

Hodnocení dekorativních vad automobilových světlometů ve vazbě na jakost povrchu

Ing. Lenka Pitnerová

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ing. Lenka Pitnerová
Osobní číslo: T12510
Studijní program: N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Řízení jakosti
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Hodnocení dekorativních vad automobilových světlometů ve vazbě na jakost povrchu

Zásady pro vypracování:

Literární rešerše na téma jakost povrchů polymerních dílů
Přichystání zkušebních vzorků.
Provedení bezkontaktního snímání jakosti povrchů připravených vzorků
Statistické hodnocení nasnímaných vzorků včetně jejich komparace

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

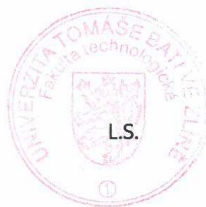
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



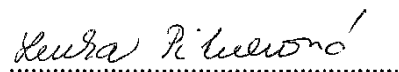

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

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 10.4.2014


.....

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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vztahem dekorativních vad skel světlometů, reprezentovaných vnějším mechanickým poškozením, a jakostí jejich povrchu. V práci jsou porovnávána různě poškozená skla světlometů s ochranným lakem i bez laku, a dva odlišné materiály skel. Zjištěné výsledky jsou statisticky vyhodnoceny.

Klíčová slova: Jakost, Povrch, Vada, Polymer, Sklo

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the relationship of decorative glass headlamps defects, represented by external mechanical damage, and the quality of their surface. The thesis compares different damaged of headlight lenses with protective lacquer or without lacquer and two different glass materials. The results are statistically evaluated.

Keywords: Quality, Surface, Defect, Polymer, Glass

Děkuji tímto vedoucímu své diplomové práce, panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, za pomoc a podporu při psaní této práce. Děkuji také panu Ing. Štěpánovi Šandovi, Ph.D. za oponenturu práce.

Díky patří i mé rodině, která se mnou měla trpělivost.

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

OBSAH

ÚVOD	10	
I	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	MATERIÁLY A TECHNOLOGIE	12
1.1	POLYMERY	12
1.1.1	Dělení polymerů, obecné charakteristiky.....	12
1.1.2	Elastomery.....	13
1.1.3	Plasty	14
1.1.4	Polykarbonát (PC).....	14
1.2	SKLO	14
1.3	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	15
1.3.1	Vstřikování	15
1.3.2	Vstřikovací cyklus.....	16
1.4	LAKOVÁNÍ.....	17
2	STATISTICKÉ METODY	18
2.1	TEORIE HYPOTÉZ	18
2.1.1	Nulová a alternativní hypotéza.....	18
2.1.2	Testovací kritérium	19
2.1.3	Chyby I. a II. druhu	19
2.1.4	Postup testování hypotéz.....	20
2.2	TESTY NORMALIT	21
2.2.1	Normální rozdělení pravděpodobnosti	21
2.2.2	Normované normální rozdělení pravděpodobnosti	22
2.2.3	F-test.....	24
2.2.4	T-test	24
2.2.5	ANOVA	27
2.2.6	Neparametrické metody	28
2.3	TESTOVÁNÍ HRUBÝCH CHYB.....	28
2.3.1	Testování souborů s normálním rozdělením	28
2.3.2	Testování souborů s neznámým rozdělením	29
3	POVRCHY A JEJICH MĚŘENÍ	31
3.1	VŠEOBECNÁ DEFINICE POJMŮ	31
3.1.1	Normy týkající se kvality povrchu	31
3.1.2	Všeobecné technické pojmy	31
3.2	PARAMETRY PROFILU POVRCHU	34
3.2.1	Výškové parametry	34
3.2.2	Délkové a tvarové parametry	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
4	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	38
5	MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI TALYSURF CLI 500	39
5.1	POPIS PŘÍSTROJE.....	39
5.1.1	Snímač.....	39

5.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ	40
5.3	SNÍMÁNÍ	42
5.4	ZPRACOVÁNÍ HRUBÝCH DAT ZÍSKANÝCH SNÍMÁNÍM	45
5.4.1	Zpracování v TALYSURF	45
5.4.2	Transformace dat do MINITAB	48
5.5	POROVNÁNÍ MEDIÁNŮ NASNÍMANÝCH VZORKŮ	53
5.6	STATISTICKÉ HODNOCENÍ NASNÍMANÝCH DAT	60
5.6.1	Výběr metody hodnocení	60
5.6.2	Stanovení hypotéz	60
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM VZORCŮ	73
	SEZNAM PŘÍLOH	74

ÚVOD

Polymery jsou v dnešní době pevnou součástí našeho života, využíváme jich, nebo materiálů na jejich bázi, ve všech oblastech průmyslu. Termínem polymery označujeme skupinu materiálů, které mají podobné strukturní rysy a jisté charakteristické vlastnosti. Vlastnosti a využitelnost konkrétních polymerů se od sebe liší. V zásadě známe tři skupiny polymerů. Nejmenší spotřeba se týká speciálních polymerů, druhé místo v množství spotřeby zaujímají konstrukční polymery a nejvíce využívány jsou polymery komoditní. Mezi ně patří i polykarbonát (PC) – termoplast, který se snadno zpracovává vstřikováním či lisováním za tepla.

Polykarbonát spojuje řadu velmi dobrých vlastností, kterých nebylo dosud souhrnně dosaženo u žádného dalšího typu termoplastu. Jmenovitě jsou to vysoká rázová houževnatost, světelná propustnost a velmi dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům. Spolu s dobrou zpracovatelností předurčují jeho mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti polykarbonát k širokému využití - od výrobků pro domácnost či laboratoře, přes využití v automobilovém průmyslu až k elektronickým přístrojům.

Struktura povrchu, včetně definice parametrů a jejich měření, je charakterizována v rámci norem Geometrické požadavky na výrobky (GPS). Normou popisovaná struktura povrchu zahrnuje drsnost, vlnitost a základní profil. Z toho plyne, že profil drsnosti a jeho parametry jsou pouze částí charakteristiky struktury povrchu.

Měření a hodnocení struktury povrchu představuje velmi specifickou samostatnou část metrologie, která je zabezpečována převážně jednoúčelovými měřicími přístroji. Tato výlučnost je spojena s faktem, že se výrobci měřicí techniky zásadním způsobem podílejí nejen na přípravě metodiky hodnocení struktury povrchu, ale také na normalizaci parametrů drsnosti a podmínek hodnocení a na přípravě softwaru pro praktické vyhodnocování zkoumaného profilu povrchu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁLY A TECHNOLOGIE

1.1 Polymery

Polymery jsou makromolekulární látky složené převážně z prvků uhlíku C, kyslíku O, vodíku H, dusíku N, chloru Cl a dalších. Jedná se o molekulové systémy, které jsou chemickými vazbami vázané do dlouhých řetězců. Řetězce jsou tvořeny pravidelně opakujícími se částmi nazývanými stavební či monomerní jednotky – mery. Počet stavebních jednotek – merů – značí polymerační stupeň, který může mít hodnotu 10 až 10^6 . Sloučeniny s nízkým polymeračním stupněm nazýváme oligomery ($n < 10$), ty s vyšším polymeračním stupněm ($n \geq 10$) nazýváme polymery. [6][1][3][6]

Využití polymerů je široké, a to zejména díky neobvyklé šíři vlastností. Ve formě výrobků jsou prakticky v tuhém stavu, v rámci zpracovatelských procesů bývají ve stavu kapalném, který dovoluje za použití vyšší teploty a tlaku, polymer tvarovat do podoby konečného tvaru dle požadavku na budoucí užití. [1][3][6]

1.1.1 Dělení polymerů, obecné charakteristiky

Polymery lze dělit mnoha způsoby. Základní rozdělení polymerů je na přírodní a syntetické. Přírodní polymery dělíme dále na [1]:

- a) původní;
- b) modifikované (chemicky upravené).

Syntetické polymery lze dělit mnoha způsoby, přičemž nejpoužívanějším je dělení podle chemické reakce používané při výrobě [1][27]:

- a) polymerace (řetězová chemická reakce velkého počtu molekul monomeru, při níž vznikají dlouhé makromolekuly polymeru a nevznikají žádné vedlejší produkty, chemické složení výsledného polymeru je shodné se složením monomeru),
- b) polykondenzace (chemická reakce, která je sledem stejných opakujících se reakcí funkčních skupin),
- c) polyadice (reakce, při které reagují dva různé monomery s různými funkčními skupinami).

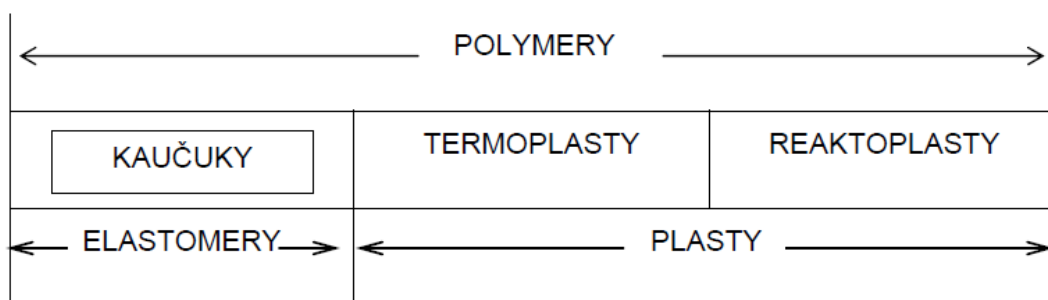
Podle tvaru makromolekulárních řetězců dělíme polymery na [5]:

- a) lineární,
- b) rozvětvené,
- c) zesíťované,
- d) prostorově zesíťované.

Dále lze členit polymery podle toho, jak se chovají za zvýšené teploty, a to na [5][27]:

- a) termoplasty, které se zahříváním stávají plastickými a tvarovatelnými
- b) termosety, které zahříváním ztrácejí plastičnost kvůli chemickým změnám.

Nejznámější a nejpoužívanější dělení uvedené na obrázku č.1 níže.



Obr.1: Základní klasifikace polymerů. [1]

1.1.2 Elastomery

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které je možné za běžných podmínek deformovat i malou silou, aniž by došlo k porušení a deformace jsou většinou vratné. Obecně je možné považovat elastomery za vysoce kondenzované plyny, a to proto, že většina dílčích monomerů se v nich vyskytuje v plynném stavu. Největší skupinou elastomerů jsou kaučuky. [1]

Elastomery jsou směsi amorfních polymerů. Smícháním s různými přísadami vzniká gumárenská směs (guma), jejíž vulkanizací vzniká pryž. Ta není pružná, ale je schopná pohlcovat kinetickou energii a vykazuje poměrně vysokou pevnost v tlaku a smyku, a to díky své viskoelastické povaze. [3]

1.1.3 Plasty

Jedná se o polymery, které jsou za standardních podmínek tvrdé, často také křehké. Svůj název získaly díky faktu, že se při zvýšené teplotě stávají plastickými a tím také tvarovatelnými. Plasty, jak je znázorněno výše, se dělí na termoplasty a reaktoplasty. Termoplasty lze za zvýšené teploty uvést ze stavu tuhého do stavu plastického, tato změna je vratná a opakovatelná. Naproti tomu reaktoplasty nevratnou chemickou reakcí přecházejí z lineárního do síťovaného stavu. Zahříváním či přidáním vytvrzovacího prostředku ztrácejí termoplastický charakter, přecházejí do nerozpustného a netavitelného stavu. [1][3]

1.1.4 Polykarbonát (PC)

Polykarbonát je termoplastický materiál, který je polyesterem kyseliny uhličité a dihydroxysloučenin. Vyznačuje se řadou velmi cenných vlastností, které ostatní termoplasty postrádají. Jedná se zejména o dobré mechanické a dielektrické vlastnosti, malou nasákavost, vysokou odolnost proti povětrnostním vlivům, rozměrovou stabilitu, chemickou odolnost, snadnou zpracovatelnost a v neposlední řadě také transparentnost. [1]

Mimo uvedené vlastnosti jsou polykarbonáty fyziologicky nezávadné, bez chuti a bez zápachu. Mají dobré elektroizolační vlastnosti a velmi dobře odolávají ultrafialovému záření a oxidaci do 120°C. Vysokou odolností se vyznačují i v případě dlouhodobého působení vody, páry, aminů, amoniaku, zředěných roztoků kyselin a solí a odolává také alkoholům. [1]

1.2 Sklo

Sklo je anorganický amorfní materiál, který vzniká tavením vhodných surovin (oxid křemičitý ve formě čistého křemičitého písku, oxid vápenatý, oxid sodný a oxid draselný, dále čeřiva a skleněné střepy) a následně řízeným chlazením. Ztuhnutí je způsobeno plynulým růstem viskozity na tak vysokou hodnotu, že se materiál jeví pevným. [11]

Mezi charakteristické vlastnosti skla patří relativně vysoká propustnost světla v části viditelného spektra, tuhost a tvrdost při běžných teplotách, křehkost, dobrá odolnost proti povětrnostním a chemickým vlivům, vodě a vzduchu, plynotěsnost a poměrně nízká tepelná a elektrická vodivost. [11]

1.3 Technologie zpracování plastů

Finální podobu získávají plastové výrobky mnoha technologiemi. Mezi základní technologie patří [1][7]:

- zpracování polymerů tvářením
 - lisování – vysokotlaké/nízkotlaké
 - válcování
 - vytlačování
 - vstřikování
 - vyfukování – výtlačné/vstřikovací
 - výroba vrstvených plošných materiálů
 - svařování
- zpracování polymerů tvarováním
 - za zvýšené teploty
 - za běžné teploty

1.3.1 Vstřikování

Jednou z nejpoužívanějších technologií zpracování polymerních materiálů je technologie vstřikování. Jedná se o cyklický výrobní proces, kdy je polymerní materiál ve formě taveniny vstříknut do tvarové dutiny vstřikovací formy. V další fázi jsou rozměry vznikajícího výrobku stabilizovány působením tlaku a temperačního systému formy. Správnou konstrukcí vstřikovací formy lze urychlit proces, snížit deformace výrobku nebo eliminovat jeho dodatečné opracování. Vstřikování je velmi efektivní a ekonomicky výhodný výrobní proces, který je možné plně automatizovat. Využívá se pro výrobu i tvarově složitějších produktů, u nichž není nutné dokončování. K dalším výhodám technologie vstřikování patří vysoká reprodukovatelnost výroby a přímá změna vstupního surového materiálu na výrobek. [1][2][3]

Nevýhodou je bezesporu potřeba vysokých počátečních investic a časová náročnost výroby formy, výrobek je limitovaný tloušťkou stěny (nemůže mít stěny tlustší než několik mm) a musí být odformovatelný (odstranitelný z formy). [8]

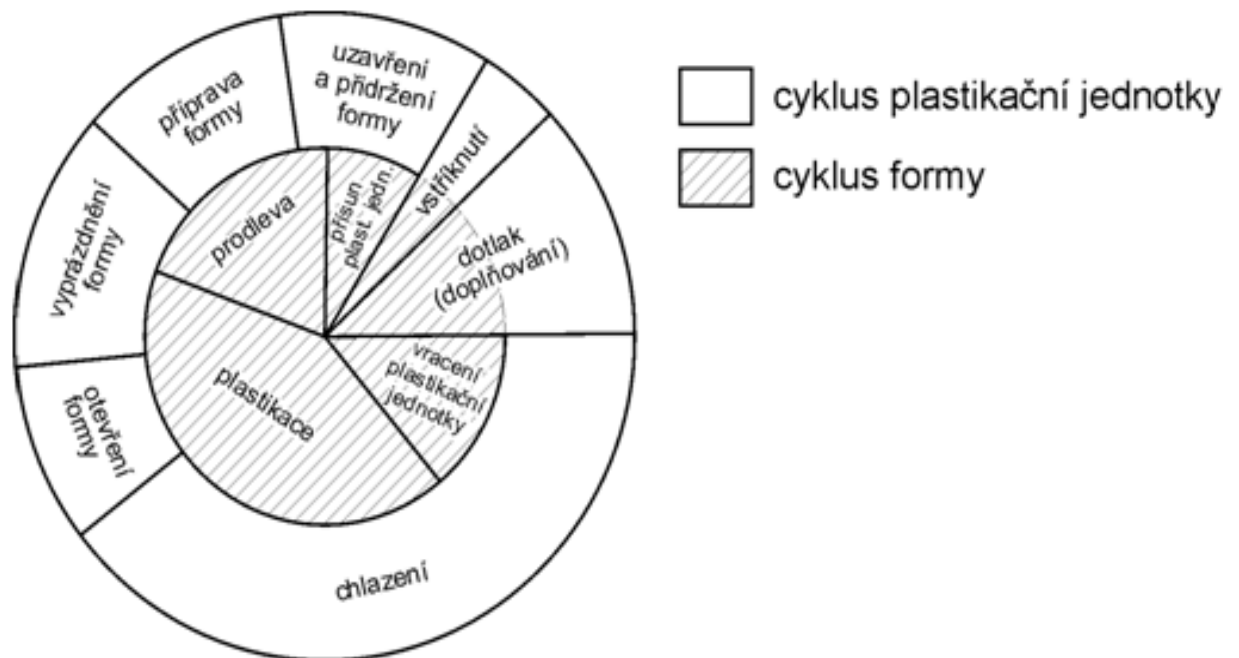
Při vstřikování se využívá vstřikovací stroj, který se skládá ze čtyř základních částí – rám stroje, plastikační jednotka, uzavírací jednotka a řídicí systém. Vstřikovací stroje se liší svou velikostí a dělí se na hydraulické, elektrické a hybridní (kombinace předchozích dvou typů). [1][3]

V okolí vstřikovacích strojů se nachází různé typy robotických systémů, sušičky polymerů a jiná zařízení, která napomáhají automatizaci výroby. [1][3]

Nástroj, do kterého se vstřikuje polymer, se nazývá vstřikovací forma. Je to sestava zejména ocelových desek, které tvoří rám pro tvarovou dutiny formy, vtokový, temperační, vyhazovací a odvzdušňovací systém. Jednotlivé komponenty jsou vzájemně spojeny a vycentrovány. Vstřikovací formy, s ohledem na tvarovou složitost výrobku, obsahují další speciální komponenty – posuvové kostky, hydraulické tahače, topné patrony a další. [1][3]

1.3.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se sestává ze dvou částí, jedna popisuje cyklus plastikační jednotky a druhá cyklus vstřikovací formy. [1][3]



Obr. 2: Vstřikovací cyklus. [3]

1.4 Lakování

Plasty je také možné lakovat. Na jejich povrch je nanášena tenká vrstva, z níž po odpaření rozpouštědla, polymerizací či vypálením, vzniká souvislý lesklý film. K lakování se používají především rychleschnoucí nitrolaky, případně laky na bázi nitrátu celulozy, polymethylmetakrylátu, syntetického šelaku apod. Po lakování je povrch plastů lesklý, není třeba jej dále leštit. [1][2][3]

Sklo nebo dokonce kov lze v některých aplikacích nahradit polymery, které jsou ošetřeny lakováním, neboť vhodným lakováním se vlastnosti povrchu polymerů zdokonaľují. Lakem se zvyšuje jejich vnější odolnost – déle se zachovává jejich barva, lesk, propustnost světla a další fyzikální vlastnosti, zvyšuje se také odolnost proti povětrnostním vlivům a proti oděru a odolnost proti chemikáliím i rozpouštědlům je lakem také zvýšena. [1][2][3]

2 STATISTICKÉ METODY

2.1 Teorie hypotéz

Statistická hypotéza je definována jako domněnka o určité vlastnosti základního souboru. Pokud neznáme celý základní soubor (tento případ nastává pouze výjimečně), pak o základním souboru neznáme žádnou informaci se 100% jistotou. Proto každou hypotézu musíme otestovat a teprve na základě výsledku testování můžeme danou hypotézu označit za platnou či neplatnou. [14]

Známe dva základní typy statistických hypotéz, tedy hypotéz o základním souboru (základní populaci), a to hypotézy parametrické a neparametrické. Hypotézy parametrické lze zapsat matematicky jako rovnosti, případně nerovnosti mezi testovanou a předpokládanou hodnotou nebo mezi testovanými parametry. Tyto metody pracují s parametry rozdělení a v jejich rámci se setkáváme se třemi typy hypotéz [12]:

- hypotézy o parametru jedné populace (např. střední hodnotě),
- hypotézy o parametrech dvou populací – srovnávací testy,
- hypotézy o parametrech více než dvou populací – metoda ANOVA.

