

Hodnocení jakosti povrchů na portfolio polymerních výrobků pro automobilový průmysl

David Frolo

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David FROLO**
Osobní číslo: **T11763**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchů na portfoliu polymerních výrobků pro automobilový průmysl**

Zásady pro vypracování:

- 1.) Popište teorii snímání jakosti povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem
- 2.) Popište určení charakteristických parametrů pro hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů
- 3.) Proveďte přípravu vzorků pro měření jakosti povrchu, včetně výběru vhodných ploch a dále kontaktní a bezkontaktní měření
- 4.) Proveďte statistické zpracování naměřených hodnot
- 5.) Závěr a doporučení

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Bumbálek - Drsnost povrchu, 1989

Bumbálek a kol. Technické měření

ČSN EN ISO 4287.: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu:

Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999

ČSN EN ISO 4288.: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu:

Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999

Kureková, Gabko, Halaj - Technická merania, 2005

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

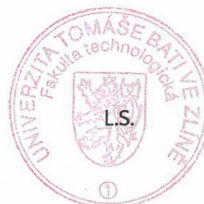
10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: David Frolo

Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2014



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

V této bakalářské práci je porovnáváno kontaktní a bezkontaktní měření drsnosti povrchu. V závislosti na vzniklých výsledcích je posouzeno, zda je drsnoměr Mitutoyo SJ-211 firmy SKD Bojkovice dostatečným měřidlem pro vybraná měření polymerních dílů pro automobilový průmysl. V teoretické části jsou popsány principy kontaktního a bezkontaktního měření, dále pojmy a definice jakosti povrchu s ohledem na normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. Následně jsou zde uvedeny značení drsnosti povrchu ve výkresové dokumentaci dle ČSN EN ISO 1302. Praktická část bakalářské práce se zabývá měřením drsnosti povrchů na vybraných portfoliích polymerních dílů. Výsledná měření byla porovnána a následně zpracována pomocí softwaru Minitab 14. V závěru vyplynulo doporučení, zda pořízovat nový firemní drsnoměr nebo si ponechat stávající.

Klíčová slova: Jakost povrchu, kontaktní a bezkontaktní měření drsnosti povrchu, profil válce, profil kužele, měřicí drsnoměr

ABSTRACT

In this bachelor's thesis there is compared contact and non-contact measurement of surface roughness. According to results of measurements there is assessed suitability of Mitutoyo SJ-211 (measuring instrument of roughness) which SKD Bojkovice uses for measuring of polymer parts for car industry. The theoretical part describes principles of contact and non-contact measurement as well as concepts and definitions of surface quality (according to standards ČSN EN ISO 4287 and ČSN EN ISO 4288). At the end of theoretical part there is mentioned signage of surface roughness by drawing documentation (according to standard ČSN EN ISO 1302) and illustrative example of its. The practical part of the thesis deals with measuring of surface roughnesses on selected portfolio of polymer parts for car industry. Resultant measuring was compared and processed by software Minitab 14. The conclusion of the work was recommendation if it will be better to buy a different measuring instrument of roughness or to keep the old one.

Keywords: surface quality, contact and non-contact measurement of surface roughness, cylinder profile, cone profile, measuring instrument of roughness

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za cenné rady a odborné vedení při vypracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu a kolegům z práce za jejich cenné rady.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE SNÍMÁNÍ JAKOSTI POVRCHU KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM	12
1.1 TEORIE SNÍMÁNÍ JAKOSTI POVRCHU KONTAKTNÍM ZPŮSOBEM	13
1.2 TEORIE SNÍMÁNÍ JAKOSTI POVRCHU BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM	16
2 URČENÍ CHARAKTERISTICKÝCH PARAMETRŮ PRO HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU POLYMERNÍCH DÍLŮ	20
2.1 POJMY A DEFINICE S OHLEDEM NA JAKOST POVRCHU DLE NOREM ČSN EN ISO 4287 A 4288	20
2.1.1 Prvek povrchu	21
2.1.2 Filtr profilu	22
2.1.3 Souřadnicový systém	22
2.1.4 Profil povrchu.....	23
2.1.5 Skutečný povrch.....	23
2.1.6 Základní profil.....	24
2.1.7 Profil vlnitosti.....	24
2.1.8 Profil drsnosti	24
2.1.9 Základní délka	24
2.1.10 Vyhodnocovaná délka	25
2.2 PARAMETRY POPISUJÍCÍ DRSNOST	25
2.3 VÝŠKOVÉ PARAMETRY – PRŮMĚRNÉ HODNOTY POŘADNIC.....	27
2.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Pa, Ra, Wa.....	27
2.3.2 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Pq, Rq, Wq	27
2.3.3 Špičatost posuzovaného profilu Pku, Rku, Wku.....	28
2.3.4 Šikmost posuzovaného profilu Psk, Rsk, Wsk.....	28
2.4 PROHLUBNĚ A VÝSTUPKY – VÝŠKOVÉ PARAMETRY.....	28
2.5 DÉLKOVÉ A TVAROVÉ PARAMETRY	30
3 ZNAČENÍ DRSNOSTI VE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI	32
3.1 POPIS ZNAČENÍ DLE NORMY ČSN EN ISO 1302.....	32
3.1.1 Příklady jednotlivých způsobů značení u značek drsnosti a jejich popis.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
4 VÝBĚR DÍLŮ A POPIS MĚŘENÍ JEJICH PROFILŮ	38
4.1 POPIS DÍLŮ	39
4.2 POPIS VÝBĚRU PLOCH K MĚŘENÍ U POLYMERNÍCH DÍLŮ	41
4.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ K MĚŘENÍ.....	42
5 MĚŘENÍ A POPIS POSTUPU MĚŘENÍ	46
5.1 KONTAKTNÍ MĚŘENÍ TECHNICKÝCH DÍLŮ 1 - 4	46
5.2 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TECHNICKÝCH DÍLŮ 1 – 4.....	49
6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ MĚŘENÍ	57
6.1 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ V SOFTWARE MINTAB 14.....	64
ZÁVĚR	66

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK.....	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

V dnešní době, kdy se zvyšují nároky na kvalitu vyráběných dílů ve strojírenství, se stejně tak zvyšují taky požadavky na kvalitní povrch u polymerních dílů. Zvláště pro zákazníky z oblasti automobilového průmyslu. Pro ověřování a měření drsnosti povrchu je třeba mít kvalitativně odpovídající měřidlo, tedy drsnoměr. Firma SKD Bojkovice, která je dodavatelem pro automobilový průmysl, proto zvažuje nákup nového drsnoměru. Z toho důvodu jsem si ve své bakalářské práci určil cíl porovnat kontaktní drsnoměr firmy SKD Bojkovice s bezkontaktním drsnoměrem na UTB ve Zlíně a následně vyhodnotit kvalitu firemního kontaktního drsnoměru.

V teoretické části bakalářské práce jsou shrnuty obecné informace o jakosti povrchu, jeho charakteristické vlastnosti a parametry dle normy ČSN EN 4287 a normy ČSN EN 4288. V poslední oblasti teoretické části je také uvedena základní charakteristika pro popis jednotlivých značení drsnosti povrchu a názorné příklady.

Praktická část se skládá z popisu jednotlivých technických dílů a popisu oblastí, ve kterých se drsnost povrchu má měřit. Dále je zde uveden popis jednotlivých měřicích přístrojů a popis situací a postupů při veškerých provedených měřeních. Jako poslední oblast v praktické části je uvedeno statistické vyhodnocení naměřených výsledků. Vyhodnocení a zpracování naměřených dat proběhlo pomocí programu Minitab 14.

V závěru je shrnut výsledek měření a doporučení, zda je drsnoměr firmy SKD Bojkovice dostatečným měřidlem pro dané požadavky zákazníků, anebo je potřeba pro jeho nedostatečnost pořízení nového měřicího přístroje.

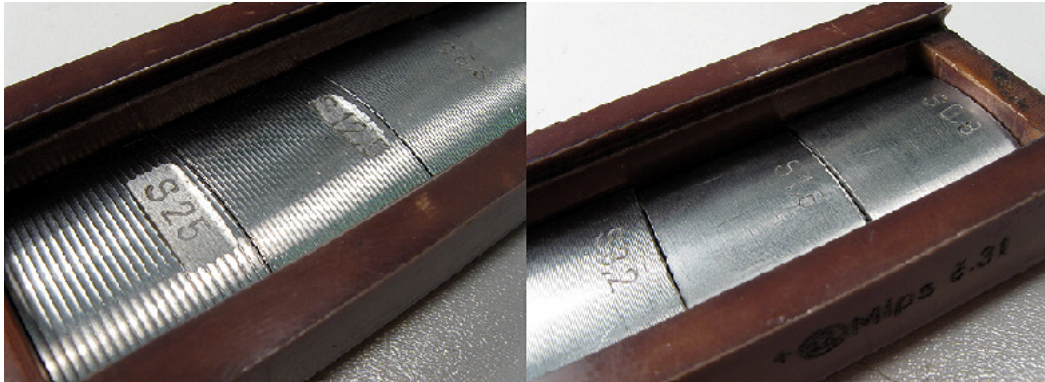
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE SNÍMÁNÍ JAKOSTI POVRCHU KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM

V dnešní době v měření jakosti, a zvláště pak u měření drsnosti povrchu, je stále více zaznamenáván výrazný pokrok v posuzování a vyhodnocování daných vlastností povrchu. Doba, kdy se povrch plochy převážně posuzoval pouhým pohledem nebo ohmatem, je již dávno pryč. Dnes se do popředí dostávají moderní přístroje, které mohou dosáhnout velmi přesně naměřených a vyhodnocených dat a výsledků. S ohledem na požadavky měření je zde ve značné míře zařazována výpočetní technika, podpora počítačové techniky a poměrně často i forma bezkontaktního měření, například 3D scanner apod. I z tohoto pohledu se tedy dělí měření povrchu na formu kontaktní a bezkontaktní. [3] Obecně je možnost povrch plochy posuzovat kvalitativním a kvantitativním způsobem. Kvalitativní způsob – jedná se o způsob, kdy se porovnávají dvě plochy vůči sobě samotným. Porovnává se povrch, u něhož se zjišťuje, zda je hladší nebo hrubší než povrch vzorový, jehož drsnost povrchu je známa. Je tedy možnost zjišťovat, zda se drsnost porovnávaného povrchu pohybuje v určeném rozmezí (např. 0,8 – 1,6 μm). U této metody se musí vždy porovnávat jen povrchy, které byly obrobena stejným způsobem jako povrch vzorový. K porovnávání je nutno použít tzv. vzorkovnici drsnosti povrchu, na níž jsou jednotlivé plochy obrobena odlišnými způsoby opracování a tedy s různou stupnicí drsnosti. Vzorkovnice mohou být vyrobeny v různých variantách provedení, obrázky č. 1 ač. 2. [1]



Obr. 1 Vzorkovnice drsnosti [1]



Obr. 2 Vzorkovnice drsnosti [2]

Kvantitativní způsob – u této metody se drsnost povrchu vyjadřuje číselně a to v parametrech např. Ra, Rz a dalších. Tímto způsobem se převážně měří za pomoci přístrojů, které vyhodnocují dané odchylky od své nulové hodnoty. Může se tedy obecně říct, že u kvantitativního způsobu měření drsnosti povrchu ploch, je výsledkem soubor odchylek povrchu od již zmíněné nulové hodnoty komparátoru. I tyto přístroje jsou v různých provedeních s odlišnými způsoby měření. Mezi takové řadíme například dotykový profiloměr. [1]

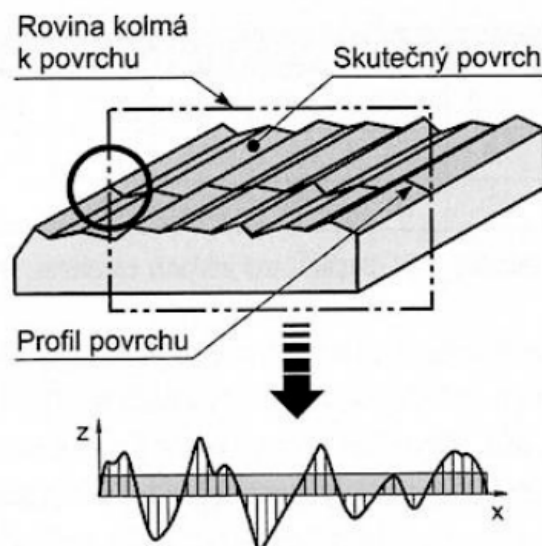


Obr. 3 Dotykový profiloměr [4]

1.1 Teorie snímání jakosti povrchu kontaktním způsobem

Při měření struktury požadovaného povrchu se využívají speciální jednoúčelové měřicí přístroje – profilometry, které umožňují snímat profil měřeného povrchu. Dle potřeby vyhodnocení nasnímaných dat měřeného povrchu a možnosti přístupu k dané části plochy, se již předem volí způsob měření a typ přístroje. V případě vyhodnocování dat

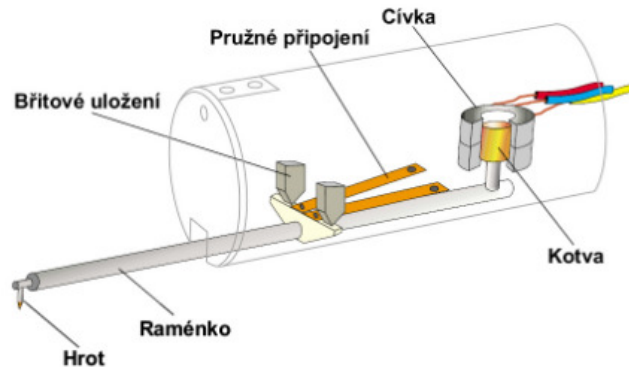
přímo přístrojem, jsou pouze omezené možnosti vyhodnocování, především se zde určí jen číselné vyhodnocení. Jestliže je přístroj připojený k počítači, je zde možnost s naměřenými daty dále pracovat pomocí specifického softwaru určenému k těmto operacím. Dané softwary jsou naprogramovány a přímo jednoúčelově vyčleněny k využití u zvoleného přístroje. Pracují tak s naměřenými výsledky a minimalizují tím vliv a chyby měření způsobené obsluhou. Veškeré přístroje jsou koncipovány k vysoce přesnému a citlivému měření a vyhodnocování výsledků, a tak je zde výrazně důležitý aspekt, jakým způsobem je měření provedeno, při jakých podmínkách se měří, důkladné očištění povrchu měřené plochy a v neposlední řadě údržba přístroje. [4] V dnešní době jako nejčastěji používaná dotyková metoda je tzv. profilová metoda uvedena na obrázku č. 4.



Obr. 4 Profilová metoda [5]

„Snímačem je profilometr. Základním prvkem profilometru je diamantový hrot. Nejdůležitější geometrické parametry hrotu jsou kulové zakončení na špičce a jeho vrcholový úhel. Metoda spočívá v posuvu hrotu přístroje, který se skládá z mechanické a elektrické části, po měřeném povrchu.“ [5] Mechanický signál, jenž je přenášen na měřicí hrot, je dále indukčně převáděn na signál elektrický. Konečný výstup této metody je digitalizovaný profil povrchu s jediným řezem povrchu, který byl kontrolován. Dále se profil vyhodnocuje pomocí normalizovaných i nenormalizovaných parametrů. Přímo profilometr nebo naprogramovaný software potom vyhodnocuje naměřená data. Značné nepřesnosti při kontaktním měření jsou způsobeny nepřesným pohybem dotykového hrotu. Z toho důvodu musí být pohyb po měřeném povrchu pohybovým dotykem přesný, a to jak z pohledu rovnoměrnosti, tak i přímosti. [5]

Dotykový hrot se po měřeném povrchu pohybuje ve dvou polohách. V první poloze dotyk snímá povrch, a tedy měří drsnost a druhá poloha je zpětná. V této fázi se dotyk vrací do nulové pozice dané výrobcem přístroje.



Obr. 5 Popis dotykového drsnoměru [6]

Příklad přenosného dotykového měřicího přístroje je vidět na obrázku 6. Jedná se o přístroj SurfTest SJ-210 od společnosti Mitutoyo. [7]



Obr. 6 Drsnoměr SurfTest SJ-210 [7]

U daného kontaktního měření může být několik nevýhod. Běžná chyba při tomto měření je např. ta, že dotyk ve fázi snímání povrchu je špatně nakloněn, a tak se po povrchu posunuje i rameno nebo okolí, ve kterém je uchycen diamantový hrot a měření tedy není správné. Při tomto snímání se může povrch materiálu poškrábat, tedy znehodnotit, což je velký problém. [8] Z těchto důvodů se tedy používají dokonalejší přístroje, a to buď bezdotykové, nebo CNC přístroje k měření drsností. Vše je třeba uvažovat s ohledem na profil měřené části výrobku a využitelnosti přístroje. Ve výrobní fázi výrobku se z velké části využívá automatických a poloautomatických CNC strojů. Stejně tak je to-

mu i v metrologii, kde je také možnost využití CNC přístrojů a možnost naprogramování měřících cyklů a tím zdokonalování a zpřesnění měření daných vlastností, tzn. drsností povrchu. Tímto způsobem je vyražena jakákoliv nesrovnatelnost, ohledně snímání povrchu jinou částí než diamantovým dotykem. Pro polohování je stroj vybaven posuvným stolem, který se pohybuje ve dvou osách, a to ve směru osy X a osy Y. Samotný nástroj se k měřené ploše pohybuje a polohuje pomocí třetí osy, a to osy Z. „U modelů vybavených α -osou, je možné provádět kontinuální měření na vodorovných a šikmých plochách motoricky naklápěnou posuvovou jednotkou“. [9] Jako příklad CNC přístroje k měření drsnosti je zde na obrázku č. 7 uveden přístroj SurfTest Extreme SV-3000CNC od společnosti Mitutoyo, která je ve svém oboru na trhu jedním z významných dodavatelů. [9]

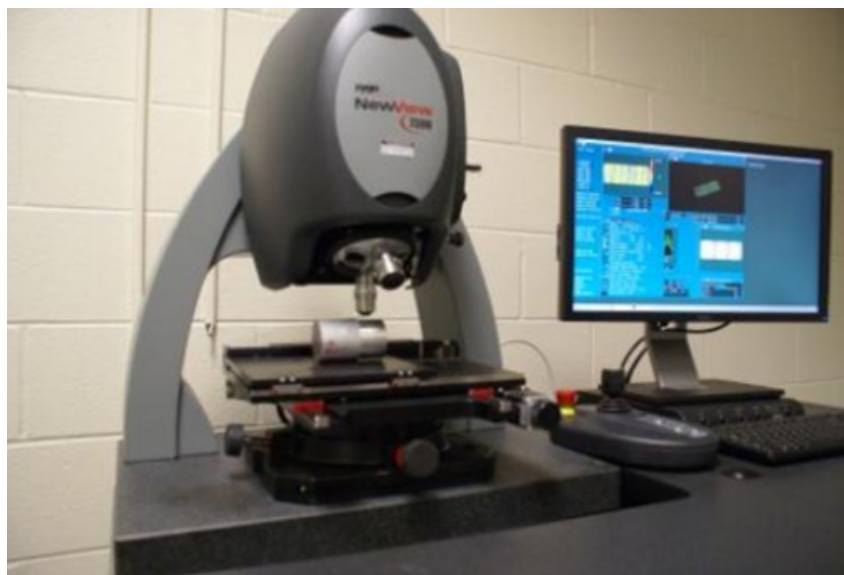


Obr. 7 SV-3000CNC [9]

1.2 Teorie snímání jakosti povrchu bezkontaktním způsobem

„Důležitým aspektem v zavádění měření optickými přístroji je situace, kdy není možné použít dotykové snímání povrchu. Jedná se o technické povrchy některých nových konstrukčních materiálů, jako jsou součásti paměťových zařízení, soustavy mikro rozměrných čoček atd.“ [5] Jednou z předností bezdotykového způsobu měření je vyloučení jakéhokoliv poškození povrchu během měření a je zde docíleno daleko přesnějších výsledků. [10] Jako další přednosti včetně již zmíněné bezkontaktnosti (tj. nedestruktivnosti) jsou považovány potenciální možnosti, kdy je operátor téměř okamžitě schopen

poskytovat naměřené výsledky. V závislosti na požadavcích vyhodnocování daného povrchu, je zde možnost využití „integrálnosti“, což umožňuje poskytnout vyhodnocení získaných informací o povrchu buď z menší, nebo větší plochy povrchu. [4] Naopak jako nevýhodu bezdotykového měření je třeba uvést možnou ztrátu dat a poměrně vysokou cenu přístroje a softwaru. V případě, že se paprsek neodrazí do detektoru zcela správně, nemusí se data zaznamenat. Tento problém se převážně vyskytuje u náhle měněných míst na profilu nebo v hraničních oblastech. „Ztrátu dat může způsobit i velmi vysoká nebo nízká odrazivost povrchu.“ [5] Jedním z přístrojů pro bezkontaktní měření může být bezdotykový profiloměr, uvedený na obrázku č. 8.



Obr. 8 Bezdotykový profiloměr [4]

Princip bezkontaktního měření spočívá v tom, že místo diamantového hrotu je použit světelný paprsek, který se odráží, případně rozptyluje na daném měřeném povrchu.

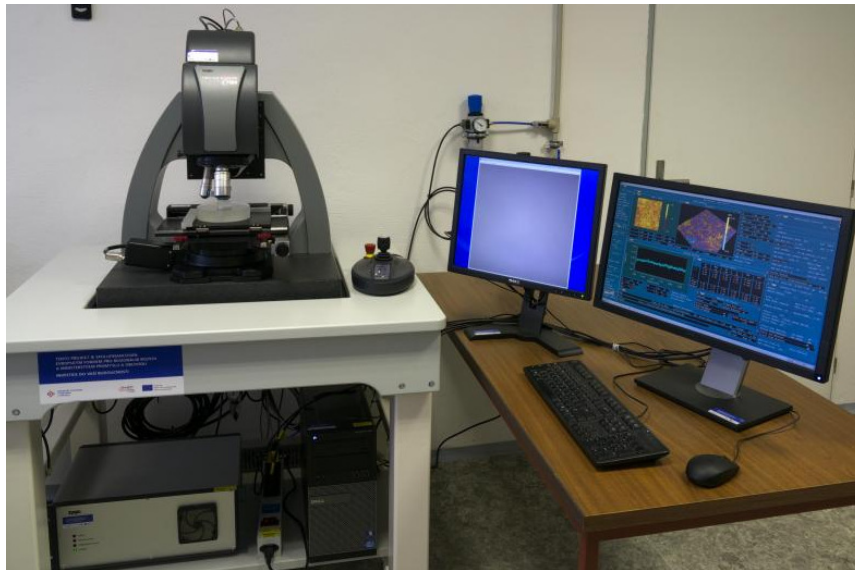
Výsledek měření je značně ovlivněn hloubkou vniknutí světelného paprsku. V závislosti na součiniteli absorpce měřeného materiálu se tato hloubka mění. Veškerá měření mohou ovlivnit vlastnosti měřeného materiálu. Mezi kritická místa měření jsou řazeny také sklony (úhly) textury, neboť v těchto místech mohou být různé odrazivosti. V hloubce z je intenzita $E(z)$ vyjádřena daným vztahem:

$$E(z) = E_0 \exp(-\alpha z),$$

kde α – je považováno za absorpční koeficient, závislý na dopadající vlnové délce

E_0 – je intenzita v hloubce z

„Intenzita E_0 v místě dopadu na povrch je poměr dopadajícího světla k jeho odrazu.“
[10]



Obr. 9 Profilometr Zygo NewView 7100 [11]

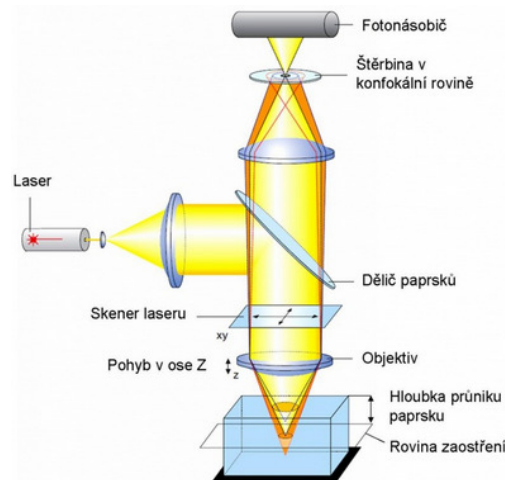
V případě kovových povrchů je součinitel absorpce a odrazu vysoký. Naopak pro jiné materiály, kde dopadající světlo proniká do materiálu, jsou součinitele nízké. [10] Bezkontaktně měřících systémů je dnes již celá řada. Záleží na potřebě a požadavcích dané firmy, jakou formu měření drsností ploch zvolí, a kterou bude používat. Tyto měřicí systémy mohou pracovat na různých principech, například optické, rastrovací, skenovací, elektronové a další. V mnohých případech dochází ke stálému zlepšování, zdokonaňování a rozšiřování koncepcí přístrojů a znázorňování 3D povrchů. Pro povrchy, které není možné změřit dotykovým snímačem, se používá přístrojů, které jsou vybaveny senzorem bílého světla. Jedná se o tzv. optickou interferometrii. Zde snímač při měření (snímání) získává informace o absolutní výšce pomocí rozkladu vertikálně dopadajícího bílého světla na barevné složky. Pomocí interferenčních obrazců a jejich zpracování vzniká výsledná 3D topografie povrchu. Tohoto principu lze využít například u měření opticky leštěných ploch. Lze měřit například pomocí profilometru Zygo NewView 7100, který je uveden na obrázku č. 9. „Jedná se o optický profilometr a drsnoměr na bázi interferometru v bílém světle (white light interferometry).“ [11] Pro pevné materiály jakými jsou keramika, polymery, dřevo, zuby, kosti, vlákna a jiné se využívá speciální metoda, a to tzv. „Konfokální laserová rastrovací mikroskopie (CLSM).“ „Konfokální laserová rastrovací mikroskopie (CLSM, Confocal Laser Scanning Microscopy) je optická kombinovaná zobrazovací technika, která díky vynikajícímu rozlišení, výborné-

mu kontrastu a velkému rozsahu zvětšení „přemostuje“ prostor mezi optickou a elektronovou rastrovací mikroskopií bez nutnosti speciální úpravy vzorku.“ [12] 3D zobrazení povrchu je zde dosaženo pomocí konfokálního principu a laserového paprsku, který je ve formě bodového rastrování. [12]



Obr. 10 Popis mikroskopu Lext OLS 3000, Olympus [12]

Systém konfokální optiky je místo, které je s polohou zaostření (konfokální rovinou) opticky sdružené a je zde umístěna clona, díky níž je odstraněno světlo, které přichází z míst mimo obrazovou rovinu objektivu. Následně se prostorový vzorek dělí na optické řezy a může snímat zaostřené body dané roviny v optické ose (především osa Z). Software následně vyhodnotí složení optických řezů a vytvoří výškové obrazy.



Obr. 11 Konfokální princip [12]

2 URČENÍ CHARAKTERISTICKÝCH PARAMETRŮ PRO HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU POLYMERNÍCH DÍLŮ

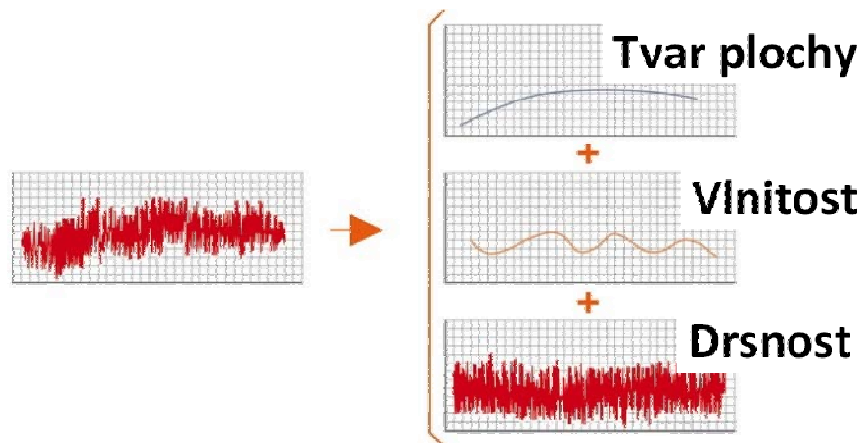
Při určování způsobu vyhodnocování struktury povrchu, způsobu měření a samotném měření je nutnost dodržování norem. Nejčastěji používané normy pro jakost povrchu jsou ČSN EN ISO 4287 A ČSN EN ISO 4288. Jednotlivé normy specifikují dané potřeby, kterými je třeba se řídit.

