

# Hodnocení jakosti povrchu extrudovaných profilů z polymerních materiálů

Bc. Kateřina Hrubá

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina Hrubá**  
Osobní číslo: **T15715**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchu extrudovaných profilů z polymerních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:
2. Popište základní způsoby výroby extrudovaných profilů.
3. Popište parametry jakosti povrchu dle norem ISO 4287, ISO 4288 a ISO 13565.
4. Popište vhodné statistické metody pro sledování jakosti povrchu extrudovaných profilů v čase.
5. Praktická část:
6. Připravte a proměřte vzorky extrudovaných profilů z hlediska jakosti povrchu.
7. Proveďte statistické hodnocení naměřených parametrů.
8. Doporučte způsob sledování jakosti povrchu extrudovaných profilů na základě statistického hodnocení.

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: **2. ledna 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2017**

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Hrubá Kateřina

Obor: Řízení jakosti

## 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<sup>1)</sup>;
- 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<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> 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<sup>3)</sup> 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 19.5.2017

Hrubá Kateřina

<sup>1)</sup> 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 nevdělečně 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) *Diplomová, bakalářská a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlášení 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.*

<sup>4)</sup> *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, ušije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k vjuze 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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

<sup>5)</sup> *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 a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Dápirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat náhrady chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit 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 vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce „Hodnocení jakosti povrchu extrudovaných profilů z polymerních materiálů“ se zabývá problematikou tloušťky a povrchu profilů vyrobených extruzí.

V úvodní části jsou zmíněny způsoby výroby extrudovaných profilů, způsoby měření tvaru a vzájemné polohy a statistické metody potřebné k vyhodnocování naměřených dat.

V praktické části je popsána příprava zkušebních vzorků, jejich označení, použítá zkušební měřicí zařízení a samotná měření. Získaná naměřená data jsou zpracována pomocí programu Minitab do grafů a statisticky vyhodnocena.

V závěru diplomové práce je zhodnocena kvalita nakupovaných profilů.

Klíčová slova: okenní profil, povrch, extruze, statistické hodnocení

## **ABSTRACT**

The thesis "Evaluation of the Surface Quality of Extruded Profiles Made of Polymer Materials" deals with problems of thickness and surface of profiles produced by extrusion.

In the introductory part, there are mentioned the methods of production of extruded profiles, the methods of measuring the shape and mutual position, and the statistical methods needed to evaluate the measured data.

The practical part describes the preparation of the test specimens, their marking, the test measuring equipment used and the measurements themselves. The measured data obtained is processed by Minitab into graphs and statistically evaluated.

At the end of the diploma thesis, the quality of purchased profiles is evaluated.

Keywords: window profile, surface, extrusion, statistical evaluation

Děkuji panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za jeho odborné vedení, spolupráci při měření a cenné rady při vyhodnocování naměřených výsledků, kterými přispěl k realizaci mé diplomové práce.

(motto)

*Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné a že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a použila jen zdroje uvedené v seznamu literatury.*

*V Brně dne*

*Kateřina Hrubá  
podpis*

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VÝROBY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 EXTRUZE (VYTLAČOVÁNÍ) .....	12
1.2 KOEXTRUZE .....	13
1.3 VYTLAČOVACÍ STROJE .....	13
<b>2 MĚŘENÍ TVARU A VZÁJEMNÉ POLOHY</b> .....	<b>17</b>
2.1 DRUHY GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ .....	17
2.2 TOLERANCE TVARU .....	17
2.2.1 Tolerance přímosti a její měření .....	17
2.2.2 Tolerance rovinnosti a její měření.....	20
2.2.3 Tolerance kruhovitosti a její měření .....	20
2.2.4 Tolerance válcovitosti a její měření .....	22
2.2.5 Tolerance tvaru profilu a její měření.....	22
2.2.6 Tolerance tvaru plochy a její měření.....	23
2.3 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ TVARŮ.....	23
2.3.1 Šablony.....	23
2.3.2 Profilový projektor .....	24
2.3.3 Kruhoměry .....	25
2.3.4 Laserový interferometr.....	25
2.3.5 Souřadnicové měřicí přístroje .....	26
2.4 MĚŘENÍ VZÁJEMNÉ POLOHY A SMĚRU .....	26
2.5 TOLERANCE POLOHY .....	26
2.5.1 Tolerance sousostnosti a soustřednosti .....	27
2.5.2 Tolerance umístění .....	28
2.5.1 Tolerance souměrnosti .....	28
<b>3 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ PROSTŘEDKY NUTNÉ PRO VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT</b> .....	<b>29</b>
3.1 STATISTICKÉ TESTOVÁNÍ.....	29
3.1.1 Postup testování statistické hypotézy.....	29
3.1.2 Testy střední hodnoty (“testy správnosti“).....	30
3.1.3 Testy shody rozptylů .....	30
3.1.4 Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA1) .....	31
3.1.5 Dvoufaktorová analýza rozptylu bez opakování v cele .....	34
3.1.6 Clusterova analýza .....	36
3.1.7 Hierarchické postupy .....	36
3.1.8 Nehierarchické shlukovací postupy .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>4 ZKUŠEBNÍCH VZORKY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ</b> .....	<b>39</b>
4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	39
4.2 OZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	40
<b>5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ</b> .....	<b>43</b>



5.1	ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJ.....	43
5.2	NASTAVENÍ NULOVÉHO BODU A MĚŘENÍ TLOUŠTKY PROFILU.....	45
<b>6</b>	<b>STATISTICKÉ HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ TLOUŠTĚK PROFILŮ .....</b>	<b>48</b>
6.1	ROZPTYLOVÝ GRAF .....	48
6.2	BOX PLOT – KVARTILOVÝ GRAF .....	49
6.3	HISTOGRAM .....	50
6.4	GRAF ČASOVÝCH ŘAD MĚŘENÍ .....	52
6.5	NUMERICKÉ VYHODNOCENÍ .....	54
<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ .....</b>	<b>55</b>
7.1	ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJ.....	55
7.2	NASTAVENÍ NULOVÉHO BODU A MĚŘENÍ POVRCHU .....	55
<b>8</b>	<b>STATISTICKÉ HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ JAKOSTI POVRCHU.....</b>	<b>59</b>
8.1	BOX PLOT – KVARTILOVÝ GRAF .....	59
8.2	NUMERICKÉ VYHODNOCENÍ .....	59
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>67</b>

## ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou jakosti extrudovaných profilů z polymerních materiálů.

Cílem je zjištění tloušťek okenních profilů pomocí lineárního výškoměru a tvaru okenních profilů pomocí profiloměru. Měření provést na zkušebních vzorcích připravených rozřezáním dodaných profilů určených pro výrobu oken.

V závěru práce na základě naměřených dat statisticky vyhodnotit úchyly tvarů povrchů a tloušťek profilů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VÝROBY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ

## 1.1 Extruze (vytlačování)

Extruze neboli extrudování je postupné vytlačování tvarovatelných hmot. [1] Výrobní linka na vytlačování profilů se skládá ze šnekového vytlačovacího stroje, vytlačovací hlavy, z měřicího, kalibračního, chladicího, odtahovacího, dělicího a odkládacího zařízení. Nejčastěji se používají jednošnekové (Obr. 1) a dvoušnekové vytlačovací stroje. Profily se vyrábějí z PVC, PS a kopolymerů PMMA, PC, POM. [2]



Obr. 1 Jednošnekový extrudér [3]

Extrudovatelná suchá směs, mletý materiál nebo granulát jsou v extrudéru působením tepla převedeny na homogenní taveninu a tím plastikovány. Tavenina se následně vytlačuje tvarovacím nástrojem (formou) na výstupu extrudéru. Horký, měkký vytlačený profil je potom přetažen do podtlakového kalibračního zařízení. Pomocí vakua se dosud nestabilní profil přisaje na vnitřní stěny kalibrátoru, kde získá a udrží tvar. Profil se chladí permanentním proplachováním kalibrátoru studenou vodou. [1] Po kalibraci dochází k dalšímu ochlazování vzduchem nebo vodou na ochlazovací lince na teplotu, při níž je tvarová stálost profilu v mezích tolerance. Pak je zaručeno, že nedojde v dalších zařízeních výrobní vytlačovací linky k jeho nevratným deformacím. Následně profil najede do odtahovacího zařízení. Toto zařízení nastavuje a reguluje rychlost posuvu vytlačovaného profilu. K odtahování se používají řetězy, kotouče nebo článkové pásy. Každý článek je na pracovní ploše opatřen vrstvou pryže proti poškození vytlačovaného profilu. Po opatření ochrannou fólií a zaříznutí na požadovanou délku jsou hotové profily automaticky ukládány pomocí stohovače do boxu. [1, 2]

## 1.2 Koextruze

Vytlačování dvou rozdílných materiálů je označováno jako koextruze. Je to velmi technicky náročná operace pro barevné řešení plastových profilů. Finální produkt má špičkovou kvalitu. Koextruzí je možné zpracovávat například PVC a PMMA. Vysoce viskózní tavenina PVC a tavenina PMMA se spojují pomocí dvou extrudérů (Obr. 2) ve speciální koextruzní formě. Takto vzniká okenní profil s probarvenou krycí vrstvou PMMA, která je neoddělitelně spojena se základním tělesem z PVC. Vzniklý produkt odolává proti povětrnostním vlivům a proti poškrábání.



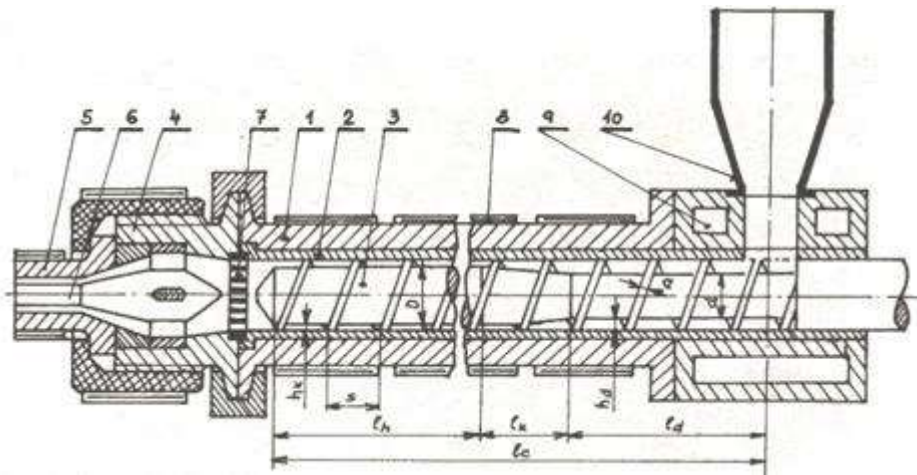
Obr. 2 Paralelní dvoušnekový extrudér [4]

Další aplikační možnosti výroby koextruzní technologií je současná výroba základního tělesa z neměkčeného PVC a těsnění z měkčeného PVC v jednom výrobním kroku. V neposlední řadě lze koextruzní technologii využít i při ekologické výrobě profilů z recyklovaného materiálu a nového PVC. [1]

## 1.3 Vytlačovací stroje

Pro vytlačování se používají tři různé konstrukce vytlačovacích strojů, a to stroje pístové, šnekové a diskové. Profily se vyrábějí na šnekových vytlačovacích strojích.

Jednošnekový vytlačovací stroj (Obr. 3) musí mít vysoký vytlačovací výkon úměrný otáčkám šneku a co nejméně závislý na protitlaku. Musí být zajištěna rovnoměrná doprava taveniny bez pulzací, vytlačování taveniny bez orientace a homogenní zamíchání polymeru se všemi přísadami. Z hlediska zpracování polymeru a kvality vytlačovaného výrobku je důležitá i místně a časově rovnoměrná teplota taveniny.



Obr. 3 Schéma jednošnekového vytlačovacího stroje [2]

1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava,  
5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chlazení, 10 – násypka

Ve vstupní části vytlačovacího stroje se granulovaný nebo aglomerovaný polymer zachycuje, přehřívá a za odplynění stlačuje. V kompresní části se ještě dále stlačuje, plastikuje a homogenizuje s přísadami. Ve výstupní části se homogenní tavenina vytlačuje pod tlakem kontinuálně do nástroje – vytlačovací hlavy. Ke zpracování plastů se používají jednošnekové a dvoušnekové vytlačovací stroje.

Šnek je nejdůležitější funkční částí vytlačovacího stroje. Velikost vytlačovacího stroje se určuje průměrem šneku  $D$  a účinnou délkou  $L$ . Délka se obvykle vztahuje k průměru poměrem  $L/D$ . Pro termoplasty je tento poměr roven nebo větší než 20. Nejčastěji jsou používány jednochodé šneky s úhlem stoupání  $17,7^\circ$ , což odpovídá stoupání závitů rovnému jednomu průměru. Šneky (Obr. 4) pro zpracování polymerů jsou charakterizovány tzv. kompresním poměrem, pro granuláty termoplastů bývá obvykle v rozmezí 1,8–4. [2]



Obr. 4 Šneky pro vytlačování plastů [2]

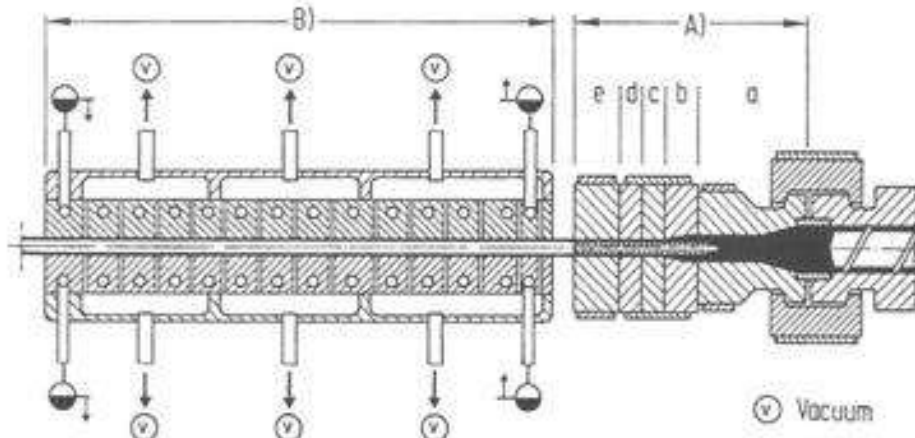


Obr. 5 Různé konstrukce šneků pro vytlačovací stroje [2]

Používají se různé konstrukce šneků (Obr. 5) podle druhu použitého polymeru. Zatím se nepodařilo zkonstruovat univerzální šnek, který by byl vhodný pro všechny termoplasty. Obvykle se upravuje poměr tří částí šneku tak, aby co nejlépe zpracovával použitý polymer – tlakový profil šneku. Konstruují se šneky bez nebo s odplyňovací zónou. V odplyňovací části se z taveniny odstraňují těkavé podíly a voda. Odplyňovací šnek je dlouhý kolem 25 až 35 D.

Důležitou součástí vytlačovacího stroje je také vytlačovací hlava. Tady získává dopravovaný materiál definitivní, ale nezafixovaný tvar. Profil hlavy musí zaručit pravidelný a trvalý tok taveniny. V hlavě nesmí existovat tzv. mrtvý prostor, kde by se materiál mohl zastavit, aby nedošlo k jeho degradaci vlivem dlouhého kontaktu s vyhřívaným tělem hlavy. Mezi konec šneku a vytlačovací hlavu se vkládá lamač. Je to děrovaná deska s otvory 3 až 8 mm pro dokonalou homogenizaci taveniny. Slouží i jako podpora pro čistící síta. Hlava je k válci šnekového vytlačovacího stroje připojena šrouby, bajonetovým nebo objímkovým uchycením nebo přírubovým uchycením se sklápěcími šrouby.

Hlavy jsou podle konstrukčního uspořádání rozděleny na hlavy přímé, nepřímé, širokoštěrbínové a speciální. Dále se mohou rozdělovat i podle druhu vyráběných výrobků. Pro vytlačování uzavřených nesymetrických profilů např. okenní profil (Obr. 7) se používají konstrukčně složitější hlavy přímé (Obr. 6). Hubice i trn jsou podstatně delší kvůli relaxaci napětí v tavenině.



Obr. 6 Přímá hlava na profily, A – nevytápěná část, B – vytápěná část, v – vakuum [2]



*Obr. 7 Okenní profil s více komorami [5]*



## 2 MĚŘENÍ TVARU A VZÁJEMNÉ POLOHY

Tvary součástí jsou tvořeny kombinací přímek, rádiusů, úhlů, atd. Mohou se měřit rozděleně nebo souhrnně:

- přímo – pomocí pevných měřidel, tvarových šablon a tvarových kalibrů
- nepřímo – přes kuličky, válečky nebo na projektorech

Stejně tak jako přesnost rozměrů a struktura povrchu má na správnou funkci součásti vliv i přesný tvar funkčních ploch. K předepsání správného geometrického tvaru se na výkrese používají geometrické tolerance. Ty určují přípustné odchylky skutečných tvarů a polohy. Předepisují se tehdy, je-li to podstatné s ohledem na funkci součásti.