Týkají-li se hypotézy jiných charakteristik populace (např. závislost proměnných), hovoříme o hypotézách neparametrických. [12]

2.1.1 Nulová a alternativní hypotéza

Testování hypotéz je metoda, kdy proti sobě postavíme dvě tvrzení. Prvním z nich je tvrzení, které představuje rovnovážný stav, je to předpoklad při testování. Tomuto tvrzení říkáme nulová hypotéza (H_0) a zapisujeme ji rovností „ $=$ “. Proti ní postavíme hypotézu alternativní (H_A), která představuje porušení rovnovážného stavu a je tedy zapisována jako nerovnost (\neq , $>$, $<$). Alternativní hypotézy mohou být [12]:

- jednostranné – znamínko nerovnosti $>$, $<$,
- oboustranné – znamínko nerovnosti \neq .

Při testování hypotéz je nutné stanovit jak nulovou, tak alternativní hypotézu. Jak je uvedeno výše, stanovení nulové hypotézy je jednoznačné pomocí rovnosti, pro alternativní hypotézu existují tři možnosti. Volba alternativní hypotézy závisí na tom, zda zadání pro-

blému obsahuje vztah jednostranné nerovnosti, což vede k výběru jednostranné alternativní hypotézy. Ve všech ostatních případech bude alternativní hypotéza oboustranná. [12]

2.1.2 Testovací kritérium

Testovací kritérium je náhodná veličina, jejíž rozdělení je známo pro případ platnosti i neplatnosti nulové hypotézy. Je to vhodná statistika používaná při testování hypotéz. Možné hodnoty testovacího kritéria se mohou nacházet v tzv. kritickém oboru nebo v oboru přijetí. Patří-li vypočtená hodnota do kritického oboru, zamítáme nulovou hypotézu, spadá-li vypočtená hodnota do oboru přijetí, pak nulovou hypotézu nezamítáme. [12][14]

Hranici mezi kritickým oborem a oborem přijetí tvoří kritická hodnota, jinak řečeno kvantil testového kritéria určený na základě hladiny významnosti α a (ve většině případů) velikosti výběru n . [14]

2.1.3 Chyby I. a II. druhu

Při testování hypotéz a rozhodování o nulové hypotéze vycházíme z výběrového souboru, o němž víme, že jeho vlastnosti nemusí přesně kopírovat vlastnosti základního souboru. To vede k tomu, že se při rozhodování můžeme dopustit chyby. V zásadě mohou nastat čtyři případy, které znázorňuje tabulka níže. [12][14]

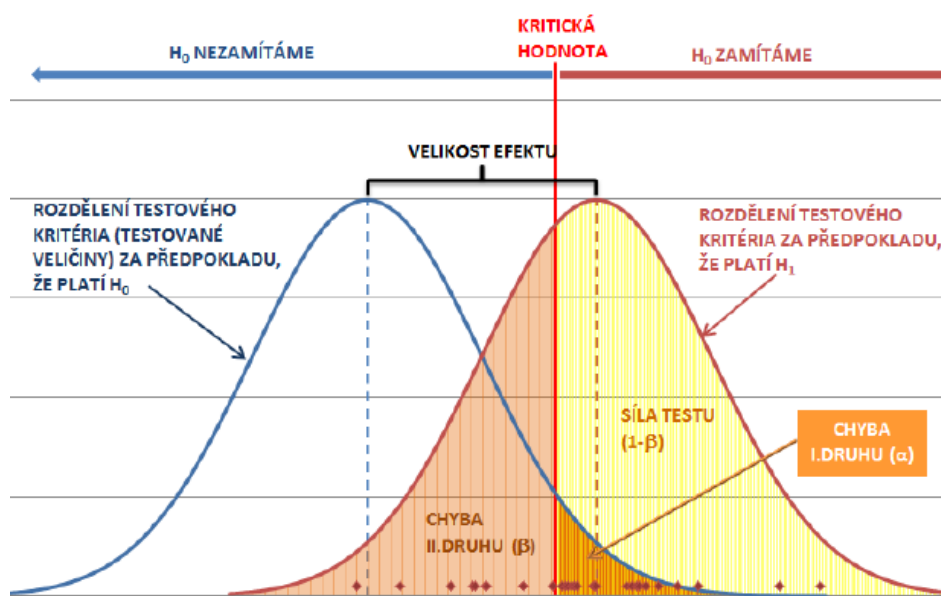
Tab. 1: Možné situace při testování hypotéz. [12]

		Výsledek testu	
		Nezamítáme H_0	Zamítáme H_0
Skutečnost	Platí H_0	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí: $1 - \alpha$ Spolehlivost	Chyba I.druhu Pravděpodobnost rozhodnutí: α Hladina významnosti
	Platí H_A	Chyba II.druhu Pravděpodobnost rozhodnutí: β	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí: $1 - \beta$ Síla testu

Jak je z tabulky zřejmé, chyby I. druhu se dopustíme tehdy, když zamítneme hypotézu, která je platná. Pravděpodobnost, že se této chyby dopustíme, nazýváme hladinou významnosti (α). Pokud se chyby I. druhu nedopustíme, tzn. nezamítneme platnou nulovou hypotézu H_0 , učiníme správné rozhodnutí. Pravděpodobnost, že učiníme právě toto rozhodnutí označujeme $(1 - \alpha)$ a nazýváme ji spolehlivost. [12][17]

Zamítneme-li nulovou hypotézu H_0 , v případě, kdy je platná hypotéza alternativní H_A , pak se jedná také o správné rozhodnutí a jeho pravděpodobnost je $(1 - \beta)$ a je označována jako síla testu. Je-li platná hypotéza alternativní H_A a my nezamítneme nulovou hypotézu H_0 , dopouštíme se chyby II. druhu. Pravděpodobnost, že se tak stane je β . [12][17]

Při statistickém hodnocení hypotéz je naším cílem minimalizovat výskyt obou druhů chyb, chceme dosáhnout vysoké síly testu s co nejnižší hladinou významnosti α . Problémem je, že snížíme-li hladinu významnosti α , zvýší se hladina významnosti β . Proto musíme nalézt kompromisní řešení. V technických oblastech volíme při testování hypotéz hladinu významnosti α ve výši 5% případně 1%. [12][17]



Obr. 3: Chyba I. a II. druhu.[12]

2.1.4 Postup testování hypotéz

Při testování hypotéz je prvním krokem stanovení nulové a alternativní hypotézy. Poté si zvolíme hladinu významnosti α a zvolíme vhodné testovací kritérium a najdeme jeho pravděpodobnostní rozdělení při platnosti H_0 . S ohledem na formulaci alternativní hypotézy vymežíme kritický obor. Následně vypočteme testovací kritérium a určíme kritickou hodnotu. Je-li hodnota testovacího kritéria větší než hodnota kritická, pak zamítáme nulovou hypotézu, je-li hodnota menší, pak nulovou hypotézu nezamítáme. [12][16]

2.2 Testy normalit

Normalita rozdělení pravděpodobností je často nutnou podmínkou pro použití statistických metod, proto jsou testy normalit jedním z prvních kroků při statistickém testování. Zjišťujeme tak, zda sledovaná data odpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobností nebo je jejich rozdělení neznámé. V praxi se test normalit neprovádí příliš často, a to kvůli jeho pracnosti a časové náročnosti (za použití výpočetní techniky není časová náročnost zásadní) a dále pak také kvůli faktu, že při dostatečně velkých souborech (kdy počet měření $n > 30$) jsou téměř všechny testy na podmínku normality málo citlivé. [12][15][16]

Je-li však ověření podmínky normality nezbytné, používá se k tomu nejčastěji Chí-kvadrát test dobré shody nebo test šikmosti a špičatosti normálního rozdělení. [12][15][16]

2.2.1 Normální rozdělení pravděpodobnosti

Normální rozdělení je jedno z nejdůležitějších rozdělení pro statistické účely. Je známo také pod pojmem Gaussova křivka či Laplaceovo-Gaussovo rozdělení. Tento typ rozdělení lze pozorovat při opakovaném měření téže veličiny za shodných podmínek. Naměřené hodnoty se zatížením náhodnými chybami odchylojí od skutečné hodnoty a graficky lze jejich rozdělení znázornit jako jednovrcholové symetrické rozdělení zvonovitého tvaru okolo střední hodnoty (značena μ). Střední hodnota se rovná modu i mediánu, nachází se v ní také maximum naměřených hodnot. Náhodná veličina v rámci tohoto rozdělení může nabývat hodnot $<-\infty ; +\infty>$. Frekvenční funkce je dána tímto vztahem [12][15][16]:

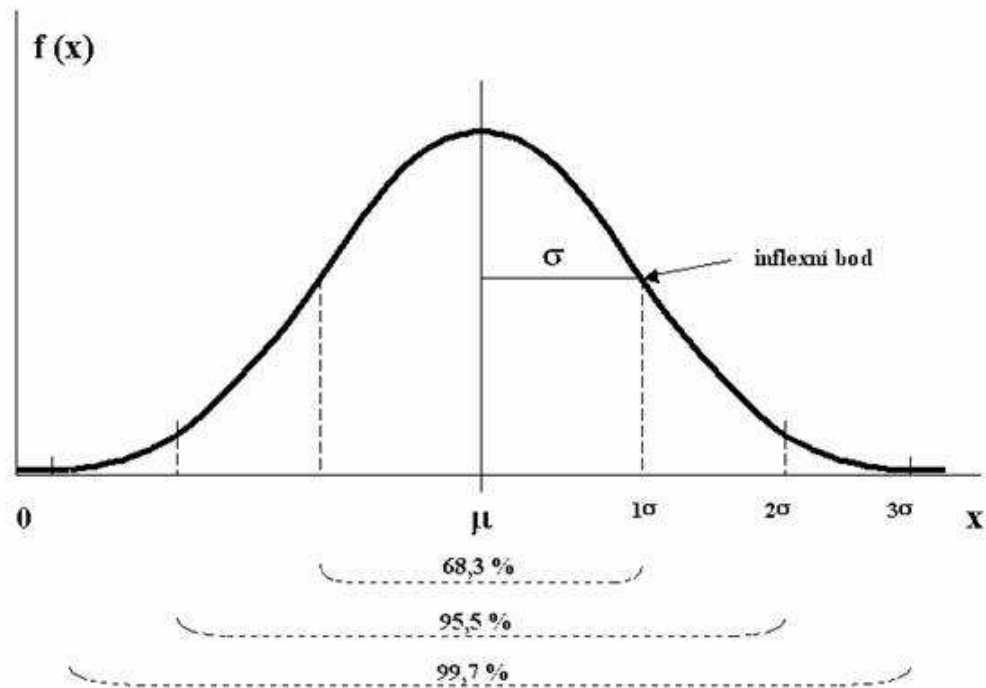
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

kde:

$f(x)$ je hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny X ,

μ je střední hodnota náhodné veličiny X ,

σ je směrodatná odchylka náhodné veličiny X .



Obr. 4: Gaussovo normální rozdělení pravděpodobnosti. [18]

Tvar Gaussovy křivky rozdělení pravděpodobnosti ovlivňují a charakterizují dva parametry, a to střední hodnota proměnné a směrodatná odchylka proměnné. Pro každé Gaussovo normální rozdělení platí, že v rozmezí hodnot $\mu \pm 1\sigma$ se vyskytuje 68,3 % všech jedinců populace, rozmezí $\mu \pm 2\sigma$ se nachází 95,5 % všech jedinců populace a v rozmezí $\mu \pm 3\sigma$ se vyskytuje 99,7 % všech jedinců populace. Zbývá tedy 0,3 % sledovaných hodnot, jejichž výskyt má tak nízkou pravděpodobnost výskytu, že je v praxi považujeme za chyby měření (odlehle hodnoty) a z hodnocení je vylučujeme. [12][15][16]

Gaussovo rozdělení je ve statistické praxi důležité také proto, že za určitých podmínek aproximuje i jiná pravděpodobnostní rozdělení, tzn. že při řešení úloh pravděpodobnosti často předpokládáme, že veličina, kterou sledujeme, má Gaussovo rozdělení, i když ve skutečnosti má sledovaná veličina rozložení pouze podobné. [12][15][16]

2.2.2 Normované normální rozdělení pravděpodobnosti

V rovnici frekvenční funkce Gaussova rozdělení jsou konstanty π a e a dále pak parametry μ a σ , které jsou pro daný soubor konstantami, ale u různých souborů mají různé hodnoty. Z toho plyne, že pro každý soubor hodnot má v grafickém znázornění normální rozdělení různý tvar. Proto byla zavedena nová náhodná veličina u (normovaná náhodná

veličina) daná vztahem [12][15][16]:

$$U = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

kde: X je měřená náhodná veličina (absolutní hodnoty znaku x_i),

μ je střední hodnota náhodné veličiny X ,

σ je směrodatná odchylka náhodné veličiny X

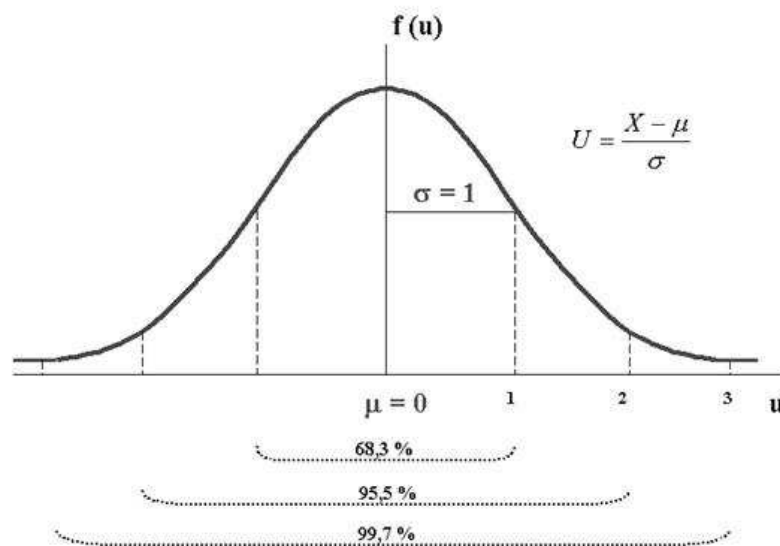
U je normovaná veličina o parametrech $\mu_{(N)} = 0$ a $\sigma_{(N)} = 1$.

Zavedením normované náhodné veličiny a transformací získáme frekvenční funkci normovaného normálního rozdělení, která je již nezávislá na parametrech μ a σ . [12][15][16]

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (3)$$

kde: u je relativní hodnota normované veličiny.

Normované normální rozdělení je tedy normální rozdělení se střední hodnotou rovnající se 0 a směrodatnou odchylkou, která se vždy rovná 1. Někdy se lze setkat s názvem U -rozdělení. Příklad grafického vyjádření tohoto rozdělení pro náhodnou veličinu U je uveden na obrázku 5. [12][15][16]



Obr. 5. Normované normální rozdělení pravděpodobnosti. [18]

2.2.3 F-test

F-test je metoda pro testování rozdílů dvou rozptylů, zjišťujeme rozdíly mezi populacemi, z kterých pochází výběry. Použití je např. vhodné v případě, že srovnáváme přesnost dvou metod měření. Výpočet je založen na zpracování dat dvou výběrových souborů, většinou se jedná o soubor pokusný a kontrolní. Předpokladem pro F-test je normální rozdělení pravděpodobnosti obou souborů. [12][15][16]

Nejprve si stanovíme nulovou hypotézu H_0 , která je v případě F-testu: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$. Poté vypočteme výběrové rozptyly obou sledovaných souborů, nakonec stanovíme počet stupňů volnosti u obou výběrů (o jeden snížíme počet prvků každého souboru). Počet stupňů volnosti většího z rozptylů označíme v_v a menšího v_M . Toto označení je důležité pro následné vyhledávání kritické hodnoty ve statistických tabulkách. V dalším kroku vypočteme testovací kritérium F a zvolíme hladinu významnosti α . Následně ve statistických tabulkách vyhledáme kritickou hodnotu F_{krit} . Vypočtené testové kritérium srovnáme s kritickou hodnotou nalezenou v tabulkách [12][15][16]:

- Je-li $F > F_{krit}$, pak zamítáme nulovou hypotézu a je zřejmé, že rozptyly porovnávaných souborů se statisticky významně liší, tzn. výběry pocházejí ze dvou různých základních souborů s různými rozptyly.
- Je-li $F < F_{krit}$, pak nulovou hypotézu nezamítáme a značí to, že rozptyly zkoumaných souborů se statisticky významně neliší, tzn. že výběry pocházejí z jednoho základního souboru se společným rozptylem.

2.2.4 T-test

T-test nebo také Studentův t-test je parametrickým testem, který se používá nejčastěji. Zakládá se na testování rozdílu dvou středních hodnot. [18]

Jednovýběrový t-test se používá tehdy, známe-li střední hodnotu μ , kterou považujeme za konstantu, porovnáваме pomocí něj základní a výběrový soubor. V tomto testu pak prověřujeme hypotézu, že výběrový soubor pochází z populace, která má stejnou střední hodnotu jako naše konstanta. Nulová hypotéza je tedy $H_0: \mu = konst$. V prvním kroku vypočítáme aritmetický průměr a rozptyl výběrového souboru, následuje výpočet testovacího kritéria t podle vzorce [18]:

$$t = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} \quad (4)$$

kde: \bar{x} je průměr výběrového souboru,
 μ je střední hodnota základního souboru,
 s^2 je rozptyl výběrového souboru,
 n je počet členů výběrového souboru.

Zvolíme hladinu významnosti α a stanovíme počet stupňů volnosti výběrového souboru $\nu = n - 1$ a nalezneme v tabulkách kritickou hodnotu, kterou porovnáme s vypočteným testovacím kritériem. [18]

Pokud $t \leq t_{krit.}$, pak je mezi střední hodnotou výběrového souboru a naší konstantou nevýznamný rozdíl a to značí, že výběrový soubor pochází z populace se známou střední hodnotou a proto nulovou hypotézu nezamítáme. [18]

Pokud $t > t_{krit.}$, pak mezi střední hodnotou výběrového souboru a naší konstantou existuje významný rozdíl, což znamená, že výběrový soubor pochází z jiné populace a proto nulovou hypotézu zamítáme. [18]

Dvoubýběrový t-test použijeme v případě, kdy porovnáme dva výběrové soubory a střední hodnotu základního souboru neznáme. Nulová hypotéza tedy zní: $H_0: \mu_1 = \mu_2$. Existují dva typy dvoubýběrového t-testu, z nichž první, tzv. párový t-test porovnává dvě měření jednoho a téhož výběrového souboru. Druhý typ, nepárový t-test, srovnává měřenou a kontrolní skupinu. [18]

Postup párového t-testu je krokově popsán v následujících odstavcích.