ČSN EN ISO 4287 – jedná se o mezinárodní normu, která stanovuje definice, termíny a parametry s ohledem k určování struktury povrchu (vlnitosti, drsnosti a základního profilu) profilovou metodou. [13]

ČSN EN ISO 4288 – jedná se o mezinárodní normu, jež stanovuje pravidla k porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro dané parametry ohledně struktury daného povrchu v normách ISO 4287, ISO 13565-2, ISO 13565-3 a ISO 12085. Dále specifikuje standard v pravidlech při výběru u mezních vlnových délek cut-off λ_c parametrům profilu drsnosti dle ISO 4287, které se měří za pomoci dotykových (hrotových) přístrojů dle normy ISO 3274. [14]

2.1 Pojmy a definice s ohledem na jakost povrchu dle norem ČSN EN ISO 4287 a 4288

Jakost povrchu neboli drsnost, je tzv. souhrn daných nerovností s poměrně malou vzdáleností, které jsou ovlivněny daným způsobem výroby. Prvky drsnosti povrchu jsou ovlivněny tvarem nástroje a jeho opotřebením, řeznou rychlostí a posuvem. S ohledem na drsnost se zde nepočítají vady povrchu, které se mohou vyskytovat ojediněle a s nepravidelnou nerovností. Sem se řadí například trhlinky, důlky, rysky, případně vady blíže nespecifikované vzniklé poškozením a vadami na materiálu. [4] Při opakovaných nebo nahodilých úchytkách od geometrického povrchu, jenž tvoří jeho trojrozměrnou topografii, se jedná o tzv. strukturu povrchu. [15] Obecný tvar povrchu je rozdělen do tří základních komponent, u kterých je odlišná především vlnová délka. Jde o tvar plochy, vlnitost a drsnost.



Obr. 12 Obecný tvar povrchu – popis [16]

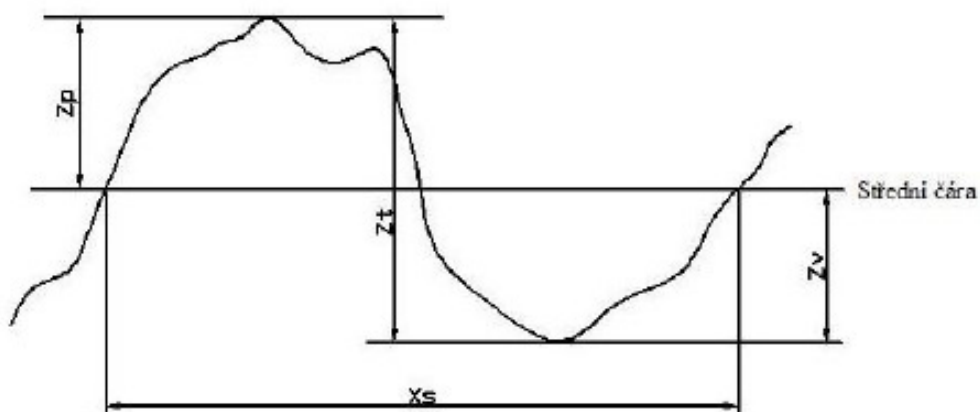
Tvar plochy – je považován za obecný tvar povrchu při vyloučení vlnitosti a drsnosti – tyto odchylky mohou být způsobeny také špatnou přímostí vodících ploch, teplem vzniklým během výrobního procesu nebo nedostatečnou tuhostí. [17]

Vlnitost – část textury, kde je vytvořena drsnost. „*To může být způsobeno chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu (je spíše považována za vliv stroje, např. nevyvážeností brousícího kotouče, nepřesností vodících částí nebo malou tuhostí)*“. [17]

Drsnost – tento parametr je udáván jako nepravidelnosti, které jsou výsledkem výrobního procesu. Tento proces je ovlivněn vzájemným relativním pohybem mezi obrobkem a nástrojem. [17]

2.1.1 Prvek povrchu

Za prvek profilu je považován výstupek profilu a jeho přilehlá prohlubeň.

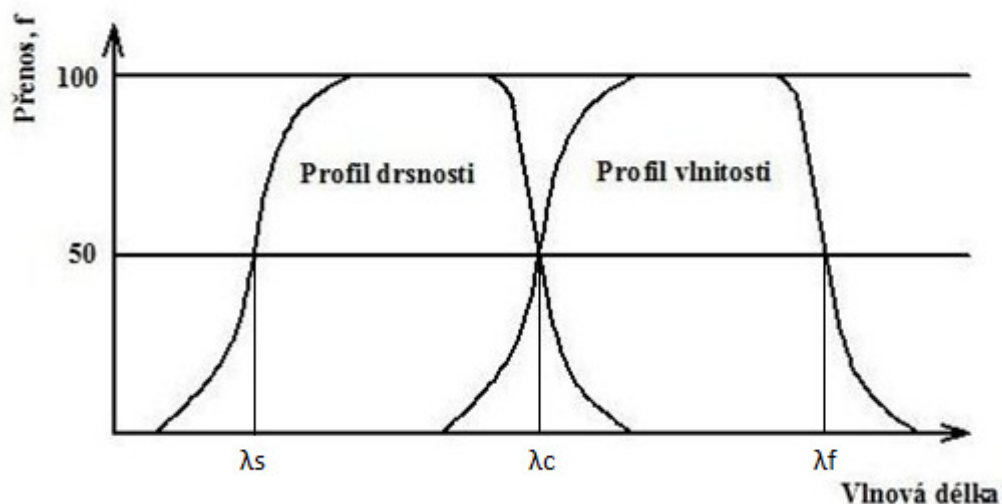


Obr. 13 Prvek profilu [13]

2.1.2 Filtr profilu

Filtr profilu rozděluje dané profily na krátkovlnné a dlouhovlnné složky. Dělí se na tři základní definované filtry, které se řídí normou ISO 11562. Rozdíl mezi těmito třemi filtry profilu je v rozdílných hodnotách Cut-off, což jsou mezní vlnové délky. Tuto délku definuje norma ČSN EN ISO 4288. Filtry profilu se tedy dělí na:

- Filtr profilu λ_c : daný filtr definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti (viz obr. 12)
- Filtr profilu λ_f : je považován za filtr, jenž definuje rozhraní mezi danou vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na daném povrchu (viz obr. 12)
- Filtr profilu λ_s : je považován za filtr, jenž definuje rozhraní mezi danou drsností a kratšími složkami vln přítomnými na daném povrchu (viz obr. 12) [13]

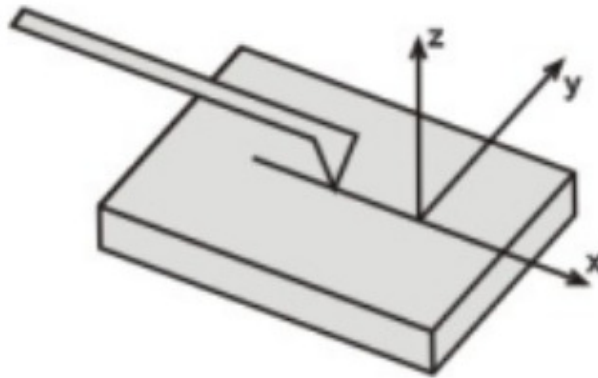


Obr. 14 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [13]

2.1.3 Souřadnicový systém

Jedná se o souřadnicový systém, kde jsou definovány parametry struktury povrchu. Daný pojem v anglickém jazyce Coordinate system. Souřadnicový systém je převážně využíván jako pravoúhlý souřadnicový systém, jehož osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu. Osa X leží ve směru snímání a je souběžná s danou střední čarou. Osa Y, která je kolmá na osu X, stejně tak jako již zmiňovaná osa X, leží na skutečném povrchu, kde zbylá osa Z je směřována z povrchu (materiálu) do okolního prostředí, a reprezentu-

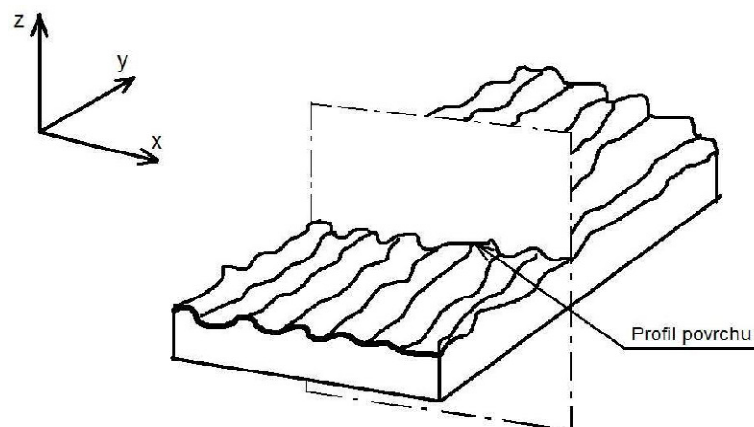
je souřadnice výškových odchylek profilu. Tato konvence je přijata v této mezinárodní normě. [13]



Obr. 15 Souřadný systém snímání [4]

2.1.4 Profil povrchu

Pojmem „Profil povrchu“ je myšlen profil, který vzniká protnutím průsečnice skutečného povrchu a dané teoretické roviny. Při uvažování v praxi se obvykle volí kolmá rovina k rovnoběžné rovině na skutečném povrchu, kde je zahrnut také vhodný směr. Názorný příklad je vidět na níže uvedeném obrázku. [13]



Obr. 16 Profil povrchu [13]

2.1.5 Skutečný povrch

Je výsledkem povrchu na obrobku po obrábění a jiné povrchové úpravě. Považuje se tedy za povrch, který omezuje těleso a odděluje ho od okolního prostředí. [13]

2.1.6 Základní profil

Základní profil je základem pro číslicové zpracování profilu povrchu a pro výpočet parametrů profilu. [18] „*Střední čára základního profilu (mean line for the primary profile): čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu.*“ [13]

2.1.7 Profil vlnitosti

Jedná se o profil, který je odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c . Daný profil je pozměněn záměrně. „*Střední čára profilu vlnitosti (mean line for the waviness profile): čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_f .*“ [13]

2.1.8 Profil drsnosti

Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek za použití filtru profilu λ_c . Daný profil je pozměněn záměrně. „*Střední čára profilu drsnosti (mean line for the roughness profile): čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_c .*“ [13]

2.1.9 Základní délka

l_p , l_r , l_w – je délka ve směru osy x, která je používána k rozpoznání nerovností, jež charakterizují vyhodnocovaný profil (CUT-OFF). Délka musí být dostatečně velká s ohledem na to, aby měřené parametry byly dostatečně významné, ne ale tolik, aby se mohly projevit nepodstatné detaily profilu. [4]

Tabulka 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$ a křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily (např. broušené profily) [14]

R_a (μm)	Základní délka drsnosti „ l_r “ (mm)	Vyhodnocovaná délka drsnosti „ l_n “ (mm)
$0.006 < R_a \leq 0,02$	0.08	0.4
$0.02 < R_a \leq 0,1$	0.25	1.25
$0.1 < R_a \leq 2$	0.8	4
$2 < R_a \leq 10$	2.5	12.5
$10 < R_a \leq 80$	8.0	40

2.1.10 Vyhodnocovaná délka

l_n – je délka ve směru osy x, která je používána pro posuzování vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu, případně několik základních délek. Nejvíce standardním počtem vyhodnocovaných délek je za pomoci pěti základních délek. V případě použití jiného počtu je nutné tuto informaci vyznačit (např. Rz1, Rz3). Parametry definované na vyhodnocované délce jsou Pt, Rt a Wt. [14]

2.2 Parametry popisující drsnost

P-parametr: jedná se o parametr, který je vypočítaný ze základního profilu. [13]

R-parametr: jedná se o parametr, který je vypočítaný z profilu drsnosti. [13]

W-parametr: jedná se o parametr vypočítaný z profilu vlnitosti. [13]

U těchto tří parametrů jsou všechny veličiny definovány a následně dle profilu analogicky značeny P, R případně W. Určeny jsou pomocí normy ČSN EN ISO 4287. [4]

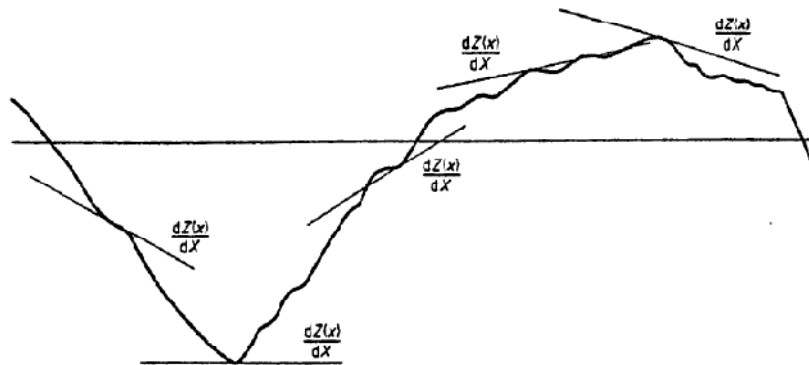
Výstupek profilu: je ta část posuzovaného profilu, která směřuje ven z materiálu do okolního prostředí, přičemž spojuje dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X [13]

Prohlubeň profilu: je ta část posuzovaného profilu, která směřuje dovnitř materiálu, přičemž spojuje dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X [13]

Hodnota pořadnice: je výška posuzovaného profilu v libovolné poloze X. Za zápornou se považuje ta výška, u které leží pořadnice pod osou X, kladná naopak. [13]

Místní sklon: je sklon daného posuzovaného profilu v poloze x_i . Na rozteči pořadnice ΔX kriticky závisí parametry $P\Delta q$, $R\Delta q$ a $W\Delta q$ a číselná hodnota místního sklonu. Pro výpočet místního sklonu lze použít vzorec, který by měl být použit pro základní rozteč, jenž je stanovena v ISO 3274 pro použitý filtr, u kterého z_i je výška i-tého bodu profilu a ΔX je rozteč mezi přilehlými body profilu, obrázek č. 17. [13]

$$dz_i/dx = [1/(60\Delta X)][z_{j+3} - 9z_{j+2} + 45z_{j+1} - 45z_{j-1} + 9z_{j-2} - z_{j-3}] [13]$$



Obr. 17 Místní sklon [13]

Šířka prvku profilu, X_s : je délka daného úseku osy X protínající prvek profilu.

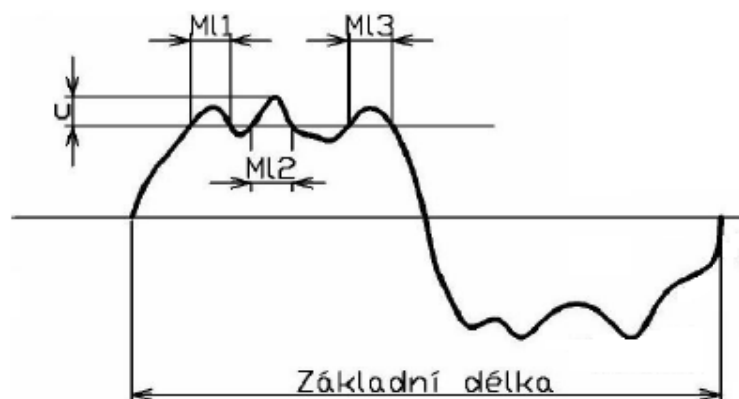
Výška prvku profilu, Z_t : je součet hloubky prohlubně daného prvku profilu a výšky výstupku.

Výška výstupku profilu, Z_p : je považována vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu.

Hloubka prohlubně profilu, Z_v : je vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu.

Materiálová délka profilu na úrovni c, $MI(c)$: je součet délek získaných v dané úrovni „c“ od protnuté rovnoběžné čáry. [13] Příklad takového součtu je možno vidět v následující rovnici materiálové délky v závislosti s obrázkem č. 18.

$$MI(c) = MI_1 + MI_2 + MI_3$$



Obr. 18 Materiálová délka [15]

2.3 Výškové parametry – průměrné hodnoty pořadnic

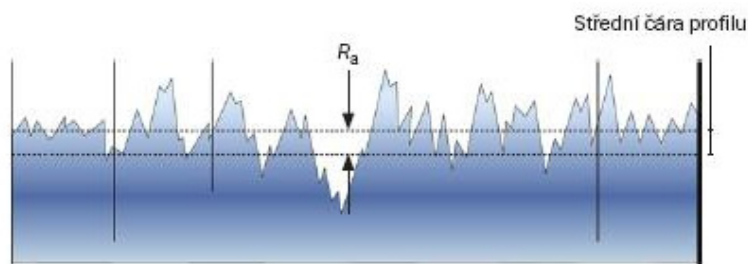
U těchto výškových parametrů se zpracovávají a vyhodnocují naměřená data pomocí průměrných aritmetických a kvadratických úchylek, šikmosti a špičatosti posuzovaného profilu. Dané výškové parametry se zde vyhodnocují z naměřených odchylek ve směru $Z(x)$.

2.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu P_a , R_a , W_a

Jedná se o aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$, v rozsahu základní délky. [13]

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{I} \int_0^I |Z(x)| dx$$

Kde $I = I_p$, I_r případně I_w



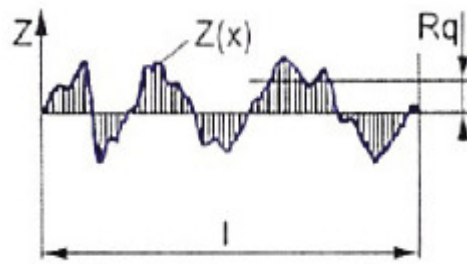
Obr. 19 Drsnost R_a [19]

2.3.2 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu P_q , R_q , W_q

U daných parametrů se vyhodnocuje kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$, v rozsahu základní délky. [13]

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{I} \int_0^I |Z^2(x)| dx}$$

Kde $I = I_p$, I_r případně I_w



Obr. 20 Drsnost \$Rq\$ [20]

2.3.3 Špičatost posuzovaného profilu \$Pku\$, \$Rku\$, \$Wku\$

Daná špičatost posuzovaného profilu je podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic \$Z(x)\$ a čtvrté mocniny hodnoty \$Pq\$, \$Rq\$ nebo \$Wq\$ v rozsahu základní délky. Právě tyto parametry (\$Pku\$, \$Rku\$, \$Wku\$) jsou velmi ovlivňovány ojedinělými prohlubněmi nebo ojedinělými výstupky.

$$Rku = \frac{1}{Rq^2} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4 x| dx \right]$$

2.3.4 Šikmost posuzovaného profilu \$Psk\$, \$Rsk\$, \$Wsk\$

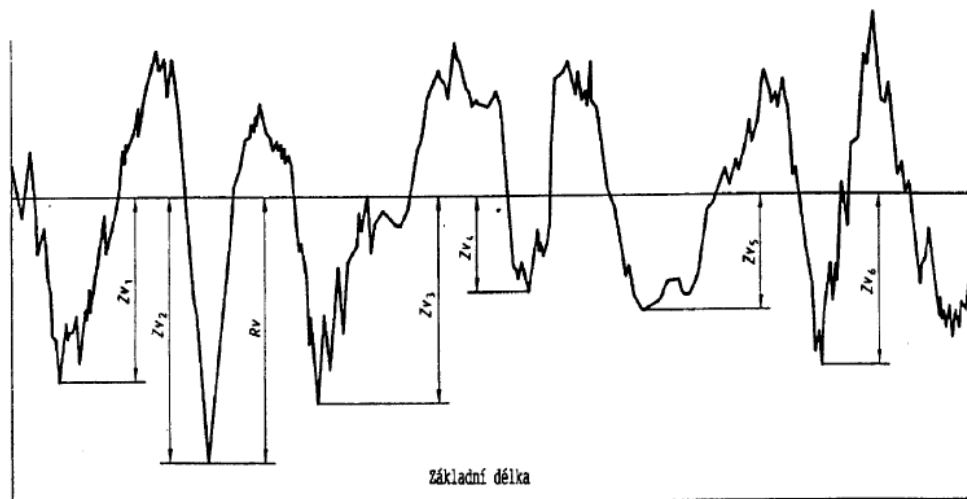
Zde je potřeba uvažovat danou šikmost jako podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic \$Z(x)\$ a třetí mocniny hodnoty \$Pq\$, \$Rq\$ nebo \$Wq\$ v rozsahu základní délky. [13]

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^3 x| dx \right]$$

2.4 Prohlubně a výstupky – výškové parametry

Největší hloubka prohlubně profilu \$Pv\$, \$Rv\$, \$Wv\$

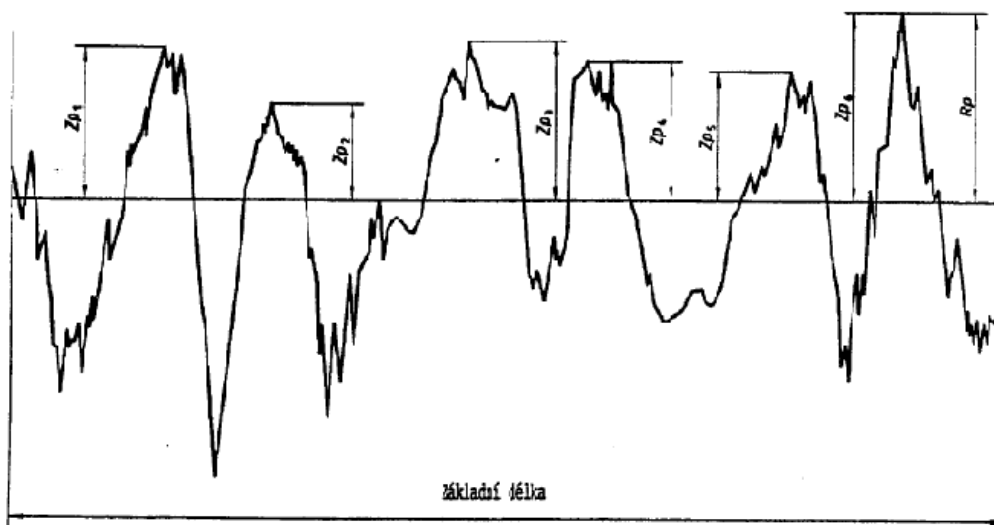
Jedná se o hloubku \$Zv\$, která znázorňuje nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [13]



Obr. 21 Největší hloubka prohlubní profilu [13]

Největší výška výstupku profilu Pp, Rp, Wp

V rozsahu základní délky se zde určuje výška Zp jako nejvyšší výstupek profilu. [13]



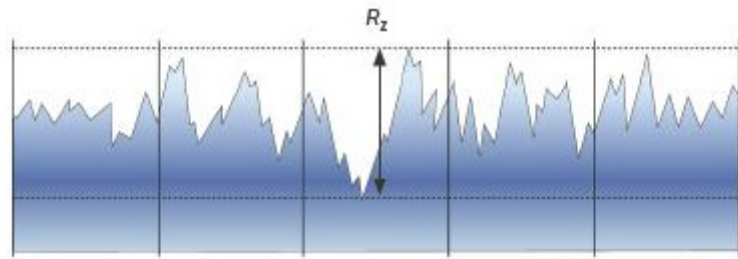
Obr. 22 – Největší výška výstupků profilu [13]

Celková výška profilu Pt, Rt, Wt

Jedná se o součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [13]

Největší výška profilu Pz, Rz, Wz

Je součet výšky Zp u nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv u nejnižší prohlubně profilu při daném rozsahu základní délky. [13]

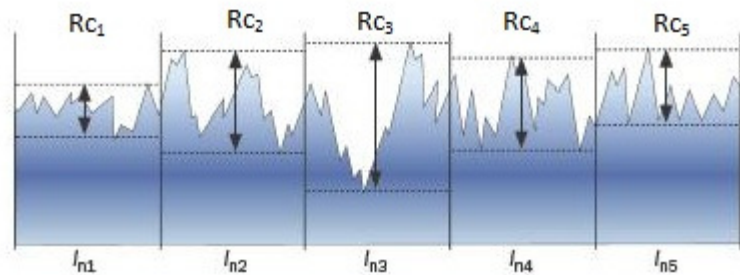


Obr. 23 – Největší výška profilu Rz [19]

Průměrná výška prvku profilu Pc, Rc, Wc

Určuje se jako průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v daném rozsahu základní délky. [13] Tento parametr představuje jeden z nejpřísnějších požadavků na R-profil. [19]

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti}$$



Obr. 24 – Výška jednotlivých prvků profilu Rc [19]

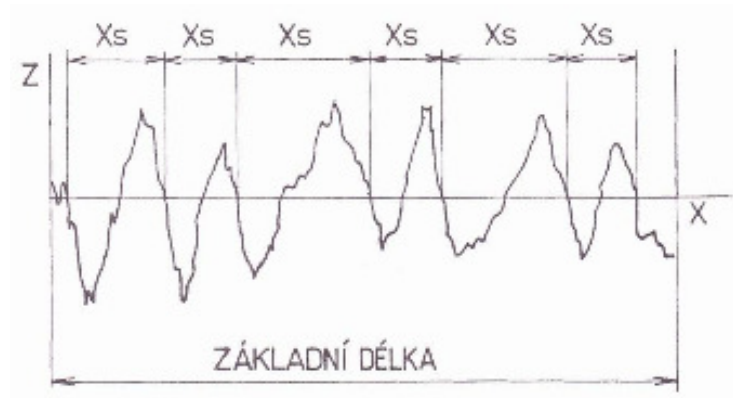
2.5 Délkové a tvarové parametry

Průměrná šířka prvků profilu PSm, RSm, WSm

Jedná se o aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu na rozsahu dané základní délky.