### 2.1 Druhy geometrických tolerancí

Geometrické tolerance se dělí do několika skupin podle toho, co jimi máme kontrolovat:

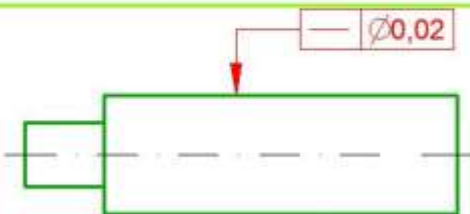
- tolerance tvaru
- tolerance směru
- tolerance polohy
- tolerance házení

### 2.2 Tolerance tvaru

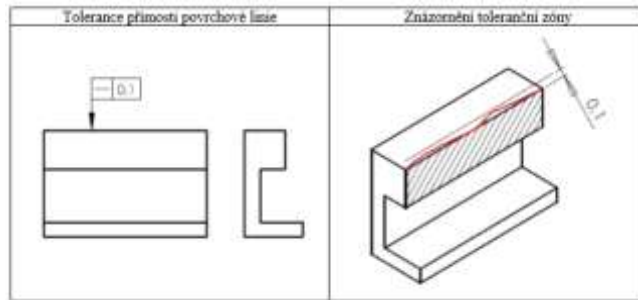
Tyto tolerance se měří pouze na jednom prvku či ploše a nevztahují se k žádnému dalšímu prvku. Jejich hodnota se uvádí pouze do rámečku se dvěma poli, tzn., že tyto tolerance nepotřebují ke svému zápisu základny. [6, 7]

#### 2.2.1 Tolerance přímosti a její měření

Toleranční zóna (Obr. 9) je vymezena dvěma rovnoběžnými přímkami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance přímosti  $t$ . Každá povrchová linie tolerovaného tělesa musí ležet mezi těmito rovnoběžnými přímkami. Tolerance (Obr. 8) se předepisuje jen zřídka. [7]

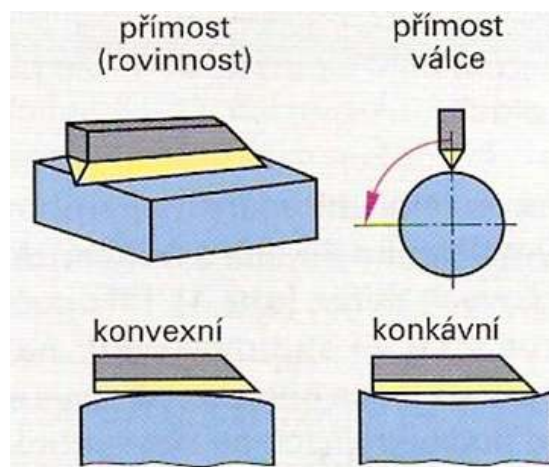
Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
—	Přímost		Osa válcové části dílu musí ležet uvnitř válce o průměru $t=0,02$

Obr. 8 Zápis přímosti na výkrese [7]



Obr. 9 Znázornění toleranční zóny [8]

K přezkušování přímosti (Obr. 10) se používají nožová pravítka (Obr. 11) nebo číselníkové úchylkoměry (Obr. 12).



Obr. 10 Kontrola přímosti [7]



Obr. 11 Nožové pravítko [9]



Obr. 12 Číselníkový úchylkoměr [10]

Nerovnosti větší jak 2 mm se při kontrole nožovým pravítkem pozorují průsvitem světla. Přímost válcové plochy lze také kontrolovat nožovým pravítkem přikládaným na válcovou plochu hřídele vodorovně s její osou rotace. U malých součástí se úchylka přímosti měří profilometrem (Obr. 13).



*Obr. 13 Profilometr [11]*

Přímost delších ploch se měří autokolimátorem (Obr. 14) nebo vodováhou nebo elektronickou libelou.



*Obr. 14 Autokolimátor Nikon [12]*

Přístroje se upevní na můstek, aby rozteče měřených bodů byly pevně definované. Můstek spočívá na dvou patkách, které mají tvar mezikruží. Při měření se posune vždy o jednu rozteč tak, aby na sebe navazovaly. V závislosti na délce kontrolované plochy se potom volí velikost rozteče.

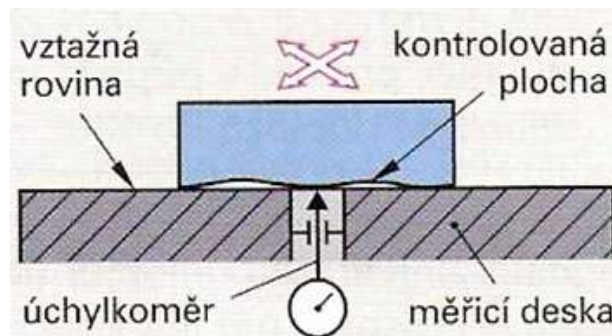
### 2.2.2 Tolerance rovinnosti a její měření

Při toleranci rovinnosti (Obr. 15) je toleranční prostor vymezený dvěma rovnoběžnými plochami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance  $t$  zapsanou na výkrese. Tolerovaný prvek se musí nacházet mezi těmito plochami.

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Rovinnost		Tolerovaná plocha musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance $t=0,02$

Obr. 15 Zápis rovinnosti na výkrese [7]

Rovinnost je možné kontrolovat více způsoby. Jedním způsobem je srovnávání rovinnosti s rovinou měřicí desky. Výrobek se položí měřenou plochou na měřicí desku s úchylkoměrem (Obr. 16) a při přesouvání desky přes dotyk úchylkoměru se vyhledávají největší nerovnosti. Vyhodnocení je velmi složité, vyžaduje počítač s programovým vybavením.



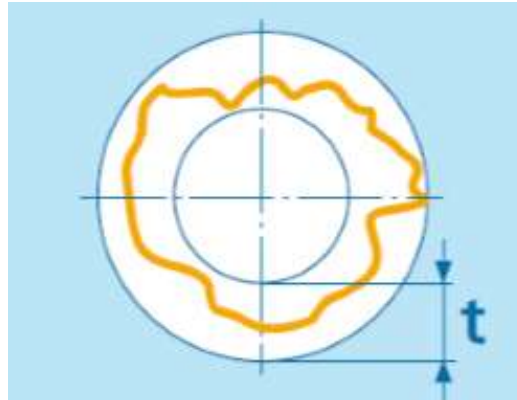
Obr. 16 Kontrola rovinnosti srovnáním s měřicí deskou [7]

Dále se může provádět kontrolou jakosti zaškrábaných ploch, vychází se z tzv. kontroly na barvu. Tuširovací barva se nanese na průměrnou desku a tak se přenese na kontrolovanou plochu, zde se vytvoří obraz zaškrábané plochy. [6, 7]

### 2.2.3 Tolerance kruhovitosti a její měření

Odchytky kruhovitosti na výrobcích mohou být způsobeny chvěním soustruhu nebo rzivostí brusného kotouče.

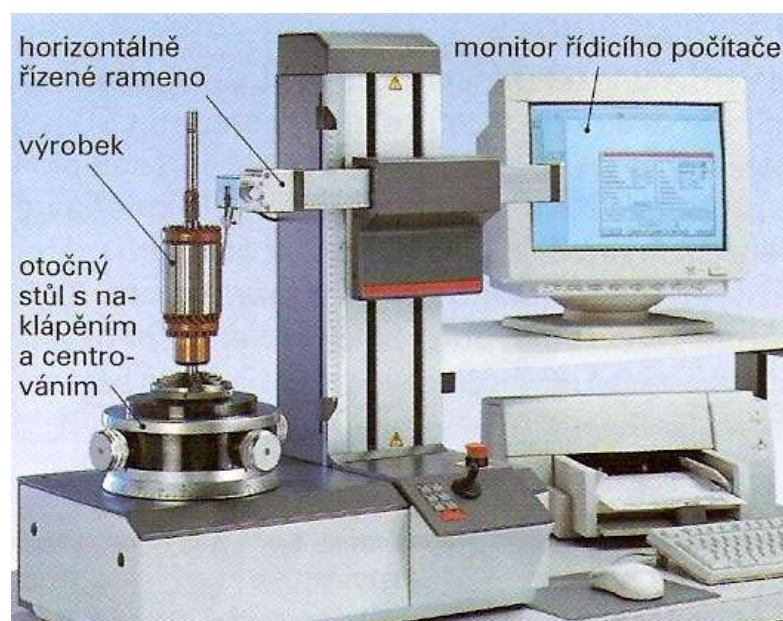
Toleranci kruhovitosti vymezují úchytky řezu rotačních ploch od kružnic. Toleranční zóna (Obr. 17) je ohraničena dvěma soustřednými kružnicemi. [7]

Obr. 17 Znázornění toleranční zóny  $t$  [8]

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
○	Kruhovitost		Obvodová čára každého řezu musí ležet v mezikruží šířky $t=0,04$

Obr. 18 Zápis kruhovitosti na výkrese [7]

Kruhovitost (Obr. 18) se měří v rovině kolmé k ose kontrolovaného prvku na souřadnicových měřicích strojích. Speciálně uzpůsobená souřadnicová měřidla, která měří rotační plochy, se nazývají kruhoměry (Obr. 19). Stroj má precizně uložený otočný stůl se sklíčidlem k upnutí měřeného dílu, měřicí dotykový systém, indukční dotykový snímač a řídicí počítač.

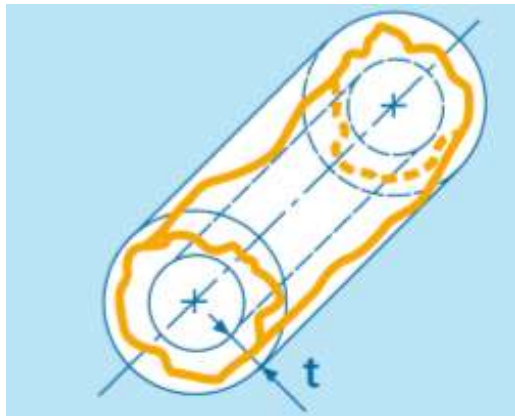


Obr. 19 Stroj na měření kruhovitosti [7]

Měřicí stroj snímá na měřeném obrobku během jedné otáčky až 3600 bodů povrchu. Snímaný profil obvodu se zobrazuje současně s měřením na obrazovce. Parametry ploch se měří s přesností 0,1 mm.

#### 2.2.4 Tolerance válcovitosti a její měření

Odchylka válcovitosti se vztahuje ke tvaru celé rotační válcové plochy. Může být kombinací kruhovitosti, přímosti a rovnoběžnosti. Toleranční zóna (Obr. 20) pro plášť válce je tvořena dvěma koaxiálními válci s radiálním odstupem  $t$ . [7]



Obr. 20 Znárodnění toleranční zóny  $t$  [8]


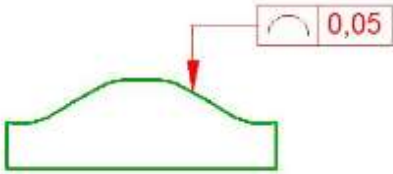
Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Válcovitost		Tolerovaná plocha musí ležet mezi dvěma sousými válcovými plochami s radiálním odstupem $t=0,02$

Obr. 21 Zápis válcovitosti na výkrese [7]

Měření válcovitosti (Obr. 21) na měřicím stroji se skládá z vyrovnání tělesa, změření profilu v mnoha rovinách a určení jejich středů a určení osy tolerovaného válce. K této ose najde počítač maximální a minimální válec opsaný všem sejmutým profilům. Povrch tolerovaného válce leží v prostoru, který vymezují tyto dva válce. Úchylku válcovitosti lze stanovit pouze pomocí měřicího přístroje. Jedná se o zdlouhavé a velmi nákladné měření. Proto se často uvádí jen pomocí dílčích složek (kruhovitosti, přímosti a rovnoběžnosti).

#### 2.2.5 Tolerance tvaru profilu a její měření


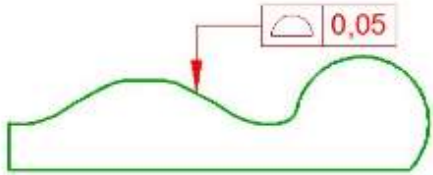
Tolerance profilů (Obr. 22) vymezují tvar hranice řezů nebo tvar trojrozměrné plochy (lopatka turbíny, profil křídla letadla). Může být tolerovaná celá plocha. Podle tvaru profilu se potom volí způsob měření.

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Tvar profilu		Skutečný profil měřené součásti musí ležet mezi dvěma křivkami vzdálenými od sebe o hodnotu $t=0,02$

Obr. 22 Zápis tvaru profilu na výkrese [7]

### 2.2.6 Tolerance tvaru plochy a její měření

Tolerovaná plocha (Obr. 23) na součásti musí ležet mezi dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance  $t$ , plochy musí být ekvidistantní ke kontrolované ploše.

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Tvar plochy		Skutečná plocha měřené součásti musí ležet mezi dvěma křivkami vzdálenými od sebe o hodnotu $t=0,05$

Obr. 23 Zápis tvaru plochy na výkrese [7]

## 2.3 Přístroje pro měření tvarů

Strojní součásti mají velké množství funkčních ploch, které mají předepsanou různou hodnotu geometrických tolerancí. Nelze proto přesně stanovit měřidla pro daný typ a přesnost měření. Podle důležitosti měřené hodnoty na součásti se volí vhodné měřidlo.

### 2.3.1 Šablony

Šablony se používají k měření tvaru pomocí průsvitu. Nelze s nimi zjistit přesnou číselnou hodnotu odchylky tvaru.

Nejčastěji se používají závitové, úhlové (Obr. 24) a rádiusové šablony (Obr. 25).



*Obr. 24 Úhlová šablona [7]*



*Obr. 25 Rádiusová šablona [7]*

### 2.3.2 Profilový projektor

Zvětšený obraz měřené součásti se promítá na stínítko nebo matnici přístroje. Používá se zvětšení 10x, 20x, 50x, 100x. Projektoř (Obr. 26) mohou mít průměr matnice až 1000 mm.



*Obr. 26 Profilprojektor [7]*



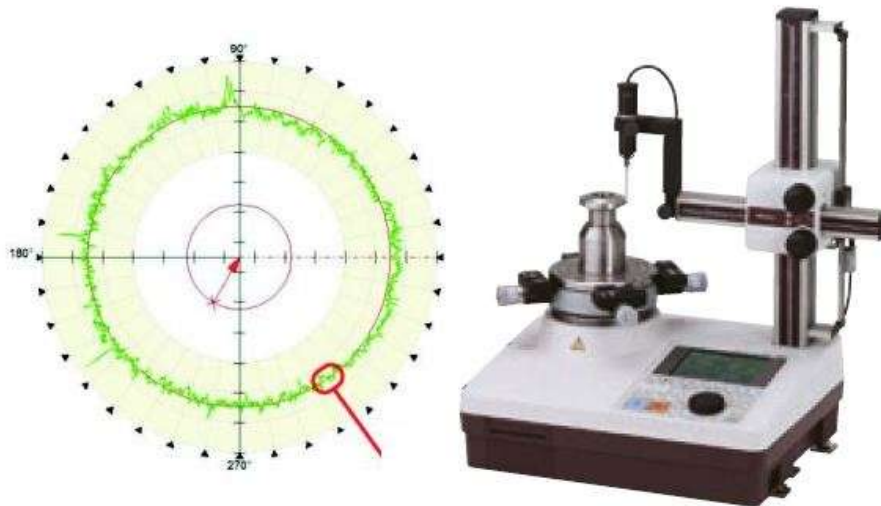
Obvykle se při měření používají dvě metody:

- obrys kontrolovaného prvku je na matnici porovnáván s nárysem měřeného prvku, který je zhotovený na průsvitné fólii,
- jednicové body zobrazeného profilu jsou proměřovány pomocí nitkového kříže a na měřítkách profilprojektoru se odečítají jejich souřadnice.

### 2.3.3 Kruhoměry

Kruhoměry se používají pro přesné měření kruhovitosti (Obr. 27). Jsou provedeny ve dvou variantách:

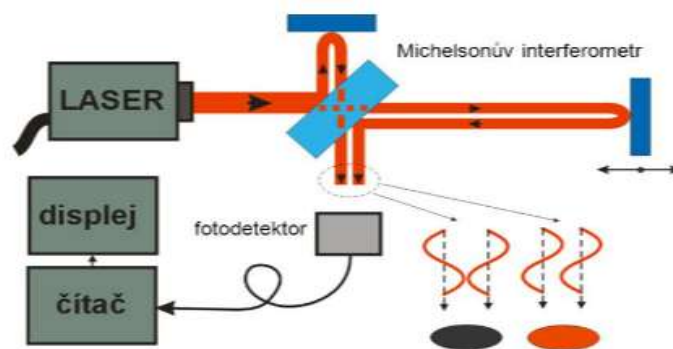
- kruhoměr s rotujícím stolem – je vhodný pro měření rotačních součástí.
- kruhoměr s rotujícím vřetenem – používá se pro měření velkých skříňových součástí s kruhovými otvory, které neleží v těžišti součásti.



Obr. 27 Grafický záznam kruhovitosti a kruhoměr [7]

### 2.3.4 Laserový interferometr

Laserový interferometr (Obr. 28) se používá k měření délek laserovým paprskem až do vzdálenosti 40 metrů, měří rychlost kolmost, přímost, rovinnost a úhlové odchylky.



Obr. 28 Schéma měření laserovým interferometrem [7]

### 2.3.5 Souřadnicové měřicí přístroje

Souřadnicové měřicí přístroje se používají k měření skříňových součástí, k měření lopatek turbín, ke kontrole ozubených kol a tvarově složitých součástí.