Nejprve vypočítáme rozdíly hodnot u výběrového souboru. Z těchto rozdílů vypočítáme aritmetický průměr a rozptyl, v dalším kroku vypočteme testovací kritérium [18]:

$$t = \frac{|\bar{x}|}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} \quad (5)$$

kde: \bar{x} je průměr výběrového souboru,
 s^2 je rozptyl výběrového souboru,
 n je počet členů výběrového souboru.

Jako v předchozích testech, i zde zvolíme hladinu významnosti a stupeň volnosti, poté vyhledáme v tabulkách příslušnou kritickou hodnotu, kterou srovnáme s vypočteným testovacím kritériem.

Pokud $t \leq t_{krit.}$, pak je mezi středními hodnotami výběrových souborů nevýznamný rozdíl, a proto nulovou hypotézu nezamítáme. [18]

Pokud $t > t_{krit.}$, pak mezi středními hodnotami výběrových souborů existuje významný rozdíl, a proto nulovou hypotézu zamítáme. [18]

Postup nepárového t-testu je stručně popsán v následujících odstavcích.

V prvním kroku vypočteme aritmetické průměry a rozptyly u obou porovnávaných souborů. Vzhledem k faktu, že hodnoty mohou pocházet z výběrů, které mohou nebo také nemusí mít stejný rozptyl, musíme nejprve provést F-test k porovnání rozptylů obou souborů. Podle výsledků F-testu volíme další postup [18]:

- a) Když je $F \leq F_{krit.}$, platí $H_0: s_1^2 = s_2^2$, oba výběry tedy pocházejí z populací se shodným rozptylem, pak pro testování rozdílu středních hodnot použijeme nepárový t -test pro shodné rozptyly [18]:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}} \quad (6)$$

kde: \bar{x} jsou průměry výběrových souborů,

s^2 jsou rozptyly výběrových souborů,

n jsou počty prvků výběrových souborů.

Dále stanovíme hladinu významnosti a vypočteme stupeň volnosti.

- b) Když je $F > F_{krit.}$, neplatí $H_0: s_1^2 = s_2^2$, oba výběry tedy pocházejí z populací s různým rozptylem, pak pro testování rozdílu středních hodnot použijeme nepárový t -test pro různé rozptyly [18]:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

kde: \bar{x} jsou průměry výběrových souborů,
 s^2 jsou rozptyly výběrových souborů,
 n jsou počty prvků výběrových souborů.

Dále stanovíme hladinu významnosti a vypočteme stupeň volnosti.

Vypočtené testovací kritérium porovnáme s kritickou hodnotou nalezenou v tabulkách.

Pokud $t \leq t_{krit}$, pak je mezi středními hodnotami výběrových souborů nevýznamný rozdíl, a proto nulovou hypotézu nezamítáme. [18]

Pokud $t > t_{krit}$, pak mezi středními hodnotami výběrových souborů existuje významný rozdíl, a proto nulovou hypotézu zamítáme. [18]

2.2.5 ANOVA

Pro provádění vícenásobného porovnání středních hodnot jsou určeny metody známé pod souhrnným názvem analýza rozptylu ANOVA. Tento typ analýzy hodnotí vztahy mezi rozptyly porovnávaných výběrových souborů. Aby mohla být ANOVA použita, musí existovat nezávislost měření, rozdělení pravděpodobností musí být normální a uvnitř skupin musí existovat aspoň přibližná shoda rozptylů. [18]

Nejnázším případem analýzy rozptylu je analýza rozptylu jednoduchého třídění neboli one-way ANOVA. Je to jednofaktorová analýza, kdy pomocí F-testu zjistíme rozdíl mezi průměry mezi více skupinami, konkrétněji zda se průměry liší více než pouze působením přirozené variability (náhodného kolísání). Při výpočtu musíme zohlednit variabilitu výběrových průměrů a také přirozenou variabilitu závislé náhodné proměnné. [18]

V případě, že musíme sledovat více faktorů, které působí na nezávisle proměnnou, používáme vícefaktorovou analýzu rozptylu. Při této analýze sledujeme hlavní efekty, tzn. přímé efekty na závisle proměnnou, a interakční efekt, což je spojený efekt kombinace dvou (či více) faktorů na závisle proměnnou. Nejjednodušším typem vícefaktorové analýzy je analýza rozptylu dvojného třídění, tzv. two-way ANOVA. Při ní se zabýváme hodnocením vlivu dvou faktorů na závisle proměnnou. [18]

ANOVA je, zvláště při výběru o rozsahu 20 a více měření, málo citlivá na porušení normality. Pokud je porušení normality větší, je doporučeno použít KruskalWallisovu metodu. [18]

2.2.6 Neparametrické metody

Kruskal Wallisova metoda je obdobou analýzy rozptylu pro situace, kdy se rozptyly ve skupinách výrazně liší. Jedná se o neparametrickou metodu. Nulová hypotéza nám říká, že se mediány ve všech výběrech rovnají, alternativní hypotéza říká, že se mediány alespoň dvou výběrů liší. Výpočet je teoretický a srovnáváme při něm hodnotu testovacího kritéria s tabulkou normálního rozdělení nebo s kvantily v přesných tabulkách. Nulová hypotéza bývá zamítána méně často než u parametrických testů, a to proto, že dostupná data nejsou příliš kvalitní. V případě, že je nulová hypotéza zamítnuta, musíme nalézt výběr či výběry, kde se medián liší. [20]

Mediánový test (též Westenberg Moodův mediánový test) je alternativou nepárového t-testu pro dva nezávislé náhodné výběry v případech, kdy nemáme jistotu, že se jedná o normální rozložení dat. Je to alternativa Kruskal-Wallisova testu, využití je širší, ale méně přesné. U dvou či více srovnávaných souborů posuzujeme rozdíl mediánů za použití kontingenčních tabulek a Chi-kvadrát testu nezávislosti. Nulová hypotéza říká, že všechny vzorky pochází ze základních souborů se stejným mediánem. Pokud test potvrdí platnost této hypotézy, pak očekáváme, že zhruba polovina hodnot každého vzorku bude mít hodnotu nad či pod mediánem. [20][21]

2.3 Testování hrubých chyb

Při sledování různých jevů či měření se může objevit hodnota výrazně odlišná od ostatních. Jedná se o tzv. hrubou chybu. Hrubé chyby je nutné odlišit od chyb náhodných, protože pouze hodnoty způsobené hrubou chybou lze ze souboru vyloučit na základě předpokladu, že je vysoce nepravděpodobné, že by taková hodnota mohla pocházet z téhož základního souboru. Pro zjištění, zda se jedná o chybu hrubou či nikoli, potřebujeme znát rozdělení pravděpodobností daného souboru. [16][19]

2.3.1 Testování souborů s normálním rozdělením

Pro zjištění extrémních hodnot u Gaussova rozdělení se používají dvě metody [16][19]:

Orientační vyloučení extrémních hodnot, kdy u výběrového souboru vypočteme aritmetický průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s , a to bez započtení extrémní hodnoty. Pokud je odchylka testované hodnoty menší než $3s$, pak i tuto hodnotu zahrneme do výběro-

vého souboru a pro další analýzu souboru musíme znovu vypočítat aritmetický průměr i směrodatnou odchylku. [16][19]

Grubbsův test je druhou metodou použitelnou pro zjištění hrubých chyb u souborů s normálním rozdělením. V rámci této metody nejprve seřadíme hodnoty výběru vzestupně. Na rozdíl od předešlé metody vypočítáme aritmetický průměr a směrodatnou odchylku ze všech dat výběrového souboru. V dalším kroku zjistíme testovací kritérium pro první (případně poslední) hodnotu, a to podle vzorců [16][19]:

$$T_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad (8)$$

$$T_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (9)$$

kde: \bar{x} je průměr výběrového souboru,

s je směrodatná odchylka,

x_1 je první hodnota variační řady,

x_n je poslední hodnota variační řady.

Poté porovnáme vypočítané testovací kritérium s tabulkovou kritickou hodnotou pro příslušný počet prvků n výběrového souboru a zvolenou hladinu α pro Grubbsův test. [16][19]

Je-li $T_1(n, \alpha) > T_{\text{krit}}$, pak první (resp. poslední) hodnotu řady vylučujeme jako hrubou chybu a pro další práci musíme opět vypočítat aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Je-li $T_1(n, \alpha) < T_{\text{krit}}$, pak první (resp. poslední) hodnota do souboru patří a není extrémní hodnotou. [16][19]

2.3.2 Testování souborů s neznámým rozdělením

Neznáme-li rozdělení pravděpodobností u testovaného souboru (případně máme soubor o malém počtu hodnot), použijeme pro vyloučení extrémních hodnot Dixonův test extrémních odchylek. Nejprve seřadíme hodnoty výběru vzestupně, v dalším kroku vypočteme testovací kritérium pro první (případně poslední) hodnotu, a to podle vzorců [16][19]:

$$Q_1 = \frac{x_2 - x_1}{R} \quad (10)$$

$$Q_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} \quad (11)$$

kde: R je variační rozpětí (rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou),

x_1 je první nejnižší hodnota,

x_2 je druhá nejnižší hodnota,

x_n je první nejvyšší hodnota,

x_{n-1} je druhá nejvyšší hodnota.

Stejně jako u Grubbsova testu porovnáme vypočítané testovací kritérium s tabulkovou kritickou hodnotou pro příslušný počet prvků n výběrového souboru a zvolenou hladinu α pro Dixonův test. Pokud $Q_{1(n)} > Q_{\text{krit.}}$, pak testovanou hodnotu vyloučíme jako extrémní, je-li však $Q_{1(n)} \leq Q_{\text{krit.}}$ pak testovanou hodnotu v souboru ponecháme, neboť se nejedná o hrubou chybu. [16][19]

3 POVRCHY A JEJICH MĚŘENÍ

3.1 Všeobecná definice pojmů

3.1.1 Normy týkající se kvality povrchu

Norem, které se zabývají kvalitou povrchu, je velká řada. V následujícím textu jsou uvedeny jen ty, které byly použity pro zpracování diplomové práce.

- ČSN EN ISO 4287:1998 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.
- ČSN EN ISO 4288:1998 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.

3.1.2 Všeobecné technické pojmy

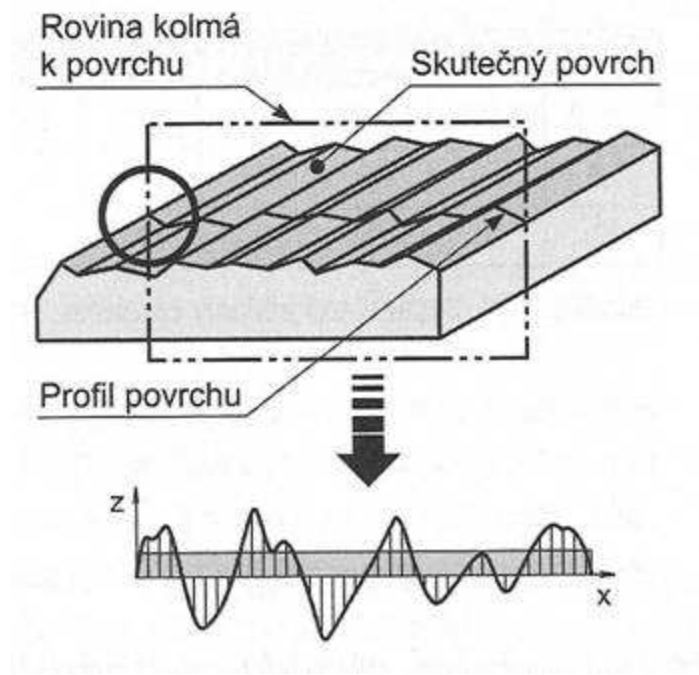
Nerovnost povrchu

Všechny technologie užití ke zhotovení technických ploch zanechávají nerovnosti, které mají velký význam na funkci těchto ploch. Nerovnost povrchu je tedy prostorový útvar, kterým se od sebe liší skutečná funkční plocha od ideální funkční plochy (plocha bez jakýchkoli nerovností). Může se jednat o nedokonalost povrchu nebo jeho strukturu, přičemž je velmi důležité tyto pojmy od sebe rozlišovat. Nedokonalost povrchu je náhodná vada povrchu, která je způsobená v průběhu výroby, skladování či přepravy. Příkladem jsou povrchové trhliny, koroze, rýhy apod. Nedokonalosti povrchu se do hodnocení struktury povrchu nezahrnují. [25]

Opakované úchyly od ideálního povrchu definuje struktura povrchu. Příkladem jsou stopy obráběcího či jiného nástroje. Strukturu povrchu lze hodnotit pomocí profilové metody hodnocení (2D) nebo plošné metody hodnocení (3D). [23][25]

Profil povrchu

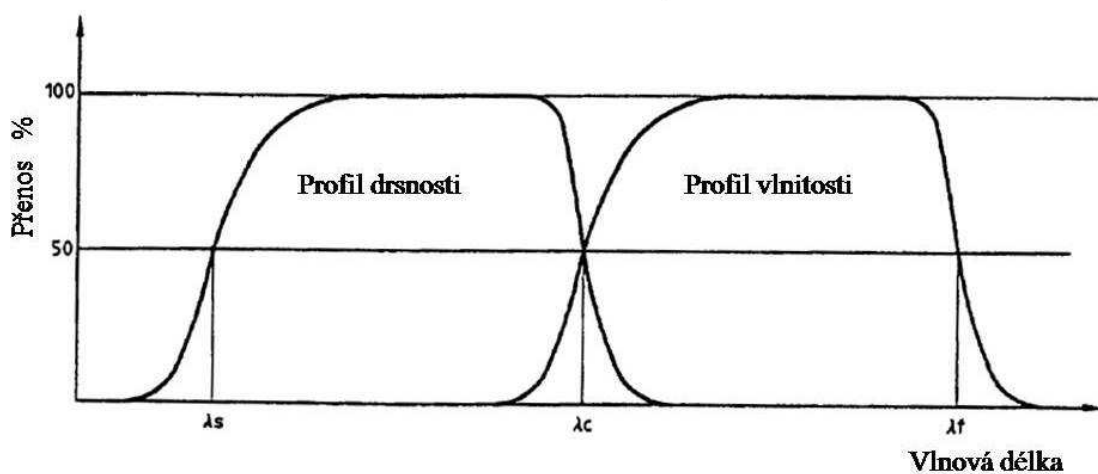
Profilem povrchu nazýváme průsečnicí skutečného povrchu a dané roviny. Skutečný povrch vymezuje těleso a odděluje jej od okolí. Od profilu povrchu se odvozuje základní profil, profil drsnosti a profil vlnitosti. [23][25]



Obr. 6: Profil povrchu. [30]

Profilový filtr

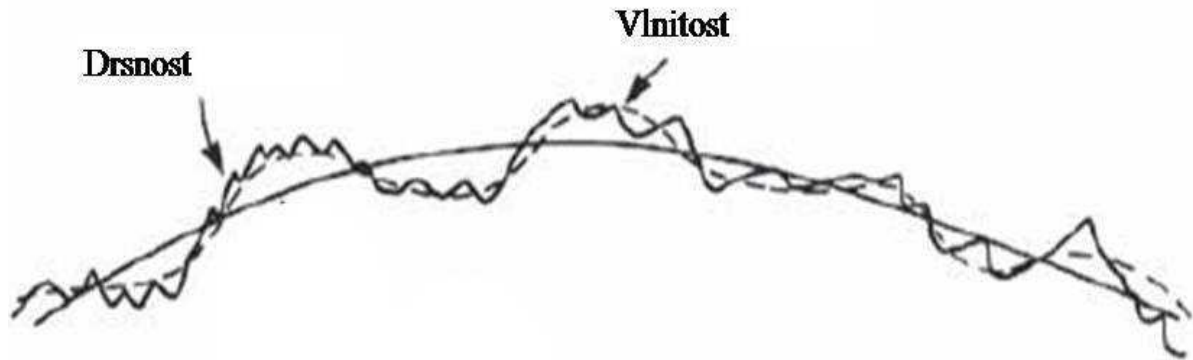
Jedná se o filtr, který rozděluje filtry na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. V přístrojích na měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu jsou používány tři filtry. Profilový filtr λ_s je filtr, který definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu, profilový filtr λ_c definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti a profilový filtr λ_f definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln na povrchu. [23]



Obr. 7: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti. [23]

Tvar, vlnitost a drsnost

Obecný tvar povrchu získáme vyloučením drsnosti a vlnitosti. Vlnitost je část textury, na které je vytvořena drsnost, je to rozměrnější nerovnost. Drsností nazýváme nepravidelnosti vznikající během výrobního procesu. [22]



Obr. 8: Drsnost a vlnitost. [22]

Souřadnicový systém

Souřadnicový systém je systém, v němž jsou definovány parametry struktury povrchu. Obvykle se používá pravoúhlý souřadnicový systém, ve kterém je osa X ve směru snímání souběžná se střední čarou, osa Y leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje z povrchu materiálu do okolí. [22][23]

Základní délka - l_p , l_r , l_w , vyhodnocovaná délka - l_n

Základní délkou je nazývána délka ve směru osy X, kterou používáme pro rozpoznání nerovností charakterizujících hodnocený profil. Vyhodnocovaná délka je délka ve směru osy X, kterou používáme pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu či více základních délek. [22][23]

Střední čára

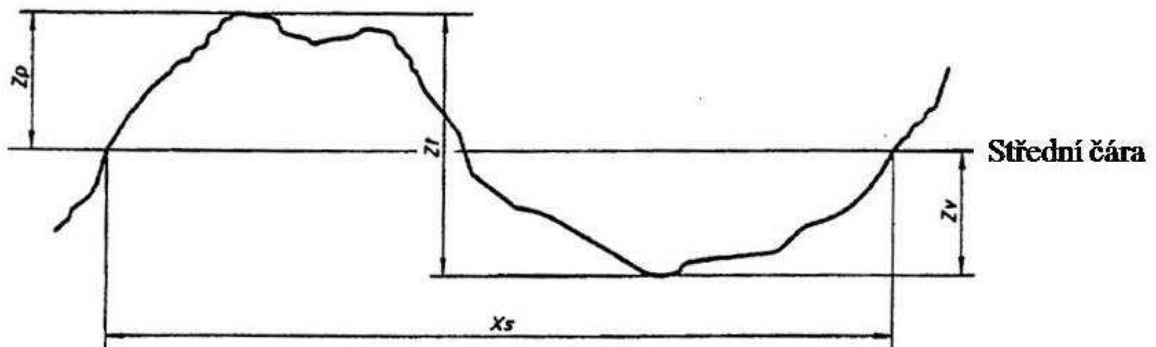
Střední čarou je označována jakási střední hodnota profilu, od níž určujeme jednotlivé geometrické parametry profilu. [22][23]

Výstupek a prohlubeň profilu

Výstupek resp. prohlubeň profilu je definován jako ven, resp. dovnitř směřující část zkoumaného povrchu spojující dva přilehlé body na průřezu profilu s osou X. [22][23]

Prvek profilu

Prvek profilu je část skutečného profilu tvořená výstupkem profilu a s ním spojená prohlubeň profilu. [22][23]



Obr. 9: Prvek profilu. [22]

