráty dat (paprsek se neodrazí zpět do detektoru správně),
- nutnost důkladného očištění kontrolovaného povrchu,
- odrazivost od měřeného povrchu (černé těleso, stříbrné těleso),
- výsledek měření ovlivněn okolním prostředím (světlo, vibrace),
- složitější interpretace výsledků,
- měření parametrů struktury povrchu je nepřímé.

U bezdotykových měřících přístrojů funguje opačný postup zpracování dat než u dotykových měřících přístrojů, tzn., že nejprve se provede rekonstrukce snímané plochy, poté jsou po aplikaci filtračních metod vyhodnocovány požadované parametry struktury povrchu.

Mnohé studie potvrdili význam bezdotykových měřících přístrojů pro metrologii. Důležitost plošných metod měření nebo upřednostnění bezkontaktních metod například z důvodu křehkosti měřeného prvku, nutnosti objemového měření nebo nestabilního povrchu odlitku.

Metoda světelného řezu

Tato metoda využívá svazku rovnoběžných paprsků, které jsou usměrněny tenkou mezerou (štěrbinou) do tvaru tenké roviny. Paprsky světla dopadají na měřený povrch pod úhlem 45° přes stanovený optický systém čoček. [24]



Obr.2.6 Optická schéma mikroskopu pro světelný řez [24]

- 1 – Osvětlovací těleso, 2 – Barevný filtr, 3 – Kondenzor, 4 – Štěrbina,
- 5 – Osvětlovací objektiv, 6 – Pozorovací objektiv, 7 – Posuvná destička se značkou,
- 8 – Čočka, 9 – Měřená plocha.

Metoda laserovou profilometrií

Laserová profilometrie využívá tak zvaného triangulačního principu. To znamená, že tenký laserový paprsek je promítán na měřený objekt. Obraz laserového paprsku na měřeném objektu se snímá pod stanoveným úhlem CCD kamerou. Snímáním laserového paprsku nám vzniká obrázek, ze kterého vyhodnocujeme profil objektu v průřezu daným laserovým paprskem.

Touto metodou můžeme měřit různé povrchy, např.: plast, gumu, dřevo, keramiku, kámen, kovy. Velmi důležité je zvážit a zhodnotit možnosti laserového profilometru při konkrétní

aplikaci u lesklých povrchů. Tuto metodu lze aplikovat při měření vytlačovaných profilů, profilu pneumatik, kontrole tvaru výlisku, měření objemu kulatiny. [24] [26]

Základní konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskop se řadí mezi mikroskopy s velmi vysokým rozlišením a velmi dobrou kvalitou kontrastu. Podstatou konfokální mikroskopie je, že ze světelného zdroje vychází paprsek světla, který prochází clonou s dírkou. Při procesu měření se světelný paprsek zaostřuje na určitý bod a velikost rozlišovací mezery. Zapotřebí je ještě jedna clona, která se nachází před fotodetektořem. V momentě, kdy paprsek prochází touto clonou, je schopna odfiltrovat odražené světlo, které má místo původu mimo zaostřený bod. To zajišťuje úplně přesné informace, které se týkají struktury povrchu daného bodu.

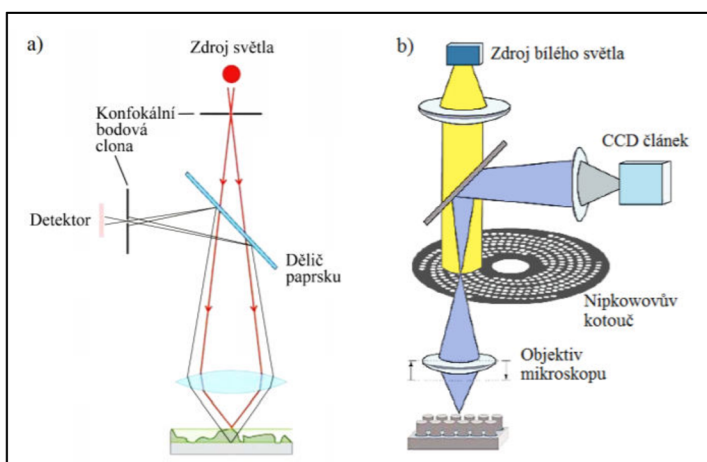
Záření vytvářející takto vysoké rozlišení může posloužit mimo jiné jako povrchový výškový snímač textury povrchu měřicího přístroje.

Pokud je paprsek soustředěn na povrchu, bude pohybem čočky objektivu podél vertikální osy maximální signál. Toto je možné použít k detekci povrchové výšky na základě analýzy detekovaného signálu. [22]

Důležité je zmínit, že konfokální mikroskopy lze rozdělit na dva druhy, a to na konfokální mikroskop laserový řádkovací a na konfokální mikroskop s rotujícím diskem.

Laserový řádkovací konfokální mikroskop využívá laserový paprsek jako zdroj světla. Mikroskop snímá plochu bod po bodu. Ke snímání plochy dochází proto pomalu. Pohybovat se musí buďto paprsek světla nebo vzorek samotný. Výhodou tohoto typu je energie, která je schopna se nasměřovat pouze do jediného bodu.

Jako zdrojem světla využívá konfokální mikroskop s rotujícím diskem bílé světlo. Místo clon používá Nipkowův kotouč. Tento kotouč tvoří spirála z otvorů. Tento typ je velmi využíván při vytváření 3D obrazů povrchu, především kvůli rychlosti vytváření snímků. Mikroskop je schopen vytvořit až sto snímků za vteřinu. [21]



Obr. 2.7 Nákres konfokálního mikroskopu [20]

a) laserový řádkovací konfokální mikroskop, [20]

b) konfokální mikroskop s rotujícím diskem. [20]

3 METODIKA

Metodika měření je část práce, která pojednává o přípravě vzorků, jejich obrobení a popisu měření potřebných veličin pro zpracování hodnot podle cíle bakalářské práce. Materiály byly zkoumány v oblasti z hlediska drsnosti povrchu.

Zadáním práce bylo změřit a porovnat 7 různých materiálů, viz tabulka 3.1, ve které bylo obrábění realizováno při různých podmínkách. Zhotovené vzorky byly měřeny na dvou měřicích přístrojích. Měřicí přístroje potřebné ke zjištění hodnot drsnosti povrchu jsou majetkem katedry obrábění a montáže na Technické univerzitě v Liberci. Stroje a nástroje vhodné pro obrobení požadovaných povrchu jsou majetkem strojní firmy Prodeco a.s. Bílina.

3.1 Zhotovení vzorků

Pro zhotovení vzorků byly použité technologie obrábění a to frézování, soustružení, broušení. K získání širokého spektra hodnot z měření drsnosti byly vyrobeny vzorky z plastu kompozitu a oceli. Každý vzorek dostal pro nezaměnitelnost naměřených hodnot své označení. Označení vzorku dle příslušné obráběcí operace. Pro frézování FVZ1, FVZ2 a FVZX., pro soustružení SVZ1, SVZ2 a SVZX, pro broušení BVZ1, BVZ2 a BVZX.

Tab. 3.1 Použité materiály

Použité materiály	
Číslo vzorku	Název
1	Polyamid (Silon) PA 6
2	Polyoxymetylen POM C
3	PE 1000 recyklovaný
4	Čistá epoxidová pryskyřice
5	Uhlíkové vlákno ve formě tkaniny
6	Uhlíkové vlákno ve formě pramenu
7	Ocel S355J2

3.2 Testovací materiál a jeho charakteristika

3.2.1 Charakteristika oceli S355 dle EN 10025-2

Ocel S355 je nejběžněji používaná konstrukční ocel, která je klasifikována dle normy EN 10025-2. Je jemnozrnná jakostní ocel s chemickým složením a mechanickými vlastnostmi podobající se oceli ČSN 11 523.

Tyto materiály se používají pro staticky nebo dynamicky namáhané, svařované konstrukce a strojní součásti, u kterých je kladen nárok na vyšší mez kluzu. Vyrábějí se z nich např. plechy, tyče, trubky, dráty. Ty se pak používají na výrobu součástí strojů, automobilů, pro mostní konstrukce, ohýbané profily nebo tlakové nádoby. Ocel S355 se dodává v jakostních stupních, například JR, J0, J2, K2. [14] [15]

Zaručená svařitelnost platí do maximálního obsahu uhlíku 0,22 %. Norma uvádí pro každou značku obsah doprovodných prvků a mechanické vlastnosti (Tab. 3.2)

Tab. 3.2 Přehled chemického složení a mechanických vlastností oceli S355

Nelegované konstrukční oceli podle normy ČSN EN 10025-2										
Značka	R_e [MPa]	R_m [MPa]	KV [kJ]	Teplota při KV [°C]	C v % max.	Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
S355J2	355	470-630	27	-20	0,22	1,6	0,55	0,030	0,030	-

Vysvětlivky: S-konstrukční oceli, JR-zkouška vrubové houževnatosti při 20°C, J0 - zkouška vrubové houževnatosti při 0°C, J2 - zkouška vrubové houževnatosti při -20°C, K2 - zkouška vrubové houževnatosti při -20°C, KV - nárazová práce

3.2.2 Charakteristika Polyamidu PA 6 – vytlačovaný polyamid

Univerzální plast pro konstrukci a údržbu strojů. Je vhodný zvláště pro výrobu konstrukčních a kluzkých prvků, které jsou vystaveny silným dynamickým zatížením a mají jednoduché profily. Vytlačovaný polyamid se dá univerzálně použít v náročných aplikacích v případě, že nejsou stanoveny velmi těsné rozměrové tolerance. [27]

Vlastnosti:

- dlouhodobé pracovní teploty -40 až 85 °C
- vysoká pevnost v tahu
- velmi vysoké protažení při protržení
- vysoká rázová houževnatost
- největší pohlcování vlhkosti ze všech polyamidů (až 3 %)

- nejnižší elektrický odpor ze všech polyamidů
- výborné tlumení hluku a vibrací
- výborné kluzné vlastnosti [27]

3.2.3 Charakteristika Polyoxymetylen POM C

Polyoxymetylen kopolymer (Sustarin C) je mnohostranně použitelný technický plast s vysokou pevností a tvarovou stálostí. Má nízké adhezní síly, a proto má dobré kluzné vlastnosti.

POM C je díky své vynikající třískové obrobiteľnosti s tvořením krátkých třísek nejoblíbenějším materiálem pro výrobu tvarově a rozměrově stálých konstrukčních a kluzných součástí. [28]

Vlastnosti:

- dlouhodobé pracovní teploty -40 až 100 °C
- vysoká pevnost a tuhost
- velmi dobré kluzné vlastnosti
- dobré elektro-izolační vlastnosti
- vysoká rázová houževnatost
- nízké pohlcování vlhkosti
- dobrá rozměrová stálost
- vyšší odolnost vůči hydrolyze ve srovnání s POM H
- vysoká odolnost vůči rozpouštědlům
- vysoká odolnost proti vzniku napěťových trhlin [28]

3.2.4 Charakteristika PE 1000 recyklovaný

PE-UHMW s přídavkem recyklované suroviny (Polystone MR, PROlen 3000 RCM) je levnější alternativou PE 1000 využívanou zejména v obecném strojírenství, těžební a poháněcí technice, obalovém a nápojovém průmyslu a manipulační technice. PE 1000 recyklát dosahuje molekulární hmotnosti ~ 3,0 - 4,0 mil. g/mol a je dostupný v podobě lisovaných desek. [29]

Vlastnosti:

- vysoká odolnost proti opotřebení
- dobré kluzné vlastnosti
- dobré tlumení hluku
- vysoká houževnatost při úderu i při nízkých teplotách [29]

3.2.5 Čistá epoxidová pryskyřice

Příprava vzorků čisté pryskyřice probíhala volbou vhodného druhu tohoto materiálu, dále odlitím do forem, vytvrzením a poté konečnou rozměrovou úpravou jednotlivých vzorků.

3.2.6 Uhlíkové vlákno tkanina

Epoxidová pryskyřice s uhlíkovými vlákny ve formě tkaniny, byla vyrobena tak, že vrstvy tkaniny byly v separované formě kladeny na sebe a prosycovány epoxidovou pryskyřicí s tvrdidlem. Při přípravě vzorků bylo dbáno na to, aby pryskyřice obalila uhlíková vlákna a vytvořila požadované mezifázové rozhraní.

3.2.6 Uhlíkové vlákno prameny

Epoxidová pryskyřice s uhlíkovými vlákny ve formě pramenů, nastříhané prameny na stejné rozměry byli nakladeny do formy a poté zality epoxidovou pryskyřicí, následně zalité vzorky byli vytvrzeni a poté upraveny na dané rozměry.

3.3 Strojní součásti

Vzorky, které byly vyrobeny na Technické univerzitě v Liberci.

Tab. 3.3 Stroje a nástroje použité při obrábění

Technologie	Stroj	Nástroj
Frézování	DOOSAN MYXN G600/50	Fréza \varnothing 50 mm, 5 VBD
Soustružení	SU50	soustružnický nůž s VBD-SK
Broušení	BPH 320 A	kotouč RN

3.4 Řezné podmínky

Z následujících tabulek je patrné, že každý vzorek byl zhotoven za různých řezných podmínek a tyto řezné podmínky jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 3.4 Řezné podmínky při frézování

Frézování					
Materiál	Otáčky n1 [ot / min]	Otáčky n2 [ot / min]	Otáčky n3 [ot / min]	Otáčky n4 [ot / min]	Otáčky n5 [ot / min]
Ocel	3000	2500	2000	1500	1000
Plast	3000	2500	2000	1500	1000
Kompozit	3000	2500	2000	1500	1000
Posuv f [mm/min]	120 mm/min				
Přísuv a_p [mm]	1 mm				

Tab. 3.5 Řezné podmínky při soustružení

Soustružení					
Materiál	Otáčky n1 [ot / min]	Otáčky n2 [ot / min]	Otáčky n3 [ot / min]	Otáčky n4 [ot / min]	Otáčky n5 [ot / min]
Ocel	3000	2500	2000	1500	1000
Plast	3000	2500	2000	1500	1000
Kompozit	3000	2500	2000	1500	1000
Posuv f [mm/min]	0,2 mm / ot				
Přísuv a_p [mm]	1 mm				

Tab. 3.6 Řezné podmínky při broušení

Broušení					
Materiál	Otáčky n1 [ot / min]	Otáčky n2 [ot / min]	Otáčky n3 [ot / min]	Otáčky n4 [ot / min]	Otáčky n5 [ot / min]
Ocel	3000	2500	2000	1500	1000
Plast	3000	2500	2000	1500	1000
Kompozit	3000	2500	2000	1500	1000
Posuv f [mm/min]	15,5 m / min				
Přísuv a_p [mm]	0,02 mm				

3.5 Použité měřicí přístroje

K získání požadovaných hodnot byla zvolena dotyková a následně bezdotyková metoda.