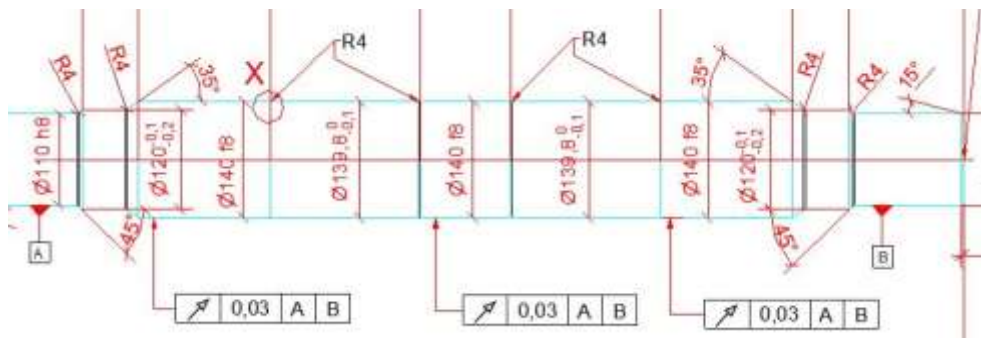
Podle uspořádání se dělí na:

- stojanové stroje,
- výložníkové stroje,
- portálové stroje,
- mostové stroje.

### 2.4 Měření vzájemné polohy a směru

Všechny tolerance polohy a směru jsou vztažné tolerance. Poloha tolerované části se vždy vztahuje k nějaké vztažné části nebo ose.

Při předepisování vztažných tolerancí se vždy musí na výkrese označit vztažná část. Používá se k tomu tzv. základen (Obr. 29). Ty jsou označeny velkými písmeny A, B, C, D, ... Písmeno, které označuje základnu, je spojeno se vztažnou částí odkazovou čarou a plným trojúhelníkem. [6, 7]



Obr. 29 Označení základen A, B na výkrese hřídele [7]

### 2.5 Tolerance polohy

Tolerance polohy jsou:


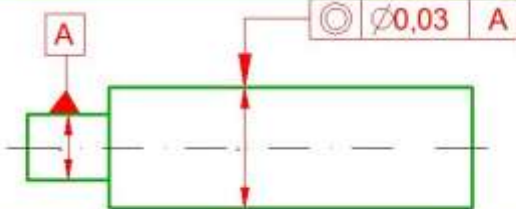
- souososti a soustřednosti,
- umístění,
- souměrnosti (symetrie)

### 2.5.1 Tolerance souososti a soustřednosti

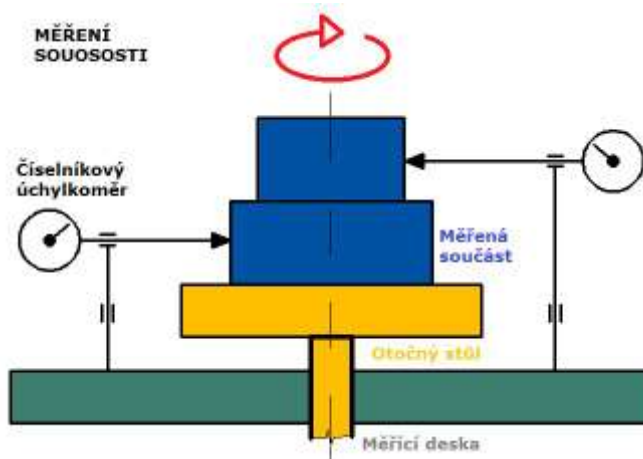
Nesouosost válcových ploch se může týkat hřídelů i děr, které mají odstupňované průměry. Při měření vnějších válcových ploch se výrobek vycentruje na otočném stole podle válcové plochy, která se považuje za vztažnou (označená velkým písmenem). Excentricita ostatních válcových ploch se pak měří na několika dalších válcových plochách a hledá se maximální úchylka. Nesouosost (excentricita) oproti referenční ose se určí z maximální a minimální úchylky.

Úchylku souososti se může přesně určit jen pomocí měřicího přístroje. Proto se často nejprve určí snadněji měřitelná házivost, porovná se s předepsanou tolerancí pro souosost (Obr. 30) a teprve když ji převyšuje, provádí se přesnější měření.

Při měření souososti (Obr. 31) se pro každý změřený profil vypočítá střed a úchylka od referenční osy tělesa. [7]

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Souosost		Osa tolerované části hřídele musí ležet uvnitř válce kolem vztažné osy s průměrem $t=0,03\text{mm}$

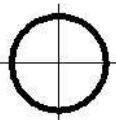
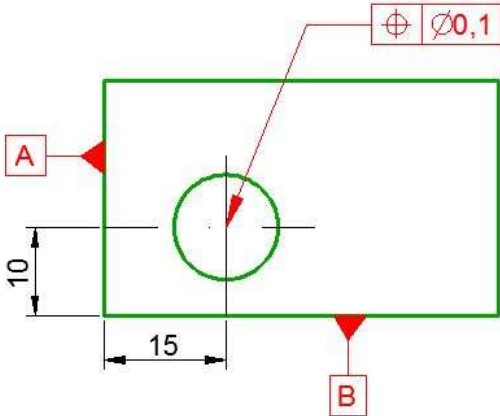
Obr. 30 Zápis tolerance souososti [7]



Obr. 31 Měření souososti [7]

### 2.5.2 Tolerance umístění

Tolerance umístění (Obr. 32) může vymezovat např. úchylku osy díry od správné pozice. V případě pozice má toleranční zóna kruhový tvar a v případě souososti tvar válečku. Její hodnota se označuje značkou průměru  $\oplus$ . Tato tolerance může udávat např. přesnou polohu vyvrtaných děr od okrajů součásti, proto se k této toleranci obvykle předepisuje větší počet vztažných základen. Nejčastěji se vyskytuje u součástí deskovitých tvarů s větším množstvím otvorů nebo jiných prvků.

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Umístění		Osa tolerované díry musí ležet uvnitř válcového tolerančního pole o průměru rovném toleranci umístění $t=0,1\text{mm}$

Obr. 32 Zápis tolerance umístění [7]

### 2.5.1 Tolerance souměrnosti

Tolerance souměrnosti (Obr. 33) se u strojních součástí nejčastěji používá na hřídelích, při toleranci drážky pro pero, konkrétně boků drážky, které musí být souměrné s osou hřídele. Toleranci souměrnosti lze použít u všech prvků, které jsou souměrné podle osy součásti. Měří se pouze na měřících souřadnicových strojích a zjištění přesné hodnoty je velmi náročné.

Grafický symbol	Tolerovaná vlastnost	Zadání na výkrese	Vysvětlení zadání
	Souměrnost		Rovina souměrnosti musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance $t=0,05\text{mm}$ a souměrně umístěnými vzhledem k základní rovině souměrnosti

Obr. 33 Zápis tolerance souměrnosti [7]

### 3 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ PROSTŘEDKY NUTNÉ PRO VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

#### 3.1 Statistické testování

Uvedeme obecný postup statistického testování.

##### 3.1.1 Postup testování statistické hypotézy

1. Formulace nulové hypotézy  $H_0$  a alternativní hypotézy  $H_A$ .
2. Volba hladiny významnosti  $\alpha$ .
3. Volba testační statistiky, např.  $t$ .
4. Určení kritického oboru testové charakteristiky.
5. Vyčíslení testační statistiky a jejích kvantilů.
6. Rozhodnutí, zda
  - a) zamítnout hypotézu  $H_0$  a přijmout  $H_A$ , jestliže testační statistika padne do kritického oboru,
  - b) nezamítnout hypotézu  $H_0$ , jestliže testační statistika nepadne do kritického oboru. [13, s. 147]

Výsledek testování:

- a) Zamítnutí hypotézy  $H_0$  neznamena, že testovaná nulová hypotéza *neplatí*, ale znamená, že její platnosti nevěříme, protože výsledek testu poskytl objektivní důvod nevěřit. V dalším postupu pak budeme uvažovat, že  $H_0$  neplatí a  $H_A$  platí.
- b) Nezamítneme-li hypotézu  $H_0$ , neznamena to její přijetí. Výsledek testu neukázal tak velkou neshodu mezi zjištěnou skutečností a testovanou hypotézou, která by dala dostatečný důvod k zamítnutí hypotézy.

Dva případy chybného rozhodnutí při testování:

- a) Testační statistika (1) padne mimo obor přijetí nulové hypotézy oboru  $O_p$ , tj. mimo interval

$$u_{\alpha/2} \leq u_s \leq u_{1-\alpha/2}, \quad (1)$$

a hypotéza  $H_0$  přitom platí. Platí-li  $H_0$ , je pravděpodobnost padnutí  $u_s$  mimo obor  $O_p$  rovna právě hladině významnosti  $\alpha$ . Velikost  $\alpha$  určuje velikost *chyby I. druhu*, tj. nesprávného zamítnutí správné nulové hypotézy  $H_0$ .

- b) Testační statistika (2) padne do oboru  $O_p$ , tj. mimo interval

$$u_s < u_{\alpha/2}, \quad \text{resp.} \quad u_s > u_{1-\alpha/2}. \quad (2)$$

A přitom platí alternativní hypotéza  $H_A$ . Pravděpodobnost, že  $u_s$  padne do oboru přijetí  $O_p$ , i když  $H_0$  neplatí, představuje velikost *chyby II. Druhu*,  $\beta$ .

### 3.1.2 Testy střední hodnoty (“testy správnosti“)

- a) **100 (1 – α)% interval spolehlivosti.** Vypočteme intervalový odhad parametru  $\mu$  (tj. polohy či rozptýlení). Padne-li zadaná hodnota  $\mu_0$  parametru  $\mu$  do tohoto intervalu, nezamítá se hypotéza  $H_0: \mu = \mu_0$ . Padne  $\mu_0$  mimo interval, zamítá se  $H_0$ .
- b) **Studentův t-test.** Ze základního souboru s rozdělením  $N(\mu, \sigma^2)$  provedeme náhodný výběr rozsahu  $n$  a vypočteme výběrový průměr  $\bar{x}$  a směrodatnou odchylku  $s$ , jako testovou statistiku zvolíme náhodnou veličinu (3)

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n} . \quad (3)$$

Kritické obory testů polohy hypotézy  $H_0: \mu = \mu_0$  proti různým alternativám  $H_A$  pro hladinu významnosti  $\alpha$  jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1). Hraniční body kritického oboru představují 100α% kvantily známých rozdělení. Místo formálního testování, zda jsou tyto kvantily větší než testové statistiky, je možné přímo vyčíslit velikost pravděpodobnosti  $(1 - \alpha)$  (u oboustranného testu  $(1 - \alpha/2)$ ).

Tab. 1 Tabulka kritických oborů testů polohy hypotézy  $H_0$  [13]

Nulová hypotéza $H_0$	Alternativní hypotéza $H_A$	Testační charakteristika	Kritický obor
$\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$t = (x - \mu_0) \sqrt{n} / s$	$t \geq t_{(1-\alpha)}(n-1)$
	$\mu < \mu_0$		$t < t_{\alpha}(n-1)$
	$\mu \neq \mu_0$		$ t  \geq t_{(1-\alpha/2)}(n-1)$

[13, s. 148]

### 3.1.3 Testy shody rozptylů

- a) **Klasický F-test.** Umožňuje ověření nulové hypotézy  $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$  proti alternativní  $H_A: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ . Vychází se z předpokladu, že oba výběry jsou nezávislé a pocházejí z normálního rozdělení. Testovací kritérium má tvar (4)  
[13, s. 149]

$$F = \max \left( \frac{s_x^2}{s_y^2}, \frac{s_y^2}{s_x^2} \right) . \quad (4)$$

Platí hypotéza  $H_0$  a  $s_x^2 > s_y^2$ , má  $F$  kritérium  $F$ -rozdělení s  $v_1 = n_1 - 1$  a  $v_2 = n_2 - 1$  stupni volnosti. V opačném případě se pořadí stupňů volnosti zamění. Je-li  $F > F_{1-\alpha}(v_1, v_2)$ , je nulová hypotéza  $H_0$  o shodnosti rozptylů zamítnuta. [13, s. 150]

- b) **Klasický Studentův t-test  $T_2$  pro různé rozptyly.** Pro  $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$  a vykazují-li obě rozdělení Gaussovo rozdělení, má testovací kritérium tvar (5)

$$T_2 = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}}} . \quad (5)$$

Platí hypotéza  $H_0$ , má tato testová statistika Studentovo rozdělení s “ekvivalentními“ stupni volnosti  $\nu$  (6)

$$\nu = \frac{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}}{\frac{s_x^4}{n_1^2(n_1 - 1)} + \frac{s_y^4}{n_2^2(n_2 - 1)}} . \quad (6)$$

Platí, že  $T_2 > t_{1-\alpha/2}(\nu)$ , je hypotéza  $H_0$  o shodě středních hodnot na hladině významnosti  $\alpha$  zamítnuta.

Testovací kritérium  $T_1$  není robustní heteroskedasticitě, tj. případu, kdy data jsou výběrem měřena s různou přesností. V této situaci je správnější užít testovacího kritéria  $T_2$ , které je vůči heteroskedasticitě robustnější. Na druhé straně však ekvivalentní stupně volnosti  $\nu$  vycházejí menší než  $n_1 + n_2 - 2$ , takže síla testu  $T_2$  je nižší než síla  $T_1$ . [13, s. 150]

### 3.1.4 Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA1)

**Formulace modelu:** sleduje se faktor  $A$  na  $K$  různých úrovních  $A_1, \dots, A_k$ . Na každé úrovni  $A_i$  je provedeno  $n_i$  měření  $\{y_{ij}\}, j = 1, \dots, n_i$ . Model analýzy rozptylu má tvar (7)

$$y_{ij} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad j = 1, \dots, n_i, \quad \text{kde} \quad \mu_{ij} = \mu + \alpha_i \quad (7)$$

[13, s. 353]

a  $\alpha_i$  je *efekt  $i$ -té úrovně*. Parametry  $\mu_i$ ,  $\mu$  a  $\alpha_i$  se odhadují pomocí odpovídajících výběrových průměrů. *Celkový počet měření je*

$$N = \sum_{i=1}^K n_i . \quad (8)$$

*Sloupcový průměr  $\hat{\mu}_i$  (9) představuje součet hodnot opakovaného měření  $y_{ij}$  pro úroveň  $A_i$ , dělený počtem opakování  $n_i$ , dělený celkovým počtem dat  $N$*

$$\hat{\mu}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \quad (9)$$

*Celkový průměr* (10) je součet všech hodnot  $y_{ij}$  dělený celkovým počtem dat  $N$ , který je roven průměru  $K$  sloupcových průměrů

$$\hat{\mu} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \hat{\mu}_i \quad (10)$$

Pro výpočet odhadu  $i$ -tého efektu  $\alpha_i$  lze použít vztah (11)

$$\hat{\alpha}_i = \hat{\mu}_i - \hat{\mu} . \quad (11)$$

Zavedením efektů vznikne přeurečený model, obsahující o jeden parametr více. Proto se při odhadu efektů používá omezující podmínka (12)

$$\sum_{i=1}^K n_i \alpha_i = 0 \quad (12)$$

a pro vyvážené experimenty (13)

$$\sum_{i=1}^K \alpha_i = 0 \quad (13)$$

Klasická jednofaktorová analýza rozptylu pořadí dat porovnává střední hodnoty dvou či více úrovní faktoru  $A$  čili sloupců v matici dat za účelem určit, zda alespoň jedna sloupcová střední hodnota se liší od ostatních. Statistická významnost je testována  $F$ -testem tak, že nulová hypotéza  $H_0$  říká “*Všechny střední hodnoty jsou stejné*“ proti alternativní  $H_A$  “*Alespoň jedna střední hodnota se odlišuje od ostatních*“.