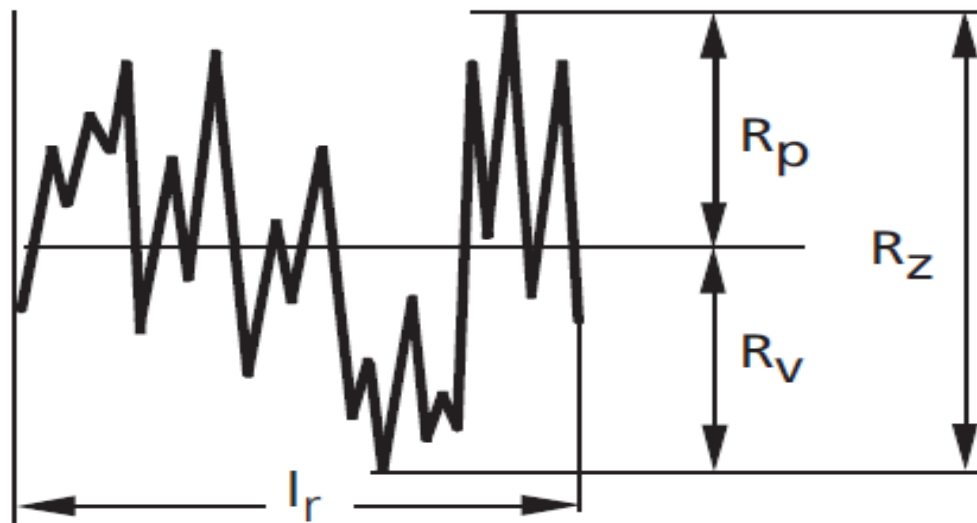
3.2 Parametry profilu povrchu

Rozlišujeme tři typy parametrů. Jsou to P – parametr, který je vypočítaný ze základního profilu, R – parametr vypočítaný z profilu drsnosti a W – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti. Na těchto třech profilech jsou definovány všechny veličiny. [22][23]

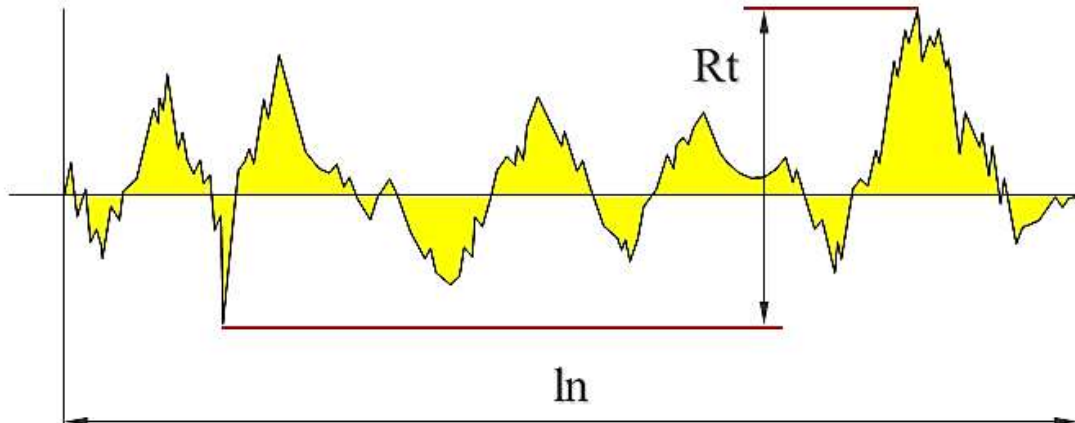
3.2.1 Výškové parametry

Mezi výškové parametry patří [23]:

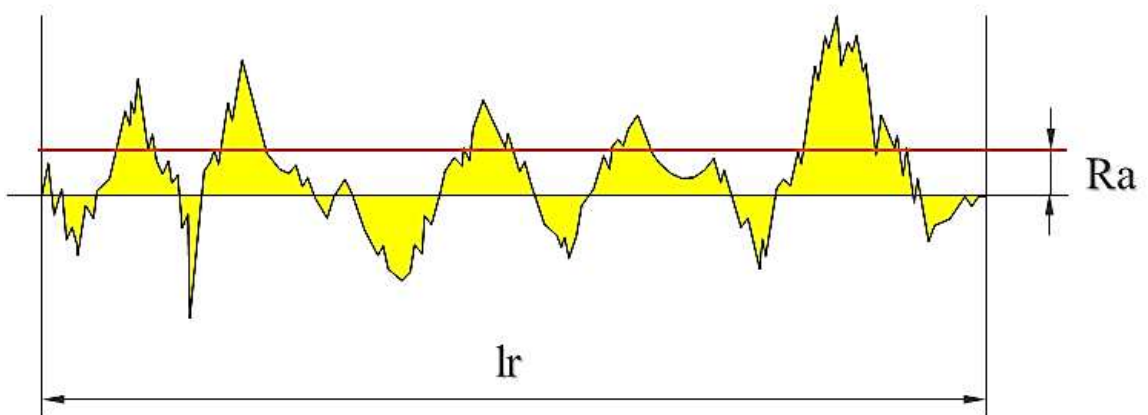
- R_p je největší výška výstupku profilu a značí výšku nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.
- R_v je největší hloubka prohlubně profilu a je definována jako hloubka nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.
- R_z je největší výška profilu a jedná se o součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky.

Obr. 10: Parametry R_p , R_v a R_z . [13]

- R_t je celková výška profilu a je to součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

Obr. 11: Parametr R_t . [13]

- R_c je průměrná výška prvků profilu. Vypočte se jako průměrná hodnota výšek prvku profilu Z_t v rozsahu základní délky.
- R_a je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu a počítá se jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.



Obr. 12: Parametr Ra. [13]

- R_q je průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu a jedná se o kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.
- R_{sk} je šikmost posuzovaného profilu a vypočteme ji jako podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky.
- R_{ku} je špičatost posuzovaného profilu a jedná se o podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky.

3.2.2 Délkové a tvarové parametry

- R_{Sm} je průměrná šířka prvků profilu. Vypočteme ji jako aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky. [23]
- $R_{\Delta q}$ je průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu a jedná se o kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky. [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je posouzení a porovnání kvality několika různých povrchů. Konkrétně se jedná o pět vzorků, z nichž tři jsou lakované polykarbonátové destičky z automobilových světlometů, dále je hodnocena polykarbonátová destička bez povrchové úpravy (stejný materiál jako u světlometů, tedy polykarbonát) a posledním vzorkem je destička z minerálního skla (stejný typ skla se v minulosti používal na světlometry osobních automobilů a je dodnes částečně využíván u nákladních automobilů).

Data ze vzorků budou získána bezkontaktním snímáním, a to povrchovým skenerem TALYSURF CLI 500. Získaná data budou transformována ze softwaru měřicího přístroje Talymap do statistického programu MINITAB a poté budou posuzována a hodnocena za použití teorie hypotéz.

Závěr a výstup této práce by měl zodpovědět, jak významný je rozdíl v poškození různých typů materiálů (které je v práci simulováno otryskáním pod různými tlaky) a také, který z použitých laků zajišťuje lepší odolnost výrobku.

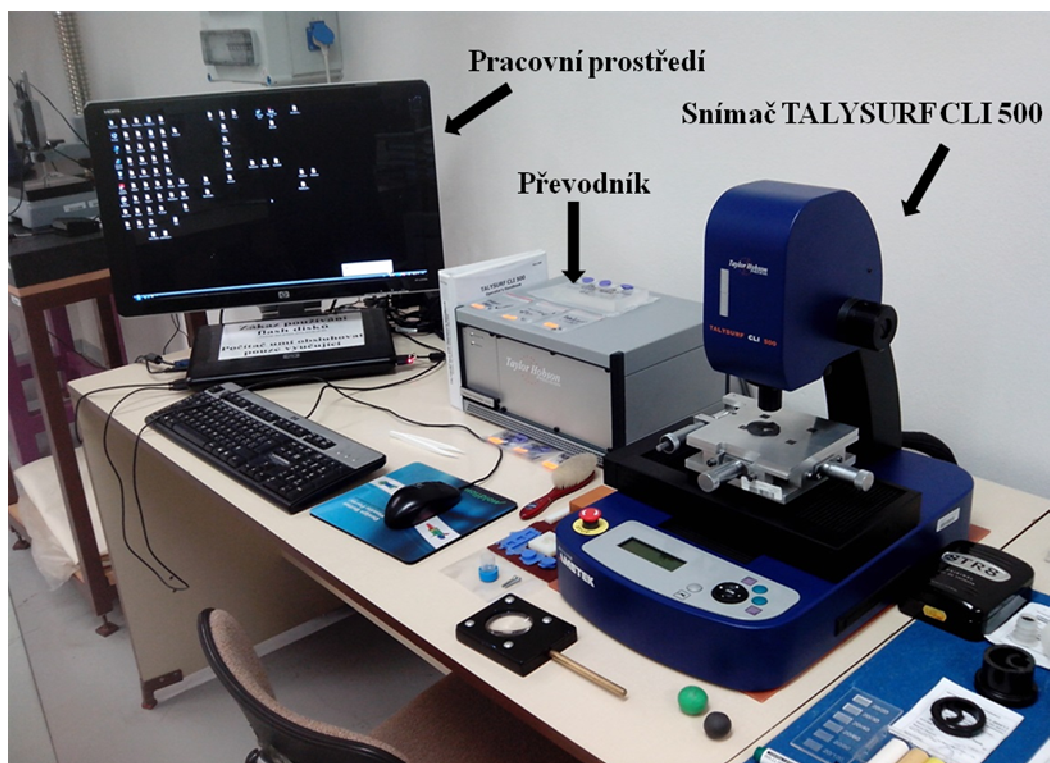
5 MĚŘENÍ NA PŘÍSTROJI TALYSURF CLI 500

5.1 Popis přístroje

5.1.1 Snímač

Přístroje TALYSURF jsou obecně dobře ovladatelné vysoce účinné měřící prostředky k rychlému prostorovému měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Lze jich využít i pro kontrolu velkého počtu vzorků, analýzu mohou provádět při hodnocení struktury z jednoho profilu řezu (2D) nebo z profilu plochy povrchu (3D). Systém CLI umožňuje měření a analýzu povrchů ve třech osách za použití dotykového způsobu – FormTalysurf - či bezdotykového měření laserovou triangulační sondou a CLA konfokálním snímačem (Chromatic Length Aberration – CLA). Systém CLI je vybaven automatickým posuvem ve všech osách (X, Y, Z). [26]

Měření vzorků bylo prováděno bezkontaktně na přístroji TALYSURF CLI 500. Jedná se o univerzální systém měření textury povrchu s jedním 3D snímačem a malou snímací kapacitou. Je určen zejména pro měření malých součástí. Měřicí prostor je 50 x 50 x 50 mm, dostačující prostor pro instalaci tohoto přístroje je plocha stolu o velikosti 500 x 310 mm. Měřicí operace provádí přístroj automaticky. [26]



Obr. 13: Přístroj TALYSURF CLI 500 s příslušenstvím.

Přístroje Talysurf CLI jsou vybaveny firemním programem Talymap. Ten zabezpečuje veškeré řídicí, kontrolní, vyhodnocovací i informační služby. Zahrnuje standardní funkce vyhodnocení struktury povrchu 2D a 3D, včetně vyjmutí profilu 2D z povrchu 3D, měření ploch a objemů, výšky a vzdálenosti stupňů, analýzy výstupků, nosného podílu, velikost a hustotu zrn, atd. [26]

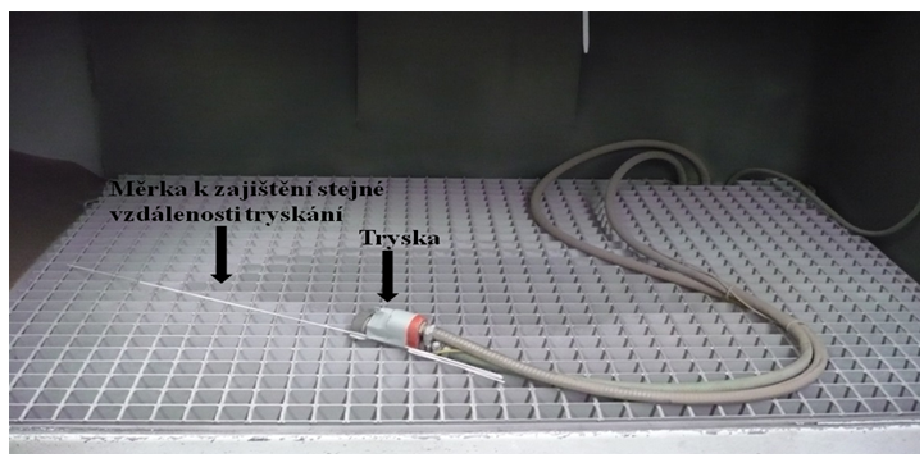
Urychlení procesu analýzy a jednotnou formu prezentace výsledků měření zajišťuje použití nabízených měřicích postupů. K hodnocení struktury povrchu využívají přístroje Talysurf CLI všeobecně respektované parametry metrologie povrchů. [25]

5.2 Příprava vzorků

V rámci této práce bylo hodnoceno pět typů vzorků. Jednalo se o:

- skleněnou desku S,
- plastovou desku D (polykarbonát) bez povrchové úpravy,
- plastová deska A ošetřená lakem X v lakovně I.,
- plastová deska F ošetřená lakem X v lakovně II.,
- plastová deska M ošetřená lakem Y v lakovně III.

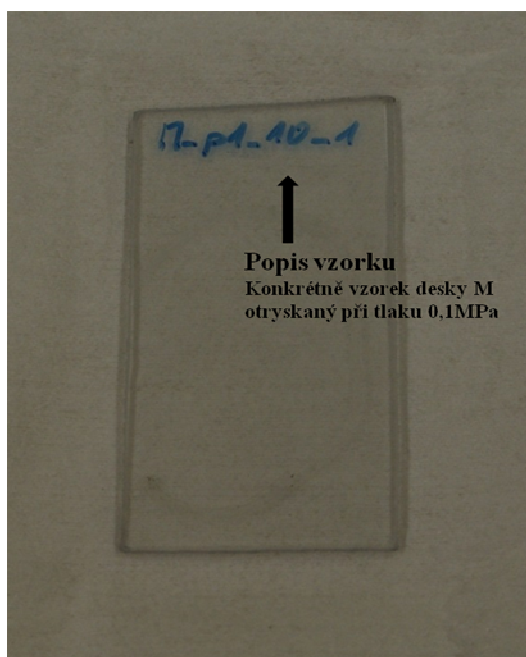
Každý typ vzorku byl otryskán pískem ve vzdálenosti 50 cm od zdroje tryskání po dobu 5 sekund různými tlaky: 0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa. Pro měření bylo připraveno 5 vzorků od každého z definovaných tlaků, tedy 25 vzorků celkem.



Obr. 14: Tryska pro otryskání vzorků.

Na obrázku je zachycena tryska, která byla pro otryskání vzorků použita. Aby bylo zajištěno, že všechny vzorky budou tryskány ze stejné vzdálenosti, byla k trysce upevněna měrka, která od hlavy trysky měří 50 cm.

Po otryskání byly vzorky šetrně očištěny vodou a jejich velikost byla upravena na požadovanou velikost pomocí pásové pily. Dalším krokem bylo označení vzorků.



Obr. 15: Označení vzorku.

Tab.2: Označení vzorků pro snímání

Označení vzorku	Tlak tryskání	Označení vzorku	Tlak tryskání
A_p1_2_1	0,02 MPa	D_p1_2_1	0,02 MPa
A_p1_4_1	0,04 MPa	D_p1_4_1	0,04 MPa
A_p1_6_1	0,06 MPa	D_p1_6_1	0,06 MPa
A_p1_8_1	0,08 MPa	D_p1_8_1	0,08 MPa
A_p1_10_1	0,1 MPa	D_p1_10_1	0,1 MPa
F_p1_2_1	0,02 MPa	S_p1_2_1	0,02 MPa
F_p1_4_1	0,04 MPa	S_p1_4_1	0,04 MPa
F_p1_6_1	0,06 MPa	S_p1_6_1	0,06 MPa
F_p1_8_1	0,08 MPa	S_p1_8_1	0,08 MPa
F_p1_10_1	0,1 MPa	S_p1_10_1	0,1 MPa
M_p1_2_1	0,02 MPa		
M_p1_4_1	0,04 MPa		
M_p1_6_1	0,06 MPa		
M_p1_8_1	0,08 MPa		
M_p1_10_1	0,1 MPa		

5.3 Snímání

Snímání vzorků probíhalo v měřicí laboratoři Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně pod odborným vedením vedoucího diplomové práce. Teplota v laboratoři se v průběhu snímání pohybovala stabilně okolo 21,5 °C.

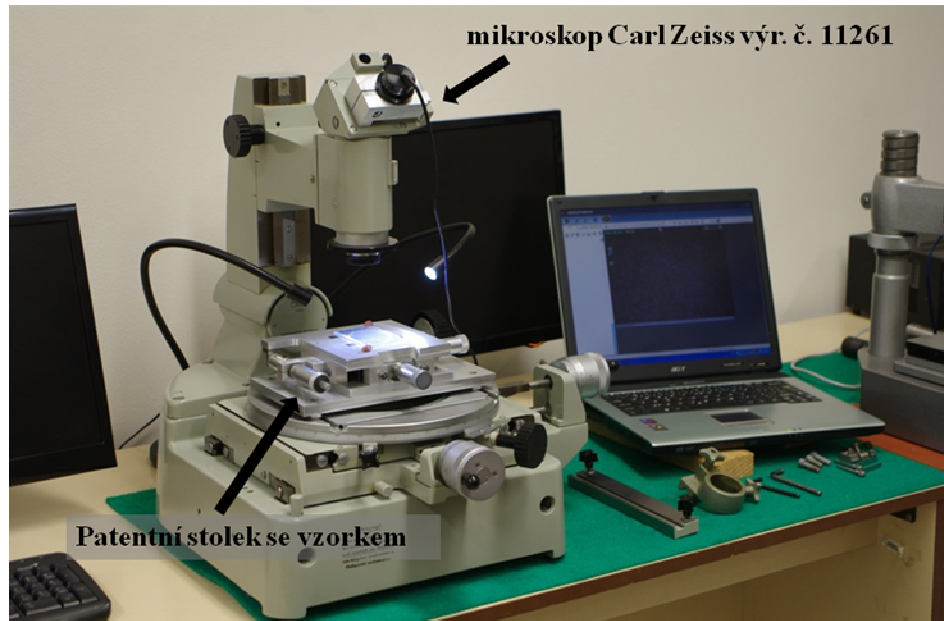
Níže uvedený postup snímání byl zopakován pro všech 25 vzorků:

1. Kontrola označení vzorku. Každý ze vzorků byl označen písmenem (A, F, M, S, D) a číslem označujícím použitý tlak při tryskání.
2. Očištění vzorku. K očištění byl použit tlakový vzduch (cca 0,7 MPa) z kompresoru s cyklickým odlučovačem (odstraňuje ze stlačeného vzduchu vodu a nečistoty), čímž bylo zamezeno mechanickému poškození vzorku.



Obr. 16: Očištění vzorku tlakovým vzduchem.

3. Umístění vzorku na patentní stolek (stolek se třemi stupni volnosti - pohyb v ose X a Y, rotace kolem osy Z).
4. Odečtení souřadnic levého horního rohu vzorku. K odečtení souřadnic byl použit mikroskop Carl Zeiss výr. č. 11261.