K dotykovému měření povrchu vzorku byl použit měřicí přístroj viz obr. 4.1 Profilometr Mitutoyo SV-2000 N2.



Obr. 3.1 Profilometr Mitutoyo SV-2000 N2

Tab. 3.7 Údaje o měřidle Mitutoyo SV-2000 N2

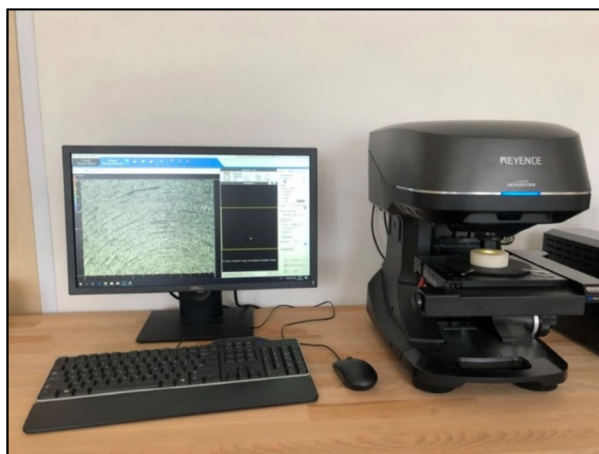
Údaje o měřidle Mitutoyo SV-2000 N2	
Typ	Surftest SV-2000 N2
Výrobce	Mitutoyo
Snímač	12AAB404

Tab. 3.8 Pracovní hodnoty měřením a parametry

Pracovní hodnoty měřením a parametry	
Měřená dráha	5.6 mm
Rychlost	0.5 mm/s
λ_s (Cut Off)	0.80 mm
Poloměr hrotu	5 μm
Použitý hrot	Diamantový

Získaná data z měření byla zpracována v profesionálním softwaru Surfpack. Tento přístroj využívá snímací hrot s poloměrem zaoblení 5 μm . Při čemž profil se zkoumal ve směru kolmém na směr posuvu obrábění. Software Surfpack je schopen měřit 26 parametrů drsnosti, které odpovídají normám ISO, DIN, ANSI a JIS.

Bezkontaktní měření vzorku bylo realizováno na přístroji VK-X 1000 od výrobce firmy KYENCE – viz obr.4.2 Mikroskop Keyence VK-X1000.



Obr.3.2 Mikroskop Keyence VK-X1000

Naměřené data se následně analyzovala za použití softwaru A1 – ANALYZER, který je součástí měřicího přístroje.

Tab. 3.9 Údaje o měřidle Keyence VK-X1000

Údaje o měřidle Keyence VK-X1000	
Typ	VK – X1000
Výrobce	KEYENCE
Objektiv	50x

3.6 Měřené parametry

Zjišťovanými a vyhodnocenými parametry bylo:

- Střední aritmetická úchylka R_a [μm]
- Největší výška profilu R_z [μm]
- Nosný podíl R_{mc} [%]

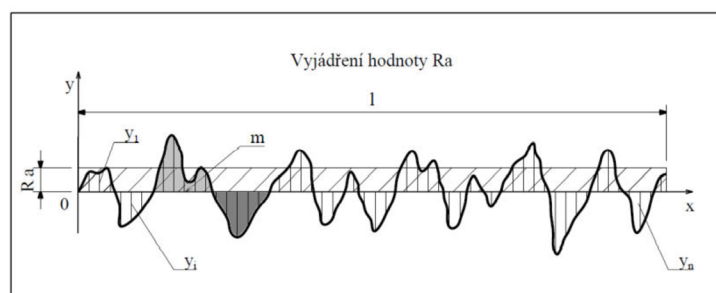
3.6.1 Parametr R_a

Parametr je střední aritmetická úchylka drsnosti. Parametr je nejčastější hodnota drsnosti povrchu. Jedná se o střední aritmetickou hodnotu absolutních odchylek profilu v rozsahu základní délky. Vyhodnocení parametru drsnosti střední aritmetické odchylky hodnoceného profilu-je integrační veličina, tato hodnota se často zaměřuje s všeobecnými pojmy drsnosti. [14] [16] [24]

Odčítáním na střední čáře m dostaneme úsečku profilu x , $y(x)$ je funkce, která popisuje profil povrchu od střední čáry m , jsou souřadnice libovolného počtu bodů profilu v hranicích základní délky ($i=1, 2, \dots, n$), l je rozměr úsečky, po které stanovujeme mikrogeometrii povrchu, n je množství bodu profilu na úsečce l . [14] [16] [24]

Vzorec pro výpočet střední aritmetické úchylky profilu:

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (3.1)$$



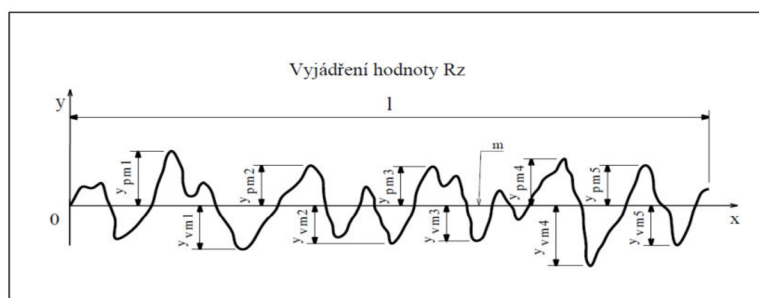
Obr. 3.3 Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti R_a [24]

3.6.2 Parametr Rz

Parametr Rz je parametr výšky profilu. Tento parametr je velmi rozšířený. Parametr R_z je definován součtem výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. Orientačně můžeme tuto hodnotu spočítat jako čtyřnásobek parametru Ra. [14] [16] [24]

Vzorec pro výpočet parametru výšky profilu:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5} \quad (3.2)$$



Obr. 3.4 Největší výška profilu Rz [24]

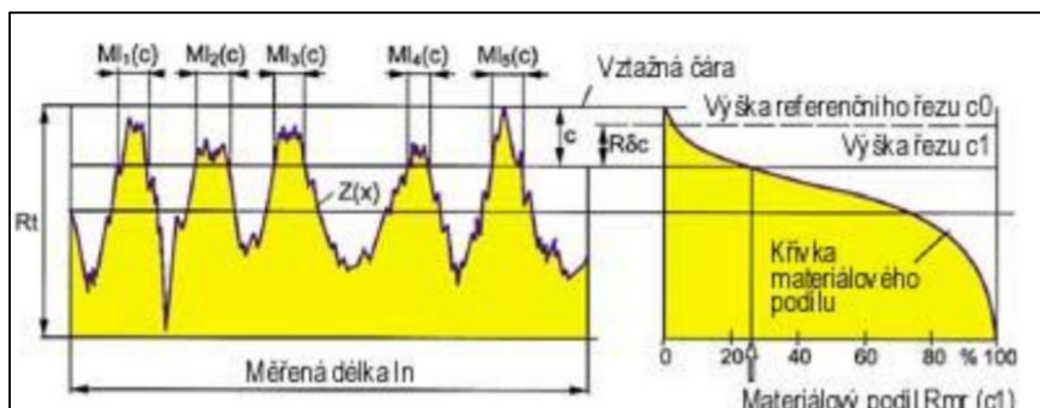
3.6.3 Materiálový podíl profilu (nosný podíl) $R_{mr(c)}$, WS_m , PS_m

Jedná se o poměr délky materiálu elementu profilu $M_{l(c)}$ na stanovené úrovni c, stažené k vyhodnocené délce.

K výpočtu se používá vzorec:

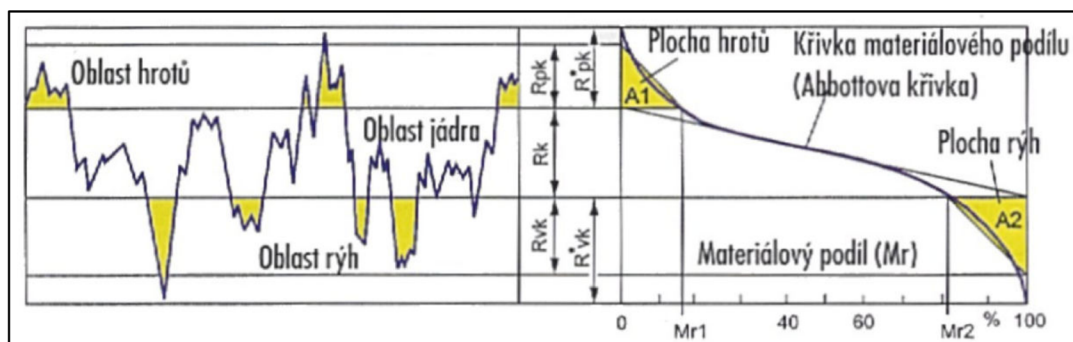
$$R_{mr(c)} = \frac{M_{l(c)}}{L_n} \quad (3.3)$$

Je vhodné měřit nosný podíl k výšce referenčního řezu, značeného jako c_0 , a to v jedné výšce. Vztažná čára a jejich možný posun směrem do profilu k definovaného materiálového podílu stanovující výšky definičního řezu c_0 . [14] [25]



Obr. 3.5 Materiálový poměr profilu [25]

Křivka materiálového poměru se v odborné literatuře nazývá jako Abbottova křivka a představuje nám materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovní viz obrázek.



Obr. 3.6 Abbottova křivka [25]

Danou strukturu profilu povrchu nám znázorňuje vytvořená Abbotova křivka. Z jejího průběhu můžeme odvodit chování profilu povrchu jako například záběh hnací hřídele, opotřebení ložné plochy nebo stav povrchu vodících pouzder. Povrch s malým profilem prohlubní lze klasifikovat jako ten s velmi dobrými vlastnosti proti opotřebení. Na druhou stranu strmě klesající křivka vypovídá o přítomnosti velkých prohlubní v povrchu. To ukazuje na nepříznivý stav opotřebení. [14] [25]

Volba míst pro měření byla na čelních plochách vzorku. Měření hodnot se provedlo kolmo na směr obrábění.

3.7 Podmínky měření

Dotyková metoda – přístroj SurfTest SV – 2000 N2.

Okolní teplota v laboratoři $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Bezdotykové měření přístrojem VK – X1000. Okolní teplota v laboratoři $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

3.7.1 Příprava vzorků před měřením

Aby nedocházelo ke zkreslení naměřených hodnot byli vzorky ošetřeny (umyty) pomocí vaty a lékařského benzínu a vloženy na stolek měřícího přístroje.

Při manipulaci se vzorky a nástroji byly použity gumové rukavice s cílem, aby nedošlo k přímému kontaktu vzorku s povrchem ruky tedy jeho kontaminaci.

3.8 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

Tato část práce shrnuje informace o naměřených hodnotách. Dá se z ní vyčíst průměrná aritmetická úchylnka, celková výška profilu a také materiálový nosní podíl.

Pro odlišení naměřených údajů v tabulkách byly použité rozdílné barvy. Nejvyšší naměřené hodnoty červeně, nejnižší hodnoty žlutě.

4.1 Plast

4.1.1 Frézování silonu – PA 6

Soubory naměřených hodnot parametrů drsnosti povrchu zkoumaných vzorků. Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.1 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.1 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,377 μm metodou optickou u vzorku FVZ5.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,200 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ1.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 8,817 μm metodou optickou u vzorku FVZ5.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 7,135 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ1.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 74,869 % metodou optickou u vzorku FVZ2.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 59,021 % metodou dotykové u vzorku FVZ4.

Tab. 4.1 Parametry drsnosti povrchu frézovaného plastu-Silon PA

Polyamid (Silon – PA 6)							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ1	1,200 $\pm 0,047$	7,135 $\pm 0,279$	59,594 $\pm 7,420$	FVZ1	1,245 $\pm 0,035$	7,830 $\pm 0,417$	64,322 $\pm 6,677$
FVZ2	1,229 $\pm 0,045$	7,439 $\pm 0,293$	64,217 $\pm 12,253$	FVZ2	1,270 $\pm 0,370$	8,076 $\pm 0,574$	74,869 $\pm 6,237$
FVZ3	1,235 $\pm 0,041$	7,740 $\pm 0,379$	60,399 $\pm 7,209$	FVZ3	1,315 $\pm 0,046$	8,281 $\pm 0,443$	65,832 $\pm 6,431$
FVZ4	1,287 $\pm 0,069$	7,892 $\pm 0,496$	59,021 $\pm 9,911$	FVZ4	1,316 $\pm 0,343$	8,173 $\pm 0,905$	59,085 $\pm 6,504$
FVZ5	1,330 $\pm 0,048$	8,178 $\pm 0,518$	59,915 $\pm 11,376$	FVZ5	1,377 $\pm 0,030$	8,817 $\pm 0,527$	59,262 $\pm 7,202$

4.1.2 Soustružení silonu – PA 6

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.2 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.2 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,502 μm metodou optickou u vzorku SVZ5.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,333 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ1.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 13,396 μm metodou optickou u vzorku SVZ5.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 12,316 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ2.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 64,668 % metodou optickou u vzorku SVZ5.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 58,607 % metodou dotykové u vzorku SVZ1.

Tab. 4.2 Parametry drsnosti povrchu soustruženého plastu-Silon PA

Polyamid (Silon – PA 6)							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ1	2,333 $\pm 0,034$	12,331 $\pm 0,344$	58,607 $\pm 2,838$	SVZ1	2,411 $\pm 0,062$	12,766 $\pm 0,276$	60,556 $\pm 2,958$
SVZ2	2,367 $\pm 0,041$	12,316 $\pm 0,332$	61,265 $\pm 2,131$	SVZ2	2,446 $\pm 0,057$	12,979 $\pm 0,215$	63,714 $\pm 1,353$
SVZ3	2,385 $\pm 0,055$	13,017 $\pm 0,281$	59,765 $\pm 3,001$	SVZ3	2,428 $\pm 0,041$	13,352 $\pm 0,291$	61,350 $\pm 2,846$
SVZ4	2,401 $\pm 0,062$	12,782 $\pm 0,516$	60,854 $\pm 2,751$	SVZ4	2,462 $\pm 0,039$	13,172 $\pm 0,415$	62,203 $\pm 2,734$
SVZ5	2,428 $\pm 0,024$	12,897 $\pm 0,388$	63,019 $\pm 2,715$	SVZ5	2,502 $\pm 0,084$	13,396 $\pm 0,387$	64,668 $\pm 2,861$

4.1.3 Broušení silonu – PA 6

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.3 jsou hodnoty průměrné.