**Základní předpoklady jednofaktorové analýzy rozptylu dat.** Před použitím analýzy rozptylu musí být ověřeny následující předpoklady o výběru:

1. Data mají normální rozdělení: náhodné chyby  $\varepsilon_{ij}$  jsou náhodné veličiny s normálním rozdělením a střední hodnotou chyb rovnou nule  $N(0, \sigma^2)$ .
2. Rozptyly sloupcových výběrů  $\sigma^2$  jsou stejné (homoskedasticita).
3. Každý sloupec je prostým náhodným výběrem za svého souboru: každý prvek souboru má stejnou pravděpodobnost, že bude vybrán do výběru. [13, s. 354]



**Testování:** součet čtverců odchylek od celkového průměru  $\hat{\mu}$ , definovaný vztahem (14)

$$S_c = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{\mu})^2, \quad (14)$$

lze rozložit na dvě složky (15)

$$S_c = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} [(y_{ij} - \hat{\mu}_i) + (\hat{\mu}_i - \hat{\mu})]^2 = S_A + S_R, \quad (15)$$

kde  $S_A$  (16) představuje rozptyl mezi jednotlivými úrovněmi daného faktoru

$$S_A = \sum_{i=1}^K n_i (\hat{\mu}_i - \hat{\mu})^2 \quad (16)$$

a  $S_R$  představuje rozptyl reziduální (17) tj. uvnitř jednotlivých úrovní,

$$S_R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{\mu}_i)^2. \quad (17)$$

Nevychýleným odhadem rozptylu chyb  $\sigma_e^2$  je průměrný reziduální čtverec  $MS_R$  dle (18)

$$MS_R = \frac{S_R}{N - K} = \hat{\sigma}_e^2. \quad (18)$$

Cílem jednofaktorové analýzy je především testování, zda jsou efekty  $\alpha_i$  nulové, tedy zda jednotlivé úrovně daného faktoru jsou statisticky nevýznamně odlišné. Testuje se nulová hypotéza  $H_0: \alpha_i = 0, i = 1, \dots, K$ , proti alternativní  $H_A: \alpha_i \neq 0, i = 1, \dots, K$ . Při testování se využívá faktu, že veličina  $S_A / \sigma_e^2$  má  $\chi^2$ -rozdělení s  $(K - 1)$  stupni volnosti a veličina  $S_R / \sigma_e^2$  má nezávislé  $\chi^2$ -rozdělení s  $(N - K)$  stupni volnosti. Jejich podíl má pak  $F$ -rozdělení s  $(K - 1)$  a  $(N - K)$  stupni volnosti. Testační statistika  $F_e$  má tvar (19)

$$F_e = \frac{MS_A}{MS_R} = \frac{S_A (N - K)}{S_R (K - 1)}. \quad (19)$$

Při platnosti nulové hypotézy  $H_0$  má  $F_e$  statistika  $F$ -rozdělení s  $(K - 1)$  a  $(N - K)$  stupni volnosti. Vyjde-li  $F_e$  větší než kvantil  $F_{1-\alpha}(K - 1, N - K)$ , je nutné nulovou hypotézu  $H_0$  na hladině významnosti  $\alpha$  zamítnout a efekty považovat za nenulové, čili statisticky významné. [13, s. 355]

### 3.1.5 Dvufaktorová analýza rozptylu bez opakování v cele

Při dvufaktorové analýze rozptylu se provádí experimenty na různých úrovních dvou faktorů  $A$  a  $B$ . Kombinace úrovní faktorů tvoří typickou mřížkovou strukturu, jejímž elementem je tzv. *cela*. Platí, že  $(i, j)$ -tá cela odpovídá kombinaci úrovně  $A_i$  faktoru  $A$  a  $B_j$  faktoru  $B$ . V každé cele je obecně  $n_{ij}$  pozorování. Často se však setkáváme s případem *bez opakování*, kdy v každé cele je pouze jediné pozorování,  $n_{ij} = 1$ . Kromě řádkových  $\alpha_i$  a sloupcových  $\beta_j$  efektů se zde vyskytuje také interakční člen  $\tau_{ij}$ . Tento člen je důsledkem různých kombinací sloupcových a řádkových efektů.

Obvykle se užívá *Tukeyův model interakce*, vyjádřený tvarem  $\tau_{ij} = C \alpha_i \beta_j$ , kde  $C$  je konstanta. U těchto modelů obsahuje každá cela právě jednu hodnotu  $y_{ij}$ . O chybách  $\varepsilon_{ij}$  se předpokládá, že jsou to nezávislé a stejně rozdělené náhodné veličiny s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem. K testování se navíc předpokládá, že rozdělení chyb je normální. Definují se omezující podmínky (20)

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 0; \quad \sum_{j=1}^M \beta_j = 0; \quad \sum_{i=1}^N \tau_{ij} = 0; \quad \sum_{j=1}^M \tau_{ij} = 0 \quad (20)$$

V případě pouze aditivního působení jednotlivých faktorů je  $\tau_{ij} = 0$  pro všechna  $i = 1, \dots, N$  a  $j = 1, \dots, M$ . Odhady parametrů  $\mu$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_j$  lze pak určit ze vztahů (21)

$$\hat{\mu} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij}, \quad \hat{\alpha}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_{ij} - \hat{\mu}, \quad \hat{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{ij} - \hat{\mu} \quad (21)$$

Pro rezidua  $\hat{\varepsilon}_{ij}$  platí  $\hat{\varepsilon}_{ij} = y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j$ . K určení interakce můžeme využít skutečnosti, že  $\tau_{ij} = E(y_{ij}) - \mu - \alpha_i - \beta_j$  a pro odhad interakcí platí přibližně  $\hat{\tau}_{ij} \approx \hat{\varepsilon}_{ij}$ .

Pak lze snadno identifikovat *Tukeyův model* interakce. Platí-li tento model, vyjde na grafu  $\hat{\varepsilon}_{ij}$  vs.  $\hat{\alpha}_i \hat{\beta}_j$  lineární trend. Ze směrnice odpovídající regresní přímky se odhadne parametr  $C$ . Platí pro něj výraz (22):  
[13, s. 368]

$$\hat{C} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\varepsilon}_{ij} \hat{\alpha}_i \hat{\beta}_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\alpha}_i^2 \hat{\beta}_j^2} \quad (22)$$

Graf  $\hat{\varepsilon}_{ij}$  vs.  $\hat{\alpha}_i \hat{\beta}_j / \hat{\mu}$  se označuje jako graf *neaktivity*. Pokud vyjde v tomto grafu náhodný trend, znamená to, že je třeba uvažovat interakce.

Tab. 2 Analýza rozptylu pro dvojné třídění s interakcí Tukeyova typu [13]

Součet čtverců pro	Stupně volnosti	Průměrný čtverec	Kritérium $F$
Faktor $A$ , $S_A = M \sum_{i=1}^N \alpha_i^2$	$N - 1$	$M_A = S_A / (N - 1)$	$F_A = M_A / M_{AB}$
Faktor $B$ , $S_B = N \sum_{j=1}^M \beta_j^2$	$M - 1$	$M_B = S_B / (M - 1)$	$F_B = M_B / M_{AB}$
Interakce (Tukey)	$I$	$M_T = S_T$	$F_T = M_T / M_E$
Reziduální, $S_E = S_{tot} - S_T$	$NM - N - M$	$M_E = S_E / (NM - N - M)$	-
Celkový, $S_C = \sum_{(i)} \sum_{(j)} (\hat{\mu} - y_{ij})^2$	$NM - 1$	-	-

V tabulce představuje  $S_T$  součet čtverců odchylek odpovídající Tukeyově interakci (23)

$$S_T = \frac{\left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij} \hat{\alpha}_i \hat{\beta}_j \right)^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\alpha}_i^2 \hat{\beta}_j^2} \quad (23)$$

Symbol  $S_{AB}$  (24) označuje reziduální součet čtverců pro případ bez interakcí

$$S_{AB} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j)^2 \quad (24)$$

Odpovídající průměrný čtverec je (25)

$$M_{AB} = \frac{S_{AB}}{(N - 1)(M - 1)} \quad (25)$$

Hodnota  $M_{AB}$  je nevychýleným odhadem rozptylu  $\sigma^2$ . Pomocí  $F$ -kritéria lze opět provádět statistické testy. Začíná se testováním nulové hypotézy  $H_0$ : "Tukeyova interakce je nevýznamná", pro kterou lze použít testační statistiku  $F_T$ . Za předpokladu platnosti nulové hypotézy  $H_0$  má tato testační statistika  $F$ -rozdělení s 1 a  $(NM - N - M)$  stupni volnosti. Pokud nelze tuto hypotézu zamítnout, testuje se nulová hypotéza  $H_0$ :  $\alpha_i = 0$ ,  $i = 1, \dots, N$ , (efekty řádků čili faktoru  $A$  jsou nevýznamné) potom statistiky  $F_A$  nebo nulová hypotéza  $H_0$ :  $\beta_j = 0$ ,  $j = 1, \dots, M$  (efekty sloupců čili faktoru  $B$  jsou nevýznamné) pomocí statistiky  $F_B$ . Obě tyto testační statistiky jsou uvedeny v tabulce. Za předpokladu platnosti hypotézy  $H_0$  má statistika  $F_A$  Fisherovo–Snedecorovo  $F$ -rozdělení s  $(N - 1)$  a  $(N - 1)(M - 1)$  stupni volnosti a statistika  $F_B$  také  $F$ -rozdělení, je efekt Tukeyovy interakce významný. [13, s. 369]

### 3.1.6 Clusterova analýza

Clusterova analýza (analýza shluků) je metoda, která se zabývá vyšetřováním podobnosti vícerozměrných objektů (objekty se změřeným větším množstvím proměnných) a jejich klasifikaci do tříd – shluků. Tato metoda se uplatňuje tam, kde objekty projevují přirozenou tendenci se seskupovat. Dělí se podle způsobu shlukování na hierarchické a nehierarchické. Hierarchické postupy se ještě dělí na aglomerativní a divizní. [13]

### 3.1.7 Hierarchické postupy

Jsou založeny na postupném spojování objektů a jejich shluků do dalších, větších shluků. Nejdříve se vypočte základní matice vzdálenosti mezi objekty. U aglomerativního shlukování se dva objekty, které mají nejmenší vzdálenost, spojí do prvního shluku. Vypočte se nová matice vzdálenosti, kde jsou vynechány objekty prvního shluku a naopak tento shluk je zařazen jako celek. Tento postup se opakuje tak dlouho, dokud všechny objekty netvoří jeden velký shluk nebo dokud nezůstane určitý, předem zadaný počet shluků. Divizní postup je zcela obrácený. Zde se vychází z množiny všech objektů jako jediného shluku a jeho postupným dělením se získá systém shluků, až se skončí ve stádiu jednotlivých objektů. Při hierarchických metodách je výhodou, že není potřeba informace o optimálním počtu shluků v procesu shlukování. Tento počet se určuje dodatečně. Při shlukování vznikají dva problémy, a to:

- způsob, jak měřit vzdálenost mezi objekty. Nejčastěji se používá euklidovská metrika, jež je přirozeným zobecněním běžného pojmu vzdálenosti;
- volba vhodné shlukovací procedury podle zvoleného způsobu metriky.

Mezi metody shlukování patří:

- Metoda průměrová (Average): zde se vzdálenost dvou shluků počítá jako průměr z možných mezishlukových vzdáleností dvou objektů. Mezishlukovou vzdáleností objektů se rozumí vzdálenost dvou objektů, přičemž každý z nich patří do jiného shluku. Nejbližší jsou shluky, které mají nejmenší průměrnou vzdálenost mezi všemi objekty jednoho shluku a všemi objekty druhého shluku.
- Metoda centroidní (Centroid): vzdálenost shluků se tady počítá jako euklidovská vzdálenost jejich těžišť. Nejbližší jsou shluky, které mají nejmenší vzdálenost mezi těžišti.
- Metoda nejbližšího souseda (single, Nearest): zde je kritériem pro vytváření shluků minimum z možných mezishlukových vzdáleností objektů. Metoda tvoří nový shluk na základě nejkratší vzdálenosti mezi shluky nebo objekty. Neumí tedy rozlišit špatně separované shluky. V této metodě je silná tendence k tvorbě řetězců. Jsou-li objekty na opačných koncích řetězce zcela nepodobné, může vést řetězování až ke zcela mylným závěrům. Na druhé straně je však tato metoda jako jedna z mála, která umí roztrždit a rozlišit i neeliptické shluky.
- Metoda nejvzdálenějšího souseda (Complete, Furthest): počítá se vzdálenost dvou shluků jako maximum z možných mezishlukových vzdáleností objektů. Probíhá podobně jako Single metoda, však s jednou důležitou výjimkou: vzdálenost (či nepodobnost) mezi shluky je určována vzdáleností (či nepodobností) mezi dvěma nejvzdálenějšími objekty, z nichž každý je z jiného shluku. Všechny jsou proto klasifikovány na základě maximální vzdálenosti nebo minimální podobnosti vůči objektům ve druhém shluku.
- Metoda mediánová (Median): tady se jedná o jisté vylepšení centroidní metody, neboť se snaží odstranit rozdílné "váhy", jež centroidní metoda dává různě velkým shlukům.

- Wardova metoda: je založena na minimalizaci ztráty informace, ke které dojde při spojení dvou tříd. V každém kroku se zde uvažuje o takovém možném páru objektů (či shluků), aby suma čtverců odchylek od střední hodnoty  $ESS = \sum_{i \in I} (x_i - \bar{x})^2$  dosáhla při vzniku shluku svého minima. [14]

### 3.1.8 Nehierarchické shlukovací postupy

U metody typických bodů (Seeded) určí uživatel na základě svých znalostí, které objekty mají být „typickými“ představiteli nově vytvořených shluků. Systém rozdělí objekty do shluků podle jejich euklidovské vzdálenosti od těchto typických objektů. V těchto metodách je obvykle počet shluků předem dán, může se však v průběhu výpočtu měnit. V případě, že zůstává počet shluků zachován, jedná se o nehierarchické metody s konstantním počtem shluků, v opačném případě s optimalizovaným počtem shluků.

Optimalizační nehierarchické metody zahrnují dvě varianty: optimalizační metody a analýzu módů, medoidů.

- Optimalizační metody hledají optimální rozklad přeřazování objektů ze shluku do shluku, jehož cílem je minimalizovat nebo maximalizovat nějakou charakteristiku rozkladu.
- Metody, které jsou označovány jako analýza módů, medoidů, představují hledání rozkladu do shluků. Jako shluky jsou chápána místa se zvýšenou koncentrací objektů v m-rozměrném prostoru proměnných.

V některých případech může být místo výchozí matice vzdálenosti použita ke shlukování i korelační matice. [14]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ZKUŠEBNÍCH VZORKY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ

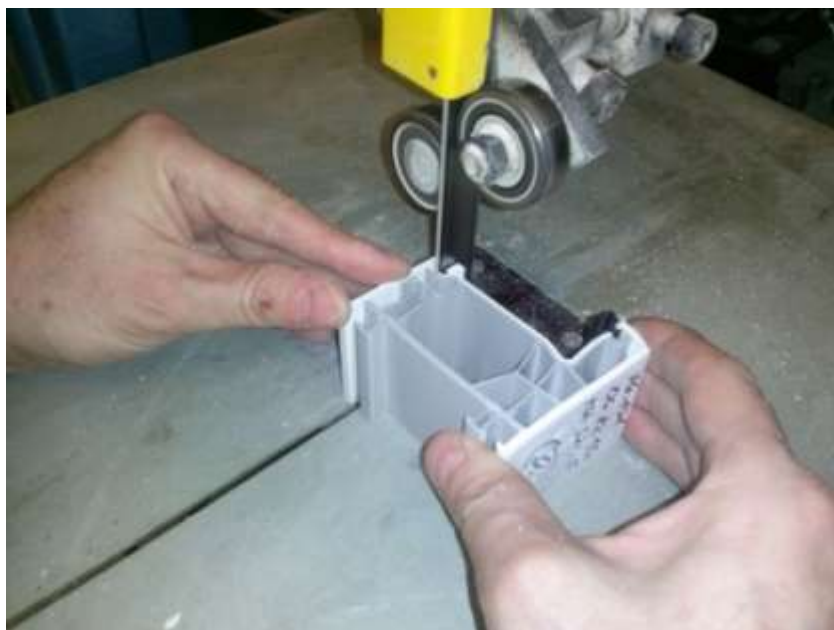
### 4.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro tuto diplomovou práci byly jako zkušební vzorky použity profily okenních křídel a okenních ráků (Obr. 34).

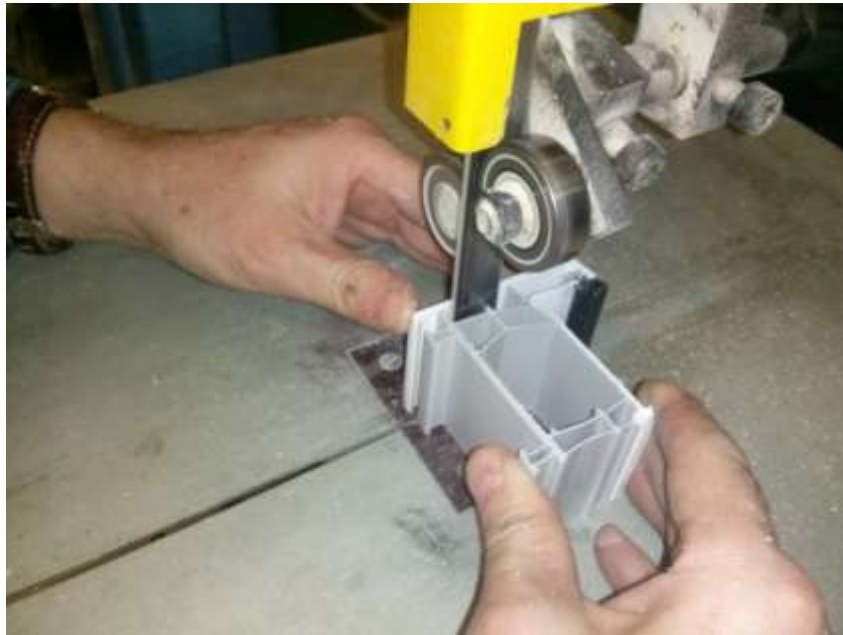


*Obr. 34 Půdorys okenního ráku*

Zkušební vzorky vznikly rozříznutím profilů na pásové pile. K měření byly použity vždy dvě části profilu a to vnitřní (interiérové) a vnější (exteriérové) svislé plochy (Obr. 35 a 36).