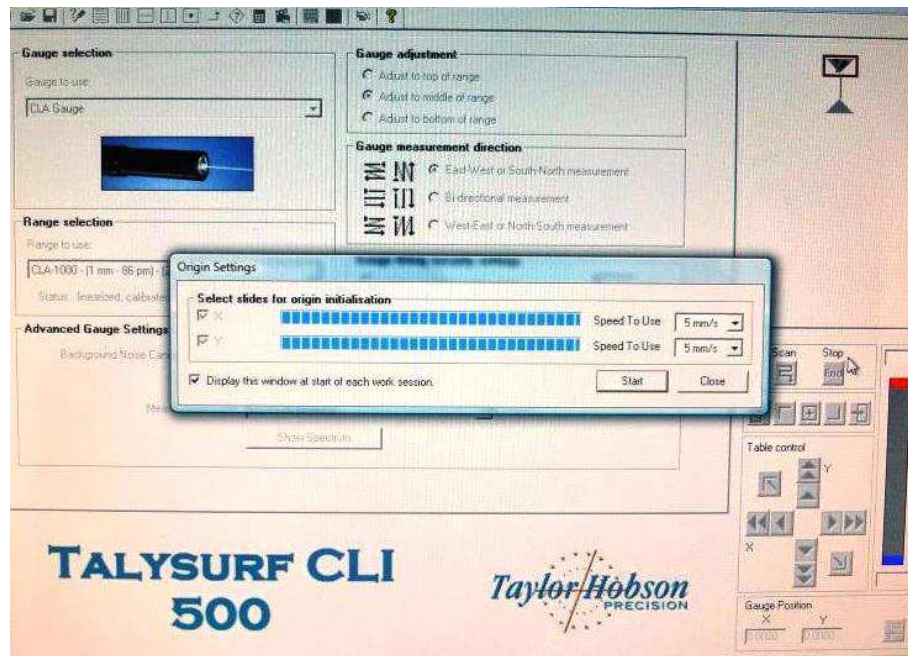
Obr. 17: Vzorek na patentním stolku umístěném na mikroskopu.

5. Přemístění vzorku na skener. Vzorek umístěný na patentním stolku byl přenesen na skener firmy Taylor Hobson TALYSURF CLI 500.



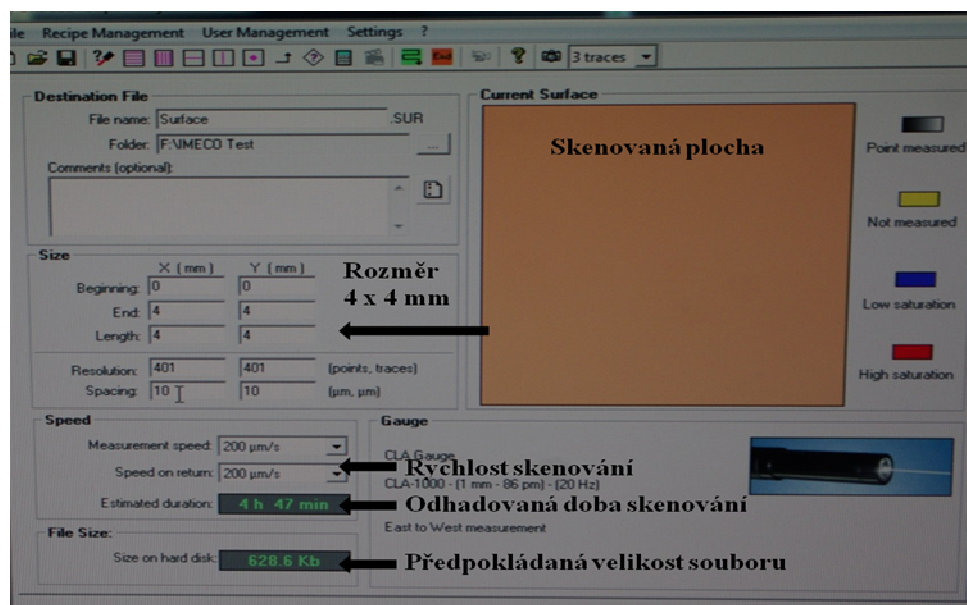
Obr. 18: Patentní stolek se vzorkem umístěný na přístroji TALYSURF CLI 500.

6. Kalibrace skeneru. Kalibrace skeneru probíhala automaticky, přístroj nevyžaduje kalibraci etalonem. Počátek pro odečet souřadnic byl nastaven na levý horní roh a byla nastavena maximální interference (ideálně 50 % a více).



Obr. 19: Vlastní kalibrace přístroje TALYSURF CLI 500.

7. Definice oblasti a rychlosti snímání. Byla nastavena velikost snímané plochy (4 x 4 mm), tedy vyhodnocovaná délka $l_n = 4$ mm a velikost kroku snímání (10 μm). Tímto nastavením vznikla matice 1600 Z-tových údajů. Rychlost snímání byla 200 $\mu\text{m/s}$.



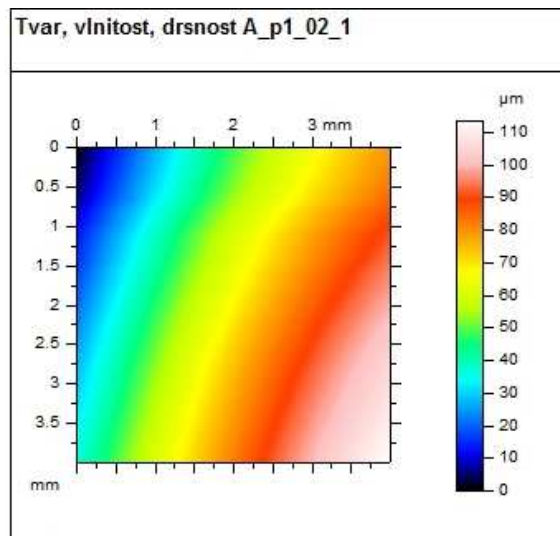
Obr. 20: Nastavení velikosti snímané plochy a rychlosti snímání.

- Snímání povrchu. Na základě nastavení bylo provedeno snímání povrchu vzorku (cca 5 hodin / vzorek). Po snímání byla „hrubá“ data dále zpracována.

5.4 Zpracování hrubých dat získaných snímáním

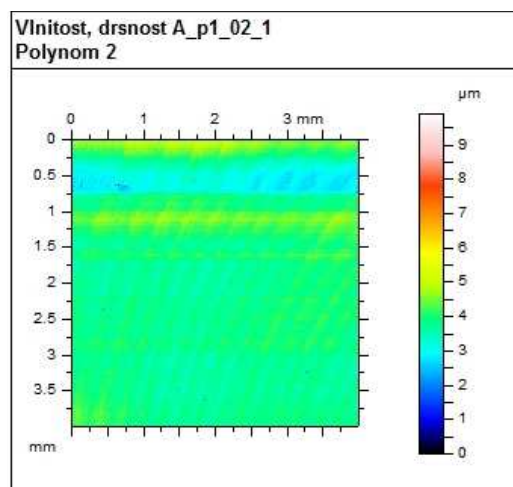
5.4.1 Zpracování v TALYSURF

Na obrázku níže je ukázka hrubě nasnímaného vzorku destičky A otryskané při tlaku 0,02 MPa. U tohoto vzorku je smíšen tvar, vlnitost a drsnost.



Obr. 21: Tvar, vlnitost a drsnost vzorku A při tlaku 0,02 MPa.

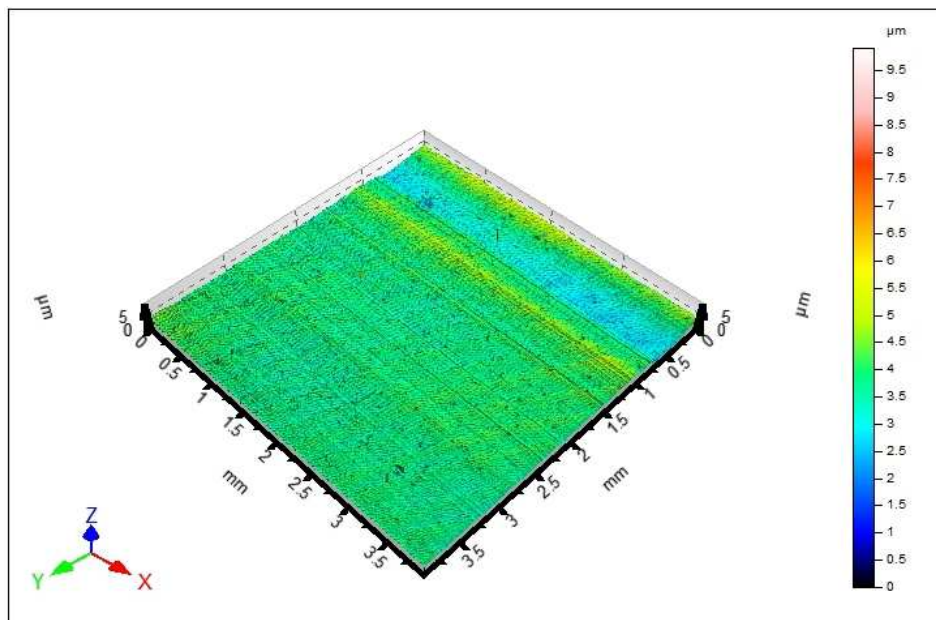
Bylo tedy zcela nezbytné za účelem seriózního vyhodnocení naměřených dat provést odpovídajícím způsobem filtraci a provést oddělení vlastního tvaru, vlnitosti a drsnosti. Výsledek filtrace je zachycen na dalším obrázku.



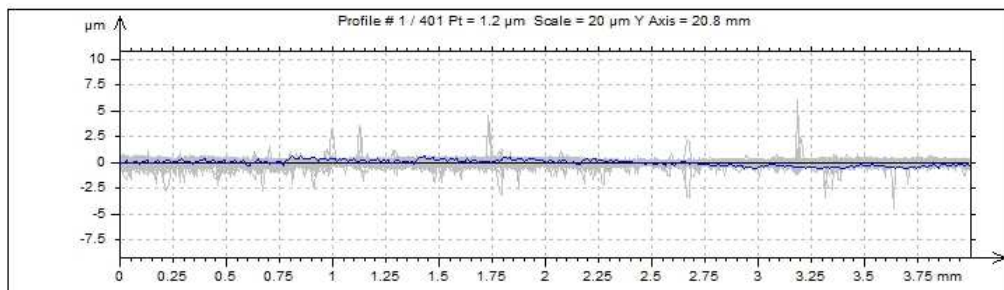
Obr. 22: Vlnitost a drsnost vzorku A při tlaku 0,02 MPa.

V tomto případě došlo k tzv. vypuštění tvaru pomocí polynomu druhého stupně. Polynom II. stupně byl zvolen na základě proměření tvaru vzorku a dále na základě konzultací s vedoucím diplomové práce. Výsledná data bylo nutno již pouze filtrovat pomocí vhodně zvoleného filtru za účelem rozložení na vlnitost a drsnost. Jako optimální filtr byl volen filtr Gaussovský a dle ČSN EN ISO 4288 byla volena základní filtrovací délka 0,8 mm. Celkově bylo měření opakováno $n = 5$, tedy celková měřená délka byla zvolena opět ve shodě s výše uvedenou normou 4 mm.

Na obrázcích níže je 3D obraz drsnosti povrchu vzorku, který již byl podroben Gaussovské filtraci s výše uvedenou základní délkou (obr. 23) a dále generování soustavy podélných (příčných) řezů o počtu 401 (obr. 24).

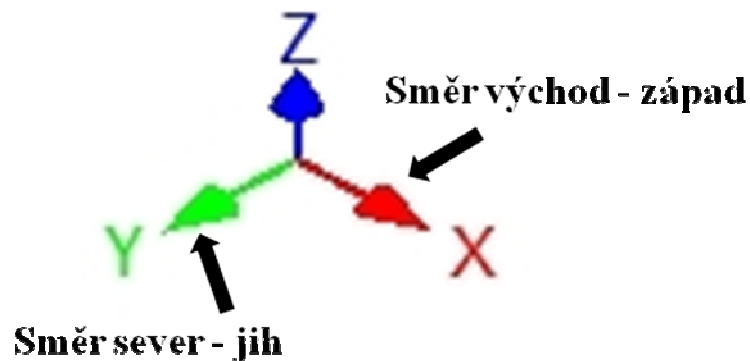


Obr. 23: 3D obraz drsnosti povrchu vzorku A při tlaku 0,02 MPa.



Obr. 24: Soustava podélných řezů.

Další obrázek zachycuje směr os snímání, na něž bude v dalším textu odkazováno. Směr východ – západ je v dalších odstavcích označován jako WE (west – east), směr sever – jih pak analogicky jako NS (north – south).



Obr. 25: Směr os snímání.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	0.29	0.102	0.224	1.51
Rv	μm	0.354	0.107	0.224	1.05
Rz	μm	0.644	0.153	0.459	1.84
Rc	μm	0.293	0.0476	0.216	0.63
Rt	μm	1.02	0.554	0.551	5.7
Ra	μm	0.101	0.00722	0.0842	0.131
Rq	μm	0.129	0.017	0.103	0.253
Rsk		-0.323	2.43	-12.1	28.5
Rku		10.7	37.1	2.29	601
Material Ratio parameters - Roughness profile					
Rmr	%	97	15.7	0.312	100
Rdc	μm	0.211	0.0117	0.179	0.249

Obr. 26: Parametry struktury povrchu vzorku A při tryskání tlakem 0,02MPa, směr WE.

Ukázka na obr. 26 je výstupem softwaru Talymap, který však není ve shodě s odpovídající terminologickou ISO normou. Z těchto důvodů zde značí výraz Mean odhad aritmetického průměru příslušného parametru drsnosti, Std dev označuje odhad směrodatné odchylky, Min (Max) značí minimální (maximální) hodnotu parametru drsnosti výběrového souboru.

Tímto způsobem byla zpracována data ze všech nasnímaných vzorků. Vzhledem k velkému množství obrázků uvádím v diplomové práci pouze ukázkou výstupů jednoho snímání, další jsou pak v příloze č. 1 (CD) v souborech 1-5.

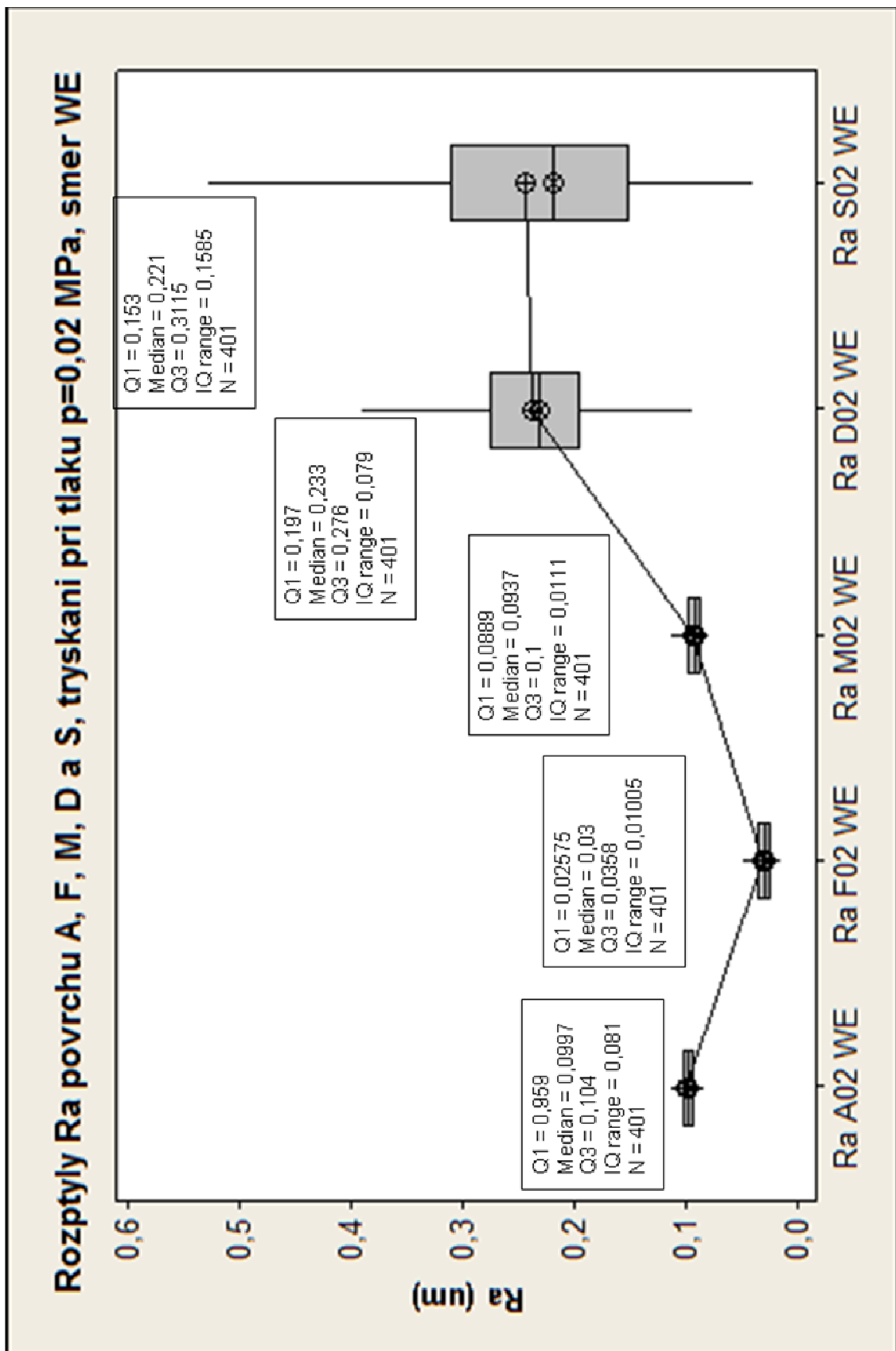
5.4.2 Transformace dat do MINITAB

Nasnímaná data byla transformována ze softwaru Talymap do softwaru Wordpad a následně potom do softwaru Minitab verze 16.0. Transformace přímo nebyla možná kvůli nutné výměně separatoru (tzn. tečka za čárku). Snímáním a následnou transformací bylo získáno sto výběrových souborů – jednalo se o 4 soubory pro každý z 25 vzorků (Ra WE, Ra NS, Rz WE a Rz NS). Každý z výběrových souborů obsahoval 401 hodnot. V praktické části diplomové práce bylo tedy zpracováno více než 40 000 hodnot.