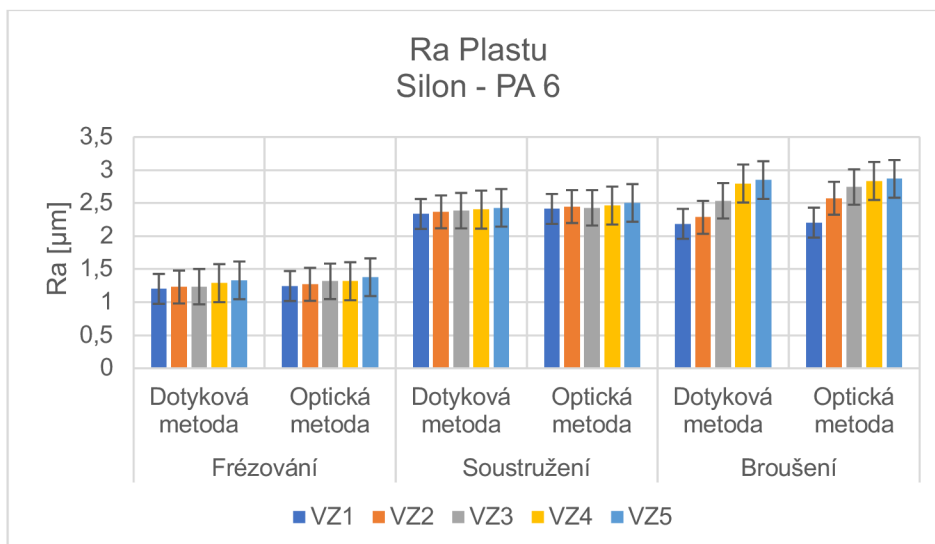
Porovnání hodnot v tabulce 4.3 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,865 μm metodou optickou u vzorku BVZ5.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,185 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ1.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 22,785 μm metodou optickou u vzorku BVZ5.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 19,243 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ1.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 60,702 % metodou dotykovou u vzorku BVZ5.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 51,904 % metodou dotykové u vzorku BVZ1.

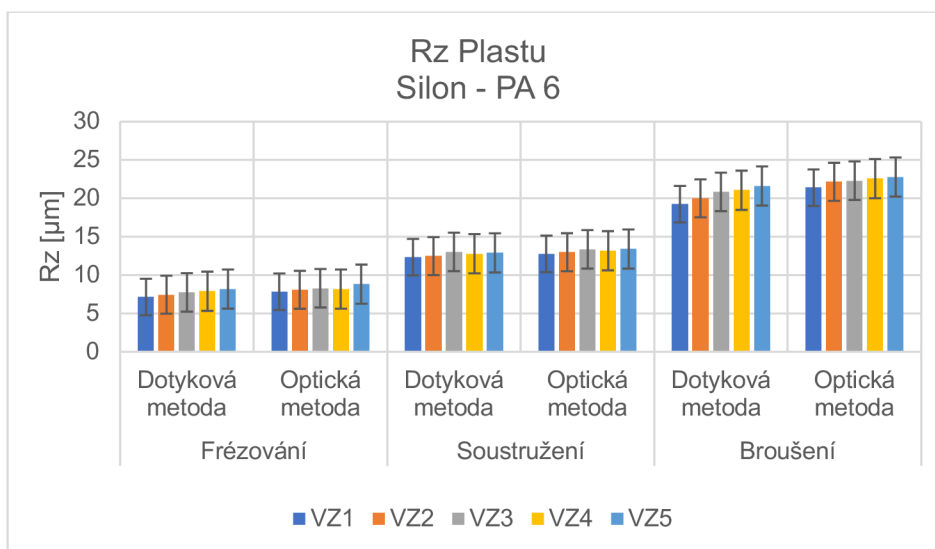
Tab. 4.3 Parametry drsnosti povrchu broušeného plastu-Silon PA

Polyamid (Silon – PA 6)							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ1	2,185 $\pm 0,042$	19,243 $\pm 1,401$	51,904 $\pm 5,142$	BVZ1	2,203 $\pm 0,094$	21,394 $\pm 0,414$	52,553 $\pm 6,980$
BVZ2	2,283 $\pm 0,079$	20,004 $\pm 0,407$	56,721 $\pm 5,288$	BVZ2	2,573 $\pm 0,320$	22,159 $\pm 0,852$	56,770 $\pm 5,624$
BVZ3	2,534 $\pm 0,295$	20,847 $\pm 0,904$	59,777 $\pm 5,874$	BVZ3	2,742 $\pm 0,409$	22,305 $\pm 0,992$	58,426 $\pm 5,297$
BVZ4	2,795 $\pm 0,399$	21,059 $\pm 0,928$	59,453 $\pm 2,572$	BVZ4	2,834 $\pm 0,268$	22,570 $\pm 0,756$	60,702 $\pm 2,770$
BVZ5	2,847 $\pm 0,413$	21,622 $\pm 1,161$	58,307 $\pm 5,767$	BVZ5	2,865 $\pm 0,364$	22,785 $\pm 0,909$	58,956 $\pm 5,721$

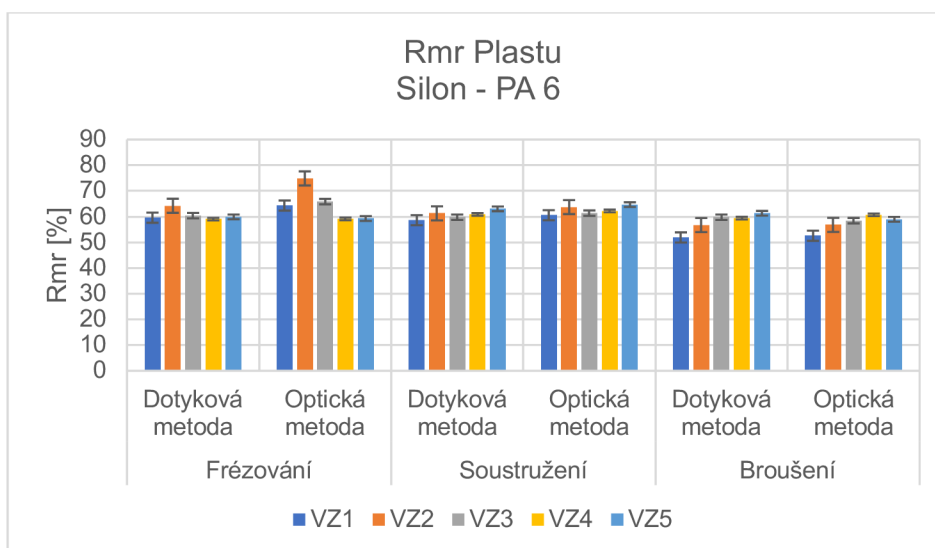
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.1–4.3 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro plast silon – PA 6.



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 Rmr

4.1.4 Frézování Polyacetalu (POM)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.4 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.4 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,721 μm metodou optickou u vzorku FVZ9.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,519 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ7.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 9,672 μm metodou optickou u vzorku FVZ10.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 9,028 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ9.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 44,191 % metodou optickou u vzorku FVZ9.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 33,063 % metodou dotykové u vzorku FVZ6.

Tab. 4.4 Parametry drsnosti povrchu frézovaného plastu-Polyacetalu POM

Polyacetal (POM)							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ6	1,525 ±0,042	9,077 ±0,296	33,063 ±5,396	FVZ6	1,557 ±0,070	8,771 ±0,300	28,583 ±4,907
FVZ7	1,519 ±0,054	9,197 ±0,312	36,842 ±4,782	FVZ7	1,583 ±0,051	8,839 ±0,315	34,860 ±4,725
FVZ8	1,569 ±0,078	9,348 ±0,364	37,849 ±4,266	FVZ8	1,637 ±0,043	9,348 ±41,120	40,063 ±4,528
FVZ9	1,599 ±0,040	9,028 ±0,324	42,659 ±4,822	FVZ9	1,721 ±0,059	9,389 ±0,289	44,191 ±7,007
FVZ10	1,609 ±0,063	9,698 ±0,435	45,627 ±4,528	FVZ10	1,698 ±0,056	9,672 ±0,292	39,159 ±4,822

4.1.5 Soustružení Polyacetalu (POM)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.5 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.5 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,771 μm metodou optickou u vzorku SVZ10.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,311 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ9.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 17,460 μm metodou optickou u vzorku SVZ8.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 15,233 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ6.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 69,181 % metodou optickou u vzorku SVZ9.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 59,112 % metodou dotykové u vzorku SVZ7.

Tab. 4.5 Parametry drsnosti povrchu soustruženého plastu-Polyacetalu POM

Polyacetal (POM)							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ6	2,348 $\pm 0,042$	15,233 $\pm 0,300$	62,770 $\pm 5,142$	SVZ6	2,566 $\pm 0,094$	16,920 $\pm 0,414$	63,419 $\pm 6,980$
SVZ7	2,359 $\pm 0,040$	15,359 $\pm 0,337$	59,112 $\pm 4,900$	SVZ7	2,538 $\pm 0,109$	14,936 $\pm 0,525$	61,561 $\pm 4,987$
SVZ8	2,368 $\pm 0,063$	15,453 $\pm 0,700$	63,760 $\pm 3,617$	SVZ8	2,629 $\pm 0,091$	17,460 $\pm 0,401$	61,309 $\pm 6,104$
SVZ9	2,311 $\pm 0,052$	15,357 $\pm 0,405$	57,232 $\pm 5,172$	SVZ9	2,665 $\pm 0,101$	17,084 $\pm 0,525$	69,181 $\pm 5,290$
SVZ10	2,422 $\pm 0,050$	15,739 $\pm 0,529$	64,480 $\pm 4,555$	SVZ10	2,771 $\pm 0,104$	17,329 $\pm 0,804$	60,629 $\pm 5,390$

4.1.6 Broušení Polyacetalu (POM)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.6 jsou hodnoty průměrné.

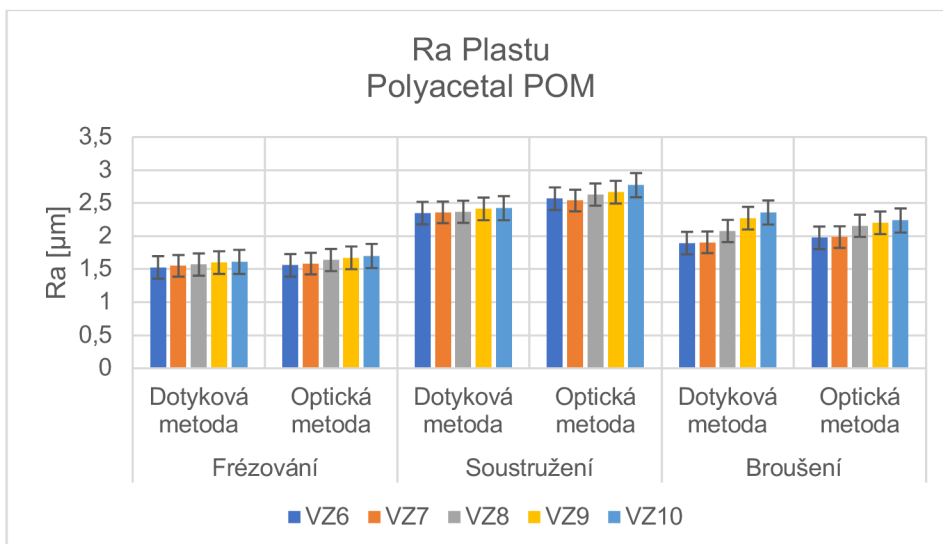
Porovnání hodnot v tabulce 4.6 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,356 μm metodou optickou u vzorku BVZ8.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,777 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ8.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 17,302 μm metodou optickou u vzorku BVZ10.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 15,844 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ9.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 61,093 % metodou optickou u vzorku BVZ9.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 53,189 % metodou dotykovou u vzorku BVZ6.

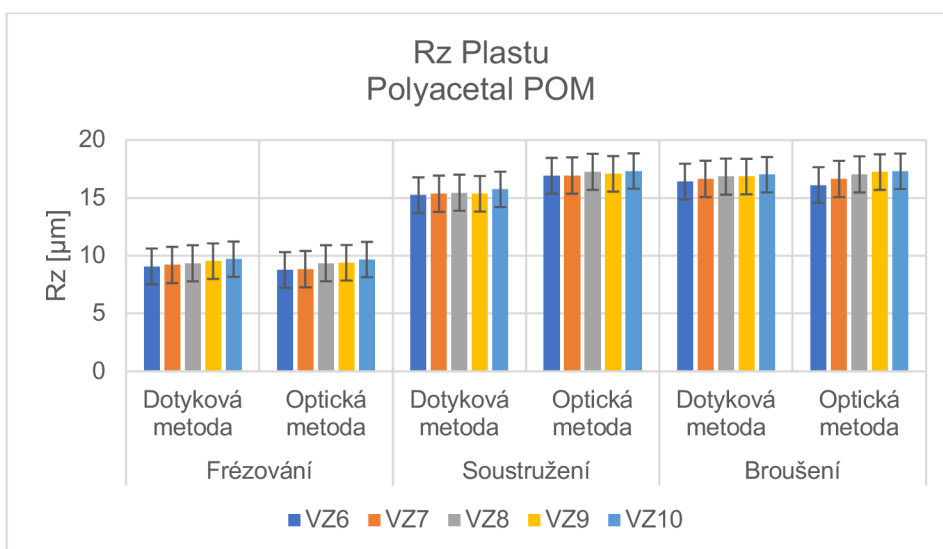
Tab. 4.6 Parametry drsnosti povrchu Broušeného plastu-Polyacetalu POM