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i}$$

U těchto parametrů je nutné zadávat délkové a výškové omezení. Jestliže není určeno jiným způsobem, tak se omezení výšek považuje za 10% P_z , R_z nebo W_z a dále omezení roztečí je 1% základní délky. Splněny musí být obě dvě podmínky dle obrázku č. 25. [13]



Obr. 25 – Šířka prvků profilu [18]

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $P\Delta_q$, $R\Delta_q$, $W\Delta_q$

Je kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v daném rozsahu základní délky. [13]

3 ZNAČENÍ DRSNOSTI VE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI

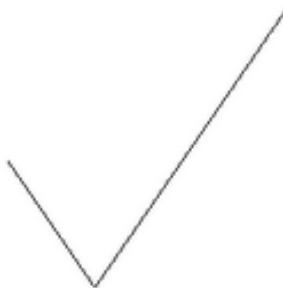
V technické dokumentaci (tzn. na výkresech) jsou požadavky na strukturu povrchu značeny různými grafickými značkami, přičemž každá z nich má svůj vlastní význam a souvislost s daným povrchem. [23]

Všechny značky a způsoby značení drsnosti povrchu v technické dokumentaci se značí dle normy ČSN EN ISO 1302. [21]

3.1 Popis značení dle normy ČSN EN ISO 1302

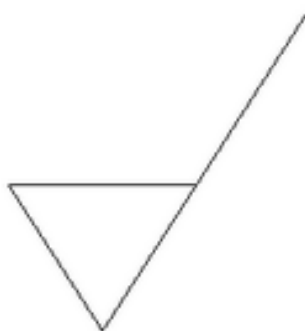
„Tato mezinárodní norma je normou geometrických požadavků na výrobky (GPS).“ [22] A zároveň „Tato mezinárodní norma stanoví pravidla pro označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků (např. ve výkresech, specifikacích, smlouvách, zprávách) pomocí grafických značek a textu.“ [22]

Ve výkresové dokumentaci je používána značka dle normy ČSN EN ISO 1302. Tato základní grafická značka je složena ze dvou rozdílně dlouhých čar, které svírají společný úhel přibližně 60°. Takováto značka je na výkrese umístována na čáru, která představuje daný povrch drsnosti. [23]



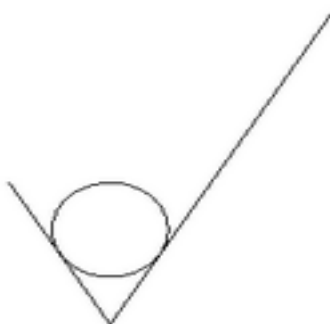
Obr. 26 Základní zn.
drsnosti povrchu [21]

Jen samotná značka ve výkrese nestačí k tomu, aby byl daný povrch vyrobitelný dle požadavků, a proto je nutno značku doplnit o další přibližující informace. Další možností je tzv. rozšířená grafická značka. Příkladem může být značka, která bude říkat, že obrobek musí být vyroben odebráním materiálu nebo naopak bez odebrání materiálu z povrchu součásti. Pokud se jedná o úběr materiálu na daném povrchu např. obráběním, na značce se musí provést uzavření značky čarou. Tato rozšířená grafická značka, která je znázorněna na obrázku č. 27 by se neměla používat bez doplňujících informací, tedy samostatně. [23]



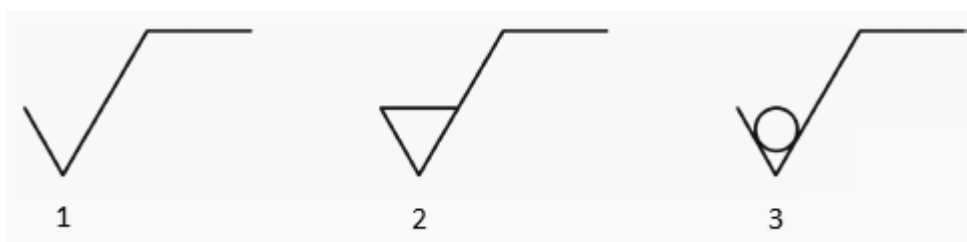
Obr. 27 Rozšířená
grafická značka [21]

Naopak při zákazu odebrání materiálu na povrchu, se k základní značce musí přidat kroužek, který danou operaci definuje, obrázek č. 28. [23]



Obr. 28 Rozšířená gra-
fická značka [21]

Při uvádění doplňujících požadavků ohledně charakteru povrchu (např. předepisování parametrů charakteru povrchu, údaje vyhodnocované délky nebo údaje tolerančních mezí), je přidávána delší čára na pravou horní část končící základní značky dle obrázku č. 29. Takto upravená značka se nazývá Úplná grafická značka. [23]

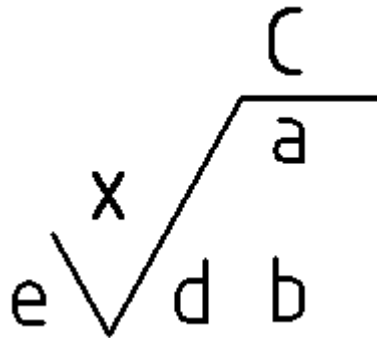


Obr. 29 Úplná grafická značka 1) APA 2) MRR 3) NMR [23]

Pokud se zde uplatní textových značení, anebo je v textu používáno těchto zkratek:

- 1.) APA – zde je možnost povrch obrábět jakýmkoliv výrobním postupem
- 2.) MRR – nutnost odebrání materiálu
- 3.) NMR – zakázáno odebírat materiál [23]

V daných místech značky lze uvést požadavek na provedení požadované výrobní operace. Názorné shrnutí a příklad takovéto značky je uveden a popsán na dalším obrázku 30. [24]



Obr. 30 Popis značky drsnosti [25]

a – místo pro udávání požadovaného stavu zpracování povrchu

b – další požadavky

c – výrobní postup (soustružení, broušení, chromování, apod.)

d – označení směru stop po obrábění

e – místo pro přídavek na obrobení (v mm)

x – písmeno k zjednodušené volbě odkazu, pokud není dostatek místa [25]

Po označení drsnosti povrchu, při obrábění a následně provedené výrobní operaci, jsou na obráběné ploše vidět určité dráhy. Tyto dráhy lze považovat za nerovnosti vzniklé obráběcím nástrojem. Tyto nerovnosti, které vzniknou na dané součásti po provedené výrobní operaci, jsou také výsledkem zvoleného výrobního procesu. I z tohoto důvodu se pomocí grafických značek definuje také směr nerovnosti povrchu, kterého je potřeba dosáhnout po obrábění. Toto značení nelze provést pomocí textu nebo textových zkratk. Symboly u grafických značek říkají, jakou orientaci mají mít nerovnosti ve vztahu k rovině výkresu obsahujícího požadavky ohledně charakteristiky daného povrchu. Směry nerovností povrchu jsou určovány například jako rovnoběžný, kolmý, zkřížený,

libovolný, kruhový, cykloidní nebo také bodový. [23] Přehled těchto symbolů a jejich výkresové značení je uvedeno na obrázku č. 31.

Značka směru nerovnosti	=	⊥	×	M	C	R	P
Směr nerovnosti	Rovnoběžný ^{*)}	Kolmý ^{*)}	Zkřížený	Libovolný	Kruhový	Cykloidní	Bodový
Označení na výkrese							

^{*)}... k průmětné rovině, ke které je vztažena značka drsnosti

Obr. 31 Značení směru nerovnosti [25]

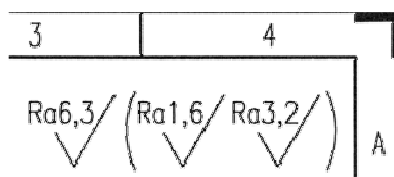
3.1.1 Příklady jednotlivých způsobů značení u značek drsnosti a jejich popis

Ukázka některých používaných značek drsnosti povrchu a jejich popis je uveden na obrázku č. 32.

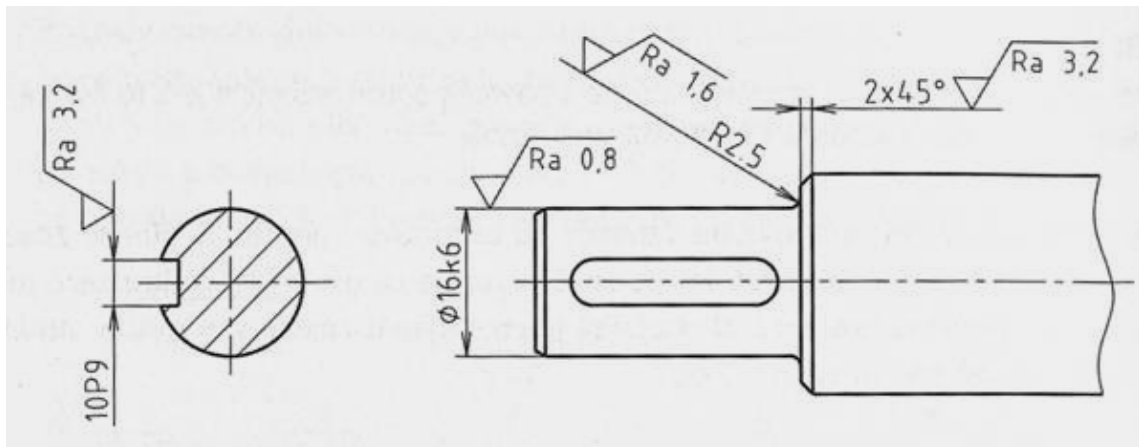
Značka	Popis jednotlivých značení drsnosti povrchu
	Předpis pro udání horní meze drsnosti povrchu
	Předpis pro udání horní meze drsnosti povrchu u odlévaného povrchu
	Předpis obrobeného povrchu s udáním maxima horní meze drsnosti
	Předpis pro obrobený povrch s udáním horní a dolní meze drsnosti
	Předpis pro neobrobený povrch po celém obvodu s udáním horní meze drsnosti

Obr. 32 Popis značek drsnosti povrchu

V případě více drsností na součástce je uvedena značka převládající drsnosti do pravého horního rohu výkresu. V závorkách je udáno potom značení zbylých drsností použitých na výkresu. Příklad značení drsností povrchu lze vidět na daném obrázku č. 33.



Obr. 33 Značení drsnosti na výkresu [18]



Obr. 34 Příklad značení drsnosti na výkresech [26]

Grafická značka drsnosti se musí orientovat tak, aby bylo možné předepsanou jakost povrchu číst ve směru od pravého nebo dolního okraje výkresu. Značka se umísťuje na obrysovou čáru, na pomocnou čáru, kótovací čáru nebo na pomocnou čáru zakončenou na obrysu šipkou. [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VÝBĚR DÍLŮ A POPIS MĚŘENÍ JEJICH PROFILŮ

K měření a porovnání drsnosti povrchu požadovaných ploch byly vybrány technické díly podobných profilů a požadavků na drsnost dané části výrobku z řad zákazníků. Jednalo se o 4 technické díly, které slouží v automobilovém průmyslu, a to např. v chladičích nebo převodovkách nejrozličnějších typů automobilů. Každý technický díl byl vstřikován na vstřikovací stroji D350 LV3.2 a za určitých technologických parametrů, jako jsou teplota, vstřikovací tlak nebo rychlost. Parametry jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka 2 Tabulka parametrů pro vstřikování jednotlivých kusů

	Materiál	Teplota formy [°C]	Čas cyklu [s]	Čas chlazení [s]	Vstřik. rychlost [ccm/s]	Vstřik. tlak [Pa]	Uzavírací síla [N]
Technický díl 1	PA 6.6GF30	300	52 - 2	20 +/- 2	170	125 * 10 ⁶	22 * 10 ⁵
Technický díl 2	PA 6.6GF30	300	52 +/- 5	20 +/- 2	180	120 * 10 ⁶	17 * 10 ⁵
Technický díl 3	PA 6.6GF30	300	48 - 2	18 +/- 2	140	145 * 10 ⁶	30 * 10 ⁵
Technický díl 4	PA 6.6GF35	300	56,5 - 2	18 +/- 2	60	120 * 10 ⁶	75 * 10 ⁵

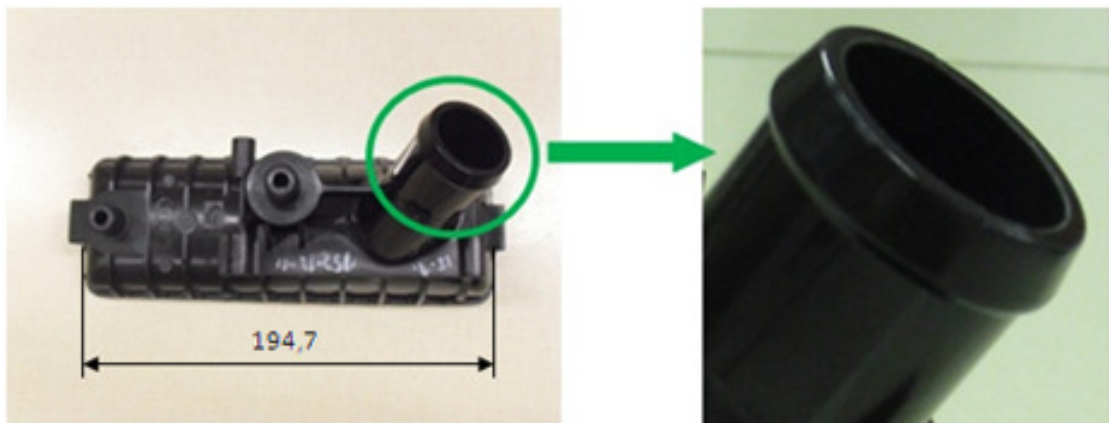
Díly byly vstřikovány materiálem PA6.6GF30 a PA6.6GF35, což je materiál polyamid 6.6 s přísádkou skelných vláken. U dílu 1, 3 a 4 bylo do výrobku přidáno 30% skelných vláken a u dílu 2 bylo přidáváno 35% skelných vláken. Materiál PA6.6 je naprosto vhodný a dostačující k výrobě daných výrobků. Navíc v kombinaci s přidávanými procenty skelných vláken jsou vlastnosti materiálu zvýšeny a tím i zlepšeny. U všech vstřikování byly všechny čtyři formy vytápěny na teplotu 300°C. Časové cykly se pohybovaly kolem 50s, jak je uvedeno v tabulce č. 2. Stejně tak chlazení, vstřikovací rychlost, tlak a uzavírací síla jsou uvedeny v tabulce č. 2. Na obrázku č. 35 je zobrazen vstřikovací stroj Demag vhodný ke vstřikování plastových výrobků.



Obr. 35 Vstřikovací stroj Demag [27]

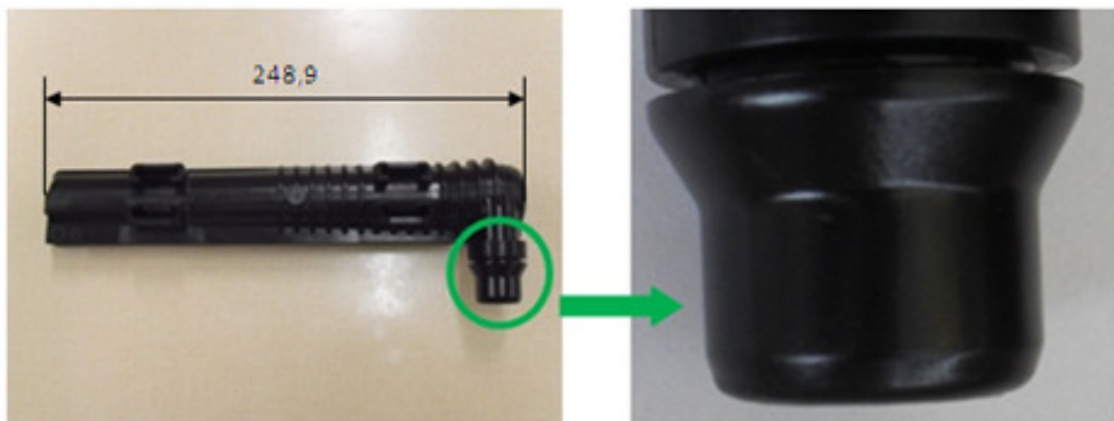
4.1 Popis dílů

Pro lepší přehlednost byly jednotlivé díly označeny čísly 1 – 4 a každý nazván jako „technický díl“. U každého dílu byla oblast měření volena na profilu válce a kužele. Na díle 1 se měřil tzv. šikmý „stutzen“, který je zobrazen v detailu na obrázku č. 36 níže. Pro rychlejší orientaci u měření jednotlivých ploch se v metrologii dají použít tzv. geometrické prvky. V našem případě to jsou prvky jako kužel a válec.



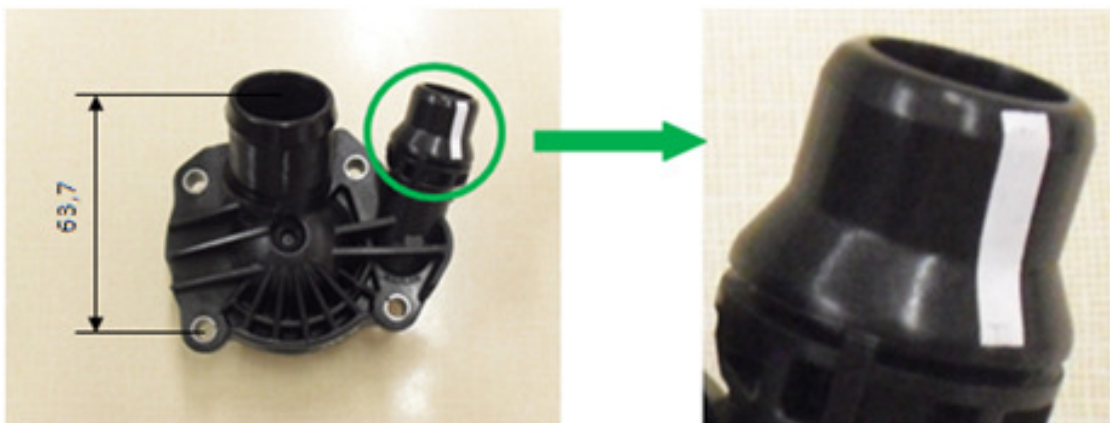
Obr. 36 Díl 1 a detail jeho měřené oblasti

Na díle 2 se nachází prvky válce a kužele stejně tak jako na díle 1. Hlavní odlišnost, u obou měřených oblastí, je v přechodu mezi elementy. Rozdíl je tedy hlavně ve tvaru „stutzenu“, nikoliv v jeho povrchové úpravě. Zatímco u dílu 1 kužel přesazuje válec, u dílu 2 kužel do válce plynule přechází.



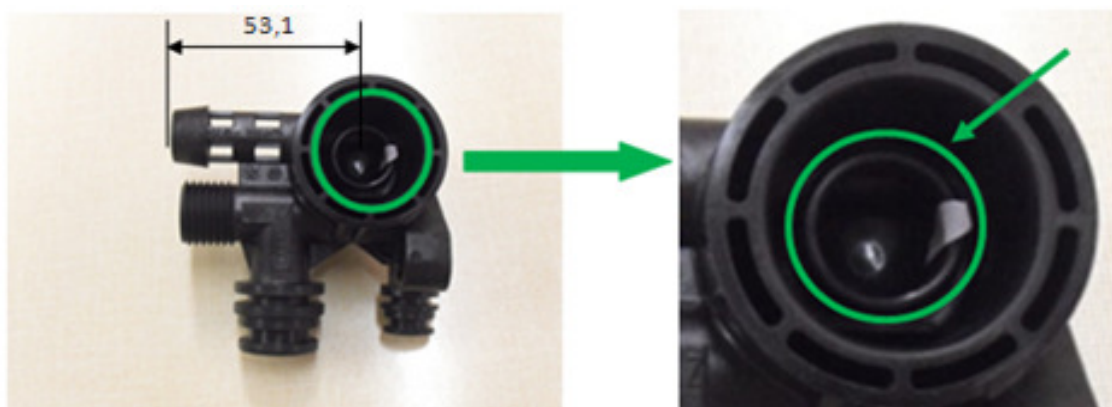
Obr. 37 Díl 2 a detail jeho měřené oblasti

Při srovnání dílu 2 a 3 není zřetelný větší rozdíl ve tvaru, tudíž opět tvarově přechází kužel plynule do válce.



Obr. 38 Díl 3 a detail jeho měřené oblasti

Z důvodu tvarového profilu dílu 4 a požadavků zákazníka se zde měřil pouze válec. Šlo o menší středový průměr, respektive element válce.

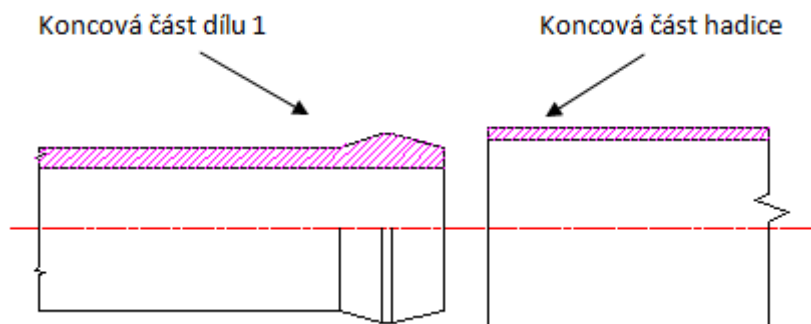


Obr. 39 Díl 4 a detail jeho měřené oblasti

Na výše uvedených obrázcích lze vidět pro přibližnou představu velikost jednotlivých dílů určených bližší kótou určitého rozměru. Hodnoty rozměrů jsou v mm dle standardu.

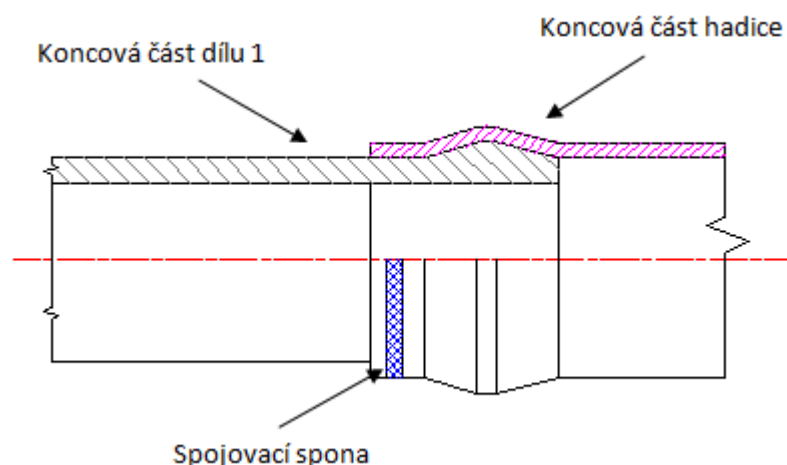
4.2 Popis výběru ploch k měření u polymerních dílů

Díly s vystouplými válcovými profily mají téměř stejný nebo hodně podobný princip zapojení v praxi. Do míst, kde byla měřena drsnost povrchu, je připojována hadice, která je zde potom upevněna a utažena sponou. Těsnost povrchu musí být co nejlepší a to z důvodu možnosti ztrát kapaliny, respektive vzduchu. Jako příklad je zde uveden princip u technického dílu 1.



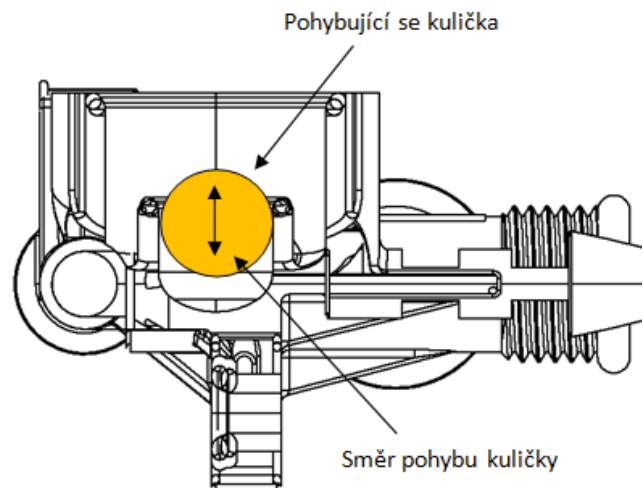
Obr. 40 Technický díl 1 v rozpojení s hadicí

Na výše uvedeném obrázku č. 40 lze vidět koncovou část technického dílu 1 s koncovou částí hadice v rozpojeném stavu. Hadice se pro připojení nasadí na „stutzen“ a zajistí sponou. Tato kombinace je vidět na níže uvedeném obrázku č. 41.



Obr. 41 Technický díl 1 ve spojení s hadicí

Na téměř stejném principu fungují díly 2 a 3 s rozdílem, že se hadice nasazuje na element válce a zde je také zajištěna. Není tedy přesazována přes element kužele.



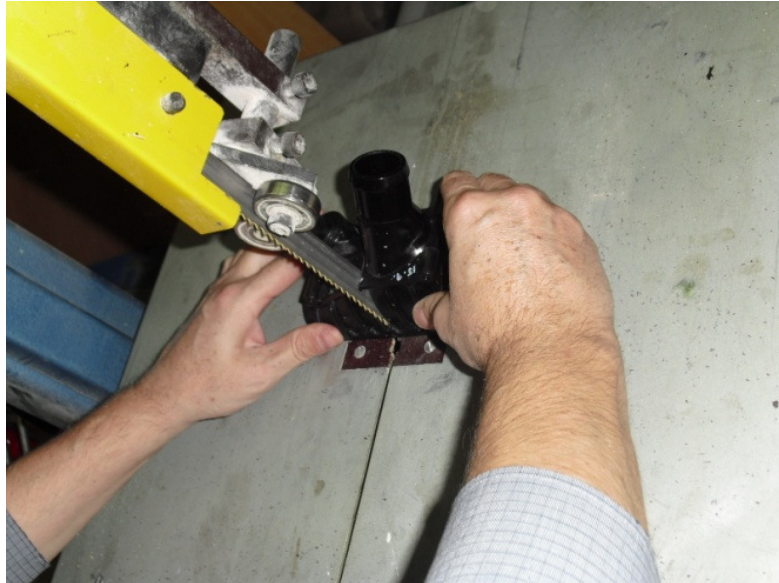
Obr. 42 Technický díl 4 s pohybující se kuličkou - schéma

Na výše uvedeném obrázku č. 42 lze vidět technický díl 4, fungující na principu přetlaku a podtlaku. Při podtlaku do měřeného profilu zapadne kulička směrem dolů do prostoru průchodů, a tím dané průchody uzavře. Naopak při přetlaku se kulička oddělí od otvoru a vznikne tím otevřený, tedy průchozí prostor.

4.3 Příprava vzorků k měření

Díly mohou být lehce poškrábány, odřeny nebo případně také potlučeny při manipulaci. I z tohoto důvodu se musí při manipulaci s jednotlivými díly dbát na zvýšenou pozornost při převozu, ukládání dílů na místa kde jsou skladovány, při přípravě jednotlivých dílů k měření a v neposlední řadě při měření. Tyto příčiny mohou vést k ne zcela správným výsledkům měření. V případě poškrábání měřených ploch na díle, by měření drsnosti povrchu mohlo být značně ovlivněno nebo dokonce znehodnoceno, proto bylo třeba měřenou část také dobře očistit a prohlédnout, zda se na povrchu nenachází nějaké nečistoty, případně stopy po škrábnutí. V první fázi přípravy vzorků po vybalení z krabic, bylo nutno dané díly rozbalit. Každý díl byl zabalen zvláště do bublinkové folie proti poškrábání a potlučení při převozu. Po vybalení dílů a jejich označení bylo nutno zvolit správný postup oddělení měřené části od kompletního dílu. Tato operace byla provedena na pásové pile, která je k dispozici na dílně UTB. K řezání bylo nutno přistoupit z důvodu efektivity měření a snazší manipulace při měření jednotlivých částí ploch. Každý díl má svou velikost, a pokud by díly zůstaly vcelku, nebylo by možné se k měřeným plochám dostat a provést jejich měření. Tento způsob měření by byl zcela

neekonomický a neefektivní. Všechny technické díly se na pásové pilce rozřezaly na několik částí, aby nakonec mohly být odřezány jen hlavní části, které byly určeny k měření.



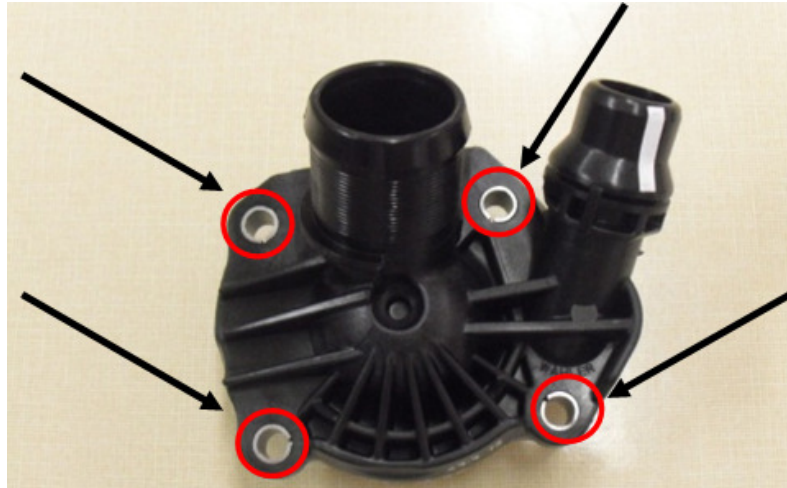
Obr. 43 Ukázka řezu – Technický díl 1

V případě řezání u dílu 2 nebylo nutností daný kus řezat na více částí než na dvě. Zde bylo potřeba odstranit část „stutzenu“, která je mimo osu dílu, a tak přístup k plochám nebyl složitý. Řez byl proveden jeden, který byl dostačující pro odstranění požadované části dílu.



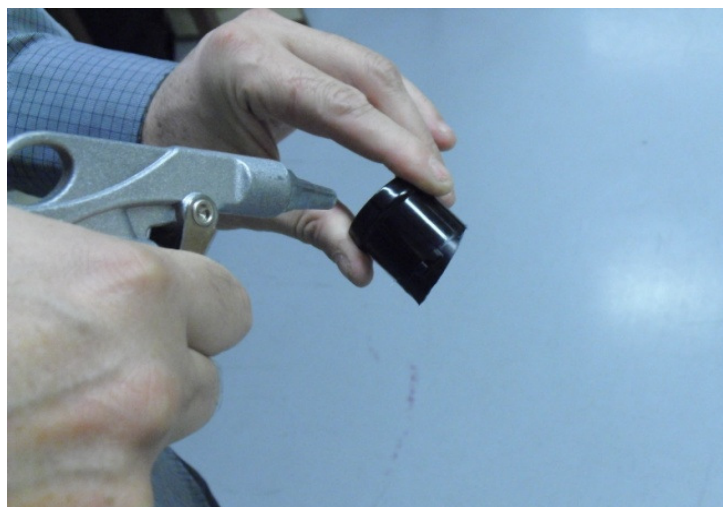
Obr. 44 Ukázka řezu – Technický díl 2

Za nejsložitější varianty řezu lze pokládat technické díly 3 a 4. Jelikož u dílu 3 byly železné zálistky v jednotlivých otvorech, nebylo tedy možné řezy vést právě přes tyto pasáže, ale mimo ně.