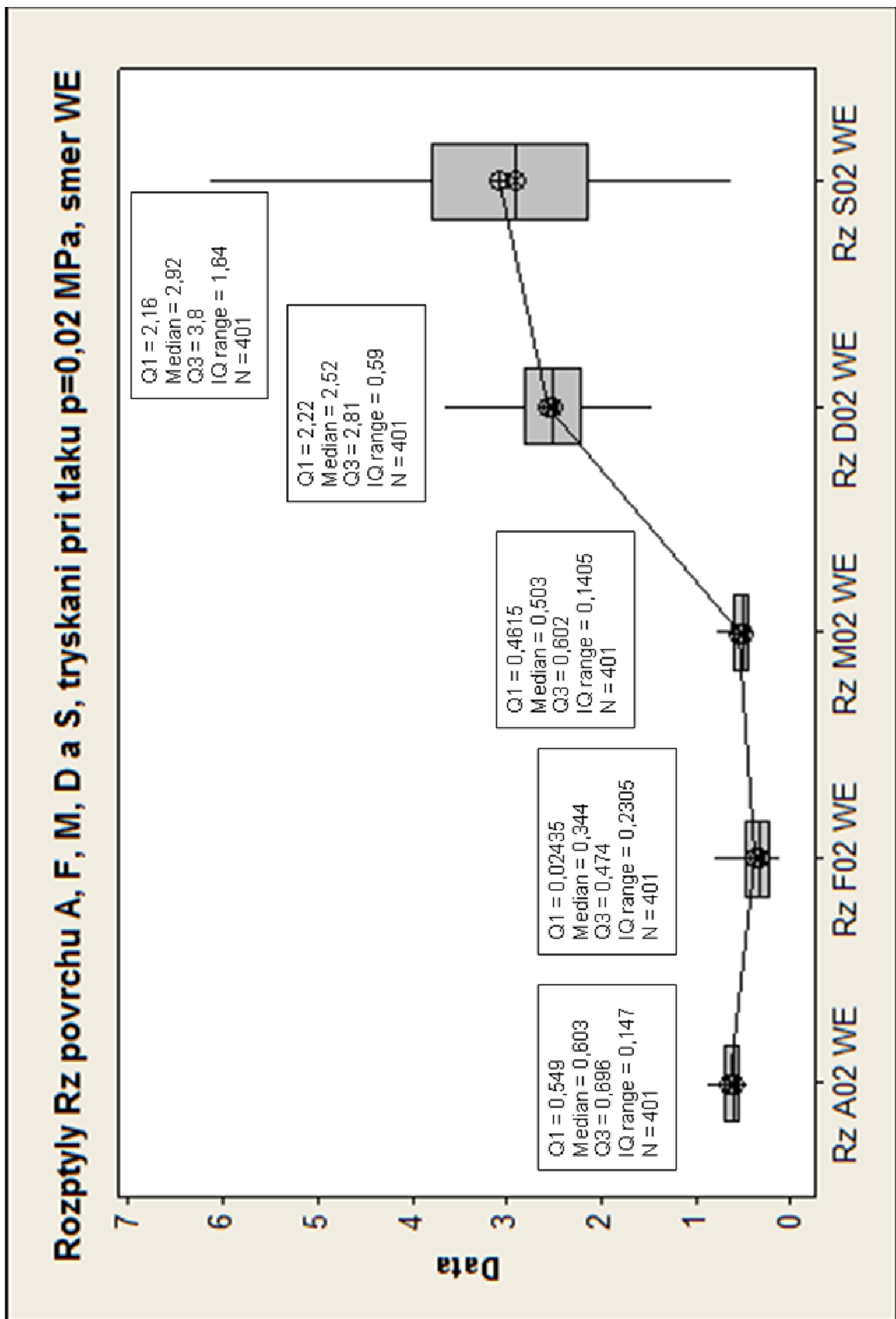
Po transformaci dat do Minitabu byla provedena jejich grafická vizualizace pomocí soustavy boxplotových diagramů se zobrazovanými parametry:

- X_{\max} maximální hodnota prvku výběrového souboru,
- Q3 třetí kvartil výběrového souboru,
- \tilde{x} medián výběrového souboru,
- \bar{x} aritmetický průměr výběrového souboru,
- Q1 první kvartil výběrového souboru,
- X_{\min} minimální hodnota prvků výběrového souboru,
- IQR interkvartilové rozpětí výběrového souboru,
- N dle terminologie ISO n , tj. velikost výběrového souboru.

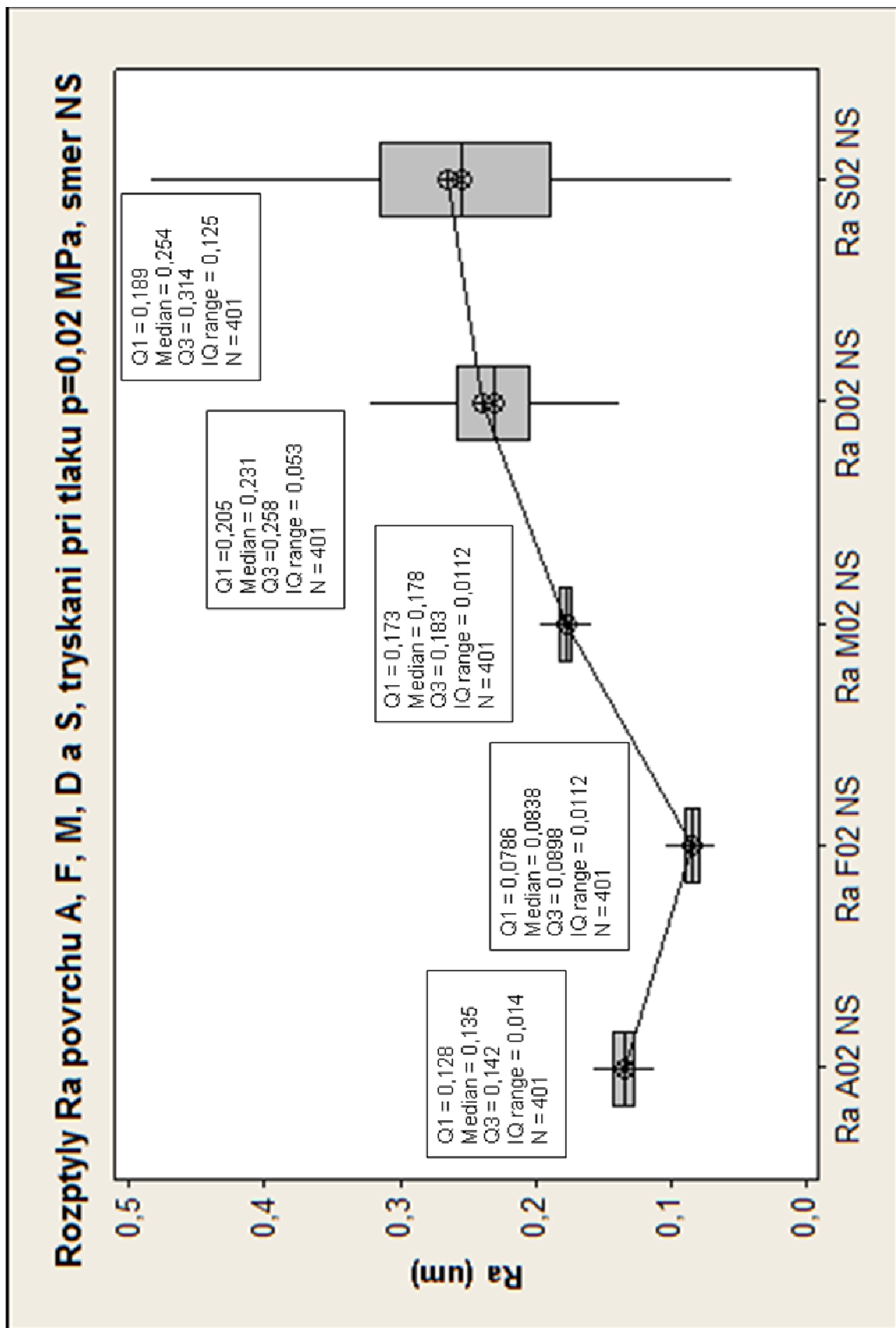
Boxplotové diagramy ukazují srovnání parametrů Ra (resp. Rz) ve směru WE (resp. NS) u vzorků otryskaných při různých tlacích. V této práci je pro ukázkou použito výstupu při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa, zbylá boxplotová srovnání (celkem 20 srovnání pomocí boxplotových diagramů, 4 pro každý z použitých tlaků - Ra WE, Ra NS, Rz WE a Rz NS) jsou v příloze č. 1 (CD) v souboru 6.



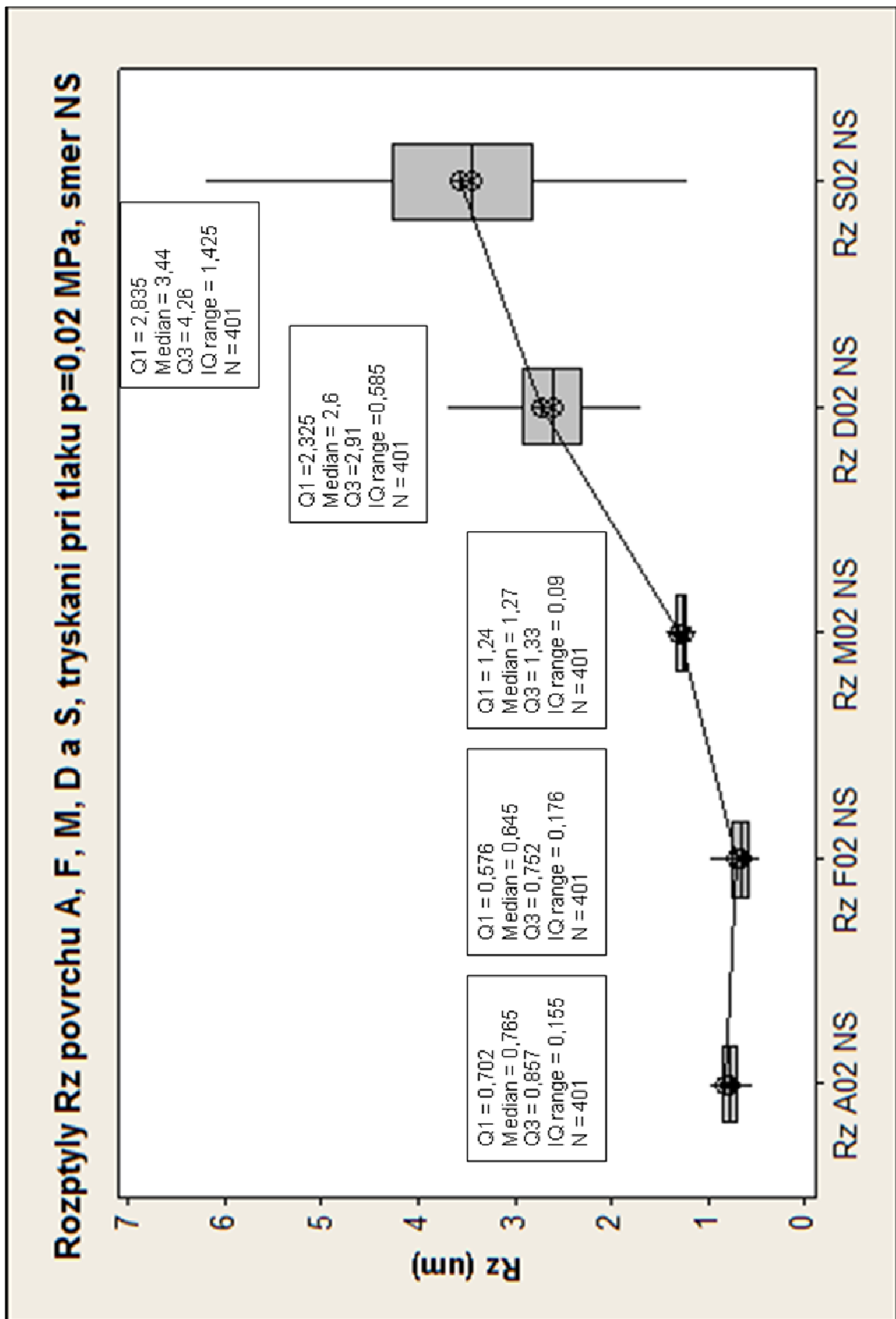
Obr. 27: Rozptyly Ra povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání WE.



Obr. 28: Rozptyly Rz povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání WE.



Obr. 29: Rozptyly Ra povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání NS.



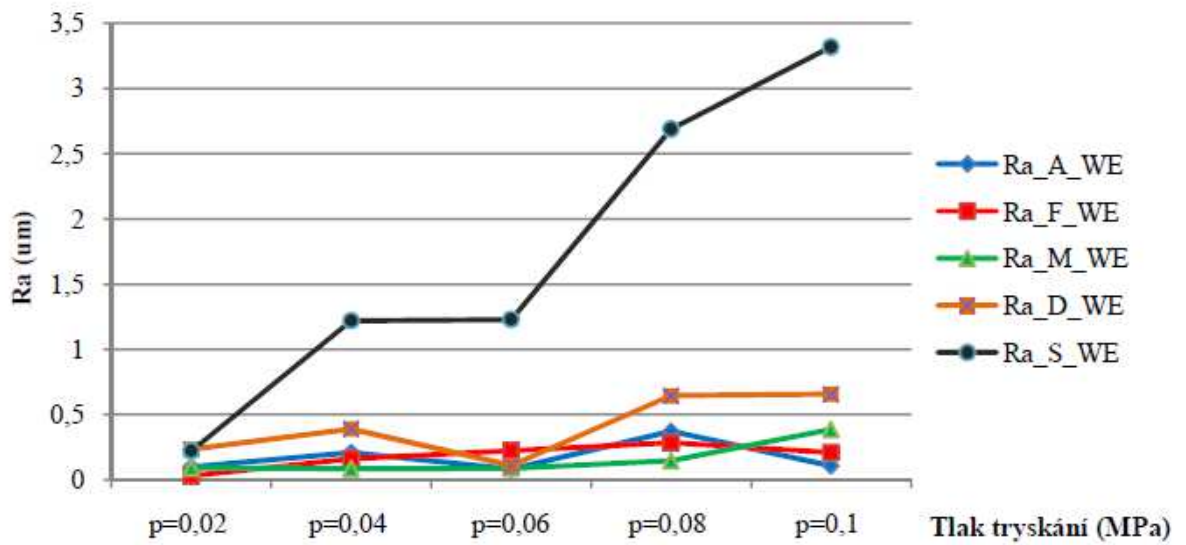
Obr. 30: Rozptyly Rz povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání NS.

5.5 Porovnání mediánů nasnímaných vzorků

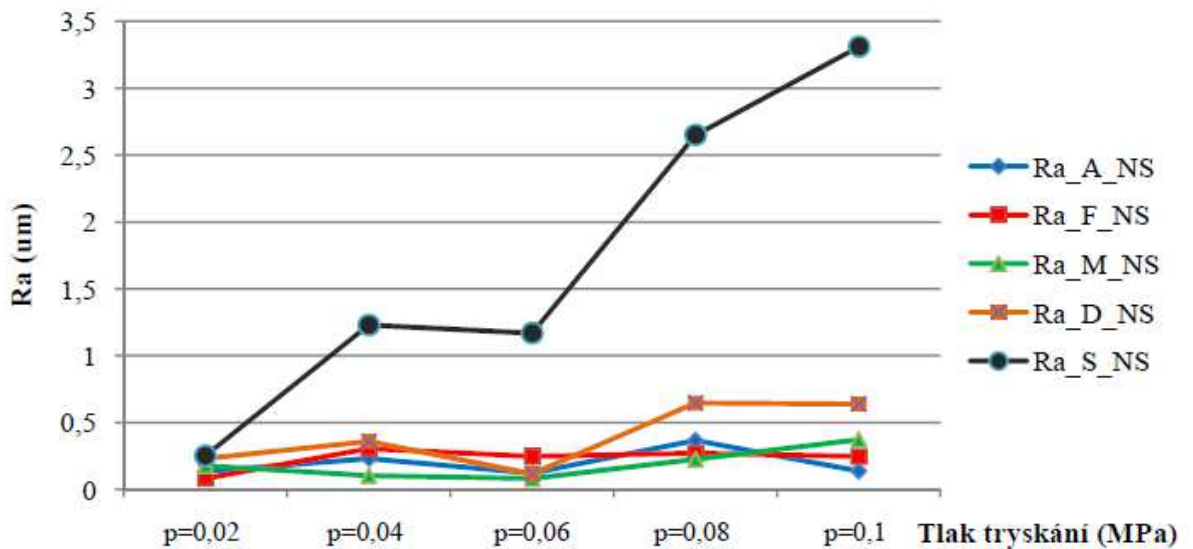
Číselné i grafické porovnání mediánů Ra a Rz pro směr WE i NS souborů snímaných dat ukázalo, že mediány Ra a Rz získané z dat snímaného vzorku D (tedy plastová deska) dosahují zhruba dvojnásobků mediánů Ra a Rz lakovaných vzorků (tedy A, F a M) a mediány Ra a Rz skleněné desky dosahují tak vysokých hodnot (řádově vyšší hodnoty), že mění měřítko grafů a zkreslují tak jeho vypovídající schopnost. Tato skutečnost je zachycena v následující tabulce a grafech na obrázcích 30 až 33.

Tab. 3: Mediány parametrů Ra a Rz všech snímaných vzorků (A, F, M, D a S) při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.

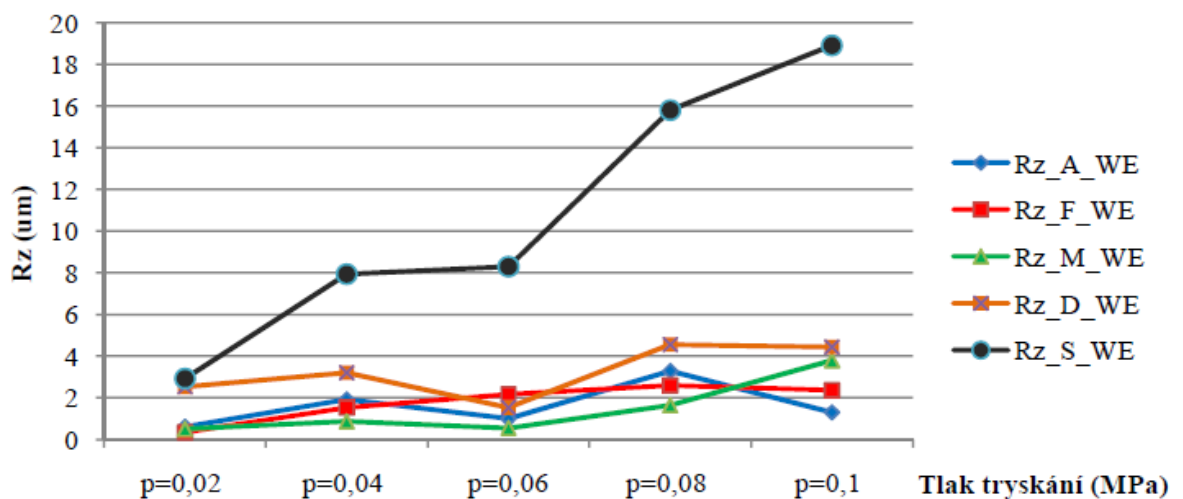
Ra vzorků A, F, M, D, S směr WE					
Ra_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_A_WE	0,0997	0,207	0,0814	0,372	0,106
Ra_F_WE	0,03	0,161	0,222	0,284	0,209
Ra_M_WE	0,0937	0,084	0,088	0,146	0,387
Ra_D_WE	0,233	0,39	0,11	0,645	0,656
Ra_S_WE	0,221	1,22	1,23	2,69	3,32
Ra vzorků A, F, M, D, S směr NS					
Ra_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_A_NS	0,135	0,232	0,122	0,368	0,138
Ra_F_NS	0,0838	0,305	0,248	0,271	0,247
Ra_M_NS	0,178	0,102	0,0813	0,225	0,372
Ra_D_NS	0,231	0,36	0,116	0,647	0,639
Ra_S_NS	0,254	1,23	1,17	2,65	3,31
Rz vzorků A, F, M, D, S směr WE					
Rz_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_A_WE	0,603	1,92	0,989	3,28	1,3
Rz_F_WE	0,344	1,53	2,16	2,59	2,36
Rz_M_WE	0,503	0,857	0,544	1,63	3,79
Rz_D_WE	2,52	3,2	1,52	4,55	4,43
Rz_S_WE	2,92	7,93	8,29	15,8	18,9
Rz vzorků A, F, M, D, S směr NS					
Rz_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_A_NS	0,765	2,26	1,2	3,3	1,49
Rz_F_NS	0,645	3,6	2,36	2,64	3,1
Rz_M_NS	1,27	0,953	0,801	2,18	3,84
Rz_D_NS	2,6	3,15	1,69	4,7	4,54
Rz_S_NS	3,44	8,53	8,18	16,1	19



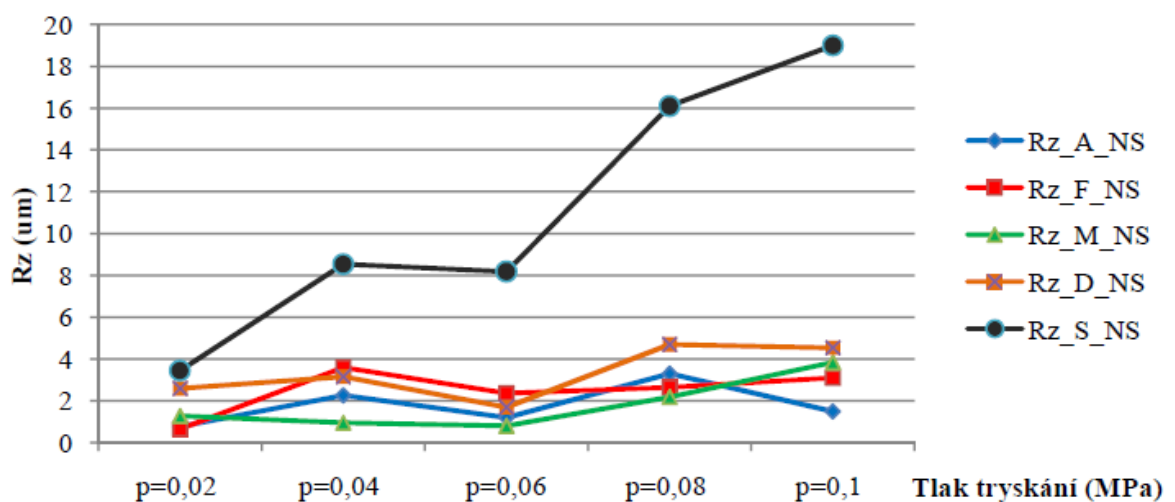
Obr. 31: Grafické znázornění mediánů Ra všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání WE.