Polyacetal (POM)							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ6	1,894 $\pm 0,042$	16,419 $\pm 0,296$	53,189 $\pm 5,396$	BVZ6	1,973 $\pm 0,055$	16,113 $\pm 0,300$	50,657 $\pm 6,115$
BVZ7	1,905 $\pm 0,052$	16,643 $\pm 0,383$	56,509 $\pm 4,059$	BVZ7	2,284 $\pm 0,061$	16,637 $\pm 0,610$	51,977 $\pm 5,994$
BVZ8	1,777 $\pm 0,232$	16,841 $\pm 0,530$	59,325 $\pm 4,989$	BVZ8	2,356 $\pm 0,211$	17,035 $\pm 0,772$	57,093 $\pm 4,059$
BVZ9	2,271 $\pm 0,298$	15,844 $\pm 0,357$	61,968 $\pm 4,240$	BVZ9	2,200 $\pm 0,141$	17,237 $\pm 0,615$	61,093 $\pm 3,866$
BVZ10	2,357 $\pm 0,293$	17,008 $\pm 0,431$	60,709 $\pm 4,186$	BVZ10	2,236 $\pm 0,061$	17,302 $\pm 0,625$	54,777 $\pm 4,636$

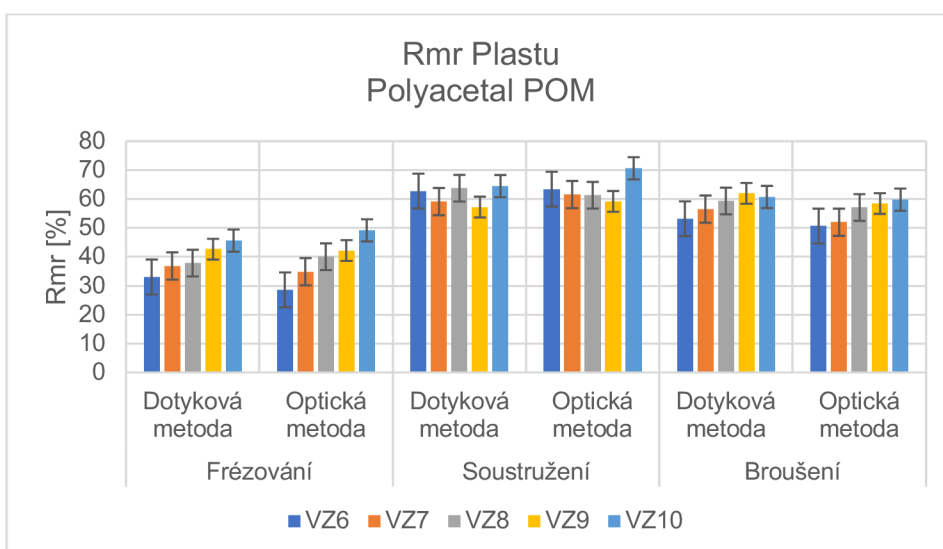
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.4–4.6 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro plast polyacetal POM.



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 Rmr

4.1.7 Frézování PE 1000 Recyklovaný

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.7 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.7 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,391 μm metodou optickou u vzorku FVZ14.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,247 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ13.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 7,723 μm metodou optickou u vzorku FVZ13.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 5,035 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ12.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 76,827 % metodou optickou u vzorku FVZ13.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 60,093 % metodou dotykovou u vzorku FVZ15.

Tab. 4.7 Parametry drsnosti povrchu frézovaného plastu-PE 1000 Recyklovaný

PE 1000 Recyklovaný							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ11	1,291 $\pm 0,044$	5,136 $\pm 0,345$	66,659 $\pm 5,920$	FVZ11	1,274 $\pm 0,022$	6,856 $\pm 0,359$	76,279 $\pm 3,435$
FVZ12	1,344 $\pm 0,077$	5,035 $\pm 0,334$	67,617 $\pm 4,340$	FVZ12	1,287 $\pm 0,024$	7,112 $\pm 0,272$	76,337 $\pm 3,603$
FVZ13	1,247 $\pm 0,065$	5,780 $\pm 0,253$	65,507 $\pm 5,753$	FVZ13	1,326 $\pm 0,032$	7,723 $\pm 0,426$	76,827 $\pm 3,955$
FVZ14	1,386 $\pm 0,034$	6,175 $\pm 0,217$	66,326 $\pm 4,896$	FVZ14	1,391 $\pm 0,056$	7,679 $\pm 0,369$	73,980 $\pm 2,897$
FVZ15	1,390 $\pm 0,049$	6,102 $\pm 0,366$	60,093 $\pm 4,361$	FVZ15	1,321 $\pm 0,029$	7,618 $\pm 0,556$	68,455 $\pm 3,879$

4.1.8 Soustružení PE 1000 Recyklovaný

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.8 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.8 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,746 μm metodou optickou u vzorku SVZ14.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,072 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ11.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 12,972 μm metodou optickou u vzorku SVZ12.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 10,650 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ11.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 85,706 % metodou optickou u vzorku SVZ11.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 80,894 % metodou dotykovou u vzorku SVZ15.

Tab. 4.8 Parametry drsnosti povrchu soustruženého plastu-PE 1000 Recyklovaný

PE 1000 Recyklovaný							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ11	2,072 $\pm 0,042$	10,650 $\pm 0,849$	85,057 $\pm 5,142$	SVZ11	2,290 $\pm 0,094$	11,857 $\pm 0,413$	85,706 $\pm 6,980$
SVZ12	2,116 $\pm 0,032$	11,064 $\pm 0,888$	85,192 $\pm 5,351$	SVZ12	2,354 $\pm 0,090$	12,972 $\pm 0,429$	84,641 $\pm 6,354$
SVZ13	2,342 $\pm 0,096$	12,216 $\pm 0,455$	84,506 $\pm 4,848$	SVZ13	2,416 $\pm 0,119$	12,632 $\pm 0,522$	82,687 $\pm 5,767$
SVZ14	2,467 $\pm 0,090$	12,356 $\pm 0,545$	82,452 $\pm 6,661$	SVZ14	2,746 $\pm 0,135$	12,678 $\pm 0,622$	81,433 $\pm 6,491$
SVZ15	2,423 $\pm 0,081$	12,592 $\pm 0,553$	80,894 $\pm 5,327$	SVZ15	2,603 $\pm 0,112$	12,891 $\pm 0,508$	81,975 $\pm 5,868$

4.1.9 Broušení PE 1000 Recyklovaný

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.9 jsou hodnoty průměrné.

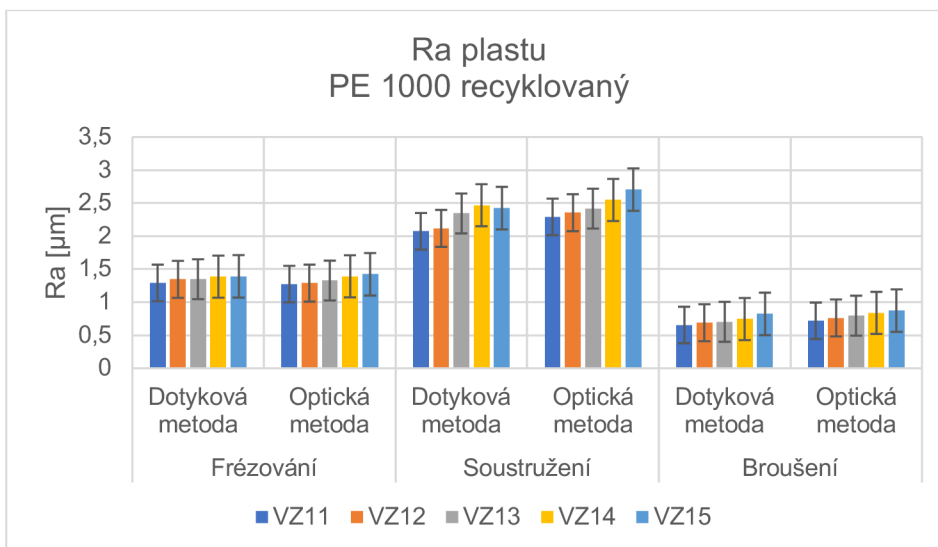
Porovnání hodnot v tabulce 4.9 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 0,872 μm metodou optickou u vzorku BVZ15.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 0,648 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ12.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 7,580 μm metodou optickou u vzorku BVZ15.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 4,760 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ11.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 91,780 % metodou optickou u vzorku BVZ11.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 74,964 % metodou dotykovou u vzorku BVZ15.

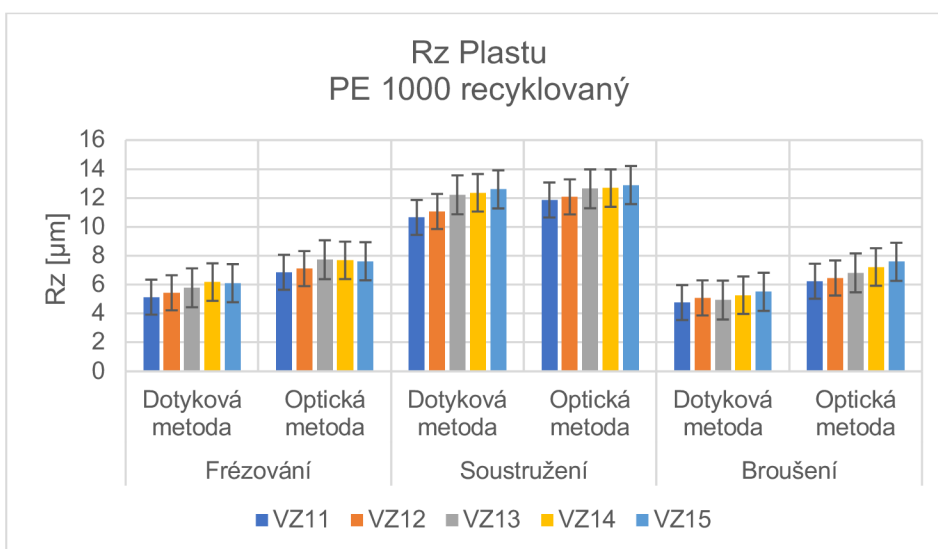
Tab. 4.9 Parametry drsnosti povrchu broušeného plastu-PE 1000 Recyklovaný

PE 1000 Recyklovaný							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ11	0,654 $\pm 0,044$	4,760 $\pm 0,345$	86,128 $\pm 5,920$	BVZ11	0,718 $\pm 0,022$	6,236 $\pm 0,359$	91,780 $\pm 3,435$
BVZ12	0,648 $\pm 0,037$	5,084 $\pm 0,322$	80,676 $\pm 4,358$	BVZ12	0,762 $\pm 0,037$	6,460 $\pm 0,277$	87,332 $\pm 3,364$
BVZ13	0,702 $\pm 0,036$	4,934 $\pm 0,388$	76,244 $\pm 5,111$	BVZ13	0,796 $\pm 0,034$	6,814 $\pm 0,462$	82,196 $\pm 3,330$
BVZ14	0,744 $\pm 0,033$	5,270 $\pm 0,321$	78,495 $\pm 5,219$	BVZ14	0,838 $\pm 0,048$	7,223 $\pm 0,688$	83,046 $\pm 2,298$
BVZ15	0,822 $\pm 0,053$	5,504 $\pm 0,585$	74,964 $\pm 5,455$	BVZ15	0,872 $\pm 0,041$	7,580 $\pm 0,753$	80,515 $\pm 5,087$

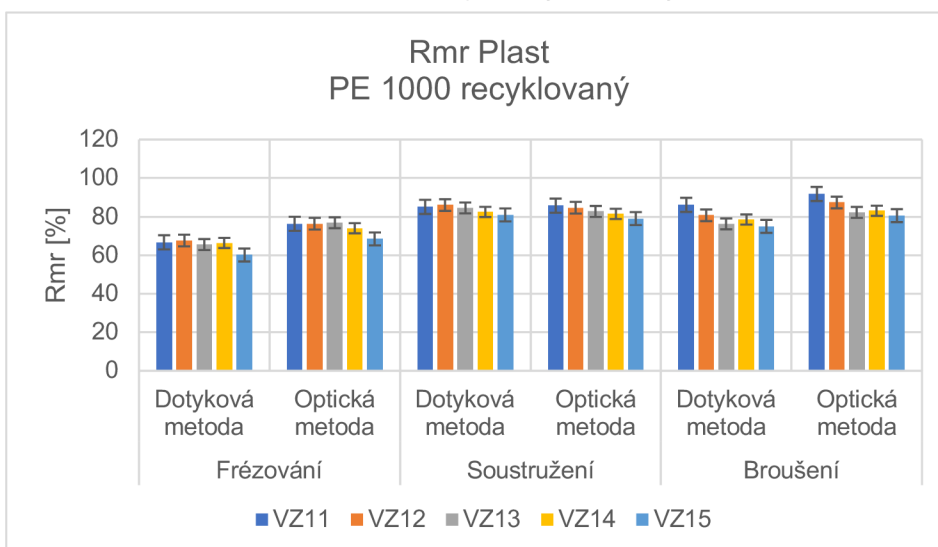
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.7-4.9 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro plast PE 1000 Recyklovaný.



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 Rmr

4.2 Kompozit

4.2.1 Frézování čisté epoxidové pryskyřice

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.10 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.10 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,474 μm metodou optickou u vzorku FVZ19.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,011 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ17.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 9,598 μm metodou optickou u vzorku FVZ18.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 6,583 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ16.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 74,475 % metodou optickou u vzorku FVZ18.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 66,975 % metodou dotykovou u vzorku FVZ20.

Tab. 4.10 Parametry drsnosti povrchu frézovaného kompozitu-Uhlíkové vlákno

Čistá epoxidová pryskyřice							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ16	1,021 $\pm 0,081$	6,583 $\pm 0,503$	72,229 $\pm 3,324$	FVZ16	1,159 $\pm 0,015$	9,076 $\pm 0,306$	73,443 $\pm 3,577$
FVZ17	1,011 $\pm 0,013$	6,807 $\pm 0,514$	73,182 $\pm 2,975$	FVZ17	1,300 $\pm 0,043$	9,311 $\pm 0,230$	73,696 $\pm 1,712$
FVZ18	1,211 $\pm 0,015$	6,911 $\pm 0,487$	72,761 $\pm 2,769$	FVZ18	1,405 $\pm 0,042$	9,598 $\pm 0,243$	74,475 $\pm 3,875$
FVZ19	1,333 $\pm 0,028$	7,146 $\pm 0,453$	69,952 $\pm 2,916$	FVZ19	1,474 $\pm 0,013$	9,394 $\pm 0,442$	72,460 $\pm 3,200$
FVZ20	1,386 $\pm 0,063$	7,033 $\pm 0,567$	66,975 $\pm 3,749$	FVZ20	1,411 $\pm 0,148$	9,423 $\pm 0,451$	72,922 $\pm 5,748$

4.2.2 Soustružení čisté epoxidové pryskyřice

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.11 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.11 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,141 μm metodou optickou u vzorku SVZ20.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,312 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ19.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 8,888 μm metodou optickou u vzorku SVZ20.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 7,226 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ16.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 80,977 % metodou optickou u vzorku SVZ19.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 74,648 % metodou dotykovou u vzorku SVZ20.