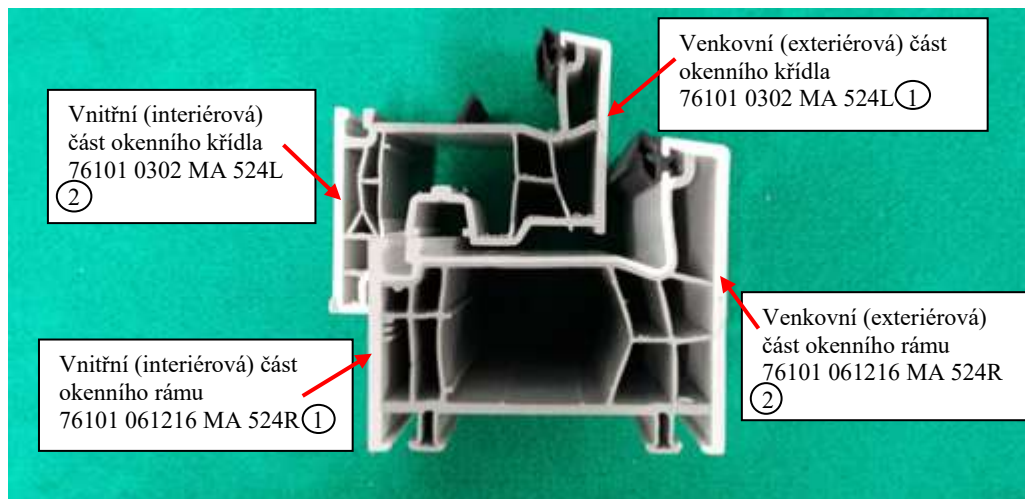
*Obr. 35 Řezání vnitřní (interiérové) svislé části okenního ráku na pásové pile*



Obr. 36 Řezání vnější (exteriérové) svislé části okenního rámu na pásové pile

## 4.2 Označení zkušebních vzorků

Na obrázku č. 37 je okenní rám s křídlem před rozřezáním. Jsou zde označeny svislé části, které po následném odřezání slouží jako zkušební vzorky.



Obr. 37 Okenní rám s křídlem včetně označení



Řezáním bylo připraveno celkem 37 dvojic zkušebních vzorků (červené označení 1–37). Zkušební vzorky s červeně označenými pořadovými čísly 1–22 jsou vzorky okenních křídel – celkem 22 dvojic a vzorky s červeně označenými pořadovými čísly 23–37 jsou vzorky okenních rámu – celkem 15 dvojic vzorků (Obr. 38).



Obr. 38 Označené zkušební vzorky nachystané pro měření

Vzorky okenních křídel (Obr. 39) byly označeny 76101 0302 MA 524L. Zkušební vzorek s černým označením 1. v kroužku vznikl odříznutím svislé plochy interiérové části okenního křídla a zkušební vzorek s černým označením 2. v kroužku vznikl odříznutím svislé plochy exteriérové části okenního křídla.



Obr. 39 Označení dvojice zkušebních vzorků okenního křídla

Vzorky okenních ráků (Obr. 40) byly označeny 76101 061216 MA 524R. Zkušební vzorek s černým označením 1. v kroužku vznikl odříznutím svislé plochy exteriérové části okenního ráku a zkušební vzorek s označením 2. v kroužku vznikl odříznutím svislé plochy interiérové části okenního ráku.



*Obr. 40 Označení dvojice zkušebních vzorků okenního ráku*

## 5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ

### 5.1 Zkušební přístroj

Pro měření zkušebních vzorků byl použit zkušební měřicí přístroj – lineární výškoměr „*Linear Height*“ LH – 600 B, od výrobce Mitutoyo (Obr. 41).

Hlavní komponenty tohoto přístroje tvoří podstavec se vzduchovým ložiskem, které umožňuje nadnášení nebo částečné nadnášení přístroje po průměrné desce. Díky tomu lze přístrojem snadno a lehce pohybovat.



Obr. 41 Lineární výškoměr „*Linear Height*“ LH – 600 B

Dále je to rukojeť se spínačem nadnášení. Za tuto rukojeť pohybuje obsluha přístrojem na průměrné podkladové desce při měření nebo při změně stanoviště, a to se stisknutým spínačem nadnášení. Tento spínač přivádí k vzduchovému ložisku vzduch. Rukojeť je ukončena jednotkou na zpracování dat s LCD obrazovkou a tlačítkovým ovládacím panelem (Obr. 42). Jednotka na zpracování dat nabízí četné měřicí a početní funkce.



*Obr. 42 Tlačítkový ovládací panel lineárního výškoměru*

Vysoké rameno přístroje je opatřeno saněmi, na které je možné pomocí upínacích knoflíků upevnit dotykovou hlavu. Saně vykonávají automaticky (nebo i ručně) pohyb nahoru a dolů díky pomocnému závaží a speciálnímu zařízení pro pohyb. V horní a dolní části saní jsou dva otvory pro možnost upevnění dotykové hlavy. Při měření zkušebních vzorků byla dotyková hlava upevněna v dolním montážním otvoru (Obr. 43).



*Obr. 43 Saně s dotykovou hlavou*

Na špičce dotykové hlavy se nachází kulička z karbidu wolframu o průměru 10 mm.

Vysoká přesnost měření byla zajištěna umístěním zkušebního přístroje na stabilním pracovním stole v klimatizované místnosti, na místě s minimálními vibracemi.

Lineární výškoměr se pohybuje na vzduchových ložiskách. Pro naměření přesných hodnot je třeba, aby byl zkušební měřicí přístroj umístěn na průměrné desce, jejíž povrch je dokonale rovný. V opačném případě by mohlo dojít k ovlivnění vlastností vzduchového uložení a tím i naměřených hodnot.

Přístroj se po průměrné desce posouvá stisknutím spínače nadnášení, který je umístěn na rukojeti. Spínač se drží pravou rukou a levou rukou položenou na podložce se pomáhá volit směr posuvu.

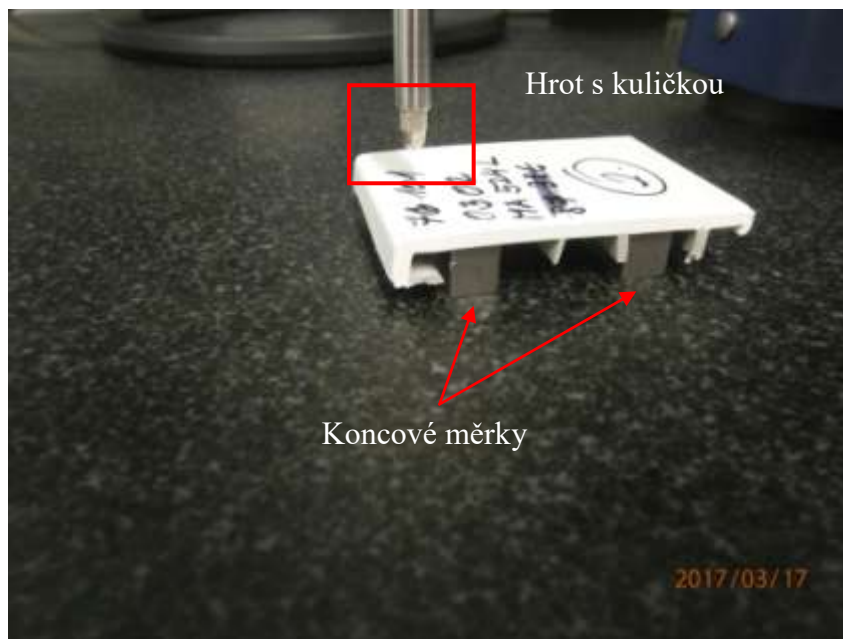
## 5.2 Nastavení nulového bodu a měření tloušťky profilu

Před samotným měřením byl nastaven nulový bod ABS (absolutní referenční nulový bod), který odpovídá referenčnímu bodu měřicího přístroje (Obr. 44). Byl nastaven na koncovou měrku II. třídy posunem dotykové hlavy dolů na horní plochu koncové měrky.



*Obr. 44 Nastavení nulového bodu ABS na koncovou měrku*

Zkušební vzorky bylo nutno při měření pozicovat na kostky, aby byla zajištěna rovnoběžnost zkušební vzorku s průměrnou podložkou. Koncovými měrkami byly pozicovány zkušební vzorky v místech, kde nebyly zbytky příček po uříznutých komorách profilů (Obr. 45).



*Obr. 45 Zkušební vzorek připravený k měření je pozicován na dvou koncových měrkách*

Dotyk hrotu (Obr. 45) zkušební měřicího přístroje byl posunut do bezprostřední vzdálenosti nad místo měření. Stisknutím tlačítka měření (Obr. 46) se dotyk posunul dolů, změřil bod a zobrazil výsledek na displeji LCD obrazovky (Obr. 47).



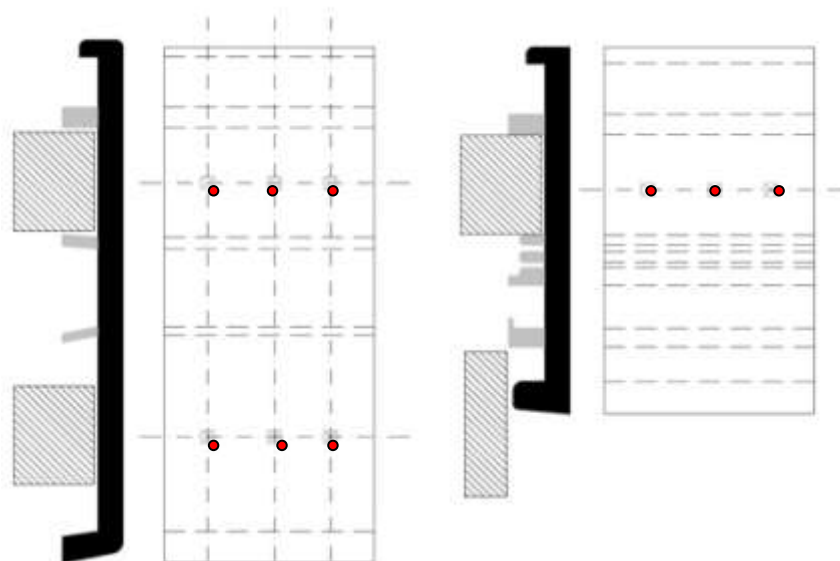
*Obr. 46 Ikona pro měření tloušťky*



Obr. 47 Zobrazení naměřené hodnoty tloušťky profilu na LCD obrazovce

Měření se vztahovalo na měření nahoru směřované plochy zkušebního vzorku, přičemž dotyk zkušebního měřicího přístroje se pohyboval dolů. Jednalo se o přímý kontakt s měřenou plochou. Při měření se zjišťovala výška „nahoru“, to znamená výšková vzdálenost mezi nulovým bodem a bodem měření.

Na zkušebních vzorcích byl podle velikosti vzorku proveden daný počet měření (Obr. 48). Na vzorcích menších rozměrů se jednalo o tři měření a na vzorcích větších rozměrů o šest měření. Postupně bylo změřeno všech 37 dvojic vzorků. Hodnoty byly vepsány do tabulky vytvořené v programu Minitab 17. Tyto hodnoty byly následně statisticky zpracovány.

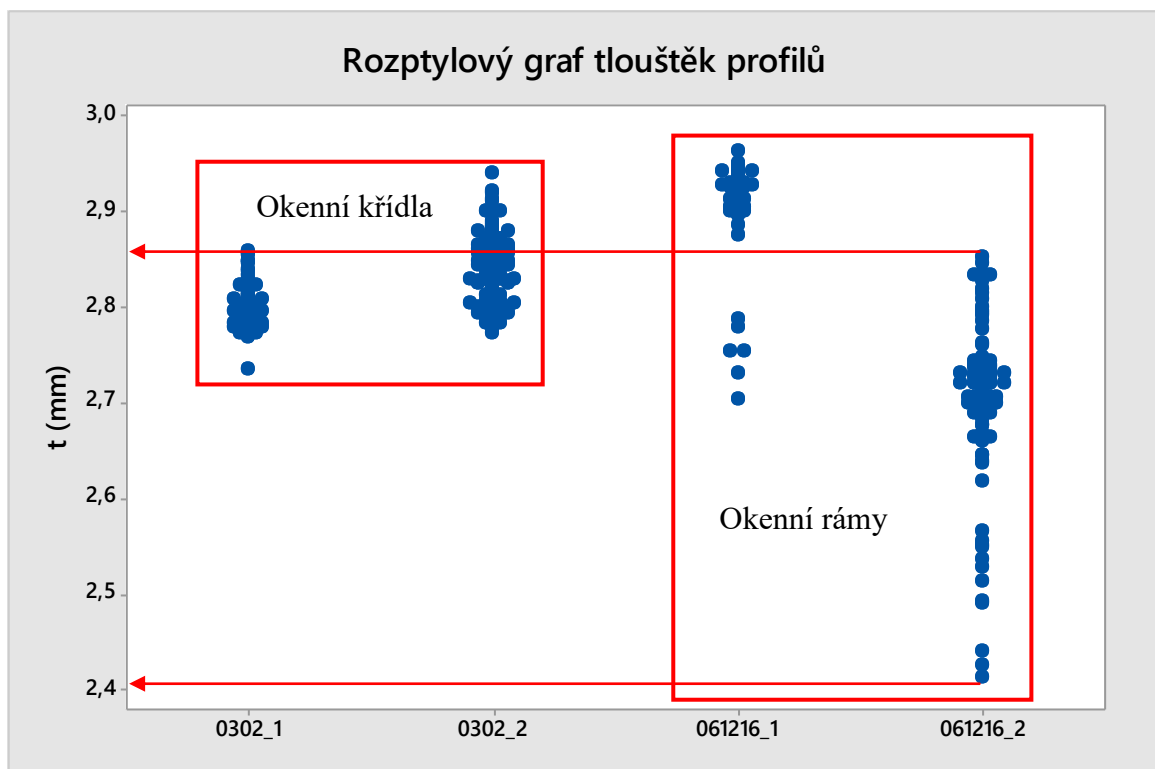


Obr. 48 Zkušební vzorky s červeně označenými místy, kde bylo provedeno měření tloušťek profilů

## 6 STATISTICKÉ HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ TLOUŠŤEK PROFILŮ

Hodnoty ze všech naměřených zkušebních vzorků byly zpracovány programem Minitab 17 do rozptylového grafu, kvartilového grafu, histogramů a grafů časových řad měření. Všechny grafy nám demonstrují rozptyly tlouštěk exteriérových a interiérových částí okenních křídel a okenních ráků.

### 6.1 Rozptylový graf



Obr. 49 Rozptylový graf naměřených hodnot tlouštěk profilů okenních křídel a ráků

Popis zkušebních vzorků:

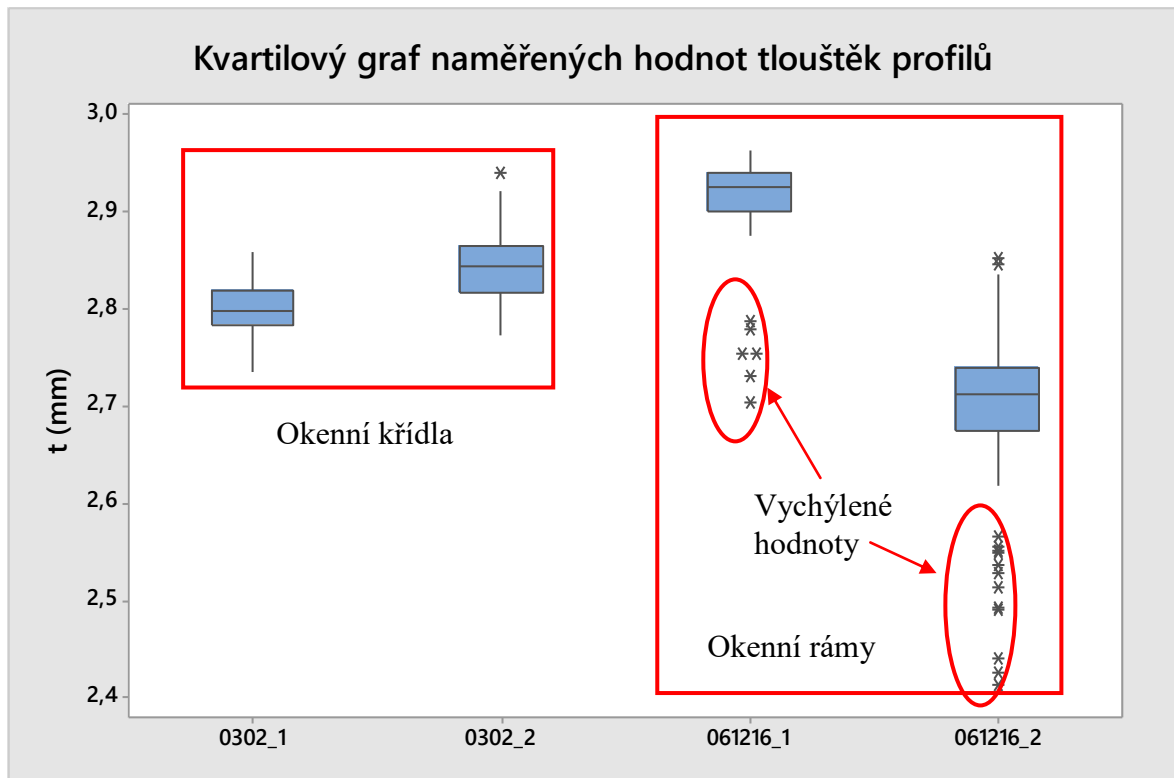
- 0302\_1 – interiérové části okenních křídel
- 0302\_2 – exteriérové části okenních křídel
- 061216\_1 – exteriérové části okenních ráků
- 061216\_2 – interiérové části okenních ráků

Z rozptylového grafu tlouštěk profilů (Obr. 49) je jednoznačně patrné, že vzorky interiérových částí okenních ráků 061216\_2 a exteriérových částí okenních ráků 061216\_1 mají rozdílný rozptyl než vzorky interiérových částí okenních křídel 0302\_1 a exteriérových částí okenních křídel 0302\_2. Největší rozdíly mezi tloušťkami zkušebních vzorků jsou u interiérových částí okenních ráků 061216\_2, rozdíl zde činí více než 0,4 mm.