Obr. 32: Grafické znázornění mediánů Ra všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání NS.



Obr. 33: Grafické znázornění mediánů Rz všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání WE.



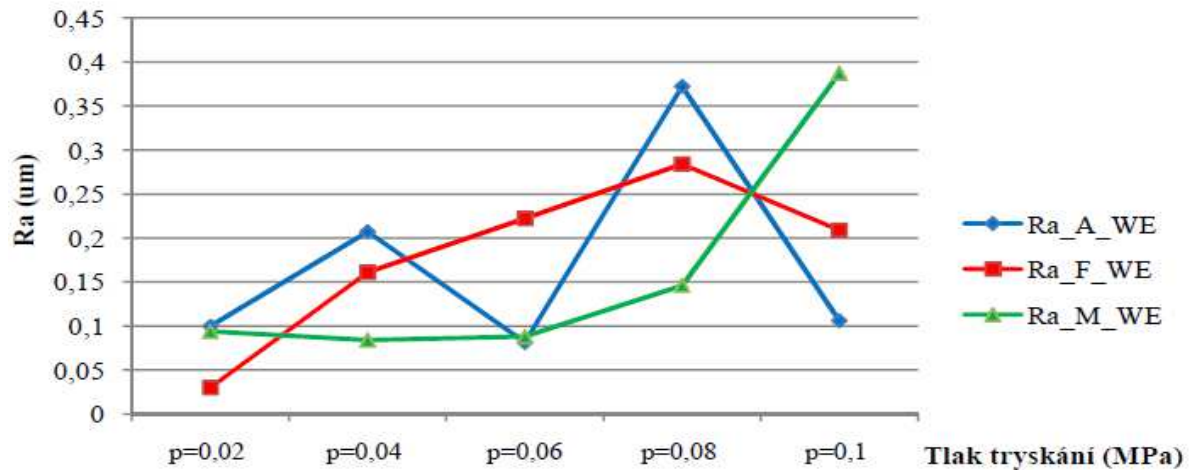
Obr. 34: Grafické znázornění mediánů Rz všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání NS.

Vzhledem k výše uvedeným grafům a tabulkám, je zcela zřejmé, že bylo nutné vzorky z hlediska technologie výroby rozdělit na dvě fundamentální části. První skupinou byly vzorky, na nichž je nanesen lak a druhou skupinou byly povrchově neošetřené desky – plastová a skleněná.

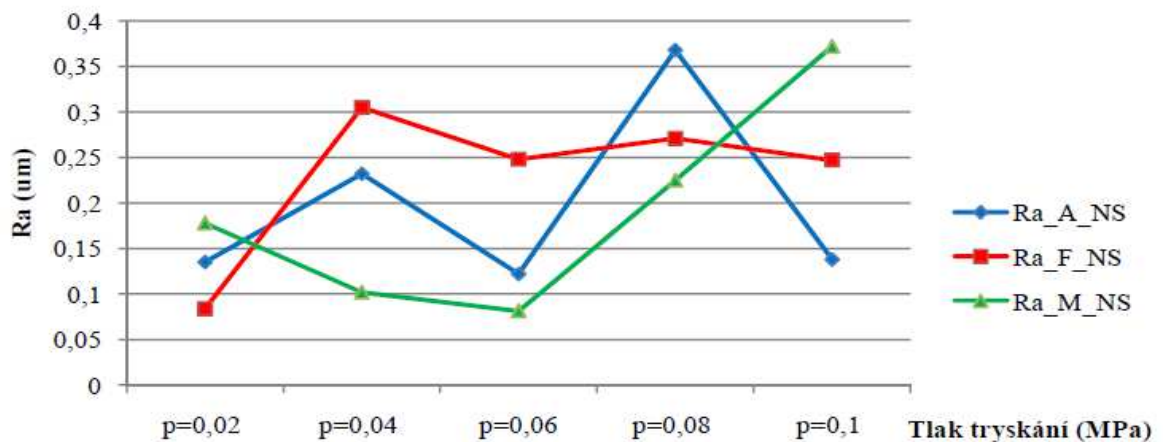
Také v tomto případě bylo provedeno grafické porovnání mediánů, tentokrát mediánů parametrů Ra a Rz pro lakované polykarbonátové vzorky označené jako A, F a M. Porovnání bylo provedeno pro oba směry snímání (WE, NS) a při všech tlacích tryskání vzorků.

Tab. 4: Mediány parametrů Ra snímaných vzorků A, F, M při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.

Ra vzorků A, F, M směr WE					
Ra_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_A_WE	0,0997	0,207	0,0814	0,372	0,106
Ra_F_WE	0,03	0,161	0,222	0,284	0,209
Ra_M_WE	0,0937	0,084	0,088	0,146	0,387
Ra vzorků A, F, M směr NS					
Ra_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_A_NS	0,135	0,232	0,122	0,368	0,138
Ra_F_NS	0,0838	0,305	0,248	0,271	0,247
Ra_M_NS	0,178	0,102	0,0813	0,225	0,372



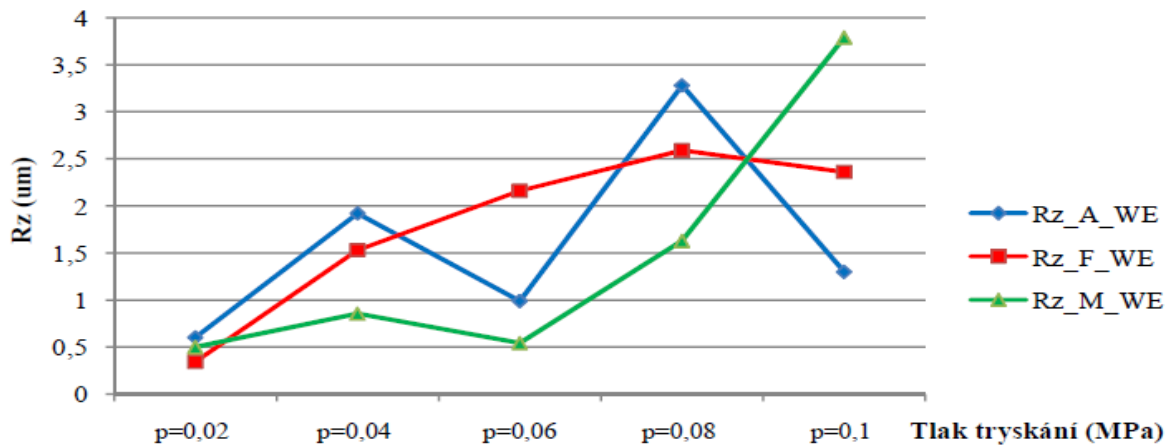
Obr. 35: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání WE.



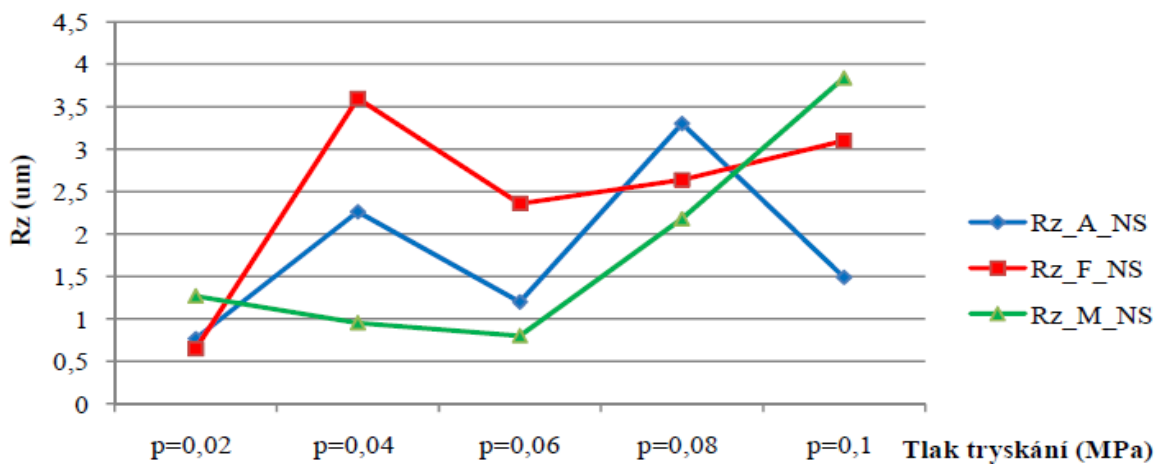
Obr. 36: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání NS.

Tab. 5: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků A, F, M při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.

Rz vzorků A, F, M směr WE					
Rz_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_A_WE	0,603	1,92	0,989	3,28	1,3
Rz_F_WE	0,344	1,53	2,16	2,59	2,36
Rz_M_WE	0,503	0,857	0,544	1,63	3,79
Rz vzorků A, F, M směr NS					
Rz_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_A_NS	0,765	2,26	1,2	3,3	1,49
Rz_F_NS	0,645	3,6	2,36	2,64	3,1
Rz_M_NS	1,27	0,953	0,801	2,18	3,84



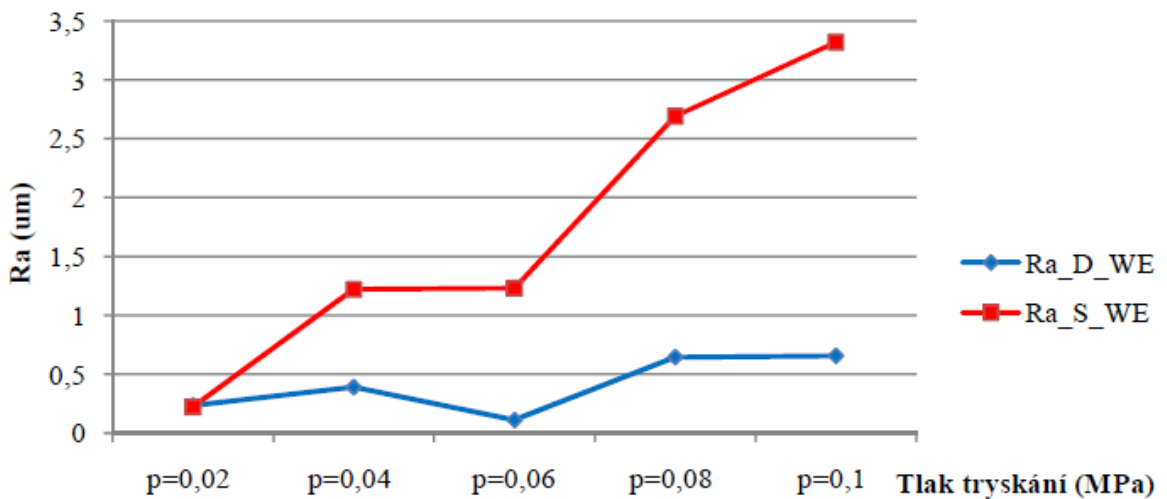
Obr. 37: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání WE.



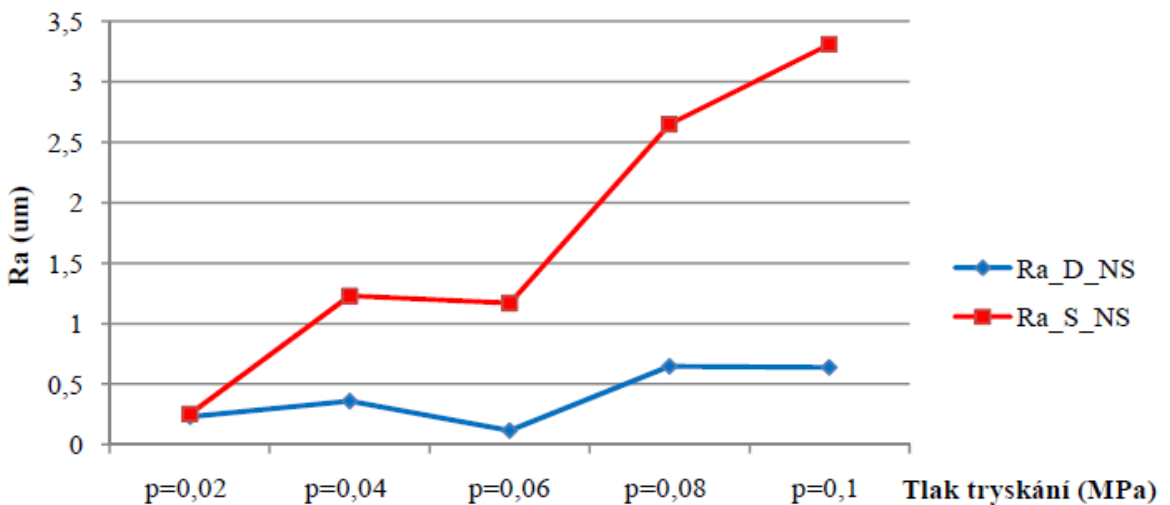
Obr. 38: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání NS.

Tab. 6: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků D, S při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.

Ra vzorků D, S směr WE					
Ra_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_D_WE	0,233	0,39	0,11	0,645	0,656
Ra_S_WE	0,221	1,22	1,23	2,69	3,32
Ra vzorků D, S směr NS					
Ra_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Ra_D_NS	0,231	0,36	0,116	0,647	0,639
Ra_S_NS	0,254	1,23	1,17	2,65	3,31



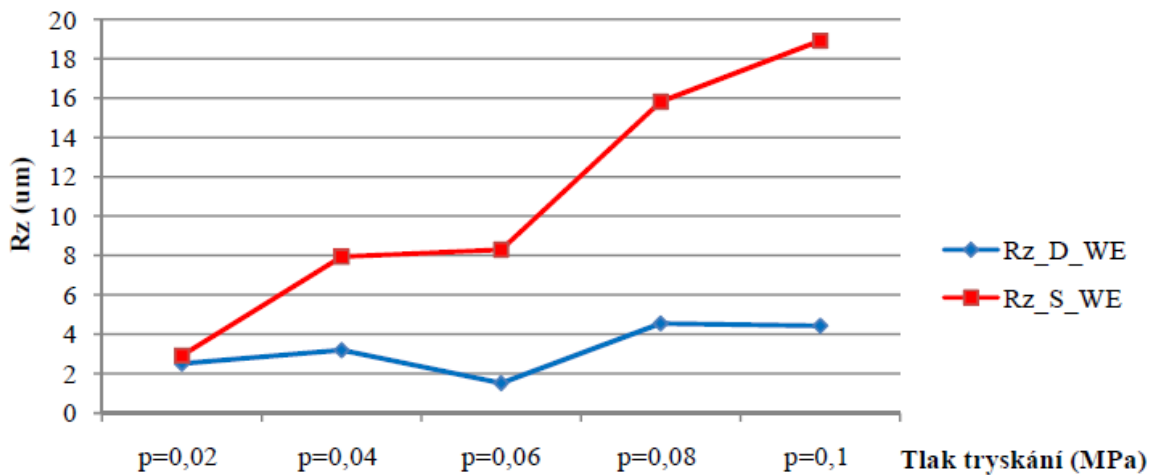
Obr. 39: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání WE.



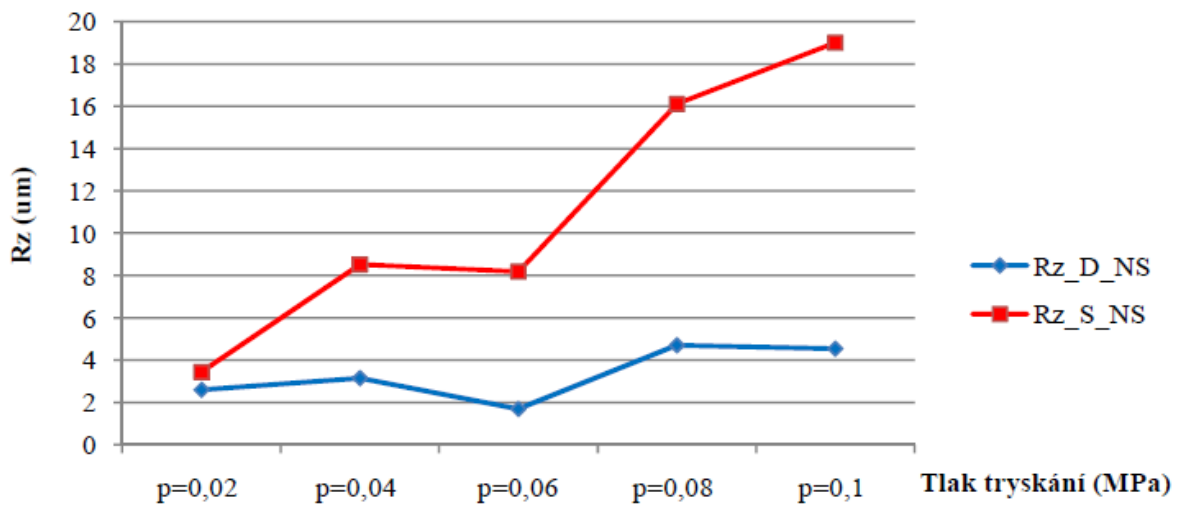
Obr. 40: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání NS.