Tab. 4.11 Parametry drsnosti povrchu soustruženého kompozitu-Uhlíkové vlákno

Čistá epoxidová pryskyřice							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ16	1,315 $\pm 0,033$	7,226 $\pm 0,097$	76,782 $\pm 2,492$	SVZ16	1,451 $\pm 0,053$	7,284 $\pm 0,106$	80,541 $\pm 1,746$
SVZ17	1,352 $\pm 0,034$	7,510 $\pm 0,278$	75,024 $\pm 4,127$	SVZ17	1,504 $\pm 0,067$	7,509 $\pm 0,352$	76,883 $\pm 3,108$
SVZ18	1,374 $\pm 0,027$	7,573 $\pm 0,374$	75,060 $\pm 2,082$	SVZ18	1,570 $\pm 0,091$	7,932 $\pm 0,564$	79,219 $\pm 2,159$
SVZ19	1,312 $\pm 0,089$	7,699 $\pm 0,349$	78,018 $\pm 3,401$	SVZ19	1,713 $\pm 0,098$	8,409 $\pm 0,715$	80,977 $\pm 3,254$
SVZ20	1,630 $\pm 0,086$	8,130 $\pm 0,623$	74,648 $\pm 6,552$	SVZ20	2,141 $\pm 0,289$	8,888 $\pm 0,955$	75,412 $\pm 7,881$

4.2.3 Broušení čisté epoxidové pryskyřice

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.12 jsou hodnoty průměrné.

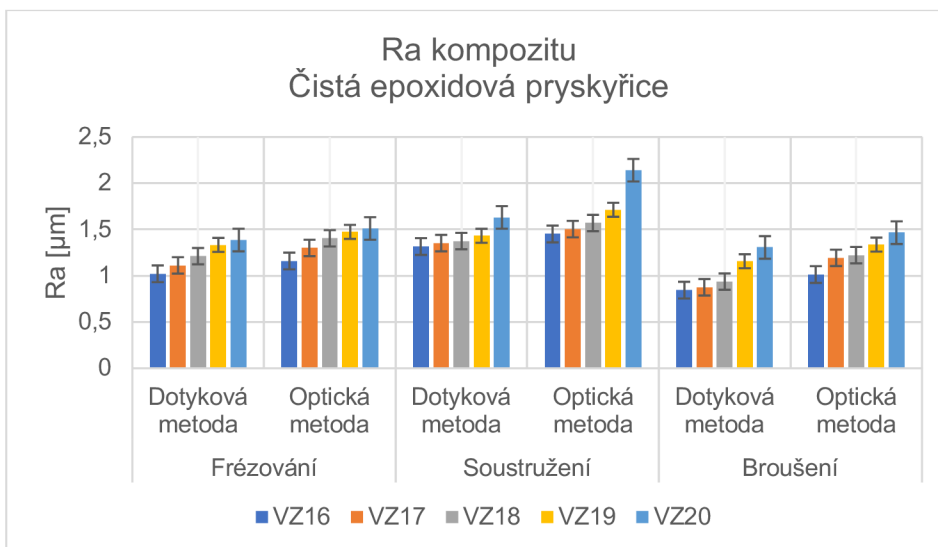
Porovnáním hodnot v tabulce je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,537 μm metodou optickou u vzorku BVZ19.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 0,844 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ16.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 9,339 μm metodou optickou u vzorku BVZ18.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 5,130 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ18.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 77,990 % metodou optickou u vzorku BVZ16.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 68,802 % metodou dotykovou u vzorku BVZ17.

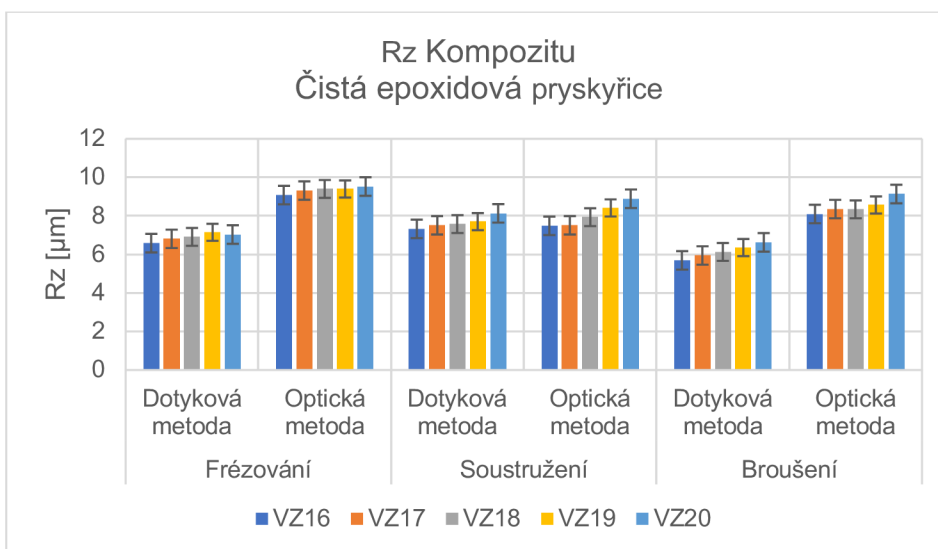
Tab.4.12 Parametry drsnosti povrchu broušeného kompozitu-Uhlíkové vlákno

Čistá epoxidová pryskyřice							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ16	0,844 $\pm 0,013$	5,687 $\pm 0,461$	76,776 $\pm 3,324$	BVZ16	1,013 $\pm 0,015$	8,096 $\pm 0,306$	77,990 $\pm 3,577$
BVZ17	0,875 $\pm 0,023$	5,944 $\pm 0,439$	68,802 $\pm 2,892$	BVZ17	1,193 $\pm 0,111$	8,353 $\pm 0,311$	71,316 $\pm 2,517$
BVZ18	0,936 $\pm 0,065$	5,130 $\pm 0,517$	73,739 $\pm 4,003$	BVZ18	1,222 $\pm 0,104$	9,339 $\pm 0,404$	74,053 $\pm 2,884$
BVZ19	1,157 $\pm 0,318$	6,357 $\pm 0,575$	72,806 $\pm 4,632$	BVZ19	1,537 $\pm 0,101$	8,566 $\pm 0,497$	75,120 $\pm 2,590$
BVZ20	1,306 $\pm 0,243$	6,624 $\pm 0,570$	74,640 $\pm 3,846$	BVZ20	1,465 $\pm 0,123$	9,133 $\pm 0,672$	76,254 $\pm 3,706$

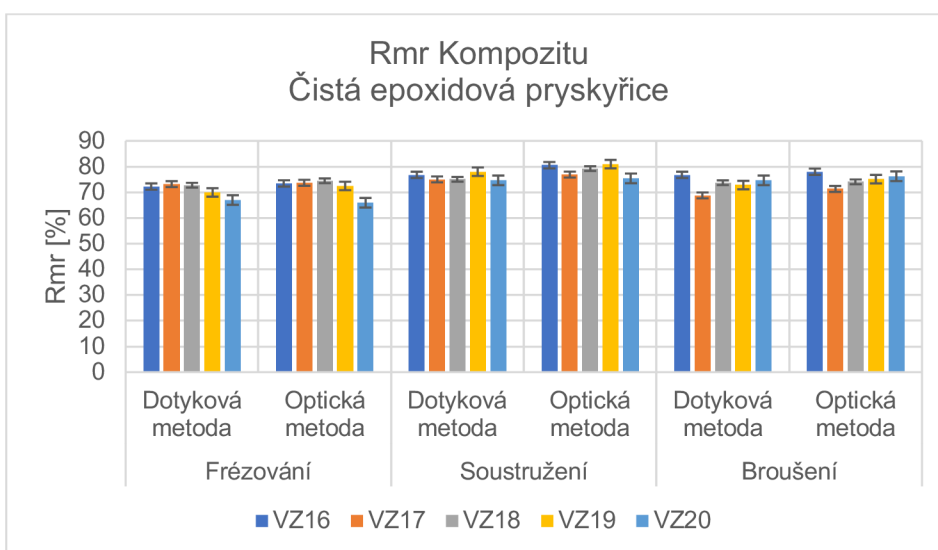
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.10 - 4.12 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro kompozit čisté epoxidové pryskyřice.



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 Rmr

4.2.4 Frézování epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.13 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.13 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,452 μm metodou optickou u vzorku FVZ22.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,211 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ24.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 10,392 μm metodou optickou u vzorku FVZ25.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 7,699 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ21.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 80,665 % metodou optickou u vzorku FVZ23.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 68,342 % metodou dotykovou u vzorku FVZ24.

Tab.4.13 Parametry drsností povrchu frézovaného kompozitu-Tkanina

Epoxidová pryskyřice (ve formě tkaniny)							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ21	1,236 $\pm 0,079$	7,699 $\pm 0,694$	72,238 $\pm 5,511$	FVZ21	1,360 $\pm 0,066$	9,868 $\pm 0,399$	79,966 $\pm 3,881$
FVZ22	1,306 $\pm 0,088$	8,200 $\pm 0,779$	69,254 $\pm 5,483$	FVZ22	1,452 $\pm 0,060$	9,962 $\pm 0,423$	76,986 $\pm 3,217$
FVZ23	1,404 $\pm 0,090$	8,269 $\pm 0,717$	72,932 $\pm 5,122$	FVZ23	1,559 $\pm 0,051$	10,083 $\pm 0,358$	80,665 $\pm 4,049$
FVZ24	1,211 $\pm 0,068$	8,443 $\pm 0,737$	68,342 $\pm 5,091$	FVZ24	1,686 $\pm 0,068$	10,295 $\pm 0,419$	76,032 $\pm 3,403$
FVZ25	1,546 $\pm 0,133$	8,540 $\pm 0,595$	69,687 $\pm 5,063$	FVZ25	1,782 $\pm 0,070$	10,392 $\pm 0,342$	77,420 $\pm 4,193$

4.2.5 Soustružení epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.14 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.14 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,316 μm metodou optickou u vzorku SVZ23
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,668 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ22.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 11,110 μm metodou optickou u vzorku SVZ22.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 8,581 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ21.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 84,374 % metodou optickou u vzorku SVZ25.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 68,185 % metodou dotykovou u vzorku SVZ24.

Tab.4.14 Parametry drsnosti povrchu soustruženého kompozitu-Tkanina

Epoxidová pryskyřice (ve formě tkaniny)							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ21	1,739 $\pm 0,088$	8,581 $\pm 0,785$	68,438 $\pm 5,511$	SVZ21	1,794 $\pm 0,066$	10,344 $\pm 0,399$	76,171 $\pm 3,881$
SVZ22	1,668 $\pm 0,108$	9,215 $\pm 0,589$	72,874 $\pm 7,205$	SVZ22	2,043 $\pm 0,258$	11,110 $\pm 0,567$	78,163 $\pm 4,105$
SVZ23	1,970 $\pm 0,408$	8,761 $\pm 0,848$	72,264 $\pm 5,527$	SVZ23	2,316 $\pm 0,199$	10,591 $\pm 0,329$	80,670 $\pm 3,134$
SVZ24	2,185 $\pm 0,632$	8,968 $\pm 0,742$	68,185 $\pm 5,327$	SVZ24	2,258 $\pm 0,362$	10,488 $\pm 0,380$	76,903 $\pm 3,965$
SVZ25	2,259 $\pm 0,622$	8,735 $\pm 0,670$	73,851 $\pm 5,241$	SVZ25	2,287 $\pm 0,695$	10,539 $\pm 0,399$	84,374 $\pm 4,752$

4.2.6 Broušení epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.15 jsou hodnoty průměrné.

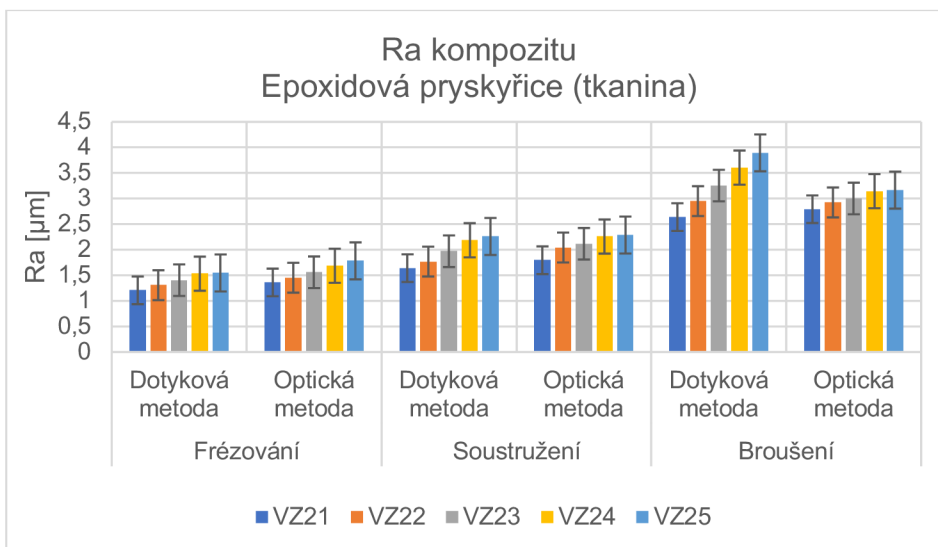
Porovnání hodnot v tabulce 4.15 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 3,165 μm metodou optickou u vzorku BVZ25.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,637 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ21.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 10,926 μm metodou optickou u vzorku BVZ22.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 8,455 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ23.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 81,530 % metodou optickou u vzorku BVZ24.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 69,100 % metodou dotykovou u vzorku BVZ22.