Z tohoto je tedy možné usuzovat, že profily okenních křídel a okenních ráků mají rozdílné jakostní parametry. Za jakostní parametr je zde považována tloušťka profilu.



## 6.2 Box plot – kvartilový graf



Obr. 50 Box plot – kvartilový graf naměřených hodnot tloušťek profilů okenních křidel a ráků

Popis zkušebních vzorků:

- 0302\_1 – interiérové části okenních křidel
- 0302\_2 – exteriérové části okenních křidel
- 061216\_1 – exteriérové části okenních ráků
- 061216\_2 – interiérové části okenních ráků

V případě vyhodnocení naměřených výsledků zkušebních vzorků pomocí Box plot diagramu (Obr. 50) je zcela patrné, že exteriérové části okenních ráků 061216\_1 a interiérové části okenních ráků 061216\_2 obsahují velké množství vychýlených hodnot. Tyto vychýlené hodnoty charakterizují profily se sníženou kvalitou.

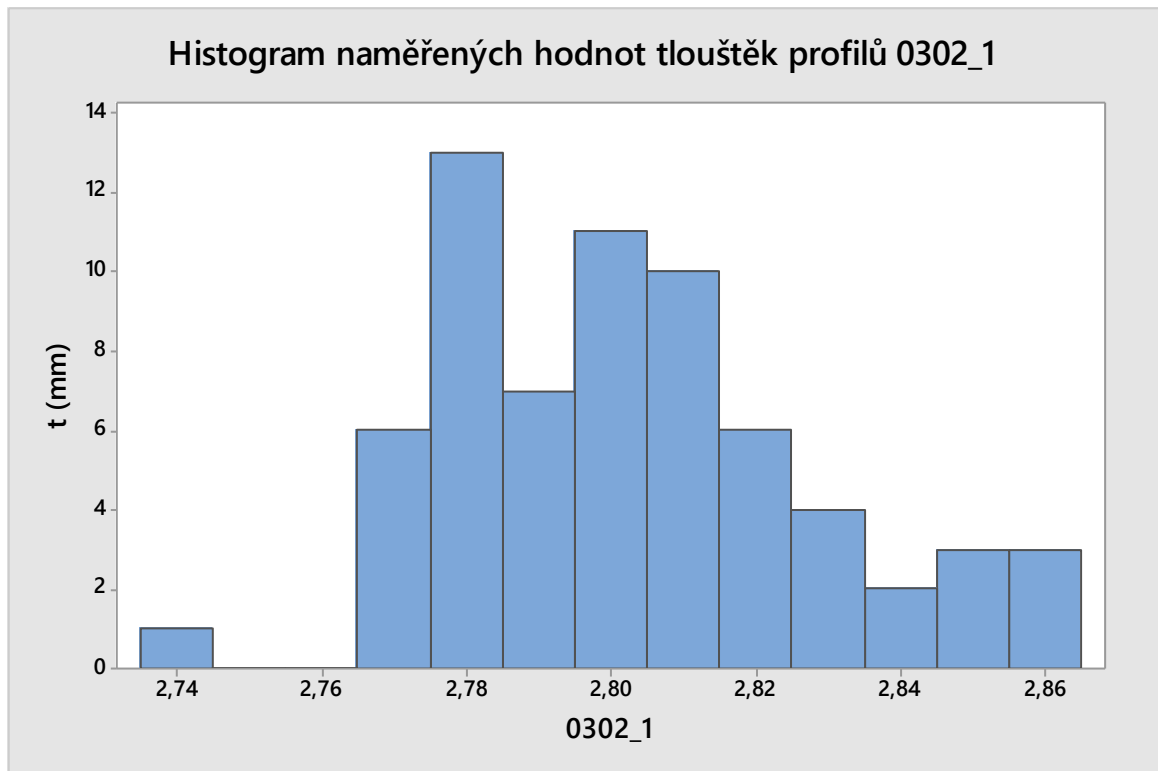
Variabilita tloušťky je zde značně proměnná, tedy i kvalita profilů je proměnná.

Proměnné tloušťky profilů okenních ráků mohou být způsobeny chybami extruze, může se jednat o profily vyráběné na více vytlačovacích strojích, na různě nastavených profilech vytlačovacích hlav nebo se může jednat o opotřebené hlavy.

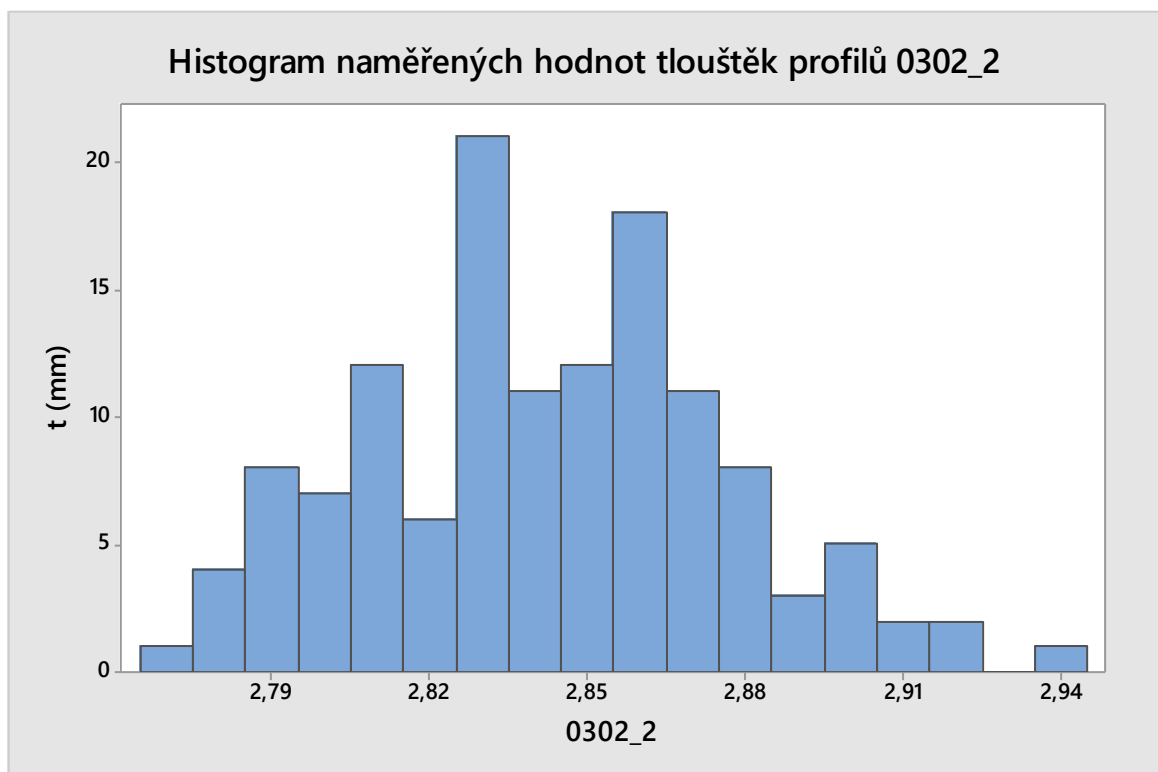
Důsledkem rozdílných tloušťek profilů je problematické lícování dílů při výrobě oken svařováním.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že kvalita okenních křidel a okenních ráků je proměnná.

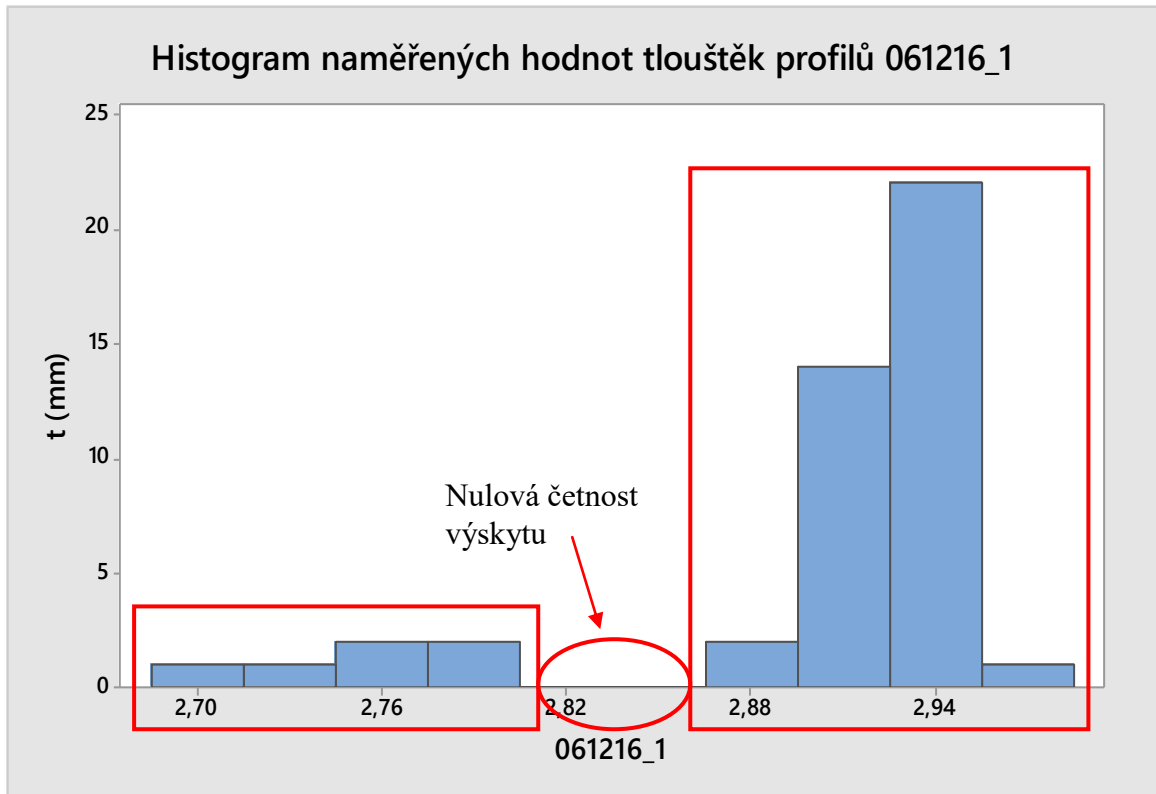
### 6.3 Histogram



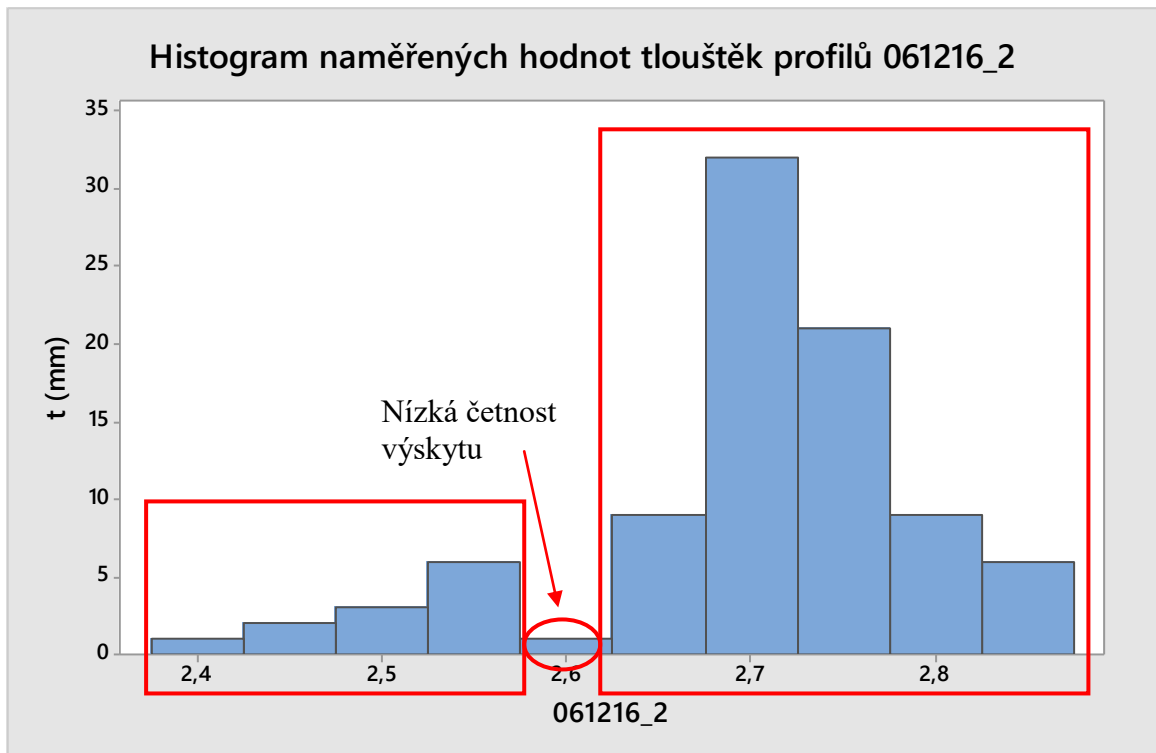
Obr. 51 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních křídel 0302\_1



Obr. 52 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních křídel 0302\_2



Obr. 53 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních rámu 061216\_1

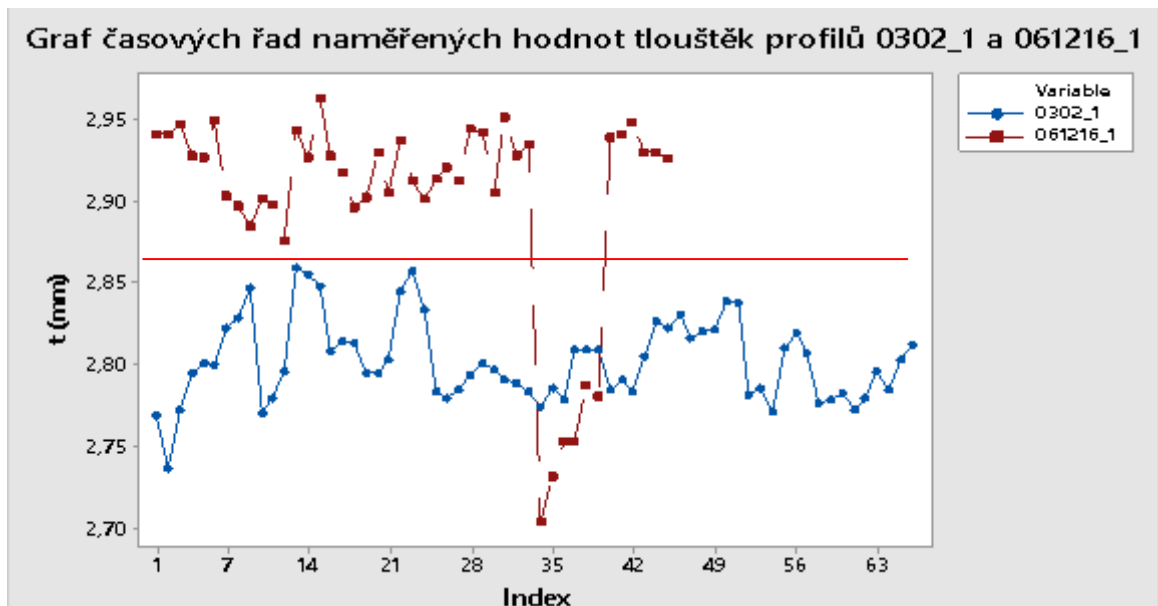


Obr. 54 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních rámu 061216\_2

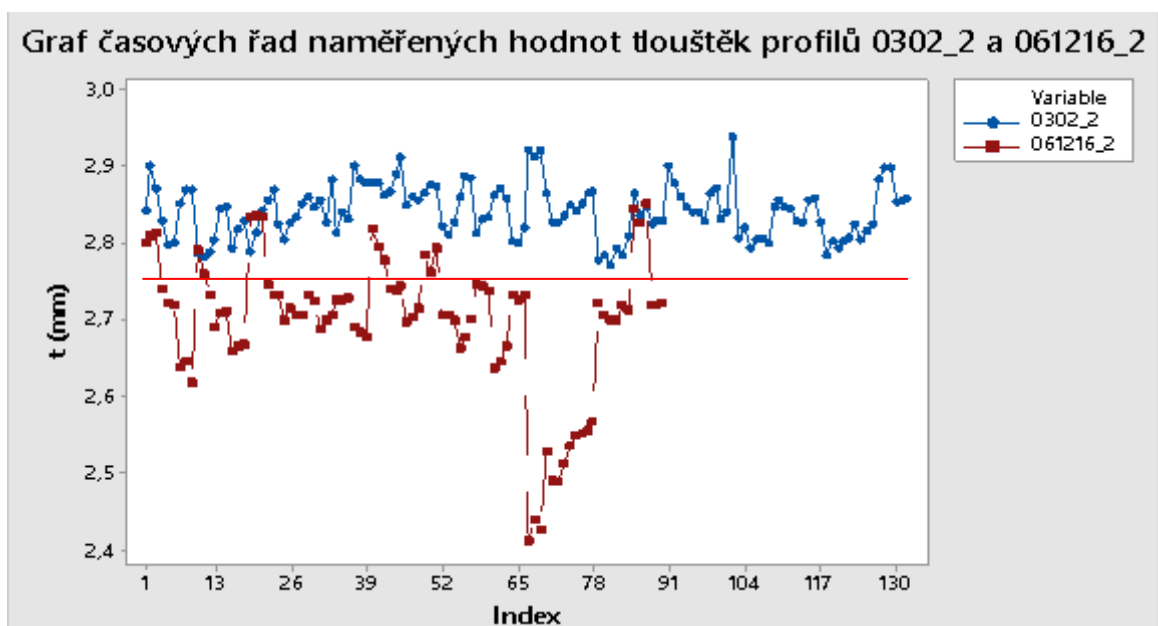
Histogramy interiérových částí okenních křidel 0302\_1 (Obr. 51) a exteriérových částí okenních křidel 0302\_2 (Obr. 52) mají přibližně tvar normálního rozdělení. V případě exteriérových částí okenních ráků 061216\_1 (Obr. 53) a interiérových částí okenních ráků 061216\_2 (Obr. 54) jsou mezi nižšími hodnotami tloušťek profilů a vyššími hodnotami tloušťek profilů nízké až nulové četnosti výskytu.