Tab. 7: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků D, S při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.

Rz vzorků D, S směr WE					
Rz_WE	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_D_WE	2,52	3,2	1,52	4,55	4,43
Rz_S_WE	2,92	7,93	8,29	15,8	18,9
Rz vzorků D, S směr NS					
Rz_NS	p=0,02 MPa	p=0,04 MPa	p=0,06 MPa	p=0,08 MPa	p=0,1 MPa
Rz_D_NS	2,6	3,15	1,69	4,7	4,54
Rz_S_NS	3,44	8,53	8,18	16,1	19



Obr. 41: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání WE.



Obr. 42: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání NS.

Analogicky bylo provedeno také grafické srovnání parametrů Ra a Rz izolovaně pro jednotlivé tlaky tryskání. Tato grafická porovnání jsou k nalezení v příloze č. 1 (CD) v souboru 7. – excel tabulka na listech 2 – 6.

5.6 Statistické hodnocení nasnímaných dat

Grafické zobrazení výsledků nasnímaných povrchů zkoumaných vzorků dává poměrně jasnou představu o tom, že se mediány výběrových souborů nasnímaných dat výrazně liší. Aby byla tato skutečnost potvrzena také statisticky, bylo využito teorie hypotéz.

5.6.1 Výběr metody hodnocení

Plánovanou metodou pro vyhodnocení nasnímaných výsledků byla metoda ANOVA. První podmínkou pro použití této metodiky je, že nesmíme zamítnout hypotézu, že hodnoty parametrů jakosti povrchu výběrových souborů pocházejí z rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, což je normální rozdělení. Vzhledem k tomu, že hypotéza byla zamítnuta na konfidenční úrovni $1 - \alpha = 0,95$, bylo nutné přejít na vyhodnocení neparametrické, konkrétně metodikou Kruskal Wallisovou. Výše uvedená konfidenční úroveň zůstala ponechána.

5.6.2 Stanovení hypotéz

Vzhledem k již zmíněnému faktu, že rozptyly hodnot vzorků D – plastová deska a S – skleněná deska jsou tak vysoké, že zmenšují vypovídající schopnost dat, bylo provedeno dvojí srovnání. První srovnávanou skupinou byly mediány povrchových parametrů vzorků A, F a M (vše lakovaný polykarbonát), druhou skupinou byly mediány parametrů povrchů vzorků D a S (plastová a skleněná deska).

Stanovila jsem tedy nulovou hypotézu a hypotézu alternativní pro první srovnání:

H_0 : η (medián) Ra vzorku A = η Ra vzorku F = η Ra vzorku M (tzn. mediány základních souborů jsou si rovny)

H_A : non (tzn. mediány uvedených základních souborů si nejsou rovny)

Hladina významnosti $1 - \alpha = 0,95$ (volím $\alpha = 0,05$).

Hypotézy byly testovány pro každý tlak tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa, 0,01 MPa) a pro každý směr měření (WE, NS), tedy desetkrát. Testování jsem prováděla pomocí statistického softwaru MINITAB. Výsledky byly zaznamenány do tabulek.

Tab. 8: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků A, F, M ve směru snímání WE.

Platnost hypotéz pro mediány vzorků A, F a M - směr WE						
Ra	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná
Rz	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná

Tab. 9: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků A, F, M ve směru snímání NS.

Platnost hypotéz pro mediány vzorků D, S - směr WE						
Ra	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná
Rz	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná

Obdobně jsem si stanovila hypotézy pro výběrové soubory vzniklé snímáním vzorků D a S. Hypotézy byly analogicky testovány pro každý tlak tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa, 0,01 MPa) a pro každý směr (WE, NS), tedy desetkrát a postup byl zopakován s těmito hypotézami:

H₀: Medián Ra vzorku D = medián Ra vzorku S (tzn. mediány uvedených výběrových souborů se od sebe liší pouze náhodou)

H_A: non H₀ (tzn. mediány uvedených výběrových souborů se od sebe liší jinak než jen náhodně).

Výsledky jsem opět zaznamenala do tabulky.

Tab. 10: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků D, S ve směru snímání WE.

Platnost hypotéz pro mediány vzorků A, F a M - směr NS						
Ra	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná
Rz	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná

Tab. 11: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků D, S ve směru snímání NS.

Platnost hypotéz pro mediány vzorků D, S - směr NS						
Ra	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná
Rz	Tlak tryskání (Mpa)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Výsledná pravděpodobnost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	H ₀	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám	zamítám
	H _A	platná	platná	platná	platná	platná

Jak ukazují tabulky výše, až na dva barevně vyznačené případy, byla vždy pravděpodobnost nulové hypotézy rovna nule. V obou označených případech je pravděpodobnost toho, že se mediány námi porovnávaných parametrů liší pouze náhodně, velmi nízká (konkrétně 0,083 a 0,002). I v těchto případech nulovou hypotézu zamítáme, a to vzhledem ke zvolené konfidenční úrovni $1 - \alpha = 0,95$. O příčině takových výsledků je možné pouze spekulovat, jednou z variant je například chyba již při přípravě vzorků.

Výsledky z tohoto testování hypotéz říkají, že mediány porovnávaných parametrů Ra a Rz získané snímáním povrchů pěti vzorků se od sebe liší významně.

ZÁVĚR

Účelem diplomové práce bylo zhodnocení jakosti povrchů pěti vzorků, z nichž povrchy třech byly upraveny lakováním. Pomocí povrchového skeneru TALYSURF CLI 500 bylo provedeno bezkontaktní naskenování povrchu každého vzorku o rozměrech 4 x 4 mm.

Tyto naskenované plochy byly dále zpracovány dle příslušných ČSN EN ISO norem, konkrétně dle ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288.

Za účelem zajištění objektivit byly vzorky rozděleny na dvě diametrálně odlišné skupiny, a to na vzorky s povrchem lakovaným (tři vzorky – polykarbonát) a povrchem nelakovaným (dva vzorky – polykarbonát a minerální sklo). Poté byl vybrán vhodný statistický aparát pro hodnocení parametrů jakosti povrchů (R_a , R_z), který využíval teorii hypotéz. Předpokládaná metoda ANOVA nebyla použitelná z důvodu zamítnutí normality parametrů jakosti povrchu, a proto byla pro hodnocení zvolena metoda neparametrická, tj. metoda Kruskal Wallisova. Ta prokázala, že mediány parametrů jakosti povrchu (R_a , R_z) na dané konfidenční úrovni $1 - \alpha$ se od sebe významně liší. Obdobný výsledek byl získán i na vzorcích s povrchy nelakovanými.

Bylo prokázáno s pravděpodobností 95 %, že parametry jakosti povrchu (R_a a R_z) se u lakovaných povrchů významně liší. Též vzorky polykarbonátu a minerálního skla vykazují obdobný výsledek.

Testování hypotéz a jeho výsledky lze považovat za velmi silné, jelikož každý ze sta výběrových souborů obsahoval čtyři sta hodnot, což lze z pohledu statistiky považovat za nadstandardní, jelikož za dostatečně silné jsou považovány již statistiky z výběrových souborů o třiceti hodnotách.

Výsledky získané srovnáním vzorků mohou posloužit jako podklad pro rozhodování o použití konkrétního laku ve výrobě. Jak je vidno z grafických výstupů u lakovaných povrchů (tedy vzorků A, F a M), vykazuje povrch vzorků M ve většině případů (zhruba v 70 %) nejmenší poškození, a to zejména při nižších tlacích tryskání. Tento výsledek také otevírá otázku, z jakého důvodu vzrostlo poškození u vzorků M u nejvyššího použitého tlaku (0,01 MPa) čtyřnásobně a více oproti poškození při tryskání nižším tlakem.

Další praktické srovnání je opět u lakovaných vzorků, tentokrát u vzorků A a F. Tyto vzorky jsou ošetřeny stejným lakem, každý však v jiné lakovně. Trend poškození

vzorku F je spíše vzestupný, u vzorku A poškození kolísá. Opět je zde prostor pro zjišťování, čím je tento fakt způsoben.

Srovnání vzorků polykarbonátové destičky bez povrchové úpravy a minerálního skla nepřineslo žádné překvapivé srovnání. Výsledky pouze potvrdily předpoklad, že sklo bude dosahovat horších výsledků než polykarbonát a polykarbonát, jež není ošetřen lakem, bude vykazovat větší poškození nežli polykarbonát lakem ošetřený.

Pokud bychom chtěli získat detailnější informace pro srovnání lakovaných vzorků, museli bychom hodnoty získané jejich snímání podrobit dalším, podrobnějším, statistickým analýzám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
- [2] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-8592-072-7
- [3] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry*. Skripta, Zlín, Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, 2013, 138 str. elektronická kniha
- [4] BOBČÍK, L.: *Formy pro zpracování plastů I.díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [5] MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s.
- [6] STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství I. (Základy gumárenské a plastikářské technologie)*, Skripta, Zlín, Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, 2007, 107 str. elektronická kniha
- [7] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [8] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [9] MLEZIVA, J.. *Polymery: Výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 80-90157041.
- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: Úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] ADÁMEK, Jiří. PROF. ING. JIŘÍ ADÁMEK, CSc. *Stavební látky*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006?, 42 s.
- [12] PATA, Vladimír. *Přednášky Statistické zpracování naměřených dat*
- [13] ŠIŠKA, Ladislav. *Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS)*. Praha: ČNI, 2006. 49 s.
- [14] *Testování statistických hypotéz*. [online] 2012 [cit. 7-01-2014] Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/zakladni/testy.pdf

- [15] *Rozdělení náhodných veličin.* [online] 2012 [cit. 7-01-2014] Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/.../Rozdeleni.ppt
- [16] MELOUN, Milan, MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD.* Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4.
- [17] BLATNÁ, Dagmar. *Metody statistické analýzy.* 1. vyd. Praha: Bankovní institut vysoká škola, 2004, ii, 92 s. ISBN 80-726-5062-9.
- [18] *Přednášky Statistika a výpočetní technika* [online] [cit. 7-01-2014] Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie>
- [19] *Přednáška Extrémy* [online] [cit. 7-01-2014] Dostupné z <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/extremy.htm>
- [20] *Přednáška ANOVA* [online] [cit. 7-01-2014] Dostupné z zsamba.fsv.cuni.cz/~soukup/statistika_II/prednasky/Nepar_ANOVA.ppt
- [21] RIMARČÍK, M. *Štatistika pre prax.* 1.vyd. 2007. 200 s. ISBN 978-80-969813-1-1
- [22] WHITEHOUSE, David J. *Handbook of surface metrology.* London: Bookcraft Ltd, 1996.
- [23] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*
- [24] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*
- [25] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování.* Vyd. 2., přeprac. Brno: CERM, 2003, 200 s. ISBN 80-720-4306-4.
- [26] NOVÁK, Zdeněk. *Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Tay-lor Hobson Ltd.* [online] [cit. 10-04-2014] Brno, Dostupný z WWW: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf.
- [27] *Polymery “stručně”.* [online] 2012 [cit. 07-01-2014] Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [28] *Vstřikování* [online]. 2005 [cit. 08-01-2014]. Dostupný z [www: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/vstrikovani.pdf>](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/vstrikovani.pdf).
- [29] *Vstřikování Plastů* [online]. 2005 [cit. 08-01-2014]. Dostupný z [www: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm).

- [30] *Učební texty do předmětu Technické zobrazování*, VOŠ a SPŠE Plzeň. [cit. 16-02-2014]. Dostupný z www: <http://home.tiscali.cz/novyl/tek7.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Polykarbonát
GPS	Geometrické požadavky na výrobu
ANOVA	Analysis of variance
H_0	Nulová hypotéza
H_A	Alternativní hypotéza
N, n	Velikost výběru
$1 - \alpha$	Spolehlivost
$1 - \beta$	Síla testu
μ	Střední hodnota
σ	Směrodatná odchylka
U	Normovaná veličina
v	Stupeň volnosti
F_{krit}	Kritická hodnota
Konst.	Konstantní
T, t, Q	Testovací kritérium
s^2	Rozptyl výběrového souboru
\bar{x}	Průměr výběrového souboru
R	Variační rozpětí
$Q_{\text{krit.}}$	Kritická hodnota
$\lambda_s, \lambda_c, \lambda_f$	Profilové filtry
l_p, l_r, l_w	Základní délka
ln	Vyhodnocovaná délka
R_p	Největší výška výstupku profilu
R_v	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	Největší výška

R_t	Celková výška profilu
R_c	Průměrná výška prvků profilu
R_a	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_q	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
R_{sk}	Šikmost posuzovaného profilu
R_{ku}	Špičatost posuzovaného profilu
R_{Sm}	Průměrná šířka prvků profilu
$R_{\Delta q}$	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
Z_p	Výška nejvyššího výstupku profilu
Z_v	Hloubka nejnižší prohlubně profilu
$X_{i_{max}}$	Maximální hodnota prvku výběrového souboru
Q_3	Třetí kvartil výběrového souboru
\tilde{x}	Medián výběrového souboru
Q_1	První kvartil výběrového souboru
$X_{i_{min}}$	Minimální hodnota prvků výběrového souboru
IQR	Interkvartilové rozpětí výběrového souboru
N	Velikost výběrového souboru
WE	West – east, směr západ – východ
NS	North – south, směr sever - jih

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Základní klasifikace polymerů.....	13
Obr. 2: Vstřikovací cyklus.....	16
Obr. 3: Chyba I. a II. druhu.....	20
Obr. 4: Gaussovo normální rozdělení pravděpodobnosti.....	22
Obr. 5: Normované normální rozdělení pravděpodobnosti.....	23
Obr. 6: Profil povrchu.....	32
Obr. 7: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti.....	32
Obr. 8: Drsnost a vlnitost.....	33
Obr. 9: Prvek profilu.....	34
Obr. 10: Parametry Rp, Rv a Rz.....	35
Obr. 11: Parametr Rt.....	35
Obr. 12: Parametr Ra.....	36
Obr. 13: Přístroj TALYSURF CLI 500 s příslušenstvím.....	39
Obr. 14: Tryska pro otryskání vzorků.....	40
Obr. 15: Označení vzorku.....	41
Obr. 16: Očištění vzorku tlakovým vzduchem.....	42
Obr. 17: Vzorek na patentním stolku umístěném na mikroskopu.....	43
Obr. 18: Patentní stolec se vzorkem umístěný na přístroji TALYSURF CLI 500.....	43
Obr. 19: Vlastní kalibrace přístroje TALYSURF CLI 500.....	44
Obr. 20: Nastavení velikosti snímané plochy a rychlosti snímání.....	44
Obr. 21: Tvar, vlnitost a drsnost vzorku A při tlaku 0,02 MPa.....	45
Obr. 22: Vlnitost a drsnost vzorku A při tlaku 0,02 MPa.....	45
Obr. 23: 3D obraz drsnosti povrchu vzorku A při tlaku 0,02 MPa.....	46
Obr. 24: Soustava podélných řezů.....	46
Obr. 25: Směr os snímání.....	47

Obr. 26: Parametry struktury povrchu vzorku A při tryskání tlakem 0,02MPa, směr WE.	47
Obr. 27: Rozptyly Ra povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání WE.....	49
Obr. 28: Rozptyly Rz povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání WE.....	50
Obr. 29: Rozptyly Ra povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání NS.....	51
Obr. 30: Rozptyly Rz povrchů vzorků A, F, M, D a S při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa a směru snímání NS.....	52
Obr. 31: Grafické znázornění mediánů Ra všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání WE.....	54
Obr. 32: Grafické znázornění mediánů Ra všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání NS.....	54
Obr. 33: Grafické znázornění mediánů Rz všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání WE.....	55
Obr. 34: Grafické znázornění mediánů Rz všech snímaných vzorků při různých tlacích ve směru snímání NS.....	55
Obr. 35: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání WE.....	56
Obr. 36: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání NS.....	56
Obr. 37: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání WE.....	57
Obr. 38: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků A, F, M při různých tlacích ve směru snímání NS.	57
Obr. 39: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání WE...	58
Obr. 40: Grafické znázornění mediánů Ra vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání NS....	58
Obr. 41: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání WE...	59
Obr. 42: Grafické znázornění mediánů Rz vzorků D, S, různé tlaky, směr snímání NS....	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Možné situace při testování hypotéz.....	19
Tab. 2: Označení vzorků pro snímání.....	41
Tab. 3: Mediány parametrů Ra a Rz všech snímaných vzorků (A, F, M, D a S) při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.....	53
Tab. 4: Mediány parametrů Ra snímaných vzorků A, F, M při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.....	56
Tab. 5: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků A, F, M při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.....	57
Tab. 6: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků D, S při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.....	58
Tab. 7: Mediány parametrů Rz snímaných vzorků D, S při různých tlacích tryskání (0,02 MPa, 0,04 MPa, 0,06 MPa, 0,08 MPa a 0,1 MPa) a směrech snímání WE a NS.....	59
Tab. 8: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků A, F, M ve směru snímání WE.....	61
Tab. 9: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků A, F, M ve směru snímání NS.....	61
Tab. 10: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků D, S ve směru snímání WE.....	62
Tab. 11: Platnost hypotéz pro mediány parametrů Ra a Rz vzorků D, S ve směru snímání NS.....	62

SEZNAM VZORCŮ

(1)	Frekvenční funkce normálního rozdělení pravděpodobnosti.....	21
(2)	Normovaná náhodná veličina.....	23
(3)	Frekvenční funkce normálového normálního rozdělení pravděpodobnosti.....	23
(4)	Testovací kritérium.....	25
(5)	Testovací kritérium.....	25
(6)	Testovací kritérium.....	26
(7)	Testovací kritérium.....	26
(8)	Testovací kritérium.....	29
(9)	Testovací kritérium.....	29
(10)	Testovací kritérium.....	29
(11)	Testovací kritérium.....	30

SEZNAM PŘÍLOH

Všechny přílohy jsou vzhledem k jejich velikosti přiloženy v elektronické podobě.

Příloha 1. CD

Obsah CD

1. Grafické výstupy snímání pro vzorek A při všech tlacích.
2. Grafické výstupy snímání pro vzorek F při všech tlacích.
3. Grafické výstupy snímání pro vzorek M při všech tlacích.
4. Grafické výstupy snímání pro vzorek D při všech tlacích.
5. Grafické výstupy snímání pro vzorek S při všech tlacích.
6. PDF - Boxplotové diagramy parametrů Ra a Rz vzorků A, F, M, D a S při tlacích tryskání $p = 0,02$ MPa, $p = 0,04$ MPa, $p = 0,06$ MPa, $p = 0,08$ MPa a $p = 0,1$ MPa.
7. Excel – Grafy srovnávající parametry Ra a Rz všech vzorků.

- 6 listů:
- I. Ra, Rz při všech tlacích tryskání
 - II. Ra, Rz při tlaku tryskání $p = 0,02$ MPa
 - III. Ra, Rz při tlaku tryskání $p = 0,04$ MPa
 - IV. Ra, Rz při tlaku tryskání $p = 0,06$ MPa
 - V. Ra, Rz při tlaku tryskání $p = 0,08$ MPa
 - VI. Ra, Rz při tlaku tryskání $p = 0,1$ MPa