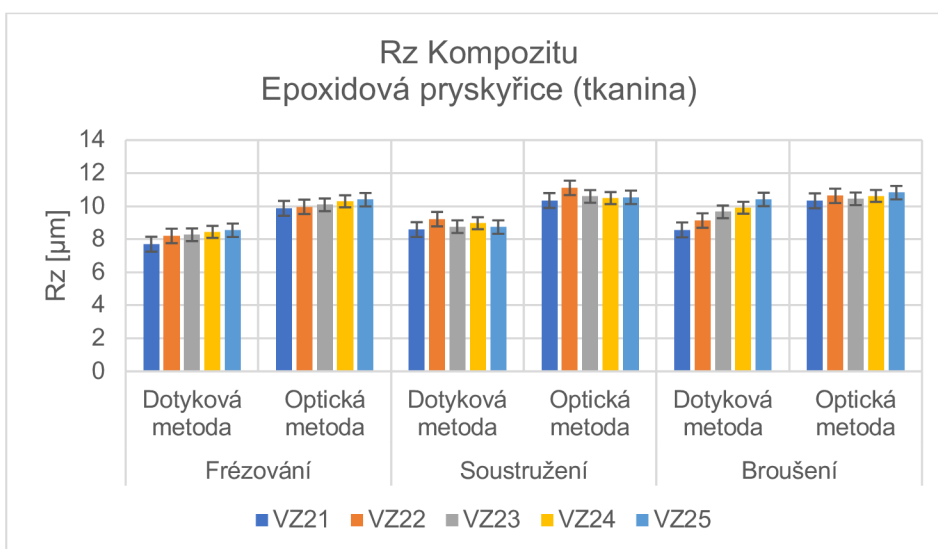
Tab. 4.15 Parametry drsnosti povrchu broušení kompozitu-Tkanina

Epoxidová pryskyřice (ve formě tkaniny)							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ21	2,637 $\pm 0,088$	8,566 $\pm 0,780$	70,766 $\pm 5,245$	BVZ21	2,792 $\pm 0,066$	10,324 $\pm 0,399$	75,399 $\pm 3,881$
BVZ22	2,950 $\pm 0,261$	9,130 $\pm 0,487$	69,100 $\pm 5,210$	BVZ22	2,924 $\pm 0,265$	10,926 $\pm 0,481$	76,944 $\pm 3,683$
BVZ23	3,154 $\pm 0,370$	8,455 $\pm 0,765$	72,014 $\pm 5,527$	BVZ23	3,002 $\pm 0,127$	10,444 $\pm 0,421$	79,361 $\pm 4,097$
BVZ24	3,005 $\pm 0,580$	9,904 $\pm 0,831$	72,328 $\pm 5,080$	BVZ24	3,144 $\pm 0,329$	10,621 $\pm 0,365$	81,530 $\pm 4,278$
BVZ25	2,893 $\pm 0,720$	10,407 $\pm 0,938$	72,860 $\pm 6,556$	BVZ25	3,165 $\pm 0,242$	10,817 $\pm 0,373$	76,313 $\pm 5,676$

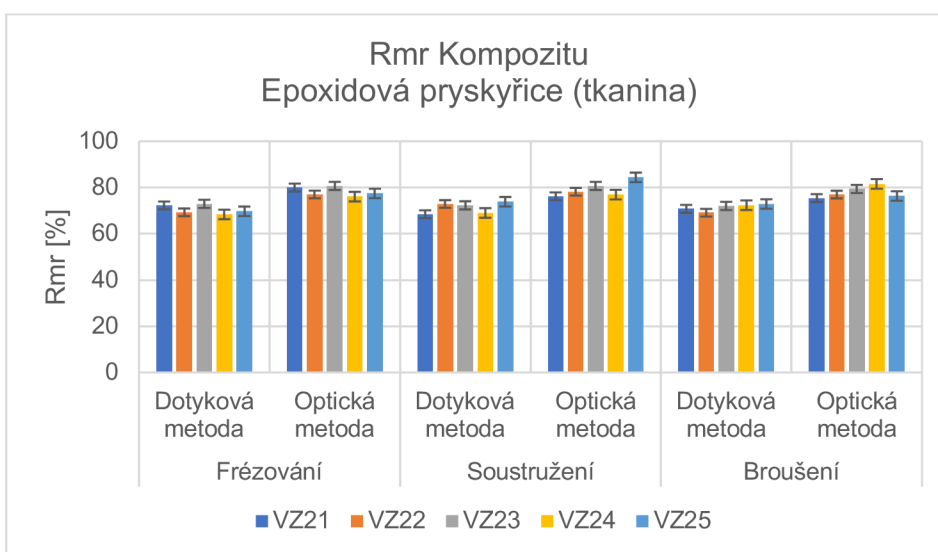
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.13 - 4.15 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro kompozit epoxidové pryskyřice (ve formě tkaniny).



Obr. 4.13 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.14 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.15 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rmr

4.2.7 Frézování epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.16 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.16 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 1,415 μm metodou optickou u vzorku FVZ30.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,250 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ30.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 8,925 μm metodou optickou u vzorku FVZ29.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 6,985 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ27.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 44,770 % metodou optickou u vzorku FVZ30.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 39,372 % metodou dotykovou u vzorku FVZ29.

Tab.4.16 Parametry drsnosti povrchu frézovaného kompozitu-Recyklát

Epoxidová pryskyřice (prameny)							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ26	1,257 $\pm 0,060$	6,939 $\pm 0,661$	40,103 $\pm 6,628$	FVZ26	1,288 $\pm 0,056$	7,506 $\pm 0,428$	43,037 $\pm 7,334$
FVZ27	1,291 $\pm 0,064$	6,985 $\pm 0,633$	41,438 $\pm 6,630$	FVZ27	1,322 $\pm 0,079$	7,604 $\pm 0,312$	44,382 $\pm 7,941$
FVZ28	1,306 $\pm 0,049$	7,413 $\pm 0,668$	40,404 $\pm 6,460$	FVZ28	1,349 $\pm 0,073$	8,065 $\pm 0,465$	43,348 $\pm 7,035$
FVZ29	1,311 $\pm 0,040$	7,820 $\pm 0,724$	39,372 $\pm 6,298$	FVZ29	1,376 $\pm 0,062$	8,925 $\pm 0,524$	42,314 $\pm 6,685$
FVZ30	1,250 $\pm 0,035$	8,339 $\pm 0,802$	41,827 $\pm 5,681$	FVZ30	1,415 $\pm 0,066$	8,696 $\pm 0,549$	44,770 $\pm 9,148$

4.2.8 Soustružení epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.17 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.17 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,220 μm metodou optickou u vzorku SVZ29.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 1,455 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ28.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 10,599 μm metodou optickou u vzorku SVZ28.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 8,141 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ27.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 60,229 % metodou optickou u vzorku SVZ29.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 44,716 % metodou dotykovou u vzorku SVZ26.

Tab. 4.17 Parametry drsnosti povrchu soustruženého kompozitu-Recyklát

Epoxidová pryskyřice (prameny)							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ26	1,505 $\pm 0,060$	8,207 $\pm 0,643$	44,716 $\pm 6,463$	SVZ26	1,536 $\pm 0,056$	9,086 $\pm 0,672$	47,883 $\pm 6,950$
SVZ27	1,720 $\pm 0,383$	8,141 $\pm 0,890$	49,232 $\pm 6,324$	SVZ27	1,789 $\pm 0,321$	10,075 $\pm 0,422$	51,720 $\pm 7,206$
SVZ28	1,455 $\pm 0,417$	9,488 $\pm 0,828$	52,737 $\pm 6,067$	SVZ28	1,860 $\pm 0,435$	10,599 $\pm 0,357$	56,186 $\pm 6,858$
SVZ29	1,940 $\pm 0,387$	9,702 $\pm 0,807$	58,177 $\pm 5,819$	SVZ29	2,220 $\pm 0,455$	10,433 $\pm 0,429$	60,229 $\pm 7,527$
SVZ30	2,006 $\pm 0,457$	9,735 $\pm 0,878$	55,775 $\pm 6,075$	SVZ30	2,141 $\pm 0,415$	10,494 $\pm 0,353$	59,384 $\pm 7,374$

4.2.9 Broušení epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů)

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.18 jsou hodnoty průměrné.

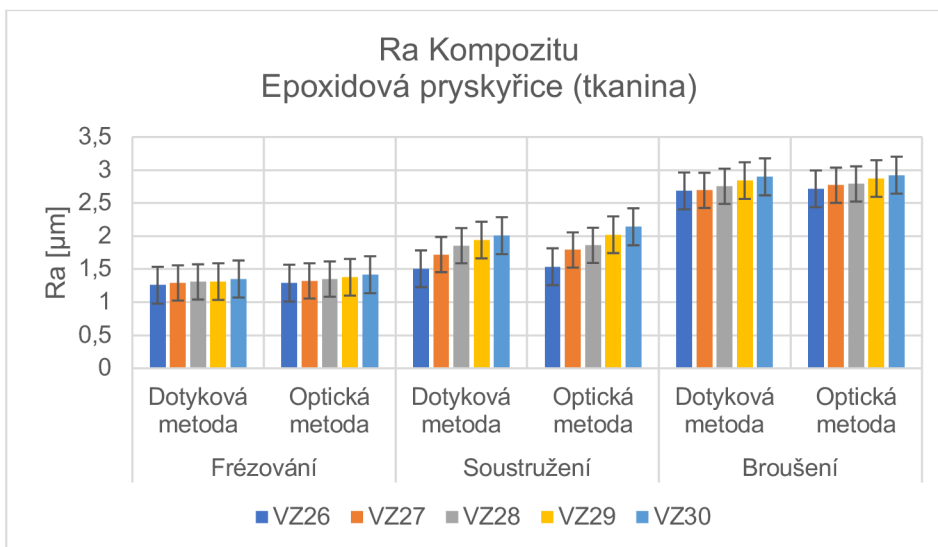
Porovnání hodnot v tabulce 4.18 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,989 μm metodou optickou u vzorku BVZ28.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,540 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ29.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 9,980 μm metodou optickou u vzorku BVZ26.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 8,250 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ28.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 52,745 % metodou optickou u vzorku BVZ28.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 43,256 % metodou dotykovou u vzorku BVZ30.

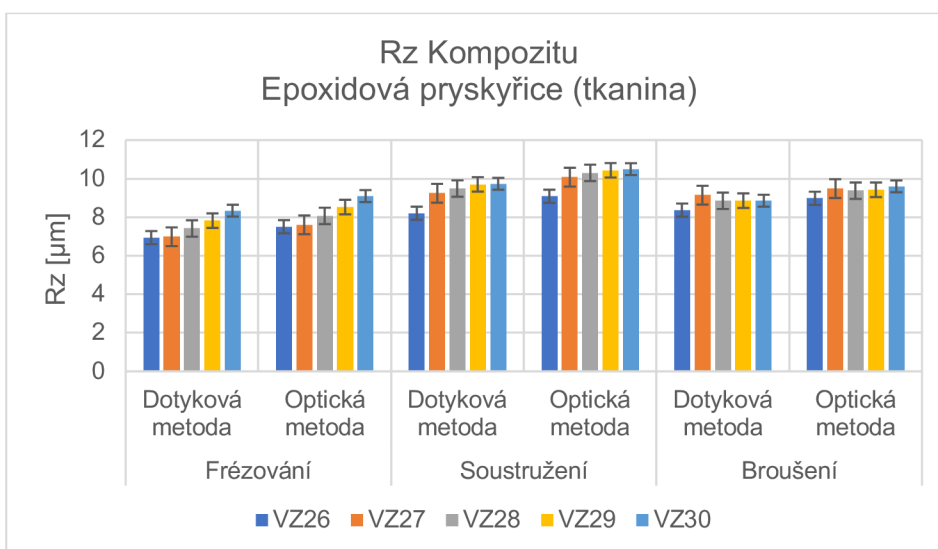
Tab. 4.18 Parametry drsností povrchu broušeného kompozitu-Recyklát

Epoxidová pryskyřice (prameny)							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ26	2,684 $\pm 0,060$	8,365 $\pm 0,615$	44,085 $\pm 6,202$	BVZ26	2,715 $\pm 0,056$	9,980 $\pm 0,430$	46,581 $\pm 7,305$
BVZ27	2,692 $\pm 0,091$	9,142 $\pm 1,036$	45,027 $\pm 6,498$	BVZ27	2,770 $\pm 0,064$	9,483 $\pm 0,460$	47,940 $\pm 7,278$
BVZ28	2,754 $\pm 0,081$	8,250 $\pm 0,585$	49,811 $\pm 6,417$	BVZ28	2,989 $\pm 0,086$	9,374 $\pm 0,429$	52,745 $\pm 7,077$
BVZ29	2,540 $\pm 0,118$	8,858 $\pm 0,609$	45,547 $\pm 6,553$	BVZ29	2,871 $\pm 0,115$	9,422 $\pm 0,414$	48,694 $\pm 7,127$
BVZ30	2,897 $\pm 0,109$	8,855 $\pm 1,000$	43,256 $\pm 6,353$	BVZ30	2,922 $\pm 0,122$	9,601 $\pm 0,432$	46,159 $\pm 7,358$

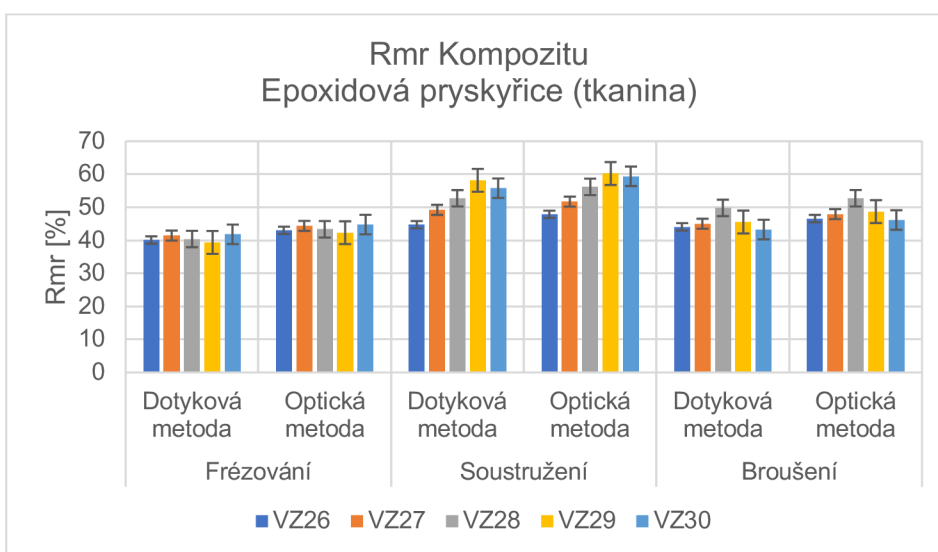
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.16 - 4.18 jsou graficky zřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro kompozit epoxidové pryskyřice (ve formě pramenů).