Obr. 45 Ukázka zálistků na Technickém díle 3

Na výše uvedeném obrázku č. 45 lze vidět jednotlivé zálistky na díle v otvorech. Řez byl veden v několika rovinách tak, aby se docílilo oddělení „stutzenu“ od samotného dílu a tím připravení měřené části k jednoduššímu a efektivnějšímu měření daného povrchu. Na posledním díle 4 byla ztížena manipulace na pile samotnou velikostí kusu, proto bylo třeba dbát zvýšené pozornosti na bezpečnost při daném řezání. Z dílu byly odstraněny boční válcové výstupky a středová část byla rozřezána na čtyři části. Při řezání vznikala polymerní prášek a v místě řezu otřepy. Pro odstranění otřepů byl použit plátkový nožík a otřepy strženy, tudíž byla místa řezu zapravena.



Obr. 46 Čištění odřezaného kusu vyfoukáváním

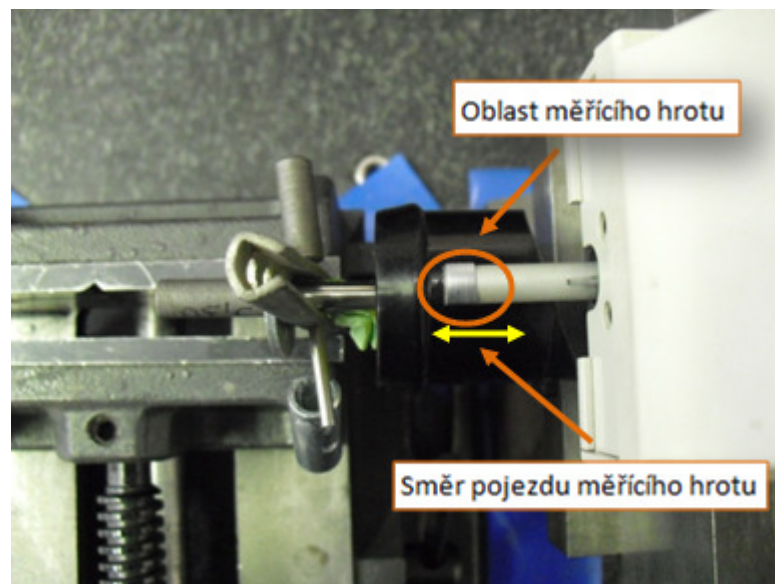
Všechny díly byly vyfoukány pomocí vzduchového kompresoru, čímž se zamezilo zůstatku zbytku prachových stop, které by měření znehodnocovaly. Navíc při kontaktním měření by mohlo docházet k zanášení měřícího hrotu a tím k možnosti vzniku poruchy měřidla.

5 MĚŘENÍ A POPIS POSTUPU MĚŘENÍ

Při každém měření by měla být dodržována určitá teplota, při které se může měřit nejenom drsnost povrchů. Tato hodnota by se měla pohybovat v rozmezí $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$ a vlhkost by neměla klesnout pod 40%. Měření jednotlivých povrchů proběhlo za pomoci kontaktního a bezkontaktního snímání. U kontaktního snímání bylo potřeba si připravit menší přípravek pro stabilnější polohování a tím kvalitnější a rychlejší měření. U bezkontaktního snímání bylo zafixování řešeno pomocí plastické hmoty. Na všech technických dílech byly měřeny hodnoty Ra a Rz, a to ve 30ti místech jdoucích po sobě dokola na obvodu kusu.

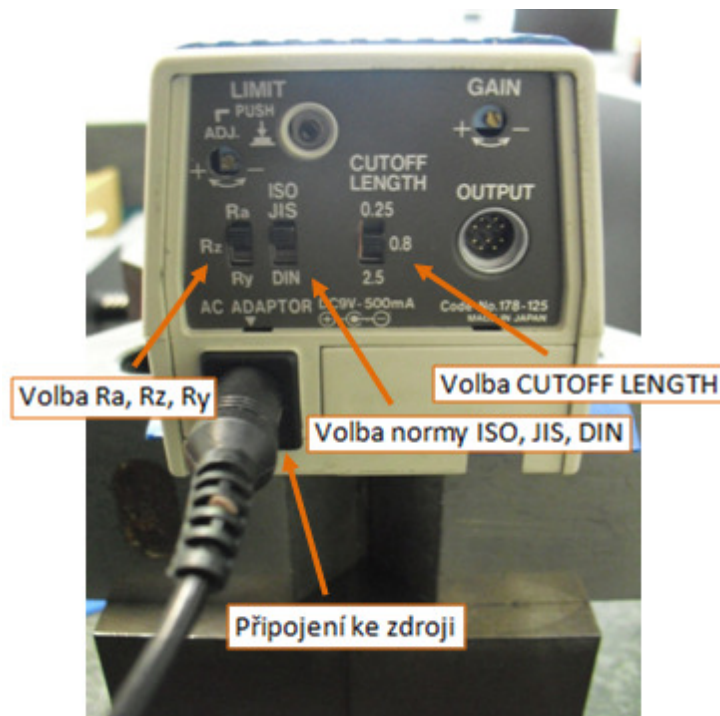
5.1 Kontaktní měření technických dílů 1 - 4

Při kontaktním měření, které bylo uvedeno taktéž v teoretické části bakalářské práce, se jednalo o měření povrchu při přímém styku hrotu měřidla a dané plochy technického dílu. Kontaktní měření probíhalo pomocí měřicího drsnoměru Mitutoyo SJ-211. Na válcovitém profilu bylo třeba u měření dbát na přímo kolmou dráhu měření. V případě šikmého snímání by hodnoty nebyly regulérní.



Obr. 47 Popis kontaktního měření

U kontaktního měření znázorněného na obrázku č. 47 výše, je uveden směr pojezdu měřícího hrotu. Pohybem doprava bylo provedeno měření drsnosti povrchu. Pohyb doleva byl zpětný pohyb do nulové pozice přístroje. Z důvodu rozdílnosti měření tj. Ra nebo Rz bylo nutností každé měření na měřicím přístroji nastavit. Tato volba byla možná k provedení na zadní straně přístroje.



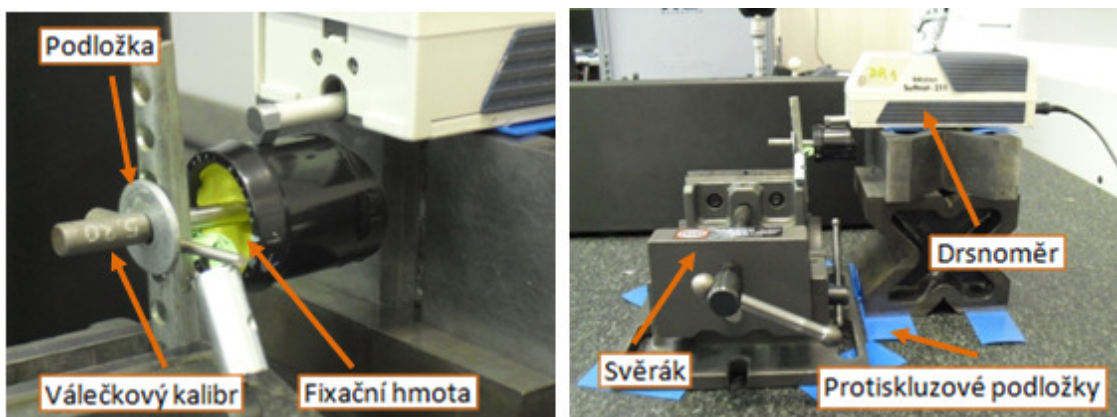
Obr. 48 Popis funkcí kontaktního přístroje

Mimo možnosti volby druhu měření Ra, Rz případně Ry byla možnost dalších voleb a určení specifických měření. Kromě volby CUTOFF LENGTH, kde byla zadána měřící délka, byla dále zvolena norma, dle které mělo měření probíhat. Všechna daná měření proběhla podle normy ISO a CUTOFF 0,8. Před měřením bylo nutností ověřit, zda přístroj měří správně. Tato správnost se ověřila pomocí kalibrační destičky. Naměřená hodnota na povrchu destičky se nesměla razantně lišit od hodnoty vyznačené na kalibrační destičce. Naměřený výsledek tedy splňoval předpoklady a měřidlo bylo ověřeno ke správnosti měření. Na obrázku č. 49 níže lze vidět kalibrační měření.



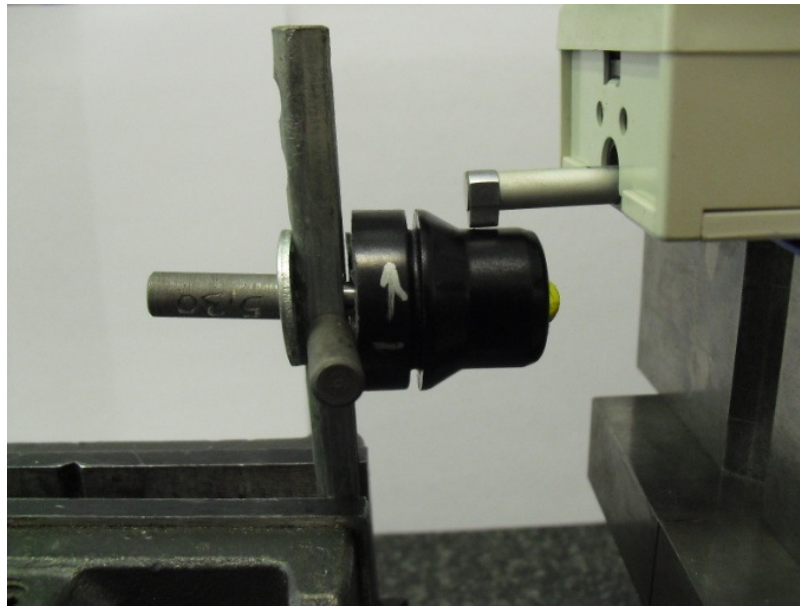
Obr. 49 Ověření správnosti měření u měřicího přístroje

Z důvodu efektivnějšího kontaktního měření bylo použito měřicího přípravku. Za pomoci tohoto vyrobeného přípravku bylo dosaženo zafixování měření v dané poloze a zároveň lehkost natočení do polohy, ve které mělo probíhat dané měření.



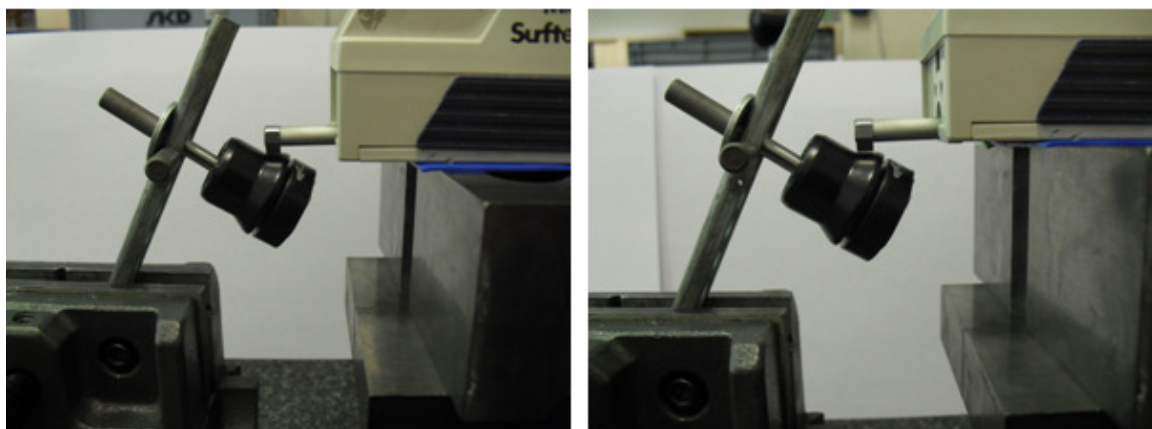
Obr. 50 Přípravek v kombinaci s měřeným dílem

Přípravek byl uchycen pomocí svěráku, a tím zamezeno jeho vychýlení při manipulaci během natáčení dílu pomocí válečkového kalibru. Daný kalibr byl s kusem spojen fixační hmotou. Svěrák i prizmatické kostky, na kterých byl položen drsnoměr byly položeny speciálními protiskluzovými podložkami k zabránění prokluzu drsnoměru s měřeným dílem. Schéma měření dílu v kombinaci s přípravkem je uvedeno výše na obrázku č. 50. Při měření válcových profilů bylo měření relativně zjednodušené. Nebylo třeba řešit naklonění dílu vůči měřicímu hrotu drsnoměru.



Obr. 51 Ukázka kontaktního měření na profilu válce

Naopak při měření kuželovitého profilu byla nutnost naklonění. Polohovací destičku bylo nutno naklonit a upnout do svěráku tak, aby měřený povrch snímal pouze měřící hrot. Způsob měření kuželové plochy u daného technického dílu lze vidět na následujícím obrázku č. 52.



Obr. 52 Ukázka kontaktního měření na profilu kužele

5.2 Bezkontaktní měření technických dílů 1 – 4

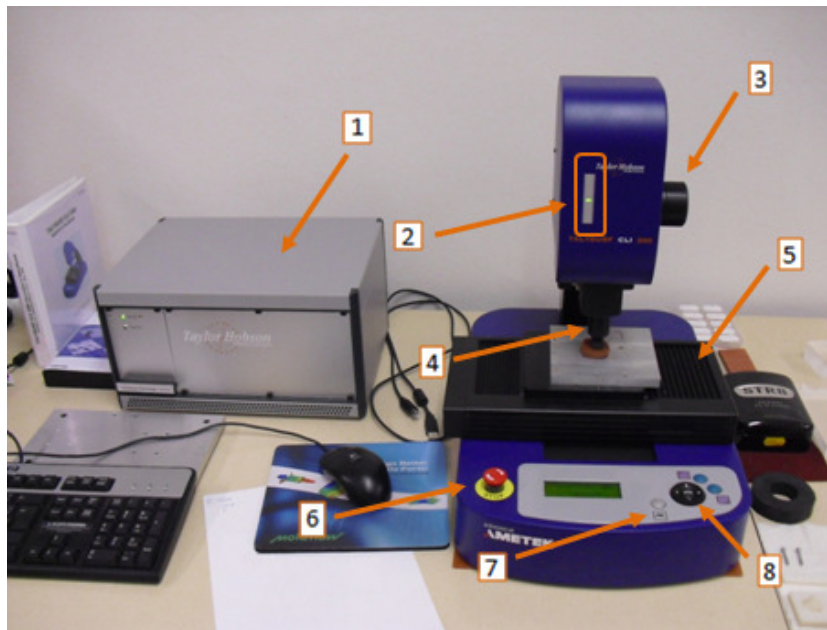
Hlavní rozdíl v bezkontaktním měření je definován právě nulovým kontaktem mezi měřeným dílem a měřícím zařízením. Celé měření je založeno na světelném odrazu paprsku od snímané plochy. Jako vhodný bezkontaktní přístroj, pomocí kterého bylo provedeno veškeré bezkontaktní měření, byl zvolen přístroj Talysurf CLI 500. Daný přístroj je ve svém oboru vysoce kvalitní a respektované měřidlo. Díky možnosti měření

mnoha parametrů drsnosti povrchu a jejich přehledném a nastavitelném vyhodnocení, se stal přístroj Talysurf CLI 500 značně vyhledávaným měřidlem. Za velkou výhodu lze považovat jeho propojení s počítačem a softwarem přímo určeným právě pro tento přístroj, pomocí kterého lze ovládat veškerou činnost přístroje a následně vykazovat grafické výstupy z měření. Software, který je tímto přístrojem využíván je Talymap. V daném programu lze vyhodnocovat veškerou povrchovou strukturu a samotné měřicí programy automaticky programovat. Měřicí přístroj Talysurf CLI 500 je určen především pro menší výrobky. I z toho důvodu jeho měřicí prostor je menší, „jen“ 50x50x50 mm. Přístroj svou kvalitou odpovídá také své ceně, která se pohybuje v řádech milionů, a tak toto měřidlo není pro všechny firmy a podniky zcela jednoduše dostupné.



Obr. 53 Přístroj Talysurf CLI 500

Drsnoměr Talysurf CLI 500 je schopen plně využívat posuvu ve všech třech osách. Pojezd v ose „X“ je myšlen zprava doleva a naopak. V ose „Y“ je prostor k měření se schopností pohybu dopředu a dozadu. Třetí osa „Z“ je využívána k zaostřování a přibližování měřeného detailu výrobku určeného k měření a tedy posuvu nahoru a dolů.



Obr. 54 Popis přístroje Talysurf CLI 500

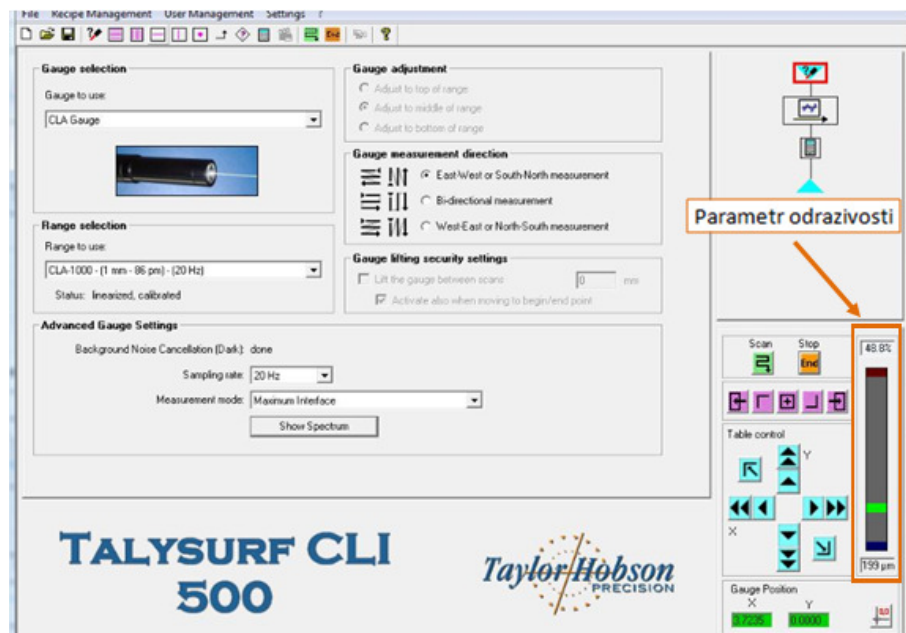
Z důvodu správného použití přístroje a tedy i správného měření bylo zapotřebí seznámit se s jednotlivými částmi přístroje a jejich užití. Přívodu elektrické energie, a tím i chodu přístroje, je dosaženo pomocí zdroje. V každém případě měření bylo nutno provádět za správného zaostření, resp. odrazivosti. Daný parametr odrazivosti byl zaznamenáván v procentech a pro správné měření tento parametr nesměl klesnout pod 30 % (zeleně zbarvené pole), což je hraniční mez, na obrázku č. 54 pod číslem 2. Při měření pod touto hranicí (oranžově, následně červeně zbarvené pole) docházelo k nepřesnostem a následně chybnému měření. Tyto případy mohly nastat hlavně při špatném zafixování technického dílu do fixační hmoty. To znamená, že část měřené oblasti na dílu byla v nižší poloze oproti konečné části. Takové měření bylo nutno opakovat po vyrovnání kusu na plastické fixační hmotě. Pro zaostření odrazivosti bylo potřeba manipulovat se snímačem – okulárem. Pro tento účel je na boční straně zabudováno válcové tlačítko, kterým je ovládán pojezd snímače – okuláru nahoru a dolů v ose „Z“. Tím dojde k zaostření. Na výše uvedeném obrázku č. 54 je tlačítko označeno pozicí 3. Pro pojezd po ose „X“ a „Y“ bylo použito tlačítek vedle displeje. Z důvodu snížení rychlosti pojezdu je zde zabudováno tlačítko, na obrázku označeno pozicí 7. Rychlost bylo vhodné snížit při měření hůře dostupných míst, kde hrozila kolize okuláru s technickým dílem. Při automatickém nájezdu, případně naprogramovaném měření se mohlo stát, že se „měřící okulár“ pohyboval velmi nebezpečně blízko měřeného dílu a hrozila kolize. Z tohoto důvodu je zde tlačítko „STOP“, kterým mohl být daný posuv ukončen. Jednot-

livé popisky s čísly měřicího přístroje Talysurf CLI 500 jsou uvedeny v tabulce č. 3 níže.

Tabulka 3 Tabulka s popisky přístroje:

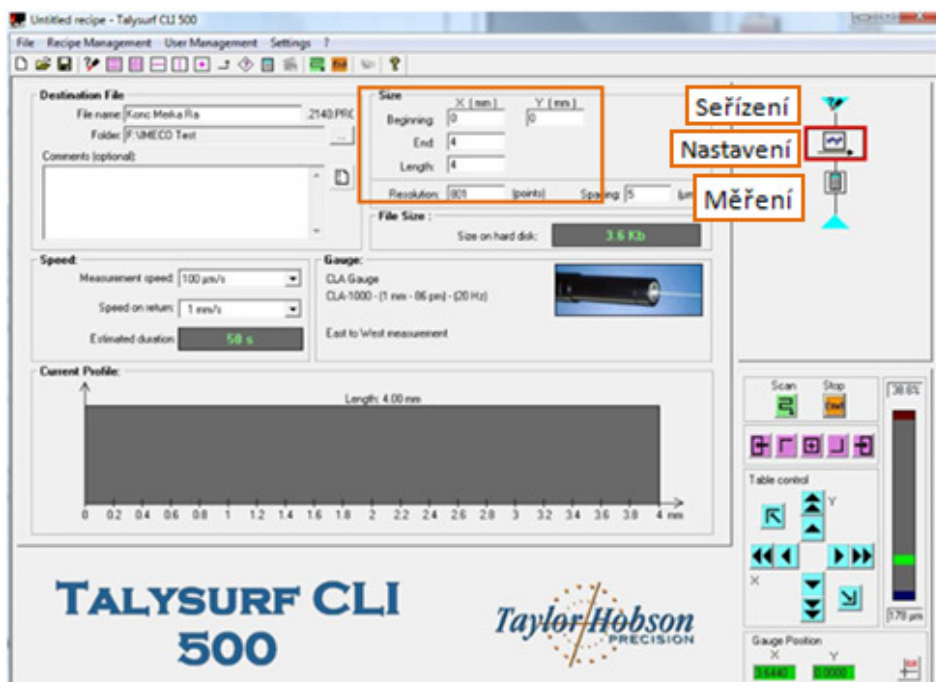
1	Zdroj	5	Pojezd „X“; „Y“
2	Parametr odrazivosti	6	STOP -tlačítko
3	Posuv v ose „Z“	7	Rychloposuv
4	Měřicí okulár	8	Ovladač osy „X“; „Y“

Při každém spuštění přístroje je automaticky provedena kalibrace. Danou kalibrací si přístroj ověřuje, zda všechny krajní pozice, do kterých následně najíždí, jsou ve správných pozicích. V případě, že by pojezdy ploch nebyly ve správných koncových pozicích, je strojem automaticky nahlášena chyba a měření nemůže být dále prováděno.



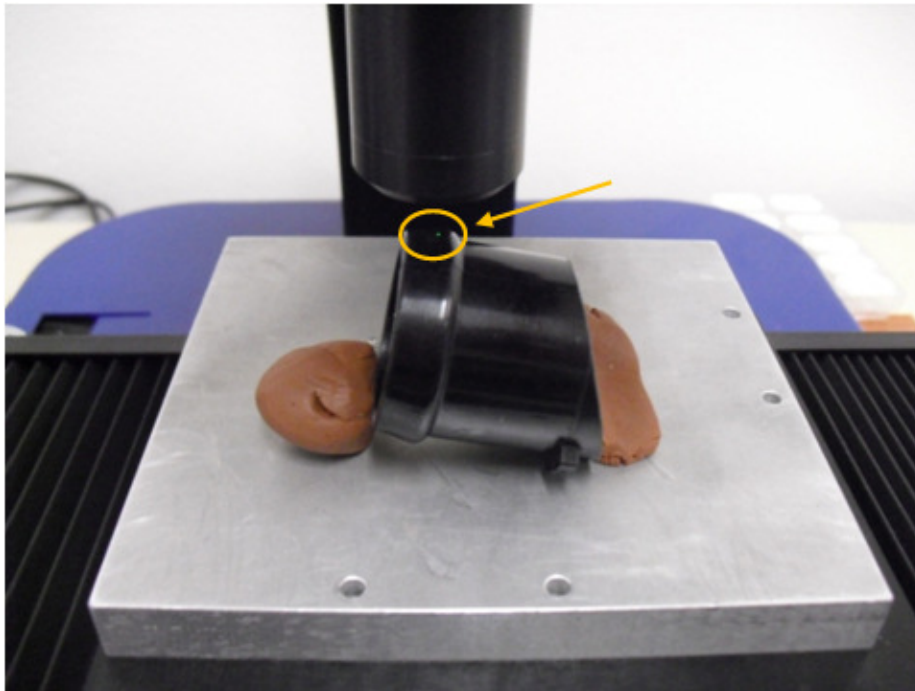
Obr. 55 Odrazivost v softwaru Taylor Hobson

Samotné měření proběhlo s ohledem na nastavení požadovaných parametrů. Měřeny byly parametry Ra, což je parametr průměrné aritmetické úchylky posuzovaného profilu a Rz, jímž je míněn parametr největší výšky profilu. U všech technických dílů byl každý parametr změřen na třiceti místech jejich povrchu. Každé měření probíhalo na CUTOFF délce 0,8 mm v souladu s ISO normou. Pozice měření byly nastaveny v softwaru. Jako potřebné pozice při měření byly zadány startovní a konečná pozice. Začátek měření se nacházel v nule a končil ve vzdálenosti 4 mm.



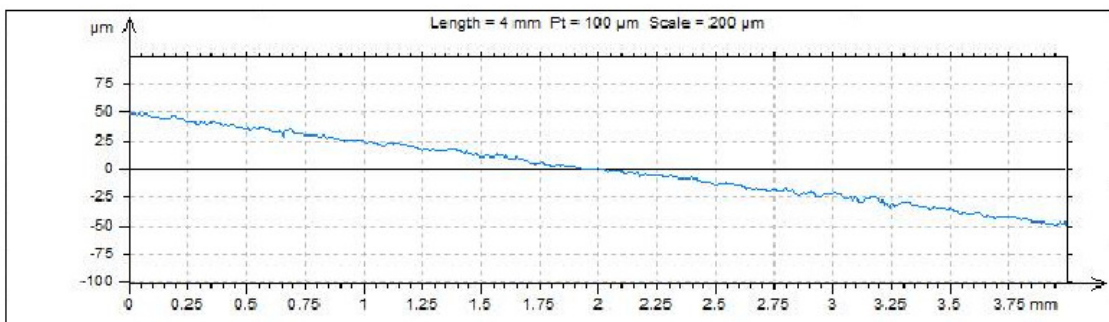
Obr. 56 Nastavení pozic k měření

Při každém měření byla snímána přímka o délce 4 mm, která byla nastavena v základních parametrech softwaru. S ohledem na polymerní díly s lesklým povrchem, bylo důležité zachycení správné odrazivosti a nepřekročení již zmiňované hranice 30 %. Veškerá měření proběhla v jediné ose, a to v ose „X“. Následně po dokončení měření elementu přímky drsnosti povrchu se ručně po zadání v softwaru měřicí okulár musel vrátit zpět do nulové pozice.



Obr. 57 Znárodnění bezkontaktního snímání povrchu kužele

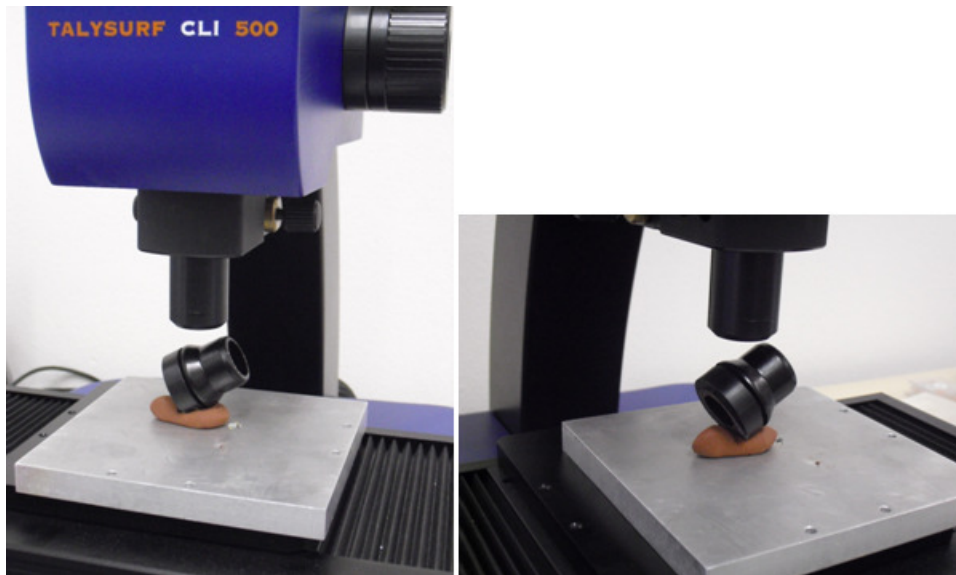
Snímání drsnosti povrchu probíhalo pomocí světelného odrazu paprsku v daném místě povrchu. Plochu, která byla snímána, lze vidět na výše uvedeném obrázku č. 57 jako paprskový bod. Právě daný světlý bod, který se pohyboval po povrchu polymerního výrobku, byl měřicím bodem a veškerá jím nasnímaná struktura povrchu plochy byla evidována a přeposílána k vyhodnocení do připojeného počítačového zařízení.