Z toho plyne, že u profilů okenních ráků se pravděpodobně jedná o smíšenou dávku profilů z více vytačovacích strojů.

#### 6.4 Graf časových řad měření

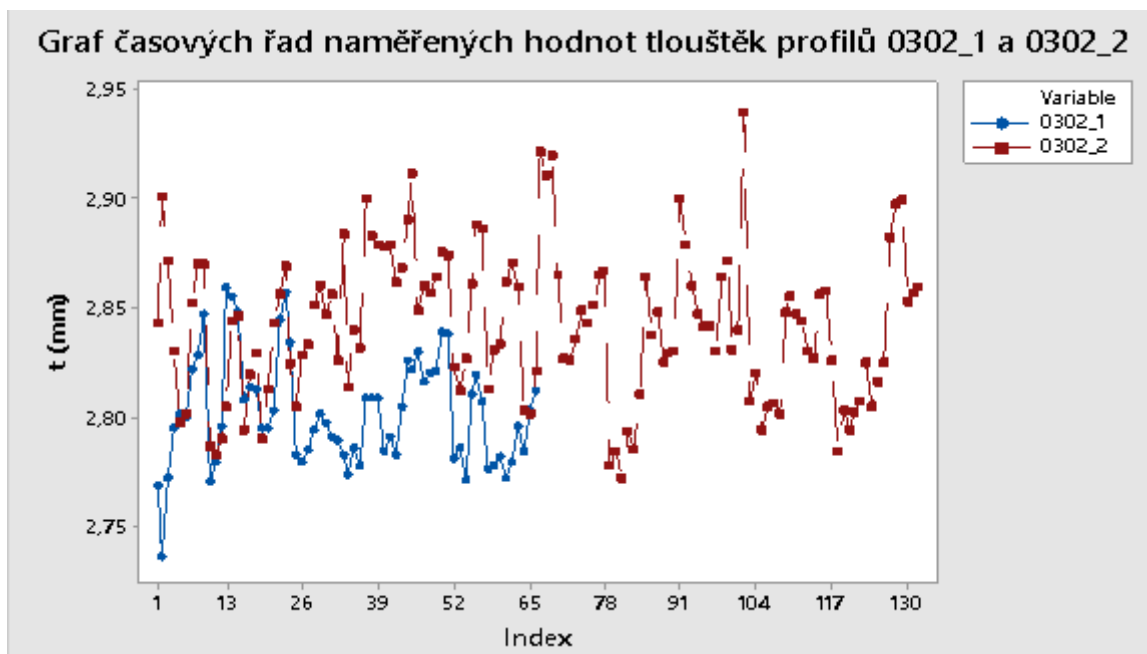


Obr. 55 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních křidel 0302\_1 a exteriérových částí okenních ráků 61216\_1



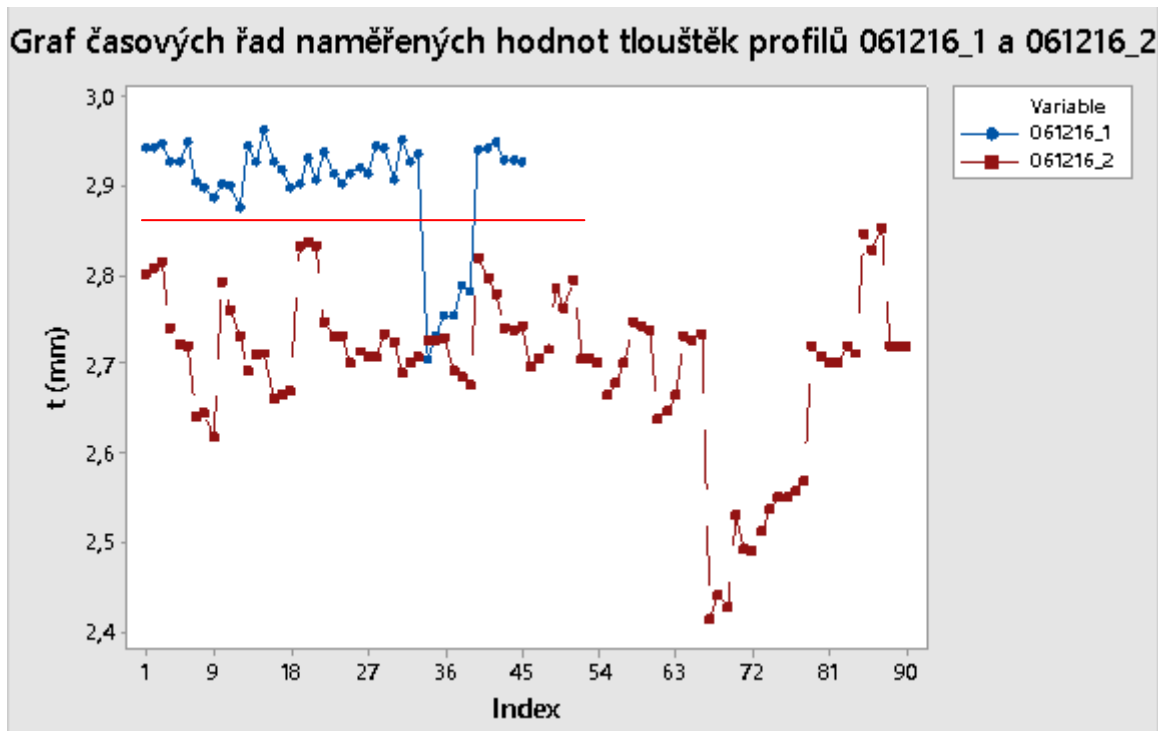
Obr. 56 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních křidel 0302\_2 a interiérových částí okenních ráků 61216\_2

Grafy časových měření (Obr. 55) a (Obr. 56) jednoznačně ukazují na rozdíly mezi tloušťkami okenních křídel a okenních ráků.



*Obr. 57 Graf časových řad měření naměřených hodnot tlouštěk profilů interiérových částí okenních křídel 0302\_1 a exteriérových částí okenních křídel 0302\_2*

Z grafu časových měření (Obr. 57) interiérových a exteriérových částí okenních křídel je patrné, že rozdíly v tloušťkách profilů nejsou tak významné. Jedná se o směsnou dávku.



*Obr. 58 Graf časových řad měření naměřených hodnot tlouštěk profilů exteriérových částí okenních ráků 061216\_1 a interiérových částí okenních ráků 061216\_2*

Z grafu časových řad měření (Obr. 58) exteriérových a interiérových částí okenních ráků je patrné, že rozdíly v tloušťkách profilů jsou zřetelně větší než u okenních křidel.

Výrobce oken nakupuje profily v prvotřídní kvalitě. Z výše uvedených zjištění však vyplývá, že skutečnost tomu neodpovídá.

## 6.5 Numerické vyhodnocení

Pomocí programu Minitab 17 byly naměřené hodnoty tlouštěk získaných měření okenních profilů a okenních ráků zpracovány a získané statistické parametry jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3)

Tab. 3 Numerické hodnoty statistických parametrů z tlouštěk profilů

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
0302_1	66	2,8021	0,00309	0,0251	0,90	2,7360	2,7830	2,7985	2,8193	2,8590
0302_2	132	2,8420	0,00297	0,0342	1,20	2,7720	2,8167	2,8430	2,8640	2,9390
061216_1	45	2,9004	0,00938	0,0629	2,17	2,7040	2,8995	2,9250	2,9400	2,9620
061216_2	90	2,6979	0,00969	0,0919	3,41	2,4130	2,6740	2,7130	2,7400	2,8520

Variable	Range	IQR
0302_1	0,1230	0,0363
0302_2	0,1670	0,0473
061216_1	0,2580	0,0405
061216_2	0,4390	0,0660

Z hodnot uvedených v tabulce č. 3 vyplývá, že hodnota průměru tloušťky interiérové části okenních křidel se liší minimálně od hodnoty mediánu.

Rozdíl činí  $0,0036 \text{ mm} = 3,6 \text{ }\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru tloušťky exteriérové části okenních křidel se liší minimálně od hodnoty mediánu.

Rozdíl činí  $0,001 \text{ mm} = 1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru tloušťky exteriérové části okenních ráků se značně liší od hodnoty mediánu.

Rozdíl činí  $0,0246 \text{ mm} = 24,6 \text{ }\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru tloušťky interiérové části okenních ráků se značně liší od hodnoty mediánu.

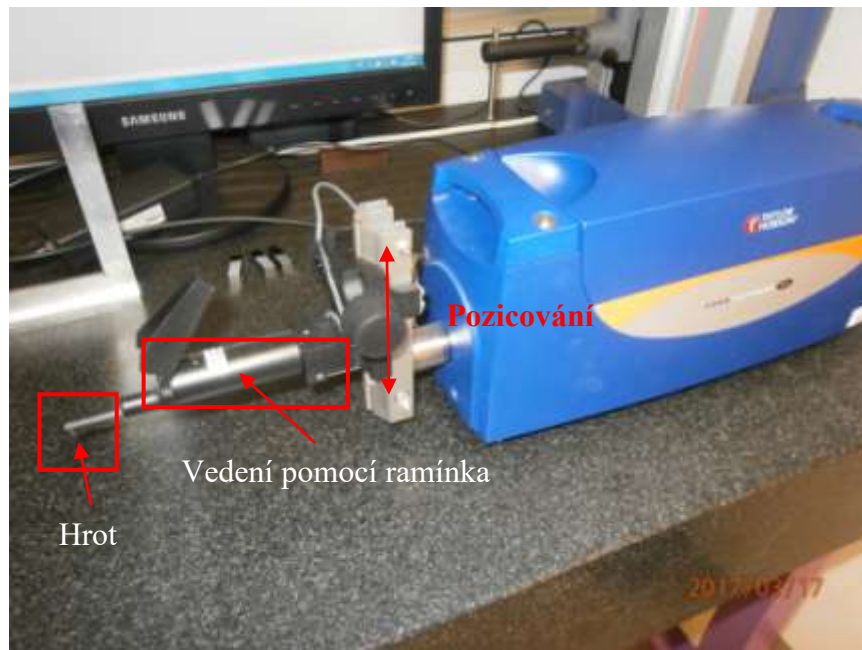
Rozdíl činí  $0,0151 \text{ mm} = 15,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Závěrem lze konstatovat, že zkušební vzorky okenních křidel se liší svými hodnotami tlouštěk méně než zkušební vzorky okenních ráků.

## 7 MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU EXTRUDOVANÝCH PROFILŮ

### 7.1 Zkušební přístroj

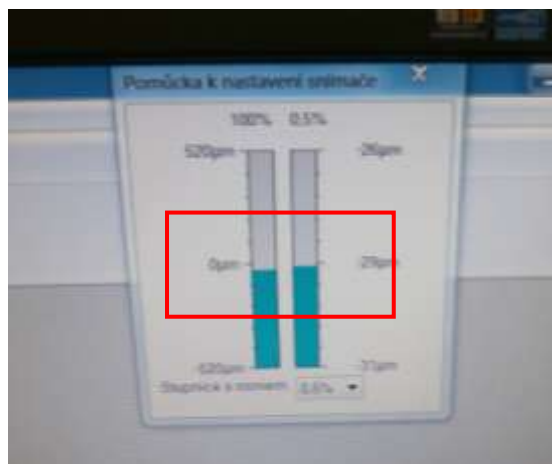
Měření jakosti extrudovaných profilů bylo provedeno pomocí profilometru firmy Taylor a Hobson (Obr. 59).



Obr. 59 Profilometr firmy Taylor a Hobson

### 7.2 Nastavení nulového bodu a měření povrchu

Po spuštění přístroje byl napozicován hrot na povrch zkušebního vzorku a byl seřízen na nulu, čímž byla zajištěna vhodná síla přitlaku (Obr. 60).



Obr. 60 Nastavení síly přitlaku měřícího hrotu

Pracovní rozsah přístroje byl  $\pm 520 \mu\text{m}$  s rozlišitelností  $0,01 \mu\text{m}$ . Délkový rozsah měření byl stanoven na maximální hodnotu, což je 50 mm.

Vlastní měření probíhá po předchozím nastavení přístroje a kontrole jeho kalibrace. Spočívá v nastavení měřicího hrotu do výchozí polohy měření na zkušebním vzorku profilu.

Poté je spuštěno měření všech zkušebních vzorků v poloze podélné v délce 45 mm (Obr. 61) a následně příčné v délce 30 mm (Obr. 62).



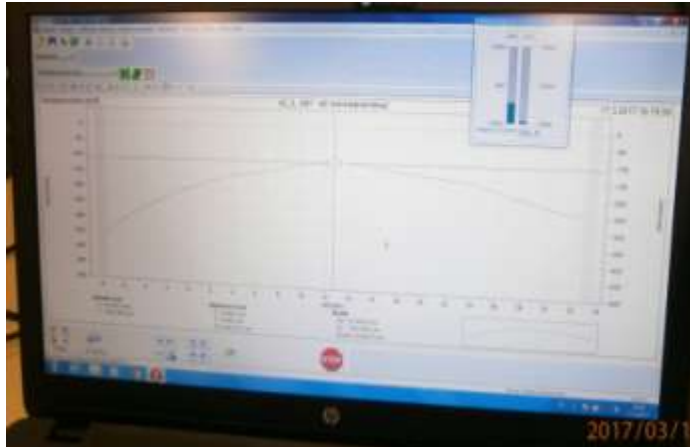
Obr. 61 Podélné měření povrchu profilu – ve směru šipky



Obr. 62 Příčné měření povrchu profilu – ve směru šipky

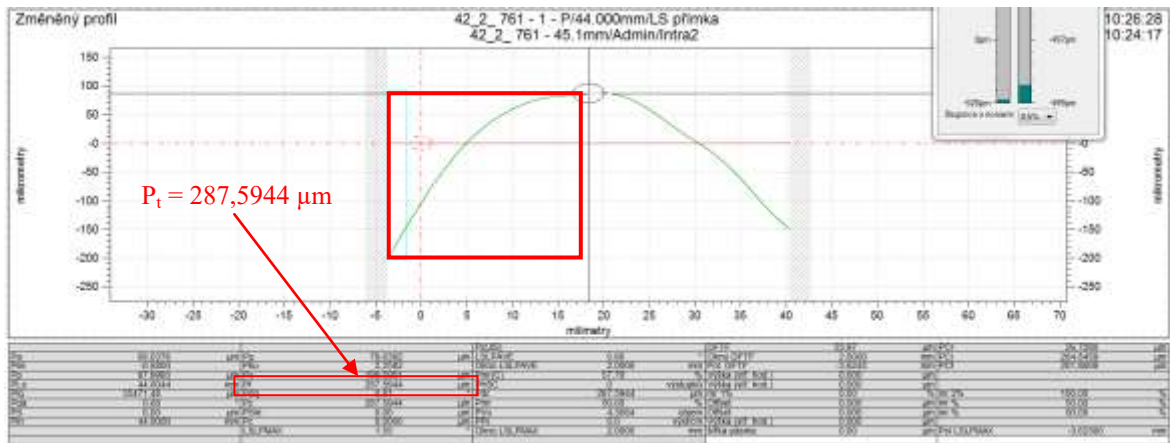
Profil byl snímán rychlostí  $500 \mu\text{m/s}$ , což zajistilo spolehlivé výsledky. Z naměřených hodnot byla získána profilová křivka jak v poloze podélné (Obr. 63), tak i v poloze příčné (Obr. 65).