Obr.4.16 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr.4.17 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr.4.18 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rmr

4.3 Ocel

4.3.1 Frézování oceli S355J2

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.19 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.19 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 2,562 μm metodou optickou u vzorku FVZ34.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 2,296 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ33.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 13,971 μm metodou optickou u vzorku FVZ32.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 11,271 μm metodou dotykovou u vzorku FVZ35.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 64,980 % metodou optickou u vzorku FVZ33.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 55,338 % metodou dotykovou u vzorku FVZ31.

Tab. 4.19 Parametry drsnosti povrchu frézované oceli-S355J2

Ocel S355J2							
Frézování	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
FVZ31	2,354 $\pm 0,092$	11,927 $\pm 0,346$	55,338 $\pm 2,838$	FVZ31	2,502 $\pm 0,081$	13,507 $\pm 0,232$	59,264 $\pm 4,422$
FVZ32	2,373 $\pm 0,057$	12,077 $\pm 0,338$	56,602 $\pm 2,406$	FVZ32	2,521 $\pm 0,064$	13,971 $\pm 0,303$	60,528 $\pm 3,467$
FVZ33	2,296 $\pm 0,073$	12,165 $\pm 0,338$	61,054 $\pm 2,786$	FVZ33	2,544 $\pm 0,063$	13,767 $\pm 0,245$	64,980 $\pm 4,490$
FVZ34	2,414 $\pm 0,081$	12,189 $\pm 0,334$	59,615 $\pm 1,250$	FVZ34	2,562 $\pm 0,089$	13,791 $\pm 0,359$	63,541 $\pm 4,359$
FVZ35	2,435 $\pm 0,096$	11,271 $\pm 0,402$	57,481 $\pm 3,477$	FVZ35	2,503 $\pm 0,099$	12,905 $\pm 0,476$	61,407 $\pm 4,446$

4.3.2 Soustružení oceli S355J2

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.20 jsou hodnoty průměrné.

Porovnání hodnot v tabulce 4.20 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 3,919 μm metodou optickou u vzorku SVZ34.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 3,283 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ31.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 14,329 μm metodou optickou u vzorku SVZ34.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 12,231 μm metodou dotykovou u vzorku SVZ32.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 74,531 % metodou optickou u vzorku SVZ35.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 57,995 % metodou dotykovou u vzorku SVZ31.

Tab. 4.20 Parametry drsnosti povrchu soustružené oceli-S355J2

Ocel S355J2							
Soustružení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
SVZ31	3,283 $\pm 0,076$	12,374 $\pm 0,326$	57,995 $\pm 2,932$	SVZ31	3,470 $\pm 0,039$	14,153 $\pm 0,512$	62,701 $\pm 4,719$
SVZ32	3,575 $\pm 0,393$	12,231 $\pm 0,414$	60,428 $\pm 2,300$	SVZ32	3,702 $\pm 0,326$	12,812 $\pm 0,342$	64,901 $\pm 4,643$
SVZ33	3,690 $\pm 0,430$	12,646 $\pm 0,514$	63,556 $\pm 2,758$	SVZ33	3,815 $\pm 0,340$	14,103 $\pm 0,367$	68,189 $\pm 4,743$
SVZ34	3,731 $\pm 0,432$	12,559 $\pm 0,385$	71,702 $\pm 1,611$	SVZ34	3,919 $\pm 0,352$	14,329 $\pm 0,419$	75,072 $\pm 4,463$
SVZ35	3,834 $\pm 0,555$	12,742 $\pm 0,330$	69,769 $\pm 2,830$	SVZ35	3,819 $\pm 0,415$	14,255 $\pm 0,514$	74,531 $\pm 5,296$

4.3.3 Broušení oceli S355J2

Každý vzorek byl podroben deseti měřením dotykovou a optickou metodou. Hodnoty uvedené v tabulce 4.21 jsou hodnoty průměrné.

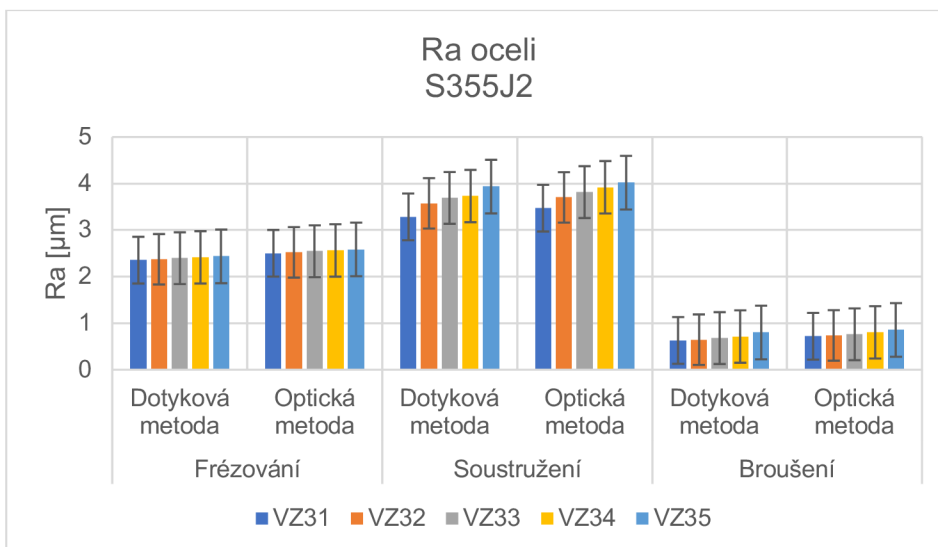
Porovnání hodnot v tabulce 4.21 je patrné toto zjištění:

- I. Maximální hodnota Ra byla naměřena 0,860 μm metodou optickou u vzorku BVZ33.
- II. Minimální hodnota Ra byla naměřena 0,619 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ33.
- III. Maximální hodnota Rz byla naměřena 3,226 μm metodou optickou u vzorku BVZ32.
- IV. Minimální hodnota Rz byla naměřena 2,126 μm metodou dotykovou u vzorku BVZ33.
- V. Maximální hodnota Rmr byla naměřena 78,538 % metodou optickou u vzorku BVZ35.
- VI. Minimální hodnota Rmr byla naměřena 61,031 % metodou dotykovou u vzorku BVZ32.

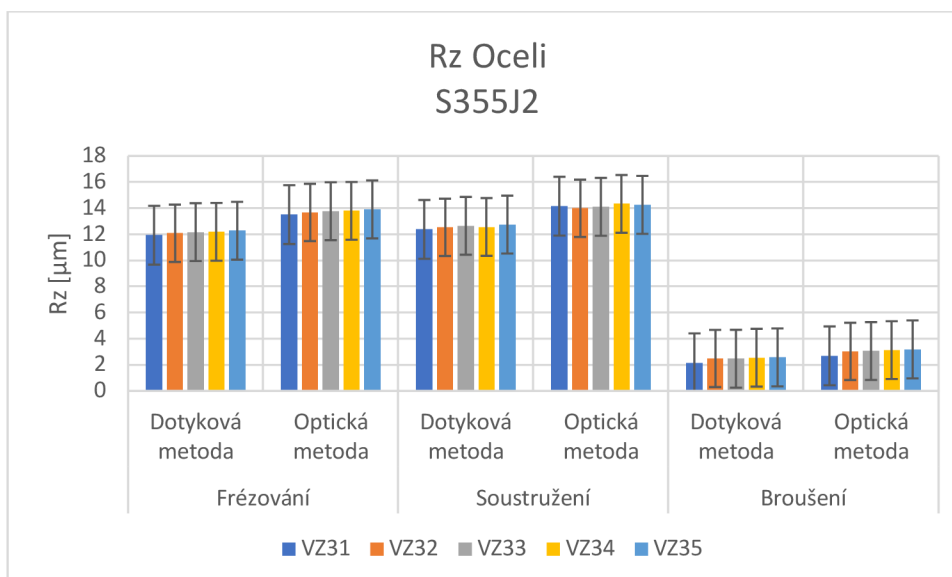
Tab. 4.21 Parametry drsnosti povrchu broušené oceli-S355J2

Ocel S355J2							
Broušení	Dotyková metoda				Optická metoda		
Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]	Vzorek	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmr [%]
BVZ31	0,628 $\pm 0,035$	2,154 $\pm 0,541$	61,812 $\pm 6,630$	BVZ31	0,718 $\pm 0,056$	2,685 $\pm 0,393$	64,864 $\pm 7,307$
BVZ32	0,645 $\pm 0,044$	2,483 $\pm 0,580$	61,031 $\pm 7,134$	BVZ32	0,736 $\pm 0,063$	3,226 $\pm 0,334$	63,561 $\pm 7,265$
BVZ33	0,619 $\pm 0,038$	2,126 $\pm 0,603$	64,052 $\pm 6,491$	BVZ33	0,860 $\pm 0,048$	3,053 $\pm 0,411$	67,201 $\pm 7,042$
BVZ34	0,712 $\pm 0,041$	2,540 $\pm 0,584$	68,227 $\pm 6,536$	BVZ34	0,802 $\pm 0,078$	3,123 $\pm 0,326$	71,184 $\pm 7,368$
BVZ35	0,799 $\pm 0,088$	2,567 $\pm 0,613$	75,696 $\pm 6,597$	BVZ35	0,854 $\pm 0,063$	3,180 $\pm 0,425$	78,538 $\pm 7,305$

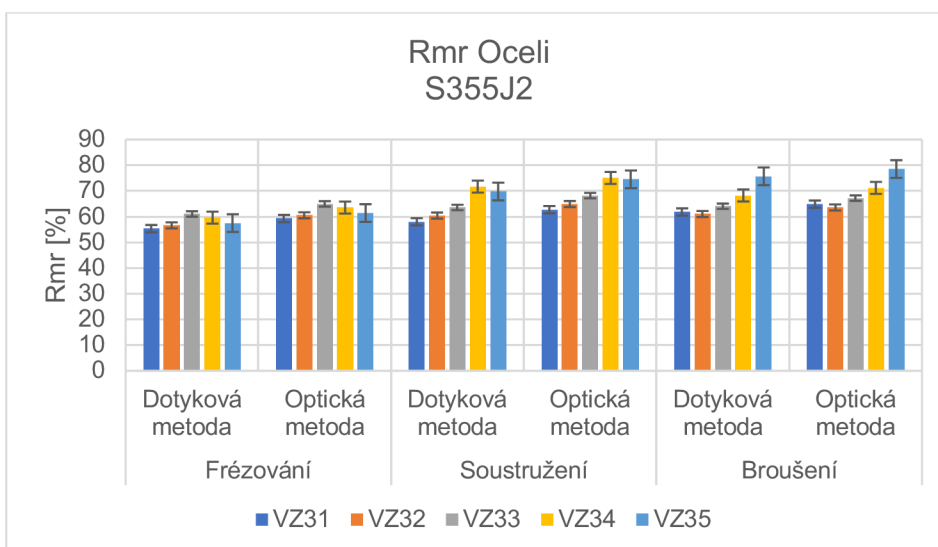
Níže jsou uvedeny dosažené výsledky. V grafech 4.20 - 4.22 jsou graficky zpřehledněny dosažené výsledky sledovaného parametru drsnosti povrchu pro ocel – S355J2.



Obr. 4.19 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Ra



Obr. 4.20 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rz



Obr. 4.21 Grafické znázornění průměrných hodnot výsledků Rmr

5 DISKUZE

Hlavním cílem bakalářské práce bylo srovnat a posoudit možnosti dotykové a optické metody měření drsnosti povrchu materiálu. Principy dvou metod byly popsány v experimentální části práce. Během měření oběma metodami jsme získali údaje o drsnosti vzorků, které byly zhotoveny třískovým obráběním, konkrétně frézováním, broušením a soustružením.

Základní informace týkající se dané problematiky měření drsnosti povrchu jsou uvedeny v příloze číslo 2. Příloha obsahuje informace o dosavadních poznatcích týkající se drsnosti povrchu a jejího významu. Příloha dále udává informace o základních pojmech drsnosti povrchu. Nedílnou součástí kapitoly dvě jsou také informace o způsobech měření a měřicích přístrojích.

Dosažení požadovaného cíle práce je věnována celá kapitola tři, která obsahuje informace o výrobě vzorků, popis podmínek a použití měřicích přístrojů. Z rozsáhlého souboru měření a získaných výsledků uvedených v podkapitolách 4.1–4.3 je možno poukázat na následující:

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

Nejvyšší a nejnižší hodnoty parametru Ra [μm]

V následující tabulce jsou uvedeny nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty. Tyto hodnoty byly získány pomocí optické a dotykové metody měření. Na každém vzorku bylo prováděno 10 měření, která se následně zapsala do tabulek viz příloha číslo 1 a výsledné průměrné hodnoty se zapsaly do tabulek číslo 4.1 – 4.21.

Tab. 5.1 Shrnutí nejvyšších a nejnižších hodnot Ra [μm]

Parametr drsnosti Ra [μm]		Frézování	Soustružení	Broušení	
Plast	Polyamid (Silon – PA 6)	NVHO	1,377	2,502	2,865
		NJOD	1,200	2,335	2,185
	Polyacetal (POM)	NVHO	1,721	2,771	2,356
		NJOD	1,519	2,311	1,777
	PE 1000 Recyklovaný	NVHO	1,391	2,746	0,872
		NJOD	1,247	2,072	0,648
Kompozit	Uhlíkové vlákno	NVHO	1,474	2,141	1,537
		NJOD	1,011	1,312	0,844
	Tkanina	NVHO	1,452	2,316	3,165
		NJOD	1,211	1,668	2,637
	Recyklát	NVHO	1,415	2,220	2,989
		NJOD	1,250	1,455	2,540
Ocel	Ocel S355J2	NVHO	2,562	3,919	0,860
		NJOD	2,296	3,283	0,619

NVHO-nejvyšší hodnota/optická metoda, NJOD-nejnižší hodnota/dotyková metoda

Nejvyšší a nejnižší hodnoty parametru Rz [μm]

V následující tabulce jsou uvedeny nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty. Tyto hodnoty byly získány pomocí optické a dotykové metody měření. Na každém vzorku bylo prováděno 10 měření, která se následně zapsala do tabulek viz příloha číslo 1 a výsledné průměrné hodnoty se zapsaly do tabulek číslo 4.1 – 4.21.