Obr. 58 Struktura povrchu – grafické vyhodnocení

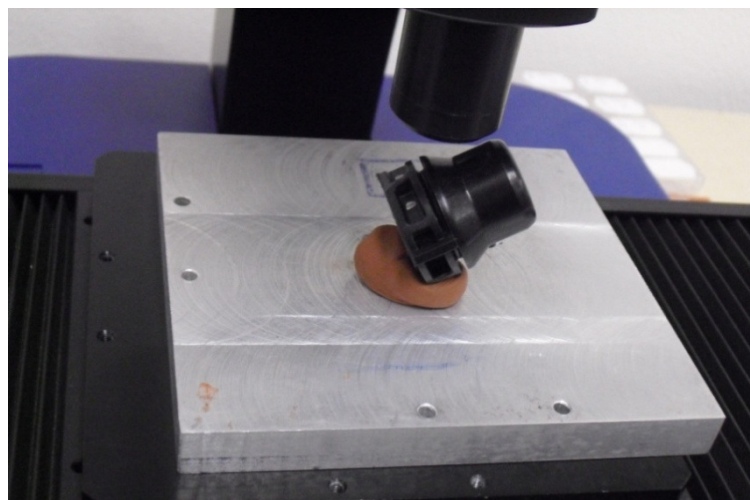
Dané výsledné grafické vyhodnocení drsnosti povrchu je uvedeno výše na obrázku č. 58. Zde uvedená struktura povrchu v určitém místě byla naměřena u technického dílu 1 pro parametr R_a . Z grafu lze vypočítat veškeré parametry, které byly zohledněny u měření. V hlavičce nad strukturou povrchu je uvedena délka měřeného povrchu. Drsnost povrchu byla tedy měřena na délce 4 mm. Stupnice rozpětí drsnosti povrchu byla 200 μm v rozmezí +/- 100 μm. V levém sloupci je uvedeno rozpětí měření v μm a na

spodní vodorovné části grafu bodová vzdálenost měření v mm. Pomocí drsnosti povrchu zaznamenané v jednotlivých oblastech lze v případě budoucího požadavku zákazníka eliminovat nevyhovující drsnost a zlepšit, případně zdrsňit danou oblast na místě ve formě.



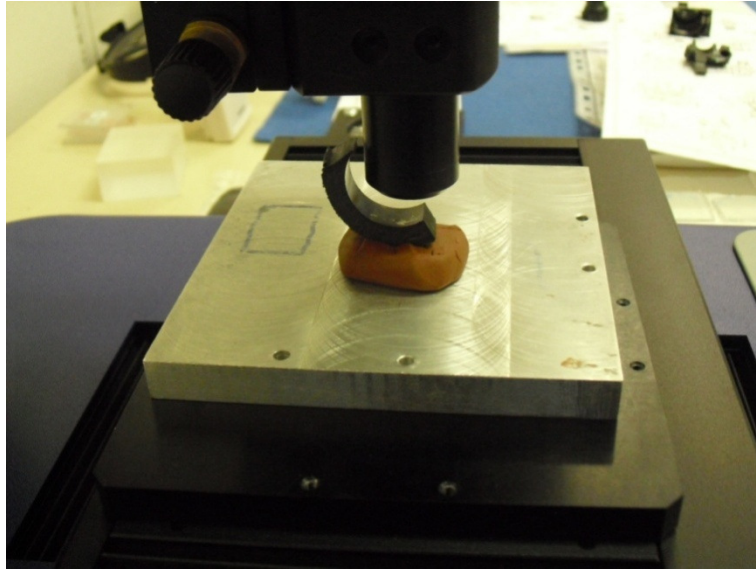
Obr. 59 Ukázka měření kužele

Na výše uvedeném obrázku č. 59 lze vidět způsoby uchycení a následně měření kuželového profilu daného technického dílu. V těchto případech bylo důležité správné naklonění dílu vůči měřicímu paprsku. To znamená na každém konci dosáhnout stejné vzdálenosti od optické čočky, hlavně z důvodu správné odrazivosti nad 30 %. Níže jsou uvedeny ukázky z dalšího měření technických dílů.



Obr. 60 Měření technického dílu 3

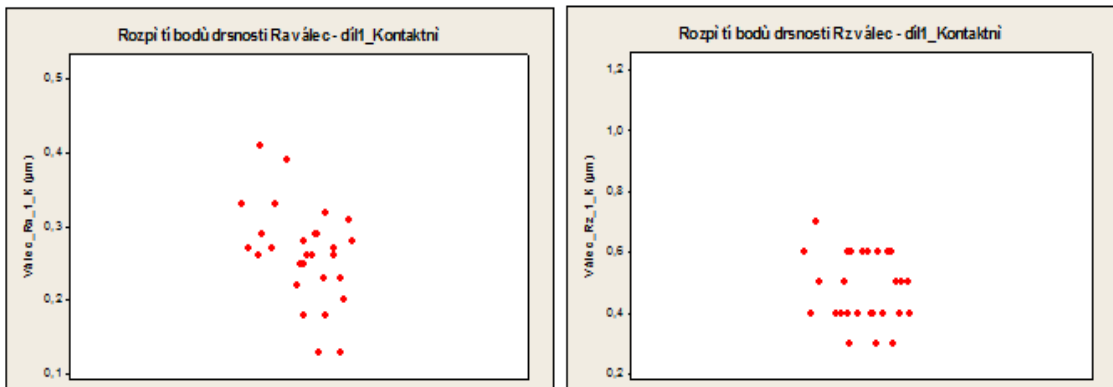
Na obrázku č. 60 je uvedeno měření technického dílu 3 a jeho kuželové plochy. Dále na obrázku č. 61 lze vidět měření technického dílu 4 a jeho uchycení fixační hmotou k podstavci u měřicího přístroje. Zde je měřen válcový profil.



Obr. 61 Měření technického dílu 4

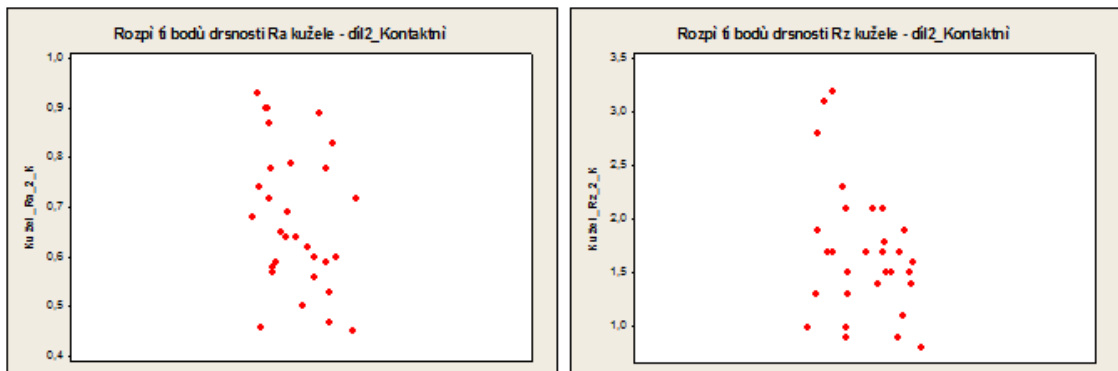
6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ MĚŘENÍ

Veškeré měření, respektive výsledky všech měření byly zpracovány ve statistickém softwaru Minitab. Tento program byl vyvinut za účelem statistického vyhodnocování potřebných dat a jejich porovnávání. Daný program lze využívat v jakémkoli oboru, kde je nutnost statisticky vyhodnocovat zjištěná data. Může být používán jak ve studijním oboru, tj. ve vzdělávacím procesu, tak i v obecné praxi a tedy přímo v podnicích a firmách. Pomocí Minitabu lze poměrně přehledně tvořit nespočet grafů, u kterých si lze navolit patřičné parametry, které jsou požadovány k vyhodnocení. Jako jeden z hojně využívaných parametrů lze zmínit například parametr medián. Bývá označován taky jako „Me“. Jedná se tedy o určitou hodnotu, která rozděluje řadu vzestupně řazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. Veškeré průběhy měření mohou být následně podle potřeby proloženy křivkou pro lepší přehlednost. Pracovní prostředí je složeno z části pro zapisování hodnot - spodní tabulkový prostor, dále pro softwarové výpočty a evidenci jednotlivých kroků a v záložkách si lze nastavit parametry potřebné k vyhodnocení a další jednotlivé nastavení. Porovnání naměřených drsností kontaktním a bezkontaktním způsobem předcházelo několik grafických porovnání a vyhodnocení. Vždy bylo vyhodnoceno zvlášť kontaktní a zvlášť bezkontaktní měření. Následně proběhlo vzájemné porovnání a vyhodnocení obou metod mezi sebou. U všech dílů proběhla měření drsnosti parametrů Ra a Rz. Měření byly profily válce a kužele. U každého technického dílu proběhlo 30 měření daného parametru. Naměřené hodnoty jsou z důvodu velké kapacity a pro lepší přehlednost uvedeny v přílohách. Níže na obrázku č. 62 lze vidět grafické vyhodnocení rozpětí jednotlivých naměřených bodů na profilu válce u technického dílu 1 při použití metody kontaktního měření.



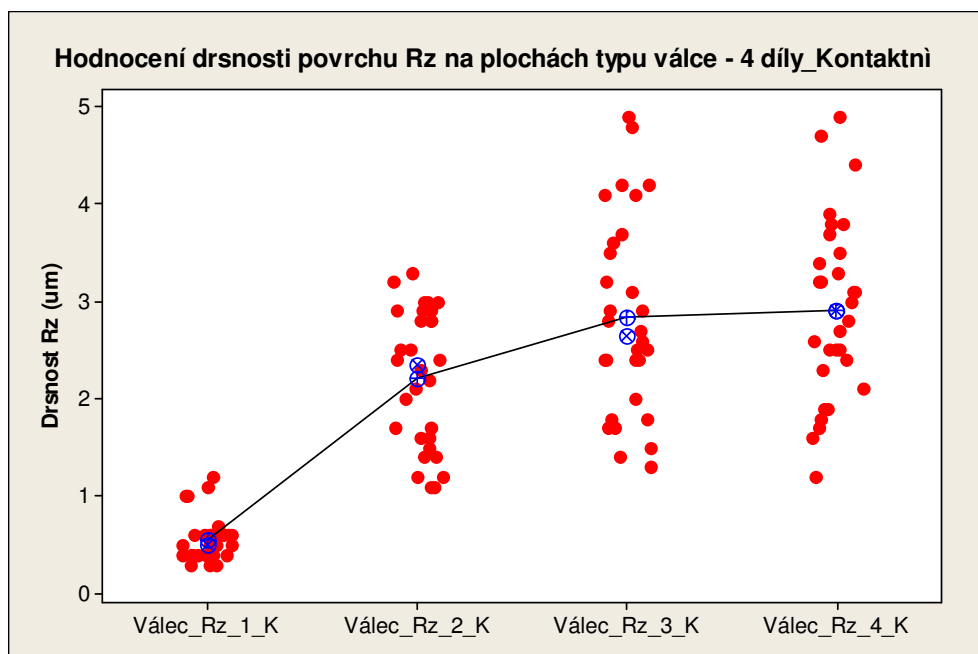
Obr. 62 Individuální hodnoty bodů na Válcí Rz a Ra – Kontaktně

U níže uvedeného obrázku č. 63 lze vidět na grafech, v jakém rozpětí se naměřené jednotlivé body drsnosti povrchu pohybovaly u profilu kužele. Tyto grafy byly provedeny k technickému dílu 2. Popis grafů lze vidět v hlavičce a dále na levé straně je opět rozpětí naměřených bodů drsnosti povrchu.



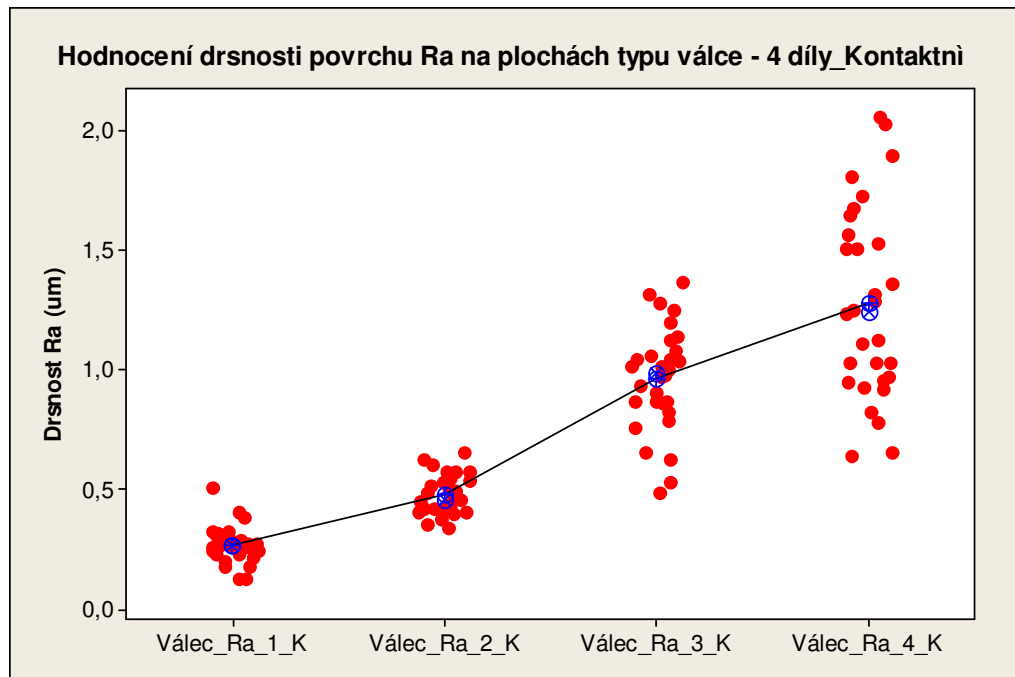
Obr. 63 Individuální hodnoty bodů na Kuželu Rz a Rk – Kontaktně

Na srovnání drsnosti povrchu u válcových profilů u parametru Rz lze vidět, jak příliš se lišily jednotlivé povrchy u všech dílů. Z daných grafů tedy lze určit pomocí naměřených hodnot, že technický díl 3 společně s technickým dílem 4 vycházely oproti dílům 1 a 2 ve větším rozptylu. Nicméně dle technické dokumentace tyto hodnoty byly dostatečné pro požadavky zákazníka a tedy velmi dobré.



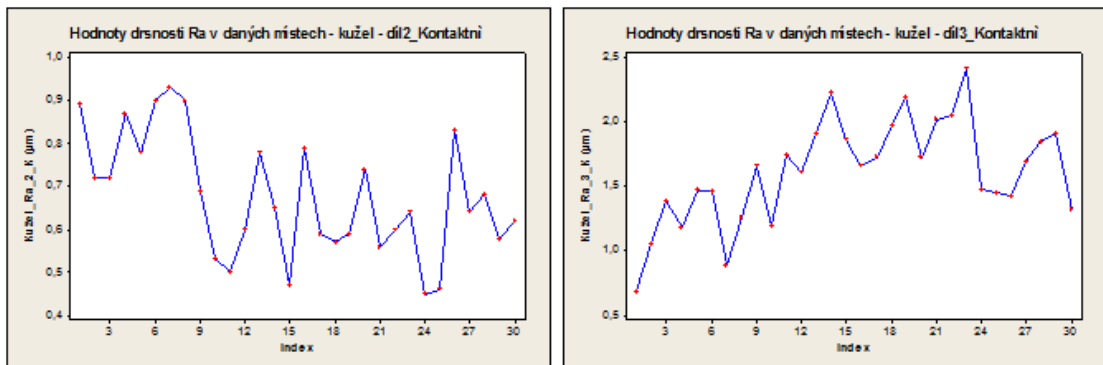
Obr. 64 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Rz u dílů 1 – 4 – Kontaktně

Pro vyhodnocení všech válcových profilů parametru Ra byla použita stejná grafická funkce Individual Value Plot of Válec. Na grafu níže, lze vidět rozptyl jednotlivých bodů u všech válců. Zde si lze všimnout rozdílu bodového rozptylu u dílů 2 a 4. Rozmezí drsnosti povrchu u dílu 2 se pohybovalo kolem 0,5 μm , zatímco u technického dílu 4 byl rozptyl značně vyšší.



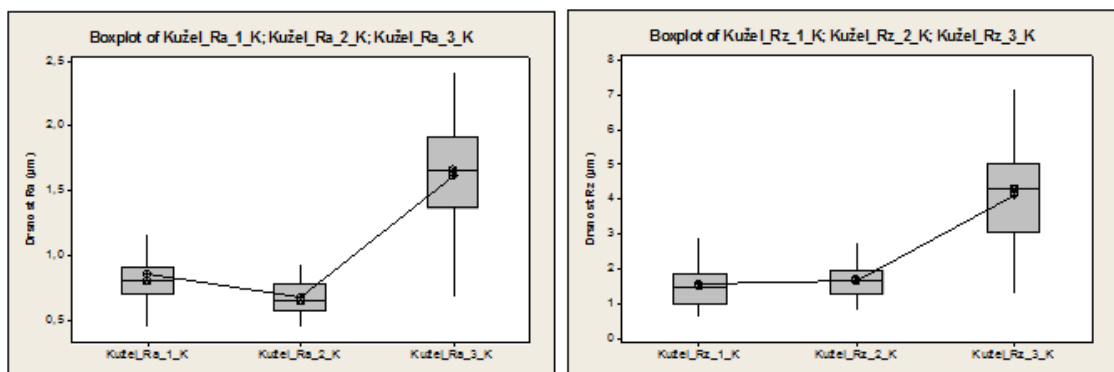
Obr. 65 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Rz u dílů 1 – 4 – Kontaktně

Ve srovnání s technickou dokumentací bylo opět zjištěno, že dané hodnoty na měřených površích jsou více než dostačující a tedy z pohledu drsnosti povrchu pro zákazníka vyhovující. Veškeré povrchy v těchto místech na formě jsou leštěny, také proto dané hodnoty vychází v tak nízkých rozmezích. Zbylé vyhodnocení kuželů a dalších dílů jsou uvedeny v přílohách. Pro zjištění časového průběhu drsnosti povrchu v jednotlivých místech v programu Minitab, byla použita funkce Time Series Plot. Na obrázku č. 66 jsou uvedeny grafy, kde lze rozpoznat časový průběh drsnosti povrchu. Jednotlivé body jsou protnuty křivkou pro zdůraznění daného průběhu. Pro názornost je zde uvedeno porovnání profilu kužele parametru Ra mezi technickým dílem 2 a technickým dílem 3.



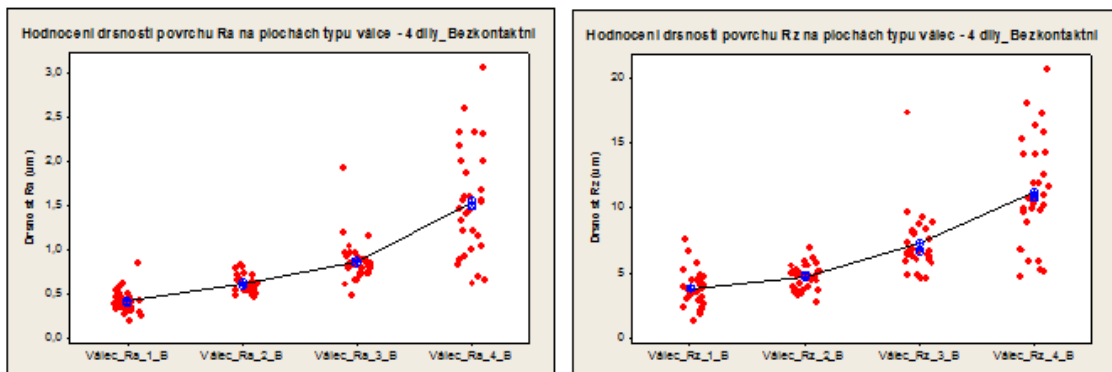
Obr. 66 Časový průběh bodů u Kuželů Ra dílů 2 a 3 – Kontaktně

V levém svislém sloupci je uvedeno rozpětí drsnosti v μm . Na spodní ose jsou pak uvedena jednotlivá místa v počtu měření, která proběhla - indexy. Jelikož proběhlo na daném profilu měření ve 30 místech, je v grafu vyneseno 30 bodů a pro lepší přehlednost spojeno křivkou, která tak znázorňuje daný průběh. K porovnání daných parametrů u stejných profilů povrchu tj. například kuželů byla použita také funkce Boxplot. Daná funkce zobrazuje ohraničený prostor naměřených bodů a porovnává jejich průběh s ostatními profily. Lze tak určit kvalitu daného povrchu, názorný příklad lze vidět pro kontaktní měření níže na obrázku č. 67.



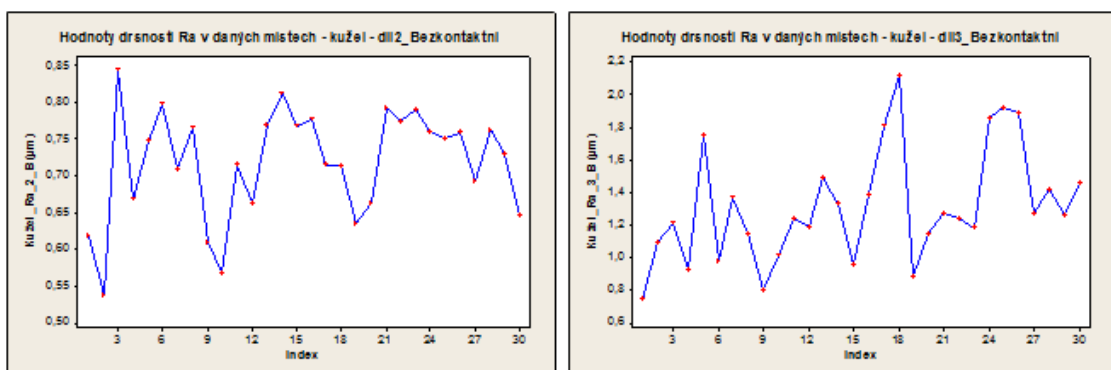
Obr. 67 Boxplot porovnání Kuželů Ra a Rz dílů 1 – 3 – Kontaktně

Při bezkontaktním měření byly vyhodnocovány stejné parametry ve stejných grafických podobách. Pro názornost je zde níže uveden obrázek č. 68 s určitými grafy, které popisují jednotlivé průběhy drsnosti povrchu při bezkontaktním měření.



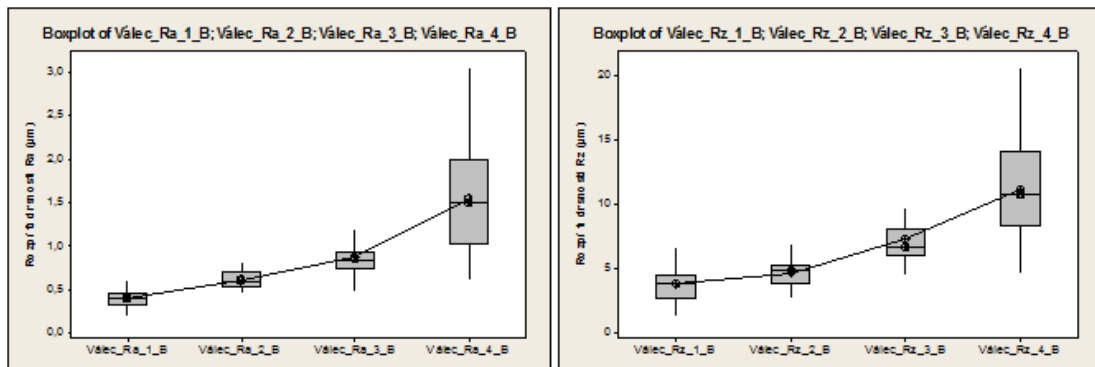
Obr. 68 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Ra a Rz dílů 1 – 4 – Bezkontaktně

Průběhy naměřených dat jsou si v jistých místech poměrně podobné. Tendence zvyšujícího se rozptylu u technického dílu 4 se potvrdila stejně jako u kontaktního měření. Nicméně zde bylo nalezeno několik nevyhovujících míst. I přesto se ve většině, stejně tak jako u kontaktního měření, potvrdila správnost výroby daných povrchů.



Obr. 69 Časový průběh bodů u Kuželů Ra dílů 2 a 3 – Bezkontaktně

Pro přehlednost měření povrchu v daných bodech bylo opět použito vyhodnocení časového průběhu funkcí Times Series Plot. Výše na obrázku č. 69 je ukázka porovnání kuželových profilů při bezkontaktním měření. V levém postranním sloupci je uvedeno rozpětí drsnosti povrchu v μm a ve spodním vodorovném řádku jsou jednotlivé body z třiceti měřených dílů. Lze vidět, v jakém průběhu se dané hodnoty liší, a to buď postupně, nebo kolísavě.



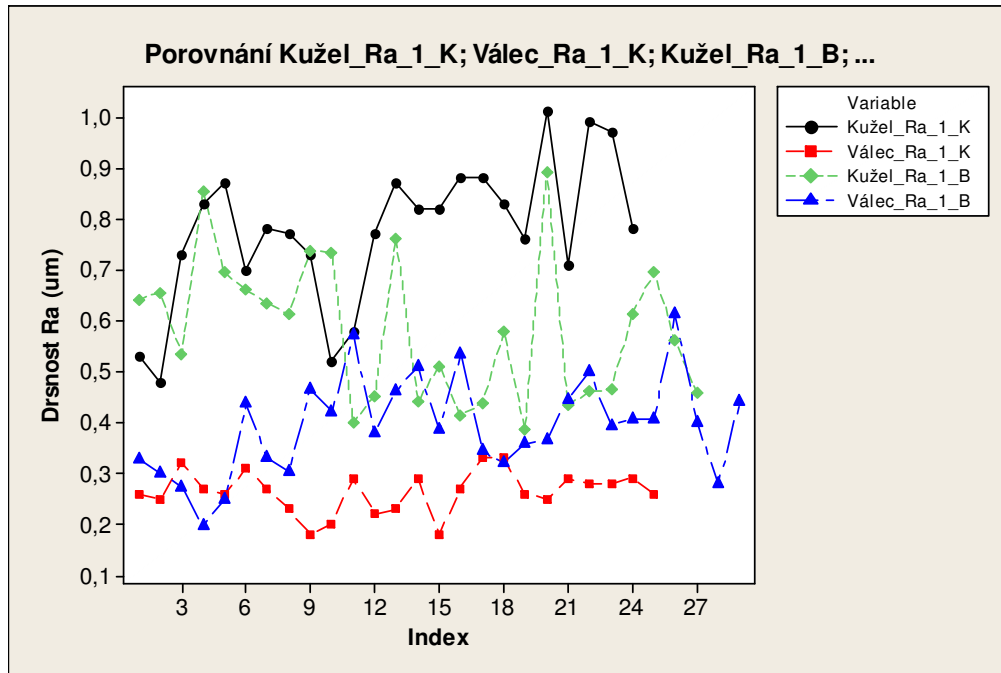
Obr. 70 Boxplot porovnání Válců Ra a Rz dílů 1 – 4 – Bezkontaktně

V následném vyhodnocení válcových profilů u parametrů Ra a Rz pomocí funkce Boxplot měla drsnost povrchu opět stoupající tendenci. Takzvaný krabicový graf – boxplot udává max. a min. naměřených hodnot na koncích vousu, dále horní „víko“ krabice a dolní „víko“ krabice udává horní a dolní kvartil. Vodorovná úsečka vně krabice potom znázorňuje medián naměřených hodnot. Technický díl 4 vycházel v největším rozptylu, nicméně se opět potvrdilo, že dle dané technické dokumentace v řádných mezích. Výkresová dokumentace všech technických dílů s požadovanými drsnostmi na daných plochách je uvedena v přílohách. Z důvodu porovnání přesnosti měření kontaktního měřidla oproti bezkontaktnímu, bylo nutné porovnat hodnoty naměřené těmito měřidly vůči sobě samotným. Pro přesné vyhodnocování bylo nutností vyloučit hrubé chyby při měření a tím zpřesnit správnost tohoto vyhodnocování. Danou hrubou chybou lze vidět na níže uvedeném obrázku č. 71.