Tab. 5.2 Shrnutí nejvyšších a nejnižších hodnot Rz [μm]

Parametr drsnosti Rz [μm]		Frézování	Soustružení	Broušení	
Plast	Polyamid (Silon – PA 6)	NVHO	8,817	13,396	19,243
		NJOD	7,135	12,316	22,785
	Polyacetal (POM)	NVHO	9,672	17,460	17,102
		NJOD	9,028	15,233	15,844
	PE 1000 Recyklovaný	NVHO	7,723	2,746	7,580
		NJOD	5,035	2,072	4,760
Kompozit	Uhlíkové vlákno	NVHO	9,598	8,888	9,339
		NJOD	6,583	7,326	5,130
	Tkanina	NVHO	10,392	11,110	10,926
		NJOD	7,699	8,581	8,455
	Recyklát	NVHO	8,925	10,599	9,980
		NJOD	6,985	8,141	8,250
Ocel	Ocel S355J2	NVHO	13,971	14,329	2,126
		NJOD	11,271	12,231	3,226

NVHO-nejvyšší hodnota/optická metoda, NJOD-nejnižší hodnota/dotyková metoda

Nejvyšší a nejnižší hodnoty parametru Rmr [%]

V následující tabulce jsou uvedeny nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty. Tyto hodnoty byly získány pomocí optické a dotykové metody měření. Na každém vzorku bylo prováděno 10 měření, která se následně zapsala do tabulek viz příloha číslo 1 a výsledné průměrné hodnoty se zapsaly do tabulek číslo 4.1 – 4.21.

Tab. 5.3 Shrnutí nejvyšších a nejnižších hodnot Rmr [%]

Parametr drsnosti Rmr [%]			Frézování	Soustružení	Broušení
Plast	Polyamid (Silon – PA 6)	NVHO	74,869	64,668	60,702
		NJOD	59,021	58,607	51,904
	Polyacetal (POM)	NVHO	44,191	69,181	61,093
		NJOD	33,063	59,112	53,189
	PE 1000 Recyklovaný	NVHO	76,827	85,706	91,780
		NJOD	60,093	80,894	74,964
Kompozit	Uhlíkové vlákno	NVHO	74,475	80,977	77,990
		NJOD	66,975	74,648	68,802
	Tkanina	NVHO	80,665	84,374	81,530
		NJOD	68,342	68,185	69,100
	Recyklát	NVHO	44,770	60,229	52,745
		NJOD	39,372	44,716	43,256
Ocel	Ocel S355J2	NVHO	64,980	74,531	78,538
		NJOD	55,338	57,885	61,031

NVHO-nejvyšší hodnota/optická metoda, NJOD-nejnižší hodnota/dotyková metoda

Získaná data, zpracovaná do tabulek čísla 4.1 – 4.21, nám umožnily stanovit maximální a minimální hodnoty Ra, Rz, Rmr. Při jejich posouzení jsme došli k závěru, že měřením optickou metodou jsme získali vyšší hodnoty. Použití optické metody a ovládání příslušného měřicího přístroje je mnohem složitější (oproti dotykovému), tato metoda klade na obsluhu vysoké nároky, předpokládají se zde odborné znalosti ovládání přístroje a adekvátní zaškolení, což se mohlo na realizovaných měření částečně promítnout.

V porovnání oceli ku kompozitu a plasty vyšla ocel v bezdotykové metodě měření lépe. U oceli nedocházelo k problémům, které se vyskytovaly u kompozitu a plasty. Vyhodnocení hodnot u oceli bylo okamžité, kdežto u kompozitu plasty bylo potřeba vyhodnocení několikrát po sobě opakovat, jelikož některé výsledky opakovaně vycházely mylně. Důvodem těchto výsledků může být tmavá či bílá barva vzorků. Časová náročnost k vyhodnocení hodnot oceli byla náročnější než u ostatních vzorků.

Optická metoda

Z předchozího měření je zřejmé, že mnoho optických metod měření je založeno na zaostřování bodu na kontrolovaném povrchu. Struktura povrchu je odvozována z "průměrného" signálu, získaného z plochy zaostřeného bodu. Běžně má tento bod rozměr

několika mikrometrů a jeho šířka se mění s velikostí vertikálního rozsahu detektoru. V porovnání s dotykovou metodou je výsledným efektem uvedeného procesu "uhlazení" povrchu, které má za následek zmenšení šířky pásma dat pro zpracování. Tak je tomu skutečně v případech, kdy je datová rozteč optické techniky stejná jako u dotykového snímání.

Další odlišností, kterou přináší optická technika, je změna ve sklonech (šikmosti) profilu povrchu. Rozdíl spočívá v tom, že hrot, kterým je profil snímán, má tendenci rozšiřovat výstupky a zmenšovat šířku prohlubní, což ovlivňuje data pro hodnocení šikmosti. To lze upravit softwarem. Poněvadž u optických systémů tento způsob ovlivnění neexistuje, není tato "korekce snímacího hrotu" třeba.

Problémem použití optických měřicích přístrojů je to, že dochází k tzv. "ztrátě dat", a to v hraničních oblastech (na hranách) nebo v místech náhlých a rychlých změn tvaru profilu povrchu. V těchto místech se nemusí světelný paprsek správně odrážet zpět do detektoru a následně nemusí být hodnoty dat zaznamenány. Ztráta dat může být způsobována i velmi vysokou nebo nízkou odrazivostí kontrolovaného povrchu, případně v místech převýšení povrchů, především v závislosti na použitém bezdotykovém měřicím systému. Software, kterým je přístroj vybaven, tato data většinou vyloučí, zpravidla s využitím interpolace okolních dat. Samozřejmě menší počet ztracených datových bodů se projeví vyšší integritou výsledků měření povrchu. Je zřejmé, že u dotykových snímačů se tento problém nevyskytuje.

Dotyková metoda

V tradičním strojírenském prostředí mají dotykové metody proti optickým zřejmou výhodu ve větší toleranci vůči znečištění. Snímací hrot odsune malé nečistoty nebo mu nevadí olejová vrstva. Optická sonda vyžaduje skutečně čistý měřený povrch. V tomto prostředí je velmi důležité použití hodnoticích parametrů struktury povrchu, které jsou definovány ve standardech ISO.

Ve strojírenské praxi se zatím dává přednost dotykovým měřicím přístrojům. Mimo jiné i proto, že normované parametry struktury povrchu dosud nepočítají se ztracenými daty nebo proměnnou velikostí opticky snímaného bodu.

Je-li vyžadován klasický způsob hodnocení struktury povrchu, potom "správné" výsledky zajistí dotykový měřicí přístroj. Přesto praktické přednosti bezkontaktního měření často převáží tuto standardní správnost výsledku. To se projeví zejména při nasazení v kontrolních procesech, kde je velmi důležitá rychlost procesu a relativní měření je prakticky významnější než absolutní. Je třeba zdůraznit, že existuje řada povrchů, které nelze dotykovým měřidlem vůbec měřit a u nichž musí být použita bezdotyková metoda.

Patří mezi ně povrchy některých nových konstrukčních materiálů nebo moderní, tzv. technické povrchy, jako jsou např. sestavy mikrorozměrných čoček, součástky paměťových zařízení apod., kde velké rozměrové rozdíly profilu povrchu znemožňují použití snímacího hrotu.

S využitím široké nabídky různých systémů měření je potom možné zvažovat více variant řešení konkrétního metrologického problému.

Z hodnocení funkčních možností obou způsobů měření vyplývá, že bezdotykové systémy snímání a hodnocení získávají nezastupitelné místo v metrologii povrchu. Význam a praktické uplatnění dokumentuje i soustředěné úsilí výrobců měřicí techniky připravit a nabídnout uživatelům vhodné měřicí zařízení.

Porovnání použitých metod

Každá z použitých metod v této práci má svoje výhody i nevýhody pro daný účel měření. První a základní odlišnost spočívá ve způsobu snímání stavu povrchu. Nicméně obě metody, dotyková i bezdotyková, nám umožňují hodnotit stav povrchu (mikrogeometrii) zkoumaného dílu. Srovnání obou metod je zpracováno v tabulce.

Tab. 5.4 Srovnání metod dotykového a bezdotykového měření

Metoda	Rychlost analýzy dat	Rychlost měření	Typ dat	Množství dat	Znehodnocení povrchu	Cena
Dotyková metoda	Vysoká	Nízká	2D/3D	Nízká	Poměrné poškození	Nízká
Bezdotyková metoda	Nízká	Vysoká	2D/3D	Vysoká	Bez poškození	Vysoká

6 ZÁVĚR

Obě, v této práci použité měřicí metody, se v praxi hojně využívají. Dotyková metoda, při které se měření drsnosti použil přístroj Mitutoyo SV-2000 N2, umožňuje rychlé, a přitom opakovatelné měření a hodnocení povrchu vzorku. Přesto bylo zjištěno a prokázáno, že při použití této metody hrozí poškození povrchu měřeného vzorku. Dotykové měření je velkou měrou ovlivněno i nečistotou povrchu nebo tou skutečností, kdy se měřicí hrot nedostane do celé prohlubně povrchu. To v konečné fázi vyhodnocení vede k ne zcela dokonalým výsledkům měření a následně vyhodnocení stavu povrchu vzorku.

Bezdotyková metoda umožňuje měřit celou zvolenou plochu najednou, a tím se vylučuje faktor volby výběru profilu měření a zároveň vylučuje vliv nepřesností natočení vzorku s ohledem na směr měření. V laboratoři KOM, FS TUL byl pro měření použitý měřicí přístroj KEYENCE VK – X1000. Tato metoda však vyžaduje pro kvalitní měření určité podmínky stavu plochy vzorku a tou je hlavně čistota. Pokud nedojde k dokonalému očištění povrchu vzorku, mohou být výsledky měření zkreslené. Pro použití zmíněného přístroje je potřeba přesné a vhodné nastavení, což vyžaduje zručnost a zkušenost obsluhy. Proto se mohlo stát, že je v souboru naměřených hodnot systematická chyba. Bezdotyková metoda umožňuje získat měřením velký počet hodnot a při kvalitním nastavení přístroje jsou velmi přesné. Nevýhodou je větší časová náročnost při jejich zpracování.

Volba metody měření drsnosti povrchu není proto z výše uvedených poznatků zcela jednoduchá. Pořizovací cena bezdotykového přístroje je značně vyšší, dále klade vysoké nároky na obsluhu jako je zkušenost a pečlivost. Kvalitním nastavením bezdotykového přístroje získáme mnohem větší rozsah možností měření s větší volbou funkcí. Tyto možnosti se ocení ve specifických aplikacích jako například při měření drsnosti povrchu obráběcích nástrojů, speciálních nástrojů nebo i náhrad v lékařství.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil, V. ODVODY a OŠŤÁDAL. *Drsnost povrchu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [2] *Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu* [online]. Brno [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/44_Bumbalek_VUTBR.pdf
- [3] *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci* [online]. Brno [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/stah_info/2512_bumbalek
- [4] AUTOR NEUVEDEN. *Kontrola drsnosti povrchu* [online], 2021. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1102>
- [5] *Bezkontaktní měření rozměrů – optické mikrometry* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezkontaktni-mereni-rozmeru-opticke-mikrometry-2009_04_38860_05757/
- [6] VORBURGER, Ted. *Optical Methods of Surface Measurement* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/oles/3-Vorburger-Ted-OpticalMethods-of-Surface-Measurement-MSSFAA-10jul12.pdf>
- [7] AUTOR NEUVEDEN. *Principy konfokální mikroskopie* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <http://www.botanika.upol.cz/atlasy/confmicro/principles.php>
- [8] JURENA, Pavel. *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.
- [9] AUTOR NEUVEDEN. *Confocal Microscopy* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://frtmetrology.com/en/confocalmicroscopy/>
- [10] AUTOR NEUVEDEN. *Měření drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103>
- [11] AUTOR NEUVEDEN. *Kontrola drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1102>

- [12] 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.
- [13] FROLO, David. *Hodnocení jakosti povrchů na portfoliu polymerních výrobků pro automobilový průmysl*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.
- [14] METELKOVÁ, Jitka. *Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
- [15] KLETEČKA, J., Fořt, P.: *Technické kreslení. Vyd. 1*. Brno: CP Books, 2005, 252 s. ISBN80-251-0498-2.
- [16] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu, 1999 (014450)
- [17] ČSN EN ISO 1302. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků. Praha: ČNI, 2002.
- [18] HOLADA, Jiří. *Problematika měření drsnosti povrchu*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Ivana Česáková.
- [19] KONEČNÝ, Jan. *Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou*. Bakalářská práce. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [20] AUTOR NEUVEDEN. *Confocal Microscopy* [online]. [cit. 2021-8-26]. Dostupné z: <https://frtmetrology.com/en/confocalmicroscopy/>
- [21] AUTOR NEUVEDEN. *Principy konfokální mikroskopie* [online]. [cit. 2021-8-26]. Dostupné z: <http://www.botanika.upol.cz/atlasy/confmicro/principles.php>
- [22] ISO 25178-602:2010. Geometrická specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha – Část 602: Jmenovité charakteristiky bezdotykových přístrojů (konfokální chromatická sonda): ÚNMZ. 2010. Praha.

- [23] TICHÁ Š., *Strojírenská metrologie část 1*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2004
- [24] FIALA, J., Kraus, I., 2009: *Povrchy a rozhraní*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 299 s.
- [25] AUTOR NEUVEDEN. *Parametry drsností* [online]. [cit. 2021-8-26].
Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [26] JENČÍK, Josef a Ludvík KUHN. *Technická měření ve strojnictví*. Praha: SNTL, 1982.
- [27] AUTOR NEUVEDEN. *Polyamidy* [online]. [cit. 2022-01-03].
Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/polyamidy/>
- [28] AUTOR NEUVEDEN. *Polyacetal* [online]. [cit. 2022-01-03].
Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/polyacetal/>
- [29] AUTOR NEUVEDEN. *PE 1000* [online]. [cit. 2022-01-03].
Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/pe-1000/>
- [30] AUTOR NEUVEDEN. *Měření drsnosti povrchu injekčních jehel pomocí laserového skenovacího konfokálního mikroskopu* [online]. [cit. 2022-01-03] dostupné z:
<https://www.olympus-ims.com/cs/applications/measuring-the-surface-roughness-of-medical-needles/>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tabulky hodnot měření (dotykovou a optickou metodou)
- Příloha 2 Teoretická část drsnosti
- Příloha 3 Tabulky průměrných hodnot + grafy (dotykovou a optickou metodou)