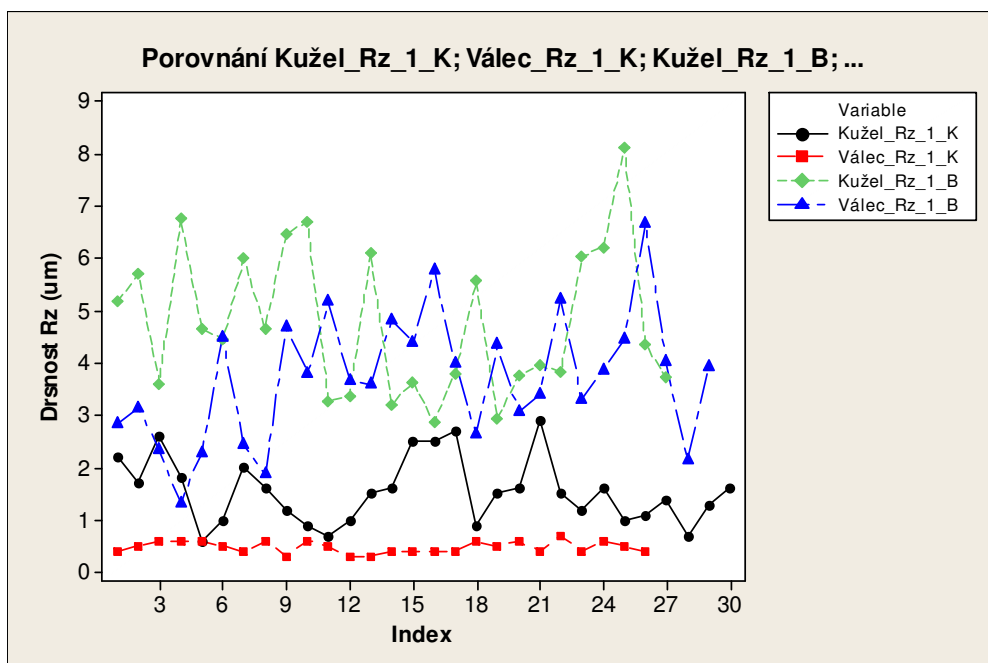
Obr. 71 Ukázka výskytu hrubé chyby

Z důvodu výskytu více hrubých chyb, byla možnost u některých technických dílů počet měření snížit. Ne však razantně, protože takové měření by bylo nevyhovující! Jednat o vyjmutí měřeného bodu se mohlo maximálně v případě tří až pěti hodnot, které zcela nesmyslně vybočovaly z měření.



Obr. 72 Časový průběh bodů u Kuželů dílu 1 - parametr Ra

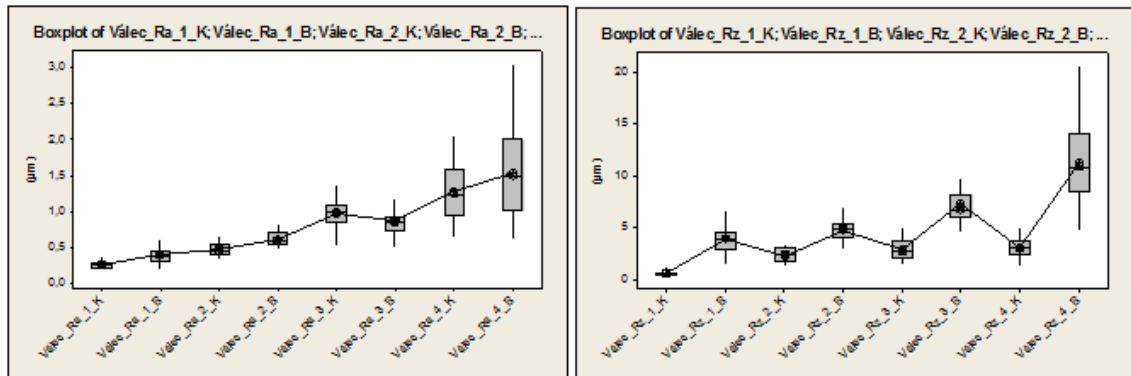
Z grafů na obrázcích č. 72 a č. 73 lze vidět porovnání kontaktního a bezkontaktního měření. Kontaktní měření je vyhodnoceno černou a červenou křivkou. Dále bezkontaktní měření je zde značeno modrou a zelenou křivkou.



Obr. 73 Časový průběh bodů u Kuželů dílu 1 - parametr Rz

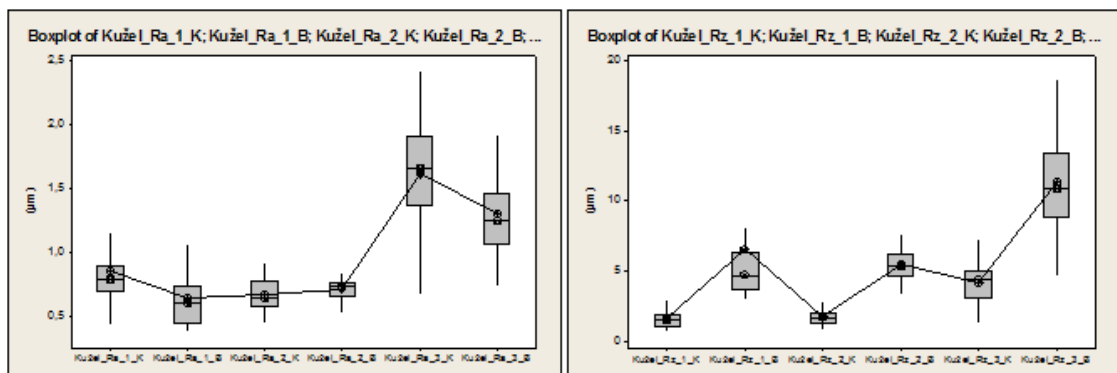
Z výsledků parametrů Rz lze vyčíst přesnost měření u kontaktního a bezkontaktního měření. Dle rozptylu, který je například u parametru Rz značně menší u kontaktního

měření, lze usoudit kvalitu a přesnost kontaktního měřidla. Dle parametru Ra je vidět určitý rozptyl u kužele měřeného kontaktně větší, nicméně opět oproti bezkontaktnímu měření je v menším rozsahu.



Obr. 74 Boxplot porovnání Válců Ra a Rz dílů 1 – 4 – porovnání měření

U vyhodnocení a porovnání měření profilů válců funkcí Boxplot, což je uvedeno na horních grafech na obrázku č. 74 pro Ra a Rz, lze vidět podobnou charakteristiku vyhodnocení u měřených dílů. V převážné většině měření lze vidět, že kontaktní měření se dá charakterizovat jako přesnější a v menších rozptylech. U níže vyhodnocených kuželových profilů na obrázku č. 75 tato závislost platí z větší části u parametru Rz.



Obr. 75 Boxplot porovnání Kuželů Ra a Rz dílů 1 – 4 – porovnání měření

Naopak u parametru Ra lze vidět nepravidelnost vyhodnocení na povrchu kužele. To znamená, že v daném případě kontaktní měření, respektive vyhodnocení parametru Ra, příliš nevybočovalo od bezkontaktního měření.

6.1 Statistické vyhodnocení v softwaru Minitab 14

Při statistickém vyhodnocování v softwaru Minitab byly vyhodnoceny a do tabulky zapísány veškeré navolené a potřebné údaje. Mezi těmito údaji bylo také minimum a maximum naměřených hodnot, rozsah měření – range a dále směrodatná odchylka, která

charakterizuje, jak moc se od sebe liší případy v naměřených hodnotách. To znamená, že je-li odchylka malá, prvky jsou si navzájem blízké a naopak. Na níže uvedeném obrázku č. 76 je uvedeno statistické vyhodnocení pro parametry Ra u profilu kužele.

Statistické vyhodnocení: Kužel_Ra_1_K; Kužel_Ra_2_K; Kužel_Ra_3_K; ...

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum	Range
Kužel_Ra_1_K	0,8550	0,0641	0,3513	41,09	0,4000	2,0100	1,6100
Kužel_Ra_2_K	0,6757	0,0257	0,1407	20,82	0,4500	0,9300	0,4800
Kužel_Ra_3_K	1,6167	0,0734	0,4018	24,86	0,6800	2,4200	1,7400
Kužel_Ra_1_B	0,6473	0,0450	0,2463	38,04	0,3850	1,4500	1,0650
Kužel_Ra_2_B	0,7186	0,0137	0,0750	10,44	0,5370	0,8450	0,3080
Kužel_Ra_3_B	1,3112	0,0642	0,3518	26,83	0,7430	2,1200	1,3770

Odhad aritmetického průměru \bar{x}
 Odhad směrodatné odchylky
 Xmin
 Xmax

Nejistota měření u_s
 Variační koeficient výběrového souboru
 Variační rozpětí R

Obr. 76 Statistické vyhodnocení kuželů Ra – kontaktně i bezkontaktně

Pro lepší přehlednost je zde na obrázku č. 76 uveden popis jednotlivých vyhodnocených vlastností. Informace, zda se jedná o kontaktní nebo bezkontaktní měření, je vždy uvedena na konci popisu měřeného prvku a parametru písmenem K - kontaktní nebo písmenem B – bezkontaktní. Stejně rozlišení bylo použito i u veškerých grafů uvedených v praktické části nebo v přílohách.

Statistické vyhodnocení: Válec_Ra_1_K; Válec_Ra_2_K; Válec_Ra_3_K; ...

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum	Range
Válec_Ra_1_K	0,2723	0,0140	0,0770	28,26	0,1300	0,5100	0,3800
Válec_Ra_2_K	0,4820	0,0150	0,0822	17,06	0,3400	0,6600	0,3200
Válec_Ra_3_K	0,9657	0,0399	0,2186	22,64	0,4900	1,3700	0,8800
Válec_Ra_4_K	1,2803	0,0731	0,4002	31,25	0,6400	2,0600	1,4200
Válec_Ra_1_B	0,4086	0,0230	0,1261	30,86	0,1960	0,8440	0,6480
Válec_Ra_2_B	0,6145	0,0184	0,1008	16,40	0,4690	0,8270	0,3580
Válec_Ra_3_B	0,8732	0,0455	0,2494	28,56	0,4910	1,9400	1,4490
Válec_Ra_4_B	1,538	0,112	0,612	39,78	0,616	3,060	2,444

Obr. 77 Statistické vyhodnocení válců Ra – kontaktně i bezkontaktně

Na výše uvedeném obrázku č. 77 lze vidět statistické vyhodnocení pro válec a parametr drsnosti Ra. Další statistické vyhodnocení pro parametr drsnosti typu Rz je uvedeno v přílohách. Dále jsou v přílohách uvedeny naměřená data a další grafické vyhodnocení pro zbylé díly.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit a porovnat přesnost měření kontaktního měřidla Mitutoyo SJ-211 oproti bezkontaktnímu měřidlu Talysurf CLI 500.

Firma SKD Bojkovice zabývající se výrobou vstřikovacích forem, lisovacích nástrojů a dále výrobou polymerních dílů pro automobilový průmysl zvažovala nákup nového drsnoměru. Pro zjištění, zda je dosavadní měřicí přístroj drsnosti Mitutoyo SJ-211 dostačující, bylo provedeno měření a následné porovnání 4 technických dílů. U většiny měření bylo zjištěno přesnější měření drsnosti daného povrchu kontaktní metodou. Při drsnosti povrchu dané výkresovou dokumentací, která se pohybovala především kolem Ra10 nebo taky Rz10, dané kontaktní měření vyhodnotilo drsnost povrchu jako velmi kvalitní. Nejvyšší hodnotou naměřenou kontaktní metodou pro parametr Ra byla hodnota $Ra = 2,42 \mu\text{m}$, což je více než dostačující výsledek. Pro hodnotu Rz byla následně nejvyšší hodnota $Rz = 7,2 \mu\text{m}$. Zde byla hodnota poměrně vyšší, nicméně zákazník s takovými výsledky byl zcela spokojený a měření bylo provedeno kvalitně. Veškeré další grafické výstupy porovnání kontaktního a bezkontaktního měření jsou uvedeny v přílohách bakalářské práce.

Po porovnání měření kontaktním a bezkontaktním způsobem, jejich rozpětí v měření daných povrchů a stejných, případně odlišných hodnot náměrů, byl vyvozen závěr a následné doporučení. Daný kontaktní měřicí přístroj Mitutoyo SJ-211 svým přesným a kvalitním měřením je poměrně dostačujícím měřidlem pro požadavky zákazníků. Jeho stálost a kvalita je dána taky způsobem ošetřování před každým měřením, respektive kalibrací, a tedy ujištění se o jeho přesnosti měření. Pro měření polymerních dílů je tedy plně dostačující a vyhovující. Jako jeho jedinou nevýhodu lze uvést manipulaci při měření válcových a kruhových oblastí. Při tomto měření je nutno dbát zvýšené pozornosti při pojezdu hrotem po povrchu. V případě nepřímého pojezdu hrotu, tj. měření mimo oblast nejvyššího bodu na snímaném povrchu, mohou být výsledky zkreslené a nepřesné. Daný problém lze vyřešit použitím přípravku, kterým lze částečně eliminovat toto nepraktické řešení.

Jako doporučení bych zajisté navrhl si daný drsnoměr ponechat pro jeho kvalitní a přesné měření. Pro případ měření v oblastech válcových, kuželových a kruhových profilů lze jeho horší manipulaci eliminovat pomocí daných přípravků. Tato varianta je tím nejlevnějším a momentálně také nejefektivnějším způsobem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *4.B @ SPŠ Teplice* [online]. c 2007 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA_3.1.4_MERENI_DRSNOSTI_POVRCHU.pdf
- [2] Josef Gruber [online]. c 2006 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/drsnost/vzor_foto.jpg
- [3] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 338 s.
- [4] *Technomat* [online]. c 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM_MM_PR_10_CZE_Karasek_Geometricke_vlastnosti_povrchu.pdf
- [5] *Vysoké učení technické v Brně* [online]. c 2012 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=1679
- [6] *Portál UTB* [online]. 2013 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://portal.utb.cz/wps/portal/>
- [7] *Mitutoyo* [online]. c 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/531/zoomed>
- [8] *Oddělení povrchového inženýrství* [online]. c 2005 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/drsnost.pdf>
- [9] *Mitutoyo* [online]. c 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/549/zoomed>
- [10] *Portál UTB* [online]. 2008 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5125/mit%C3%A1%C5%A1_2008_dp.pdf?sequence=1
- [11] *Meopta* [online]. c 2013 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.meopta.cz/cz/interferometricka-laborator-1404041244.html>
- [12] *ChemPoint* [online]. c 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/konfokalni-laserova-rastrovaci-mikroskopie-clsm>

- [13] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha, 1999.
- [14] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha, 1996.
- [15] *Portál UTB* [online]. 2010 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://portal.utb.cz/wps/portal/>
- [16] *Ústav konstruování - FSI VUT Brno* [online]. 2009 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_techonlogii_obrabeni.pdf
- [17] *Portál UTB* [online]. 2013 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://portal.utb.cz/wps/portal/>
- [18] *Střední průmyslová škola Kolín* [online]. [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/TEC_kratochvil/TECNICKE_KRESLENI6.pdf
- [19] *Welcome to Sandvik Coromant* [online]. 2012 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/measuring_surfaces/pages/default.aspx
- [20] *Časopis* [online]. c 2012 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://www.stomateam.cz/cz/hodnoceni-vlivu-beleni-a-citronove-stavy-na-sklovinu-zubu-in-vitro/>
- [21] *Struktura povrchu - Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Drsnost_povrchu
- [22] ČSN EN ISO 1302. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [23] *Katedra automatizácie, informačnej a prístrojovej techniky* [online]. 2005 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/13s.pdf>

- [24] *Odborné vzdělávání s moderní technikou* [online]. 2012 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://ovmt.webnode.cz/studijni-materialy/>
- [25] *Poster_drsnosti_ra_cze_a3*. c 2014.
- [26] Tiscali.cz. *Předmět: Technické zobrazování* [online]. 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/novyl/tek7.htm>
- [27] Louisville.edu. *University of Louisville* [online]. 2008 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <https://louisville.edu/speed/rpc/equipment-and-facilities/ancillary-equipment.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
In	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti [mm]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka
Rz	Největší výška profilu
Rt	Celková výška profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
3D	Trojrozměrný prostor.
CNC	Computer numeric control (číslicové řízení počítačem)
X	Osa pojezdu
Y	Osa pojezdu
Z	Osa pojezdu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu
Wt	Celková výška profilu
Pt	Celková výška profilu
RΔq	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
Pq	Průměrná kvadratická úchylka
Wq	Průměrná kvadratická úchylka
Obr.	Obrázek
λc	Filtr profilu
Ez	Intenzita v hloubce „z“

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vzorkovnice drsnosti [1]	12
Obr. 2 Vzorkovnice drsnosti [2]	13
Obr. 3 Dotykový profiloměr [4]	13
Obr. 4 Profilová metoda [5].....	14
Obr. 5 Popis dotykového drsnoměru [6].....	15
Obr. 6 Drsnoměr Surfctest SJ-210 [7].....	15
Obr. 7 SV-3000CNC [9].....	16
Obr. 8 Bezdotykový profiloměr [4].....	17
Obr. 9 Profilometr Zygo NewView 7100 [11]	18
Obr. 10 Popis mikroskopu Lext OLS 3000, Olympus [12].....	19
Obr. 11 Konfokální princip [12].....	19
Obr. 12 Obecný tvar povrchu – popis [16].....	21
Obr. 13 Prvek profilu [13]	21
Obr. 14 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [13].....	22
Obr. 15 Souřadný systém snímání [4]	23
Obr. 16 Profil povrchu [13]	23
Obr. 17 Místní sklon [13]	26
Obr. 18 Materiálová délka [15].....	26
Obr. 19 Drsnost Ra [19].....	27
Obr. 20 Drsnost Rq [20]	28
Obr. 21 Největší hloubka prohlubní profilu [13].....	29
Obr. 22 – Největší výška výstupků profilu [13]	29
Obr. 23 – Největší výška profilu Rz [19].....	30
Obr. 24 – Výška jednotlivých prvků profilu Rc [19].....	30
Obr. 25 – Šířka prvků profilu [18].....	31
Obr. 26 Základní zn. drsnosti povrchu [21].....	32
Obr. 27 Rozšířená grafická značka [21]	33
Obr. 28 Rozšířená grafická značka [21]	33
Obr. 29 Úplná grafická značka 1) APA 2) MRR 3) NMR [23].....	33
Obr. 30 Popis značky drsnosti [25].....	34
Obr. 31 Značení směru nerovnosti [25].....	35
Obr. 32 Popis značek drsnosti povrchu	35

Obr. 33 Značení drsnosti na výkresu [18].....	35
Obr. 34 Příklad značení drsnosti na výkresech [26]	36
Obr. 35 Vstřikovací stroj Demag [27]	39
Obr. 36 Díl 1 a detail jeho měřené oblasti	39
Obr. 37 Díl 2 a detail jeho měřené oblasti	40
Obr. 38 Díl 3 a detail jeho měřené oblasti	40
Obr. 39 Díl 4 a detail jeho měřené oblasti	40
Obr. 40 Technický díl 1 v rozpojení s hadicí.....	41
Obr. 41 Technický díl 1 ve spojení s hadicí	41
Obr. 42 Technický díl 4 s pohybující se kuličkou - schéma.....	42
Obr. 43 Ukázka řezu – Technický díl 1	43
Obr. 44 Ukázka řezu – Technický díl 2	43
Obr. 45 Ukázka zálistků na Technickém díle 3	44
Obr. 46 Čištění odřezaného kusu vyfoukáváním.....	44
Obr. 47 Popis kontaktního měření	46
Obr. 48 Popis funkcí kontaktního přístroje.....	47
Obr. 49 Ověření správnosti měření u měřicího přístroje	48
Obr. 50 Přípravek v kombinaci s měřeným dílem	48
Obr. 51 Ukázka kontaktního měření na profilu válce.....	49
Obr. 52 Ukázka kontaktního měření na profilu kužele.....	49
Obr. 53 Přístroj Talysurf CLI 500	50
Obr. 54 Popis přístroje Talysurf CLI 500	51
Obr. 55 Odrazivost v softwaru Taylor Hobson.....	52
Obr. 56 Nastavení pozic k měření	53
Obr. 57 Znázornění bezkontaktního snímání povrchu kužele	54
Obr. 58 Struktura povrchu – grafické vyhodnocení	54
Obr. 59 Ukázka měření kužele	55
Obr. 60 Měření technického dílu 3	55
Obr. 61 Měření technického dílu 4	56
Obr. 62 Individuální hodnoty bodů na Válci Rz a Ra – Kontaktně.....	57
Obr. 63 Individuální hodnoty bodů na Kuželu Rz a Rk – Kontaktně.....	58
Obr. 64 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Rz u dílů 1 – 4 – Kontaktně	58

Obr. 65 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Rz u dílů 1 – 4 – Kontaktně	59
Obr. 66 Časový průběh bodů u Kuželů Ra dílů 2 a 3 – Kontaktně	60
Obr. 67 Boxplot porovnání Kuželů Ra a Rz dílů 1 – 3 – Kontaktně	60
Obr. 68 Srovnání Individuálních hodnot bodů na Válcích Ra a Rz dílů 1 – 4 – Bezkontaktně	61
Obr. 69 Časový průběh bodů u Kuželů Ra dílů 2 a 3 – Bezkontaktně	61
Obr. 70 Boxplot porovnání Válců Ra a Rz dílů 1 – 4 – Bezkontaktně.....	62
Obr. 71 Ukázka výskytu hrubé chyby	62
Obr. 72 Časový průběh bodů u Kuželů dílu 1 - parametr Ra	63
Obr. 73 Časový průběh bodů u Kuželů dílu 1 - parametr Ra	63
Obr. 74 Boxplot porovnání Válců Ra a Rz dílů 1 – 4 – porovnání měření	64
Obr. 75 Boxplot porovnání Kuželů Ra a Rz dílů 1 – 4 – porovnání měření	64
Obr. 76 Statistické vyhodnocení kuželů Ra – kontaktně i bezkontaktně.....	65
Obr. 77 Statistické vyhodnocení válců Ra – kontaktně i bezkontaktně.....	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a, R_q, R_{sk}, R_{ku}, $R_{\Delta q}$ a křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily (např. broušené profily)</i>	
<i>[14]</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 2 Tabulka parametrů pro vstřikování jednotlivých kusů</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 3 Tabulka s popisky přístroje:</i>	<i>52</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Kontaktní měření hodnoty
- PII Bezkontaktní měření hodnoty
- PIII Kontaktní měření – Vyhodnocení
- PIV Bezkontaktní měření – Vyhodnocení
- PV Bezkontaktní a kontaktní měření – porovnání
- PVI Statistické vyhodnocení v Minitabu

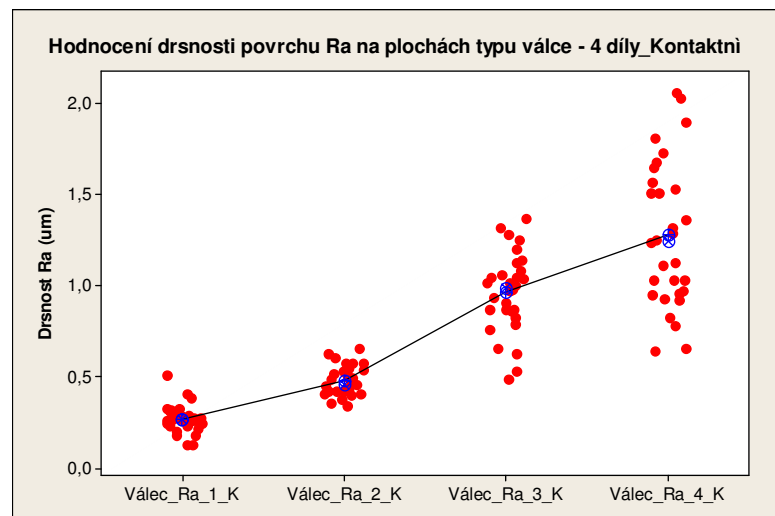
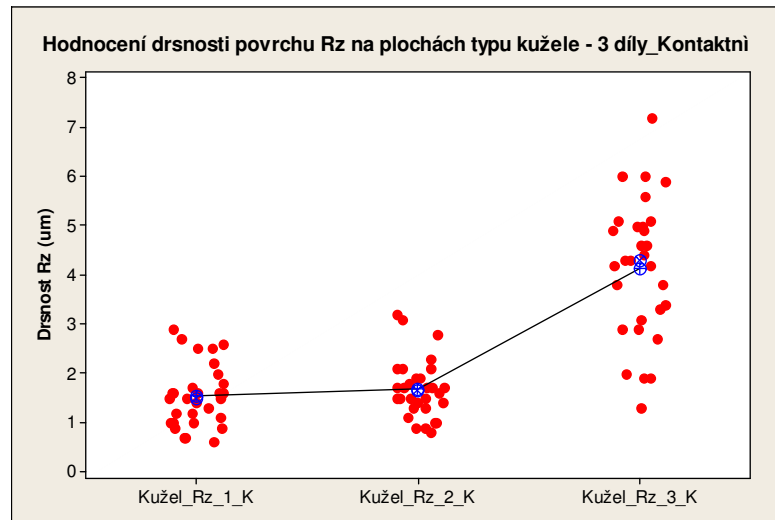
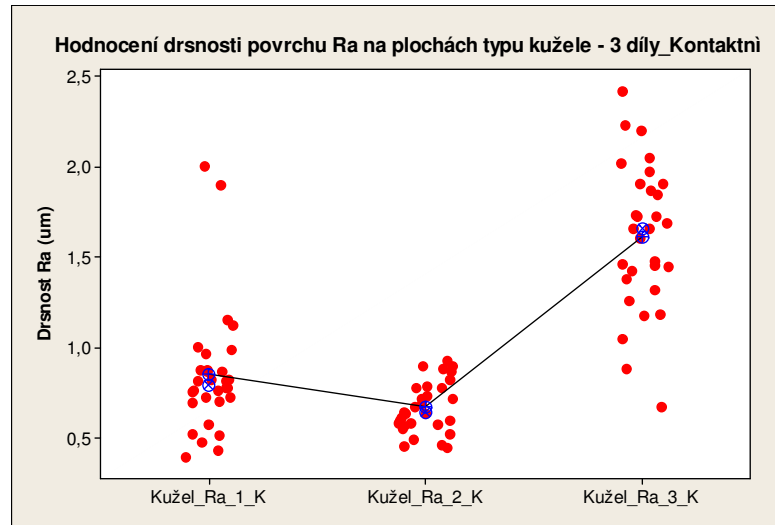
PŘÍLOHA PI: KONTAKTNÍ MĚŘENÍ – HODNOTY

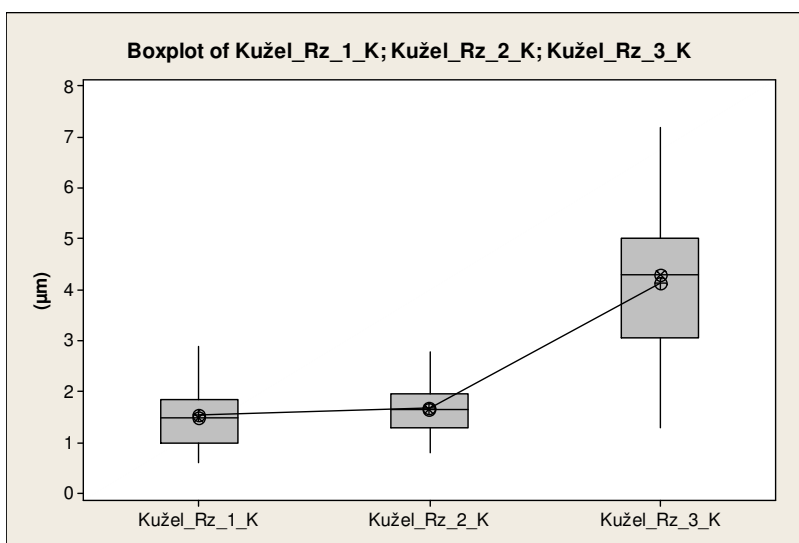
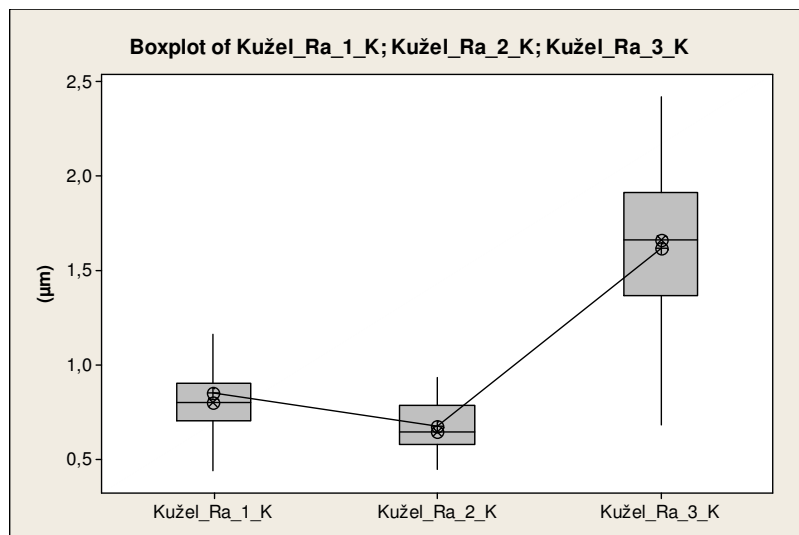
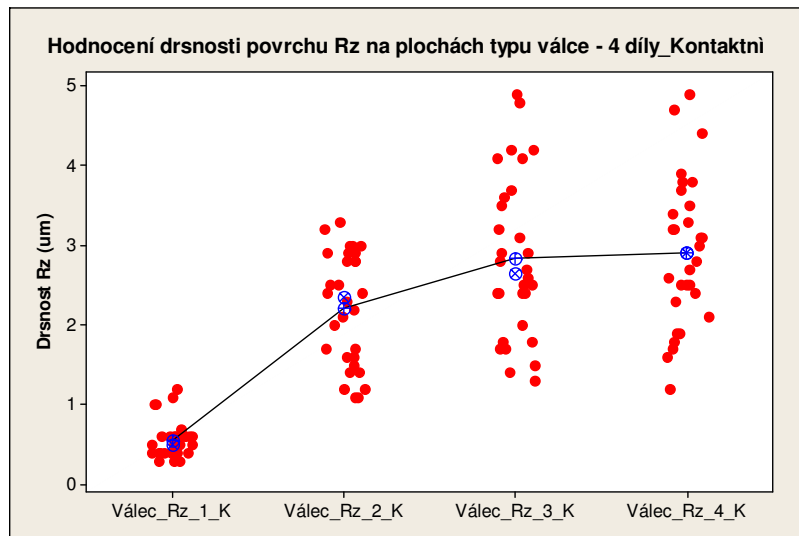
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	Kužel_Rz_1_K	Kužel_Rz_1_K	Válec_Ro_1_K	Válec_Rz_1_K	Kužel_Ra_2_K	Kužel_Rz_2_K	Válec_Ra_2_K	Válec_Rz_2_K	Kužel_Ra_3_K	Kužel_Rz_3_K	Válec_Ro_3_K	Válec_Rz_3_K	Válec_Ra_4_K	Válec_Rz_4_K
1	0,53	2,2	0,26	0,4	0,39	2,3	0,53	2,1	0,63	2,9	0,87	2,8	1,03	2,5
2	0,48	1,7	0,25	0,5	0,72	3,2	0,44	2,3	1,05	3,1	1,20	3,7	0,83	3,3
3	0,73	2,6	0,32	0,6	0,72	3,1	0,50	2,3	1,33	4,2	0,63	2,4	1,24	4,9
4	0,83	1,8	0,27	0,6	0,37	1,9	0,45	3,0	1,19	2,7	1,14	1,7	1,51	4,4
5	0,87	0,6	0,51	1,2	0,78	1,7	0,43	2,3	1,47	5,6	1,02	1,5	0,63	1,7
6	0,70	1,0	0,26	0,6	0,30	2,3	0,41	2,4	1,45	3,8	1,05	4,2	1,73	3,0
7	0,78	2,0	0,31	0,5	0,33	2,1	0,54	1,1	0,89	3,4	1,25	1,7	1,65	1,2
8	0,77	1,6	0,27	0,4	0,30	1,7	0,55	2,9	1,23	6,0	0,76	2,4	2,05	4,7
9	0,73	1,2	0,23	0,6	0,39	1,3	0,53	1,2	1,63	5,9	1,37	1,3	1,90	3,5
10	0,44	0,9	0,18	0,3	0,33	1,0	0,49	3,0	1,19	2,8	0,87	2,8	1,81	3,8
11	0,52	0,7	0,20	0,6	0,30	1,5	0,61	3,3	1,74	2,0	1,06	4,1	1,51	3,2
12	0,40	1,0	0,28	0,5	0,30	1,9	0,50	1,4	1,61	4,6	1,06	3,6	1,25	3,4
13	0,58	1,5	0,22	0,3	0,78	1,3	0,53	1,3	1,91	5,0	1,00	4,8	1,32	3,8
14	0,77	1,6	0,23	0,3	0,35	1,5	0,45	3,2	2,23	5,1	1,02	3,2	1,57	3,9
15	0,87	2,5	0,29	0,4	0,47	1,7	0,52	2,3	1,87	4,3	1,28	4,2	1,33	3,2
16	0,82	2,5	0,18	0,4	0,79	1,3	0,65	2,2	1,65	3,3	0,79	2,6	0,85	3,1
17	0,82	2,7	0,13	0,4	0,39	1,7	0,51	2,4	1,73	1,9	1,04	2,9	2,03	2,1
18	0,88	0,9	0,13	0,4	0,57	0,9	0,42	2,9	1,89	4,3	1,13	3,1	1,29	2,5
19	0,88	1,5	0,27	0,6	0,39	1,4	0,44	2,5	2,20	4,4	1,32	4,1	1,03	3,7
20	0,83	1,6	0,33	1,0	0,74	1,3	0,63	2,9	1,73	5,1	0,97	4,9	0,83	1,8
21	0,76	2,9	0,33	1,1	0,36	1,5	0,42	2,5	2,02	4,6	0,94	3,5	0,84	1,6
22	1,01	1,5	0,41	1,0	0,30	1,5	0,42	3,0	2,05	3,8	0,86	2,7	0,82	3,1
23	1,90	1,2	0,26	0,5	0,34	2,1	0,41	1,4	2,42	4,9	0,86	2,4	1,53	2,4
24	0,71	1,6	0,38	0,6	0,45	2,1	0,33	1,1	1,43	5,0	1,05	1,4	1,11	2,7
25	1,13	1,0	0,25	0,4	0,46	1,7	0,34	1,2	1,45	4,9	0,91	1,8	1,03	2,5
26	0,98	1,1	0,28	0,7	0,33	1,1	0,53	1,5	1,43	7,2	0,83	2,5	0,97	1,8
27	2,01	1,4	0,28	0,4	0,34	1,4	0,33	1,7	1,63	6,0	0,87	2,4	0,55	2,8
28	0,97	0,7	0,28	0,6	0,38	1,0	0,44	2,0	1,85	1,3	0,66	2,0	1,13	2,3
29	0,78	1,3	0,29	0,5	0,38	0,9	0,40	1,7	1,91	1,9	0,53	2,5	0,79	1,9
30	1,16	1,6	0,26	0,4	0,32	0,3	0,45	1,6	1,32	4,2	0,49	1,8	1,63	2,6

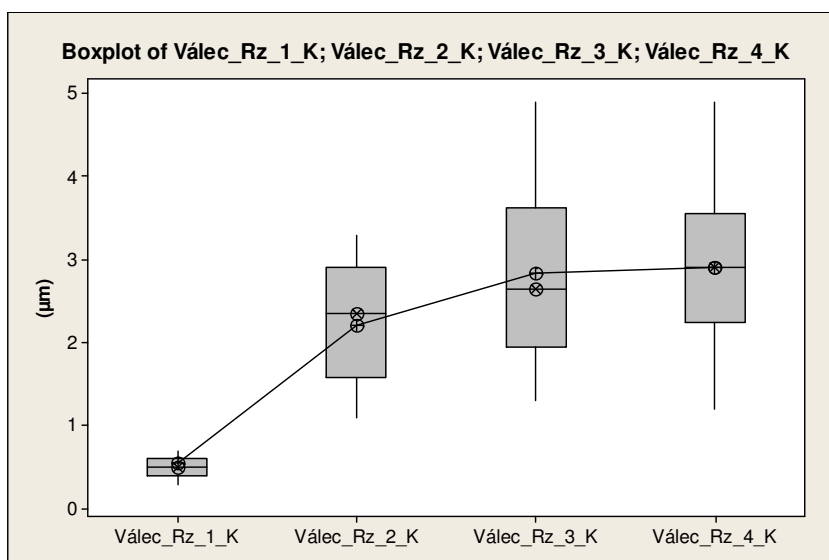
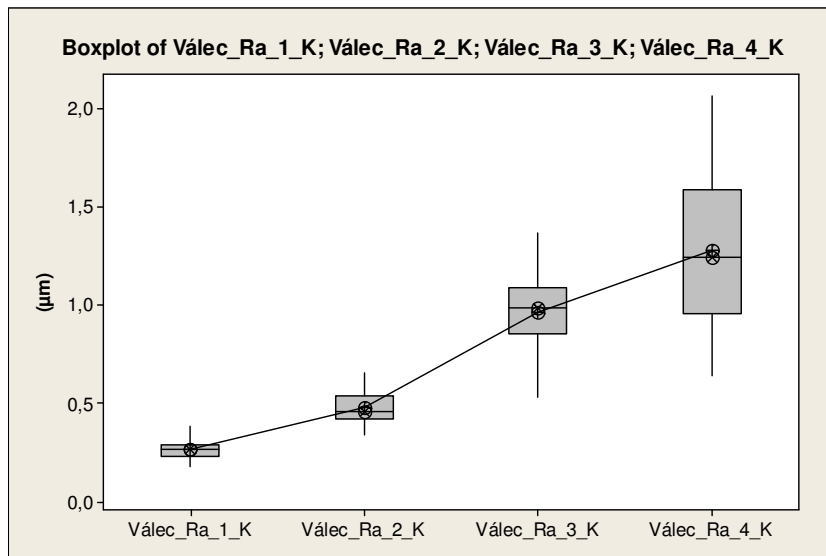
PŘÍLOHA P II: BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ – HODNOTY

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	Kužel_Ra_1_B	Kužel_Rz_1_B	Válec_Ra_1_B	Válec_Rz_1_B	Kužel_Ra_2_B	Kužel_Rz_2_B	Válec_Ra_2_B	Válec_Rz_2_B	Kužel_Ra_3_B	Kužel_Rz_3_B	Válec_Ra_3_B	Válec_Rz_3_B	Válec_Ra_4_B	Válec_Rz_4_B
1	0,641	5,19	0,326	2,65	0,618	4,55	0,536	3,31	0,743	4,58	0,954	3,11	0,927	6,34
2	0,654	5,71	0,330	3,15	0,537	3,33	0,466	2,30	1,050	9,99	0,734	5,96	0,340	5,14
3	0,533	3,31	0,274	2,34	0,645	7,15	0,485	4,40	1,210	8,97	0,855	3,36	0,397	5,98
4	0,852	6,77	0,196	1,32	0,668	5,53	0,547	3,38	0,925	9,03	0,955	3,91	0,361	5,19
5	0,655	4,57	0,249	2,29	0,747	5,26	0,582	5,16	1,750	15,40	0,841	5,70	0,399	5,91
6	0,660	4,46	0,437	4,43	0,798	5,41	0,532	4,79	0,980	8,97	0,953	5,81	1,220	11,30
7	0,633	6,00	0,332	2,43	0,709	4,58	0,536	3,35	1,370	18,70	0,822	5,68	1,530	10,30
8	0,612	4,57	0,303	1,87	0,766	5,84	0,481	3,54	1,140	13,00	0,924	3,26	1,560	10,40
9	0,737	6,49	0,434	4,63	0,609	4,58	0,513	4,33	0,801	7,57	1,030	3,72	0,316	4,36
10	0,734	6,71	0,420	3,81	0,567	4,23	0,586	5,59	1,010	8,62	0,704	5,44	0,394	6,75
11	1,450	31,30	0,571	5,13	0,715	5,21	0,532	3,72	1,240	12,00	0,841	7,63	1,030	9,91
12	0,398	3,26	0,378	3,67	0,663	5,05	0,519	4,23	1,190	10,10	0,461	4,63	1,150	8,90
13	0,452	3,38	0,451	3,59	0,770	5,67	0,555	5,55	1,490	12,90	0,915	5,55	1,340	10,20
14	1,180	14,30	0,510	4,83	0,613	7,54	0,534	3,74	1,330	10,80	0,853	3,11	1,370	11,00
15	0,762	6,11	0,335	4,40	0,768	5,38	0,527	3,39	0,952	7,39	0,653	4,91	1,450	9,30
16	0,440	3,21	0,535	5,79	0,778	3,21	0,308	4,73	1,380	10,00	0,722	3,33	3,060	20,70
17	0,511	3,54	0,345	4,00	0,715	5,62	0,704	6,14	1,810	13,70	0,861	7,37	2,330	14,10
18	0,415	2,87	0,319	2,64	0,714	5,20	0,518	4,39	2,120	18,40	0,783	5,25	1,590	10,30
19	0,438	3,31	0,339	4,35	0,634	4,71	0,717	5,04	0,864	6,85	0,610	4,52	1,220	9,93
20	0,577	5,57	0,336	3,03	0,663	4,55	0,588	5,23	1,140	8,65	0,791	5,24	1,510	12,50
21	0,385	2,94	0,445	3,41	0,793	5,56	0,734	5,12	1,270	9,26	0,787	7,93	1,410	11,30
22	0,893	20,30	0,500	5,21	0,775	3,17	0,712	4,40	1,240	12,80	1,160	3,70	2,010	15,30
23	0,435	3,75	0,332	3,29	0,790	4,99	0,309	5,75	1,180	8,43	0,803	5,39	1,560	14,10
24	0,460	3,95	0,407	3,87	0,761	4,97	0,784	5,57	1,860	15,40	1,940	17,40	1,460	9,57
25	0,466	3,34	0,408	4,47	0,752	5,26	0,726	5,09	1,920	15,20	0,854	5,82	2,000	18,10
26	0,612	6,05	0,614	6,65	0,759	5,36	0,327	6,34	1,890	16,90	0,883	5,81	2,500	15,40
27	0,686	6,22	0,400	4,04	0,693	4,78	0,516	4,95	1,270	11,10	0,862	5,98	1,300	12,30
28	1,070	8,14	0,279	2,14	0,762	4,72	0,544	5,00	1,420	13,30	1,190	3,31	2,340	17,30
29	0,560	4,37	0,440	3,64	0,730	3,43	0,546	3,38	1,260	11,00	0,735	5,98	2,310	14,30
30	0,459	3,72	0,644	7,67	0,646	3,98	0,356	5,32	1,460	11,30	0,652	4,81	2,170	16,40

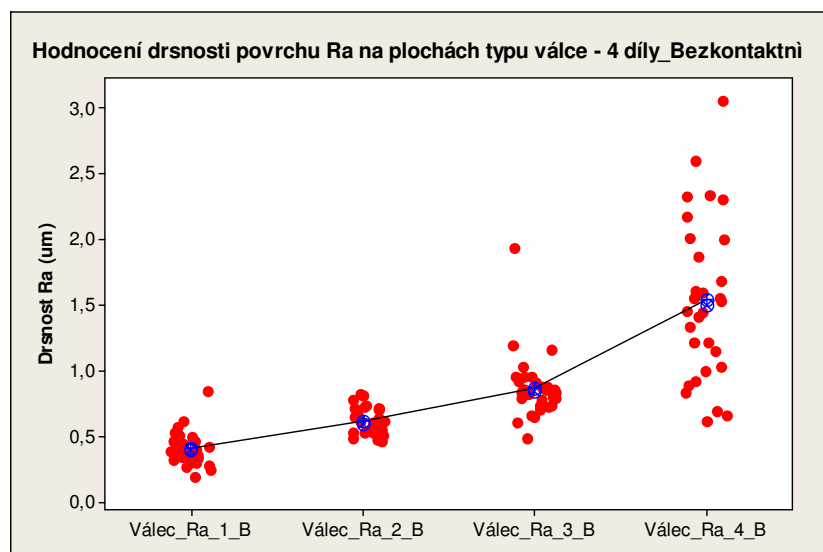
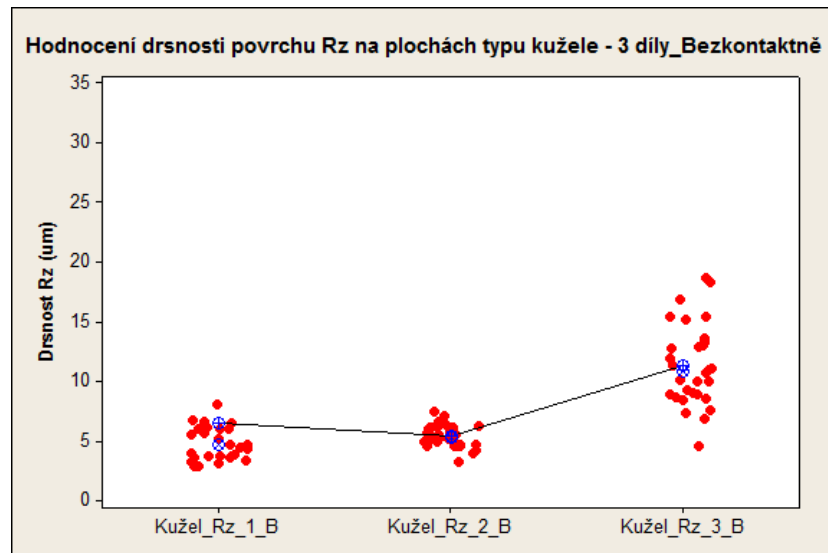
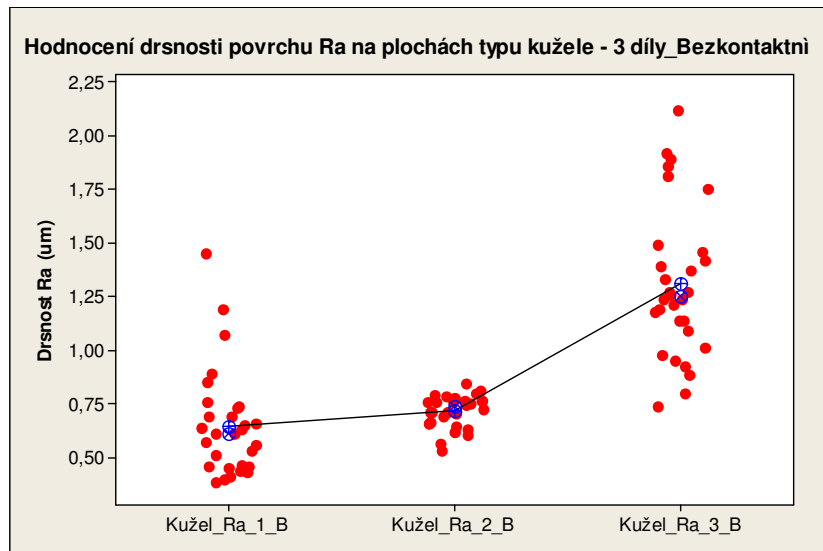
PŘÍLOHA P III: KONTAKTNÍ MĚŘENÍ – VYHODNOCENÍ



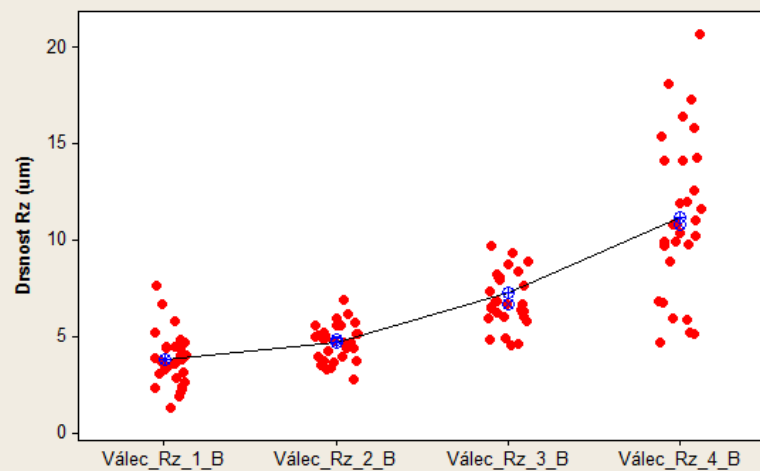




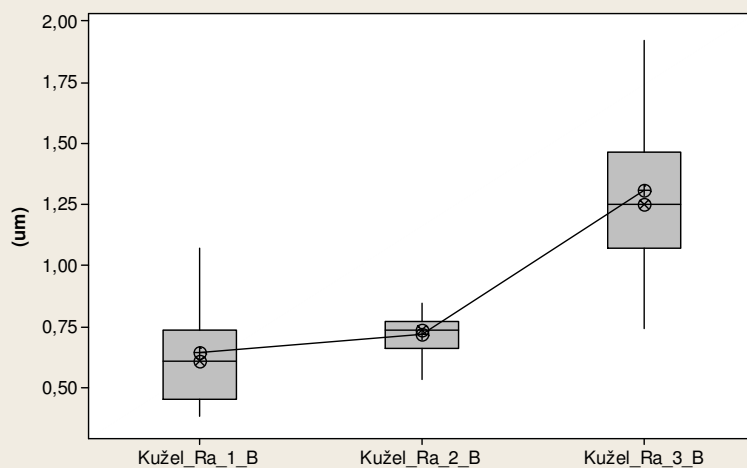
PŘÍLOHA P IV: BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ – VYHODNOCENÍ



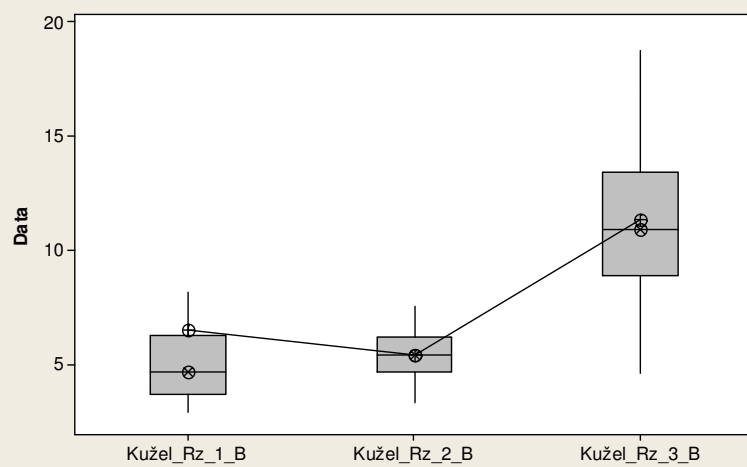
Hodnocení drsnosti povrchu Rz na plochách typu válec - 4 díly_Bezkontaktně

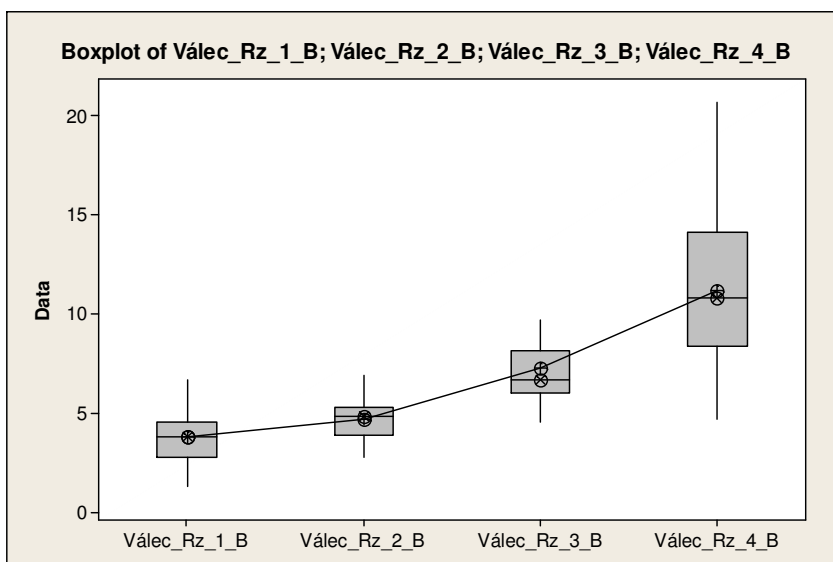
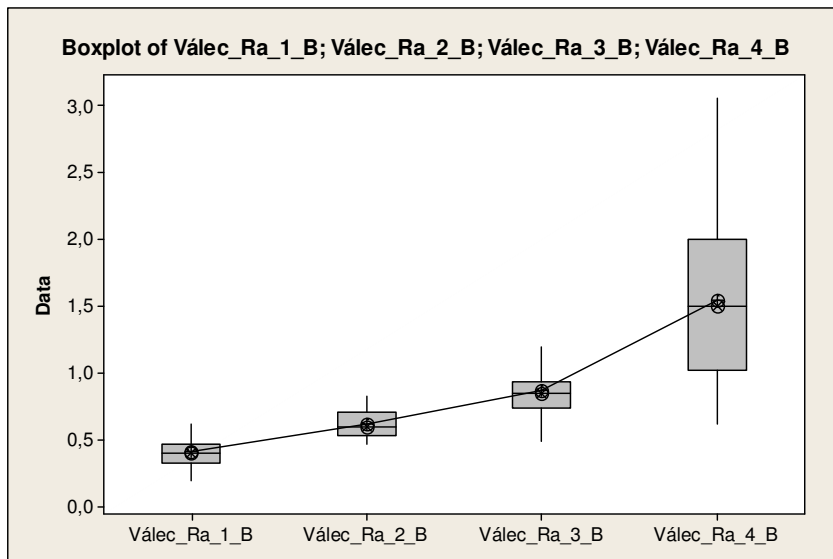


Boxplot of Kužel_Ra_1_B; Kužel_Ra_2_B; Kužel_Ra_3_B

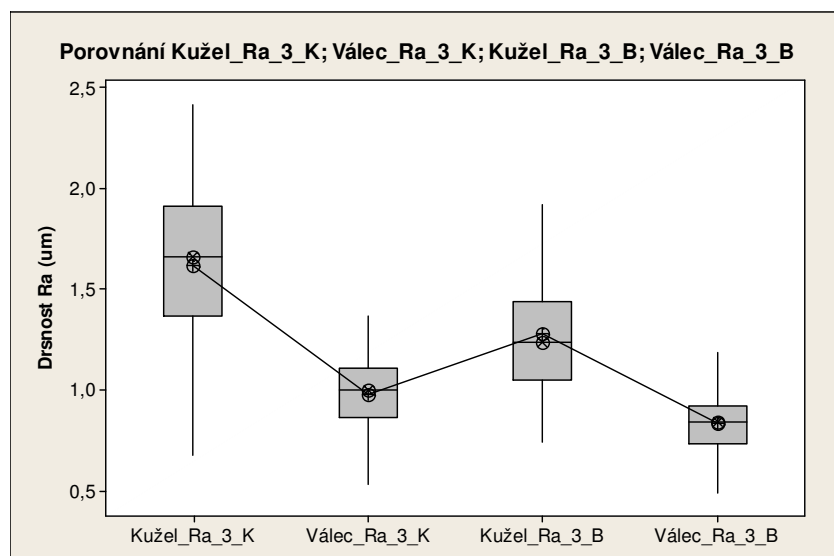
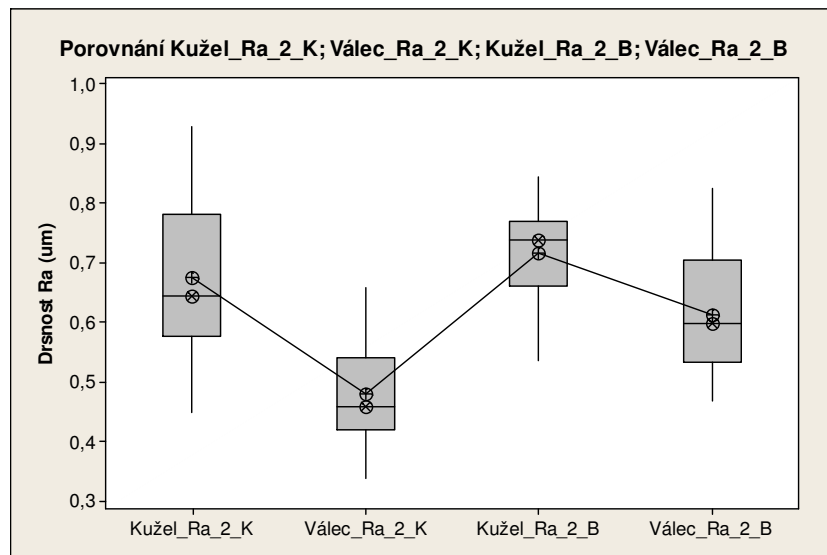
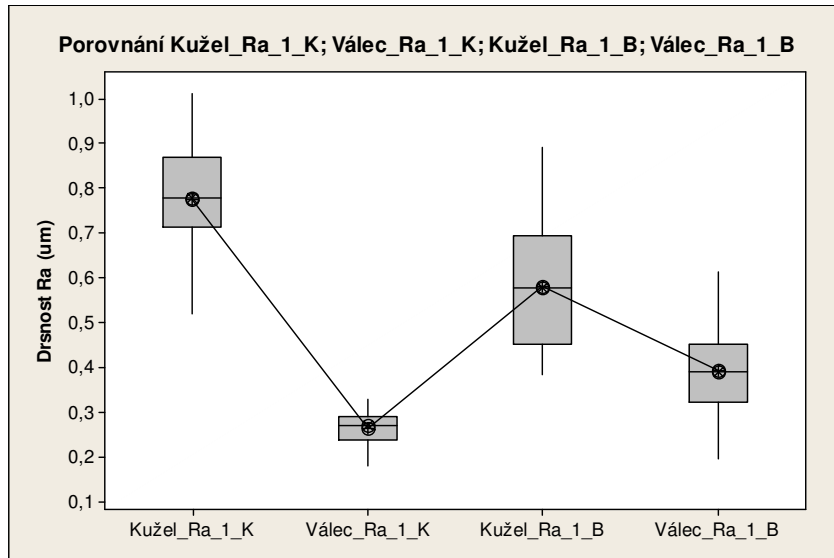


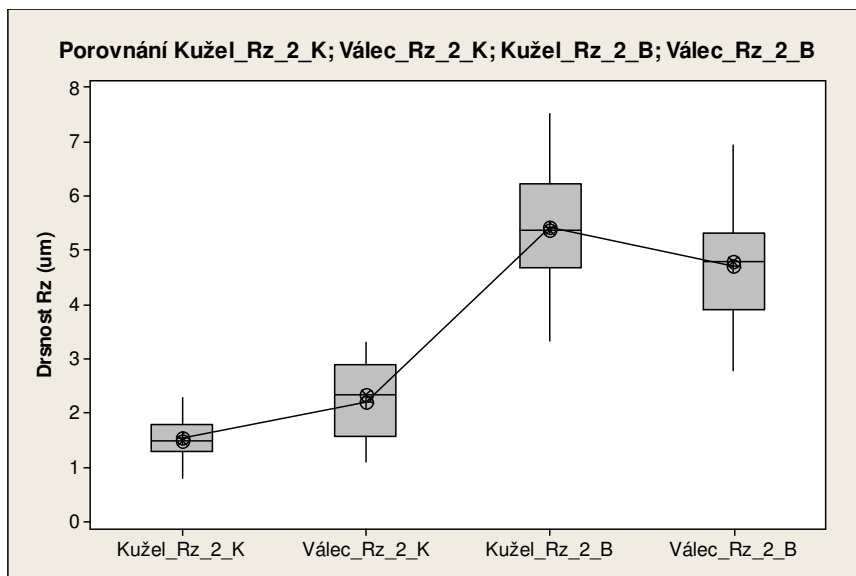
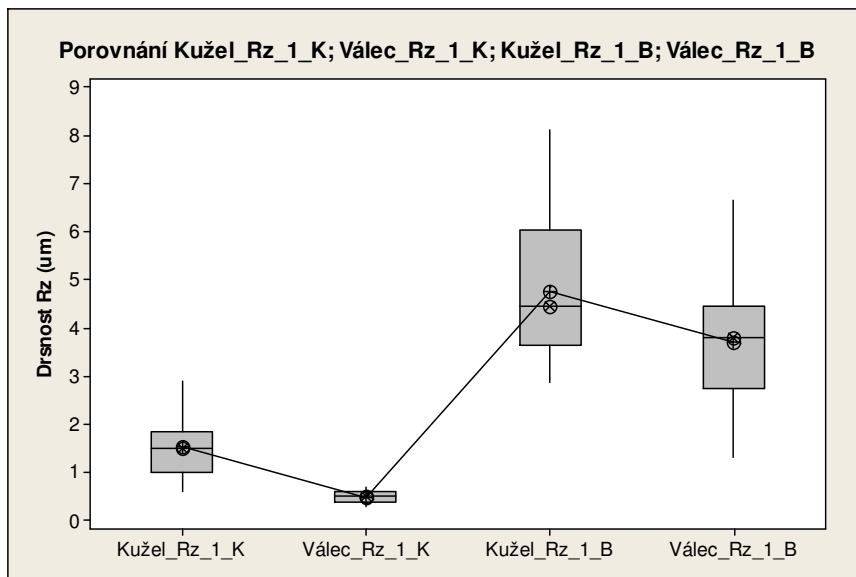
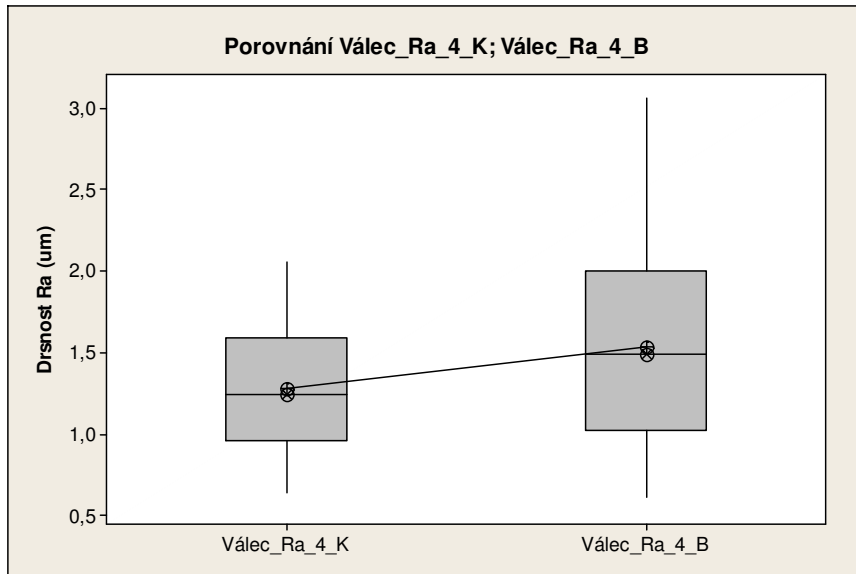
Boxplot of Kužel_Rz_1_B; Kužel_Rz_2_B; Kužel_Rz_3_B

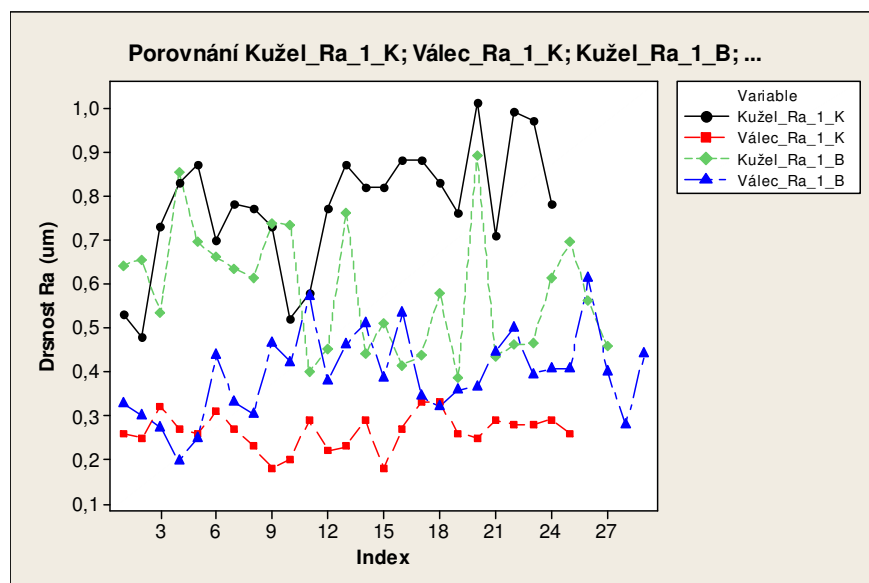
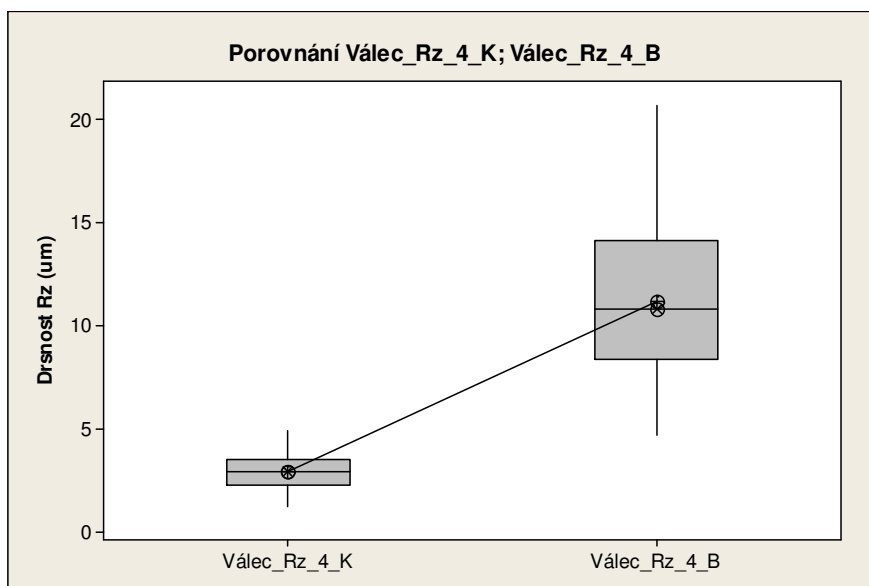
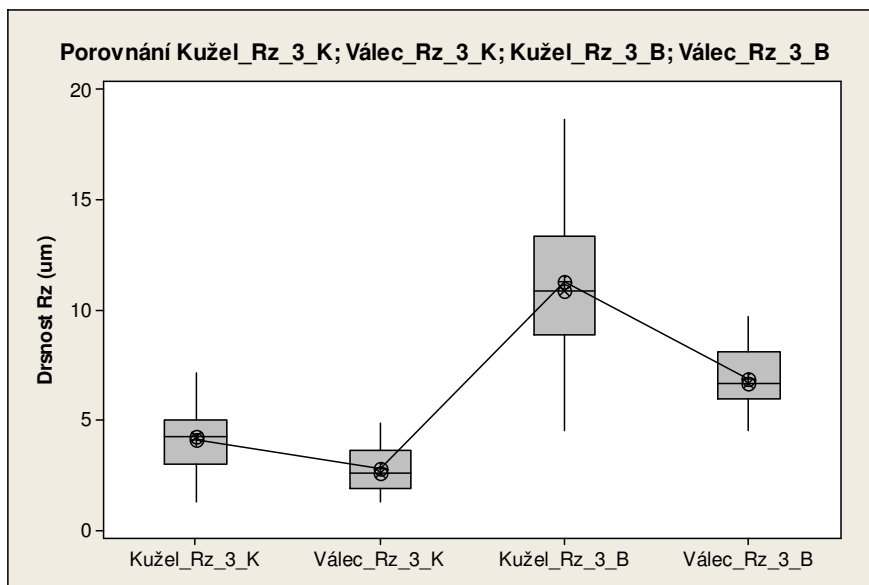


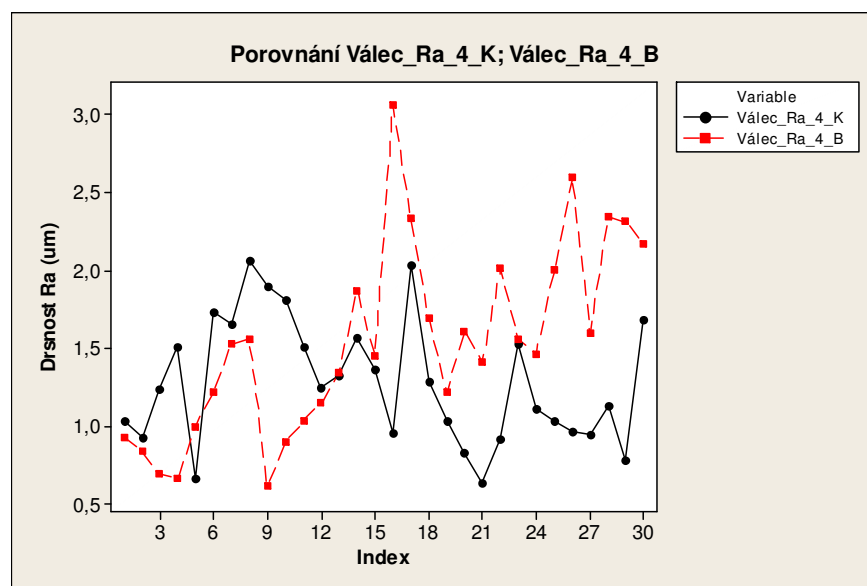
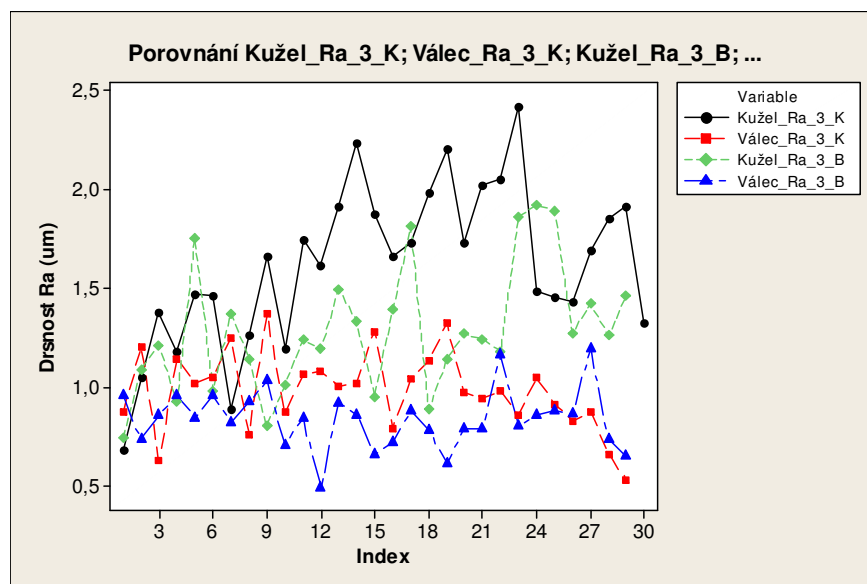
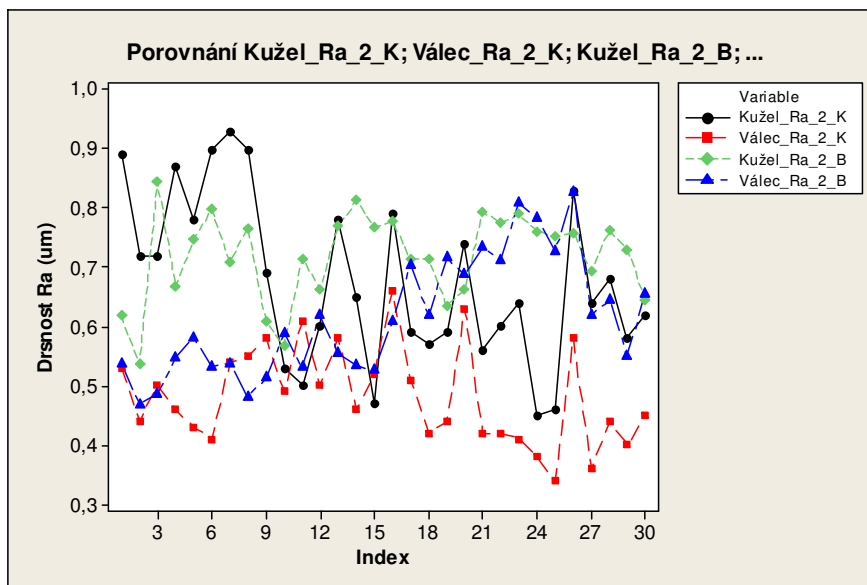


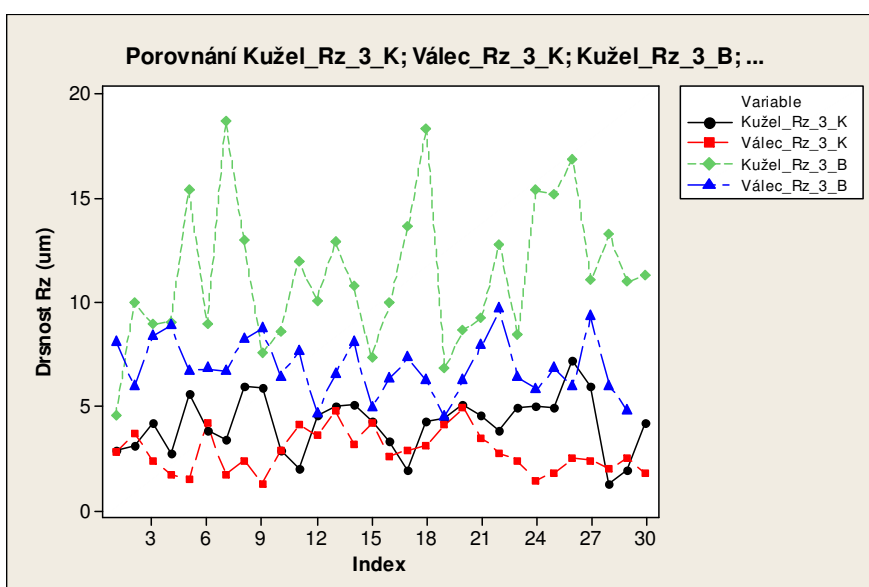
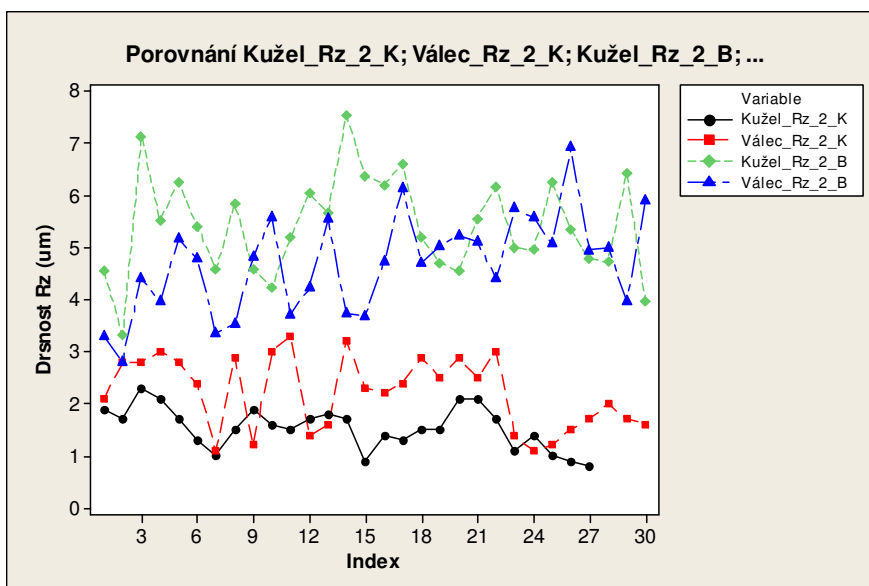
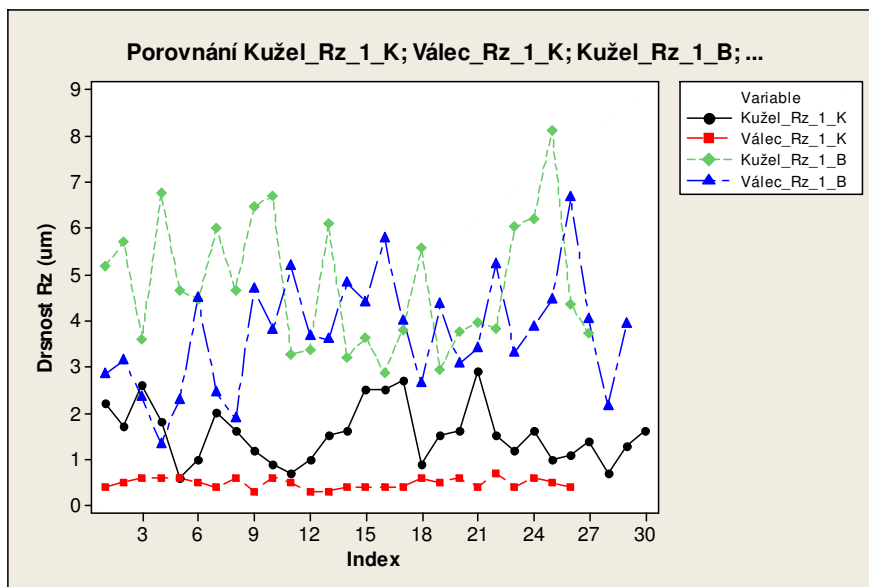
PŘÍLOHA P V: BEZK. + KONTAKT. MĚŘENÍ – POROVNÁNÍ



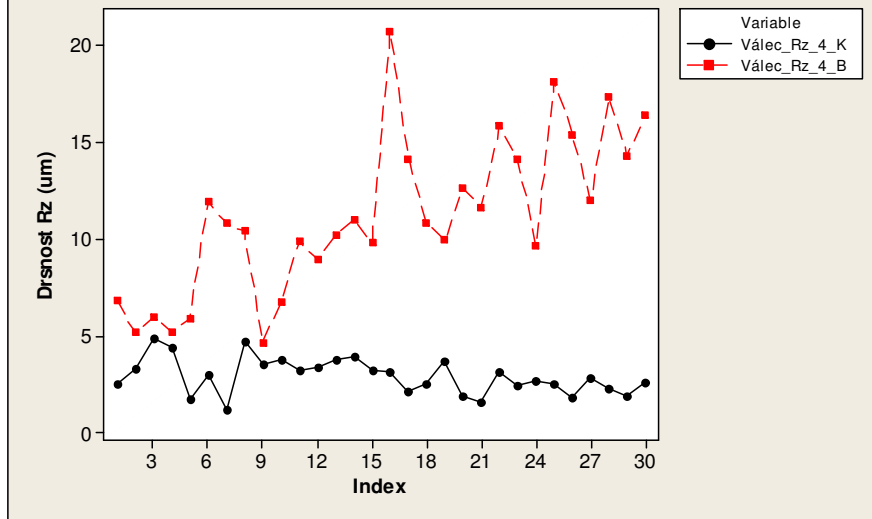








Porovnání Válec_Rz_4_K; Válec_Rz_4_B



PŘÍLOHA P VI: STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ V MINITABU

Descriptive Statistics: Kužel_Ra_1_K; Válec_Ra_1_K; Kužel_Ra_1_B; Válec_Ra_1_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median
Kužel_Ra_1_K	0,7754	0,0287	0,1405	18,12	0,4800	0,7800
Válec_Ra_1_K	0,26400	0,00819	0,04093	15,50	0,18000	0,27000
Kužel_Ra_1_B	0,5819	0,0274	0,1422	24,43	0,3850	0,5770
Válec_Ra_1_B	0,3936	0,0181	0,0973	24,72	0,1960	0,3920

Variable	Maximum	Range
Kužel_Ra_1_K	1,0100	0,5300
Válec_Ra_1_K	0,33000	0,15000
Kužel_Ra_1_B	0,8930	0,5080
Válec_Ra_1_B	0,6140	0,4180

Descriptive Statistics: Kužel_Ra_2_K; Válec_Ra_2_K; Kužel_Ra_2_B; Válec_Ra_2_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Kužel_Ra_2_K	0,6757	0,0257	0,1407	20,82	0,4500	0,6450	0,9300
Válec_Ra_2_K	0,4820	0,0150	0,0822	17,06	0,3400	0,4600	0,6600
Kužel_Ra_2_B	0,7186	0,0137	0,0750	10,44	0,5370	0,7385	0,8450
Válec_Ra_2_B	0,6145	0,0184	0,1008	16,40	0,4690	0,5990	0,8270

Variable	Range
Kužel_Ra_2_K	0,4800
Válec_Ra_2_K	0,3200
Kužel_Ra_2_B	0,3080
Válec_Ra_2_B	0,3580

Descriptive Statistics: Kužel_Ra_3_K; Válec_Ra_3_K; Kužel_Ra_3_B; Válec_Ra_3_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Kužel_Ra_3_K	1,6167	0,0734	0,4018	24,86	0,6800	1,6600	2,4200
Válec_Ra_3_K	0,9821	0,0377	0,2028	20,65	0,5300	1,0000	1,3700
Kužel_Ra_3_B	1,2833	0,0599	0,3225	25,13	0,7430	1,2400	1,9200
Válec_Ra_3_B	0,8364	0,0278	0,1495	17,87	0,4910	0,8410	1,1900

Variable	Range
Kužel_Ra_3_K	1,7400
Válec_Ra_3_K	0,8400
Kužel_Ra_3_B	1,1770
Válec_Ra_3_B	0,6990

Descriptive Statistics: Válec_Ra_4_K; Válec_Ra_4_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Válec_Ra_4_K	1,2803	0,0731	0,4002	31,25	0,6400	1,2450	2,0600
Válec_Ra_4_B	1,538	0,112	0,612	39,78	0,616	1,495	3,060

Variable	Range
Válec_Ra_4_K	1,4200
Válec_Ra_4_B	2,444

Descriptive Statistics: Kužel_Rz_1_K; Válec_Rz_1_K; Kužel_Rz_1_B; Válec_Rz_1_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Kužel_Rz_1_K	1,547	0,115	0,627	40,56	0,600	1,500	2,900
Válec_Rz_1_K	0,4808	0,0222	0,1132	23,55	0,3000	0,5000	0,7000
Kužel_Rz_1_B	4,782	0,272	1,413	29,55	2,870	4,460	8,140
Válec_Rz_1_B	3,717	0,227	1,224	32,93	1,320	3,810	6,660

Variable	Range
Kužel_Rz_1_K	2,300
Válec_Rz_1_K	0,4000
Kužel_Rz_1_B	5,270
Válec_Rz_1_B	5,340

Descriptive Statistics: Kužel_Rz_2_K; Válec_Rz_2_K; Kužel_Rz_2_B; Válec_Rz_2_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Kužel_Rz_2_K	1,5333	0,0781	0,4057	26,46	0,8000	1,5000	2,3000
Válec_Rz_2_K	2,217	0,129	0,705	31,79	1,100	2,350	3,300
Kužel_Rz_2_B	5,427	0,176	0,961	17,71	3,330	5,385	7,540
Válec_Rz_2_B	4,708	0,173	0,949	20,16	2,800	4,810	6,940

Variable	Range
Kužel_Rz_2_K	1,5000
Válec_Rz_2_K	2,200
Kužel_Rz_2_B	4,210
Válec_Rz_2_B	4,140

Descriptive Statistics: Kužel_Rz_3_K; Válec_Rz_3_K; Kužel_Rz_3_B; Válec_Rz_3_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Kužel_Rz_3_K	4,143	0,256	1,401	33,82	1,300	4,300	7,200
Válec_Rz_3_K	2,837	0,185	1,012	35,68	1,300	2,650	4,900
Kužel_Rz_3_B	11,344	0,630	3,450	30,42	4,580	10,900	18,700
Válec_Rz_3_B	6,905	0,259	1,395	20,20	4,520	6,680	9,700

Variable	Range
Kužel_Rz_3_K	5,900
Válec_Rz_3_K	3,600
Kužel_Rz_3_B	14,120
Válec_Rz_3_B	5,180

Descriptive Statistics: Válec_Rz_4_K; Válec_Rz_4_B

Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Median	Maximum
Válec_Rz_4_K	2,917	0,169	0,926	31,76	1,200	2,900	4,900
Válec_Rz_4_B	11,206	0,754	4,132	36,87	4,660	10,800	20,700

Variable	Range
Válec_Rz_4_K	3,700
Válec_Rz_4_B	16,040