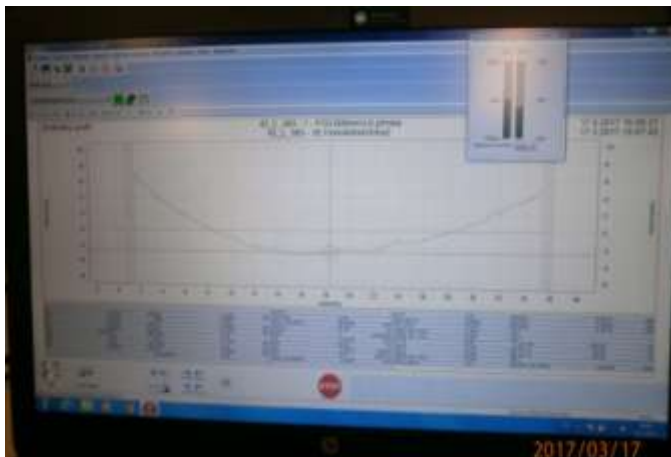


Obr. 63 Profilová křivka z podélného měření povrchu

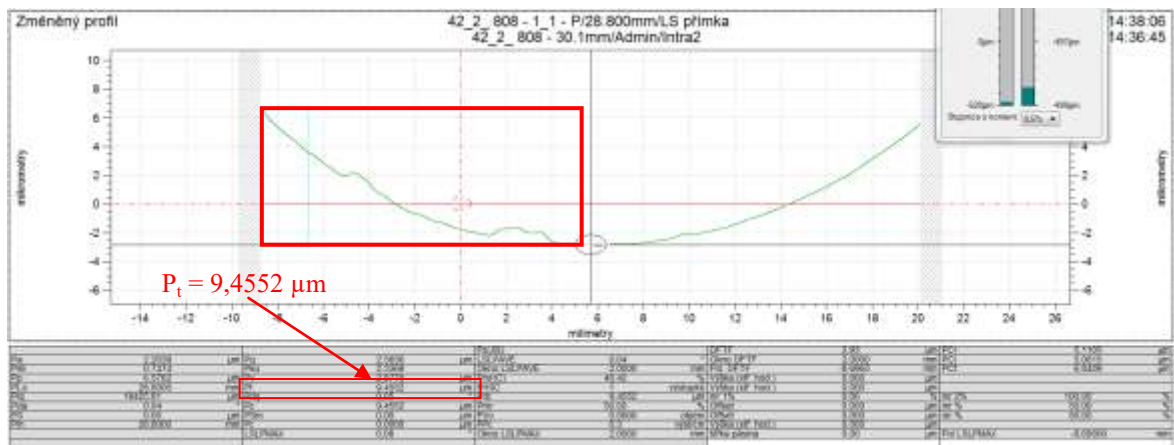
Tímto způsobem byly vyhodnoceny veškeré profily a byly z nich stanoveny hodnoty  $P_t$ , což je maximální rozpětí profilu (Obr. 64) a (Obr. 66).



Obr. 64 Graf získaný z podélného měření s vyznačeným maximálním rozpětím profilu  $P_t$



Obr. 65 Profilová křivka z příčného měření povrchu

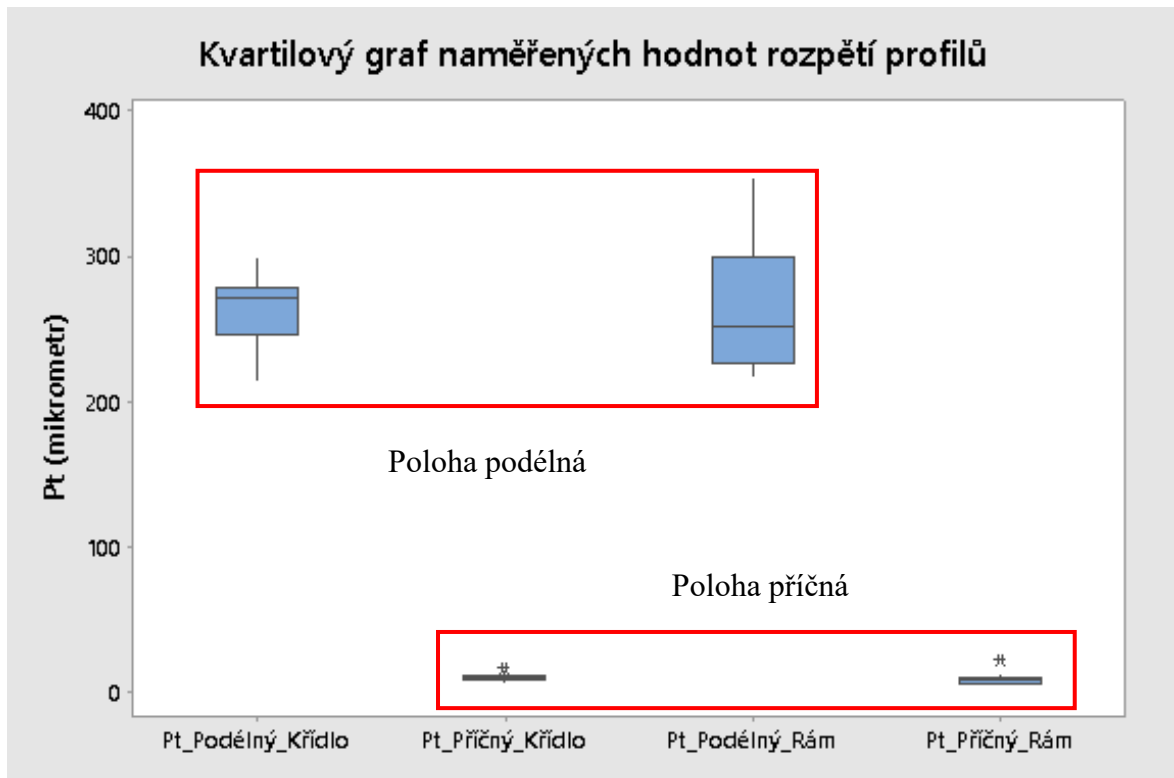


Obr. 66 Graf z příčného měření s vyznačeným maximálním rozpětím profilu  $P_t$

## 8 STATISTICKÉ HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ JAKOSTI POVRCHU

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky v programu Minitab 17 a statisticky vyhodnoceny.

### 8.1 Box plot – kvartilový graf



Obr. 67 Box plot – kvartilový graf naměřených hodnot maximálních rozpětí profilu  $P_t$

Pomocí Box plot diagramu byly stanoveny maximální rozpětí profilů  $P_t$  u všech zkušebních vzorků okenních křídel i okenních ráků a to jak v poloze podélné, tak i v poloze příčné (Obr. 67). Rozptyly se diametrálně liší při měření v podélném a příčném směru.

Rozptyly mezi měřením okenních křídel a okenních ráků ve směru podélném se liší více než rozptyly mezi měřením okenních křídel a okenních ráků ve směru příčném. Zde se rozptyly téměř neliší.

### 8.2 Numerické vyhodnocení

Pomocí programu Minitab 17 byly naměřené hodnoty rozpětí profilů získaných měřením okenních profilů a okenních ráků v podélném a příčném směru zpracovány a získané statistické parametry jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4)

Tab. 4 Numerické hodnoty statistických parametrů z maximálního rozpětí profilů

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Pt_Podélný_Křídlo	22	0	265,50	4,53	21,24	214,57	247,30	272,22	279,18	300,73
Pt_Příčný_Křídlo	22	0	10,702	0,605	2,838	5,758	8,980	10,498	12,252	17,624
Pt_Podélný_Rám	15	0	263,2	11,1	42,9	216,6	227,4	252,7	300,2	355,5
Pt_Příčný_Rám	15	0	9,82	1,14	4,40	4,91	7,04	9,47	10,47	23,23

Z hodnot uvedených v tabulce č. 4 vyplývá, že hodnota průměru maximálního rozpětí podélně měřeného profilu okenního křídla se značně liší od hodnoty mediánu.

Rozdíl činí 6,72  $\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru maximálního rozpětí podélně měřeného profilu okenního rámu se značně liší od hodnoty mediánu.

Rozdíl činí 10,5  $\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru maximálního rozpětí příčně měřeného profilu okenního křídla se od hodnoty mediánu liší minimálně.

Rozdíl činí 0,204  $\mu\text{m}$ .

Hodnota průměru maximálního rozpětí příčně měřeného profilu okenního rámu se od hodnoty mediánu liší minimálně.

Rozdíl činí 0,35  $\mu\text{m}$ .

Závěrem lze konstatovat, že zkušební vzorky okenních křídel a okenních rámu vykazují významnou změnu profilu (konkavitu) v podélném směru. Ve směru příčném vykazují malou změnu profilu (konvexitu).

## ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo zjistit tloušťky extrudovaných okenních profilů a jakost jejich povrchu.

Výrobce oken byly poskytnuty označené vzorky profilů pro výrobu okenních ráků i okenních křidel. Profily byly rozřezány na pásové pile. Odřezáním vnitřních a vnějších svislých částí vznikly vždy dva zkušební vzorky z okenního křídla a dva zkušební vzorky z okenního ráku. Po rozřezání byly zkušební vzorky zbaveny otřepů a prachových částic po řezání. Takto očištěné vzorky byly nachystány k měření. Každá dvojice vzorků byla ještě označena pořadovým číslem. Celkem bylo připraveno 37 dvojic zkušebních vzorků.

Pro měření tloušťky profilů byl použit lineární tloušťkoměr LH – 600 B, od výrobce Mitutoyo. Na větších částech profilu byla tloušťka měřena na šesti místech a na menších částech profilu na třech místech. Proměřením všech zkušebních vzorků bylo získáno 333 hodnot tlouštěk profilu.

Tyto hodnoty byly zapsány do tabulky v programu Minitab 17 a následně zpracovány do rozptylového grafu, kvartilového grafu, histogramů a grafů časových řad měření. Všechny tyto grafy demonstrují rozptyly tlouštěk vnějších a vnitřních částí okenních křidel a okenních ráků.

Z vyhodnocení všech výše zmíněných grafů lze usuzovat, že profily okenních křidel a okenních ráků mají rozdílné jakostní parametry. Za jakostní parametr je zde považována tloušťka profilu. Variabilita tloušťky je značně proměnná, tedy i kvalita profilů je proměnná. Zřetelně větší rozdíly tlouštěk byly zjištěny u zkušebních vzorků okenních ráků. Proměnné tloušťky profilů okenních ráků mohou být způsobeny chybami extruze, může se jednat o profily vyráběné na více vytlačovacích strojích nebo na různě nastavených profilech vytlačovacích hlav nebo mohou hlavy vykazovat opotřebení. Z toho plyne, že u profilů okenních ráků se pravděpodobně jedná o smíšenou dávku z více vytlačovacích strojů.

Dále byla na zkušebních vzorcích zjišťována jakost povrchu. Měření jakosti povrchu extrudovaných profilů bylo provedeno pomocí profilometru firmy Taylor a Hobson. Taktéž bylo provedeno na všech 37 dvojicích zkušebních vzorků a to v podélném a příčném směru. Bylo získáno 148 profilových křivek. Všechny byly vyhodnoceny a byly z nich stanoveny hodnoty Pt, což je maximální rozpětí profilu. Tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky v programu Minitab 17 a statisticky vyhodnoceny.

Rozptyly okenních křidel a okenních ráků měřených v podélném směru se diametrálně liší od rozptylů okenních ráků a okenních křidel měřených v příčném směru.

Závěrem lze konstatovat, že zkušební vzorky okenních křidel a okenních ráků vykazují významnou změnu profilu (konkavitu) v podélném směru. Ve směru příčném vykazují malou změnu profilu (konvexitu).

Ze všech výše uvedených zjištění vyplývá, že i když výrobce nakupuje profily v prvotřídní kvalitě, u které by měly být rozptyly minimální, skutečnost tomu však neodpovídá.

Rozdílná tloušťka profilů, jejich konkavita a konvexita je důsledkem následného problematického lícování dílů, s kterým se potýkají výrobci při výrobě oken svařováním.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Extruze okenních profilů z PVC. *Gealan* [online]. Copyright © GEALAN Dienstleistung GmbH [cit. 2017-05-16].  
Dostupné z: <http://www.gealan.net/cz/unternehmen/leitbild/kernkompetenzen/extrusion.php>
- [2] Vytlačování trubek a profilů. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <http://Technologie II, skripta, Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů>
- [3] Jednošnekové extrudery. *Šneky, komory, extrudery, recyklační linky, regranulační linky* | *BOCO MACHINES* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-extruze-plastu/extrudery-vytlacovaci-stroje-na-plasty-a-gumu/jednosnekove-extrudery-ebs/>
- [4] Paralelní dvoušnekové extrudery. *Šneky, komory, extrudery, recyklační linky, regranulační linky* | *BOCO MACHINES* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-extruze-plastu/extrudery-vytlacovaci-stroje-na-plasty-a-gumu/paralelni-dvousnekove-extrudery-ebt/>
- [5] Plastová okna. *RN OKNA - okna, žaluzie, parapety, servis* [online]. Copyright © 2011 [cit. 2017-05-16].  
Dostupné z: <http://www.rnokna.cz/okna/plastova-okna-praha-8/o-profilech/>
- [6] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. 1. Vydání. Praha: Europa Sobotáles cz. S.r.o., 2007. ISBN 987-80-86706-19-1.
- [7] Měření tvarů a vzájemné polohy | Učíme v prostoru - Encyklopedie Drtič kamene. *Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2009](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2009)
- [8] Kontrola úchylnosti tvaru a polohy. Tolerance tvaru. *Střední škola strojírenská a elektrotechnická, příspěvková organizace Trnkova 113, Brno* [online]. [cit. 2017-05-05].  
Dostupné z: [http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/mereni\\_a\\_kontrola\\_tvaru.pdf](http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/mereni_a_kontrola_tvaru.pdf)
- [9] Nožové pravítko, 253741-KINEX, 300 /1061.02.300/ | *Habilis Steel - kovoobrabeci-nastroje.cz*. *kovoobrabeci-nastroje.cz* | *Habilis Steel - kovoobrabeci-nastroje.cz* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <https://www.kovoobrabeci-nastroje.cz/katalog/meridla-13/orysovani-1416/nozova-pravitka-401/nozove-pravitko-253741kinex-300-1061.02.300-3456.html>
- [10] Číselníkový úchylnoměr. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz/prodej-produkt-188-uchylkomer-ciselnikovy-csn-en-iso-46325-csn-25-1811-25-1816.html>
- [11] Profilometr. *Wikipedia, wolna encyklopedia*. [on line]. © 1989 [cit. 2017-05-05]  
Dostupné z: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Profilometr>

- [12] Autokolimátor. *JD Dvořák* [on line]. [cit. 2017- 05-05]  
Dostupné z: <http://www.testsysteme.cz/cz/produkty/prumyslove-mikroskopy-a-video-merici-systemy-nikon/cnc-video-merici-systemy-nikon/nikon-autokolimator.html>
- [13] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4.
- [14] VONTA, Filia. *Statistical models and methods for biomedical and technical systems*. Boston, Mass.: Birkhäuser, © 2008. ISBN 9780-8176-4464-2. [on line]. [cit. 2017- 05-05]  
Dostupné z: [http://Statistical Models and Methods for Biomedical and Technical Systems \(Statistics for Industry and Technology\)](http://Statistical Models and Methods for Biomedical and Technical Systems (Statistics for Industry and Technology))

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Absolutní referenční nulový bod
LCD	Displej z kapalných krystalů (liquid crystal display)
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymetylén (polyacetal)
PS	Polystyrén
PVC	Polyvinylchlorid



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Jednošnekový extrudér [3].....	12
Obr. 2 Paralelní dvoušnekový extrudér [4].....	13
Obr. 3 Schéma jednošnekového vytlačovacího stroje [2].....	14
Obr. 4 Šneky pro vytlačování plastů [2].....	14
Obr. 5 Různé konstrukce šneků pro vytlačovací stroje [2].....	15
Obr. 6 Přímá hlava na profily, A – nevytápěná část, B – vytápěná část, v – vakuum [2].....	15
Obr. 7 Okenní profil s více komorami [5].....	16
Obr. 8 Zápis přímosti na výkrese [7].....	17
Obr. 9 Znázornění toleranční zóny [8].....	18
Obr. 10 Kontrola přímosti [7].....	18
Obr. 11 Nožové pravítko [9].....	18
Obr. 12 Číselníkový úchylkoměr [10].....	18
Obr. 13 Profilometr [11].....	19
Obr. 14 Autokolimátor Nikon [12].....	19
Obr. 15 Zápis rovinnosti na výkrese [7].....	20
Obr. 16 Kontrola rovinnosti srovnáním s měřicí deskou [7].....	20
Obr. 17 Znázornění toleranční zóny t [8].....	21
Obr. 18 Zápis kruhovitosti na výkrese [7].....	21
Obr. 19 Stroj na měření kruhovitosti [7].....	21
Obr. 20 Znázornění toleranční zóny t [8].....	22
Obr. 21 Zápis válcovitosti na výkrese [7].....	22
Obr. 22 Zápis tvaru profilu na výkrese [7].....	23
Obr. 23 Zápis tvaru plochy na výkrese [7].....	23
Obr. 24 Úhlová šablona [7].....	24
Obr. 25 Rádiusová šablona [7].....	24
Obr. 26 Profilprojektor [7].....	24
Obr. 27 Grafický záznam kruhovitosti a kruhoměr [7].....	25
Obr. 28 Schéma měření laserovým interferometrem [7].....	25
Obr. 29 Označení základen A, B na výkrese hřídele [7].....	26
Obr. 30 Zápis tolerance souososti [7].....	27
Obr. 31 Měření souososti [7].....	27
Obr. 32 Zápis tolerance umístění [7].....	28
Obr. 33 Zápis tolerance souměrnosti [7].....	28
Obr. 34 Půdorys okenního rámu.....	39
Obr. 35 Řezání vnitřní (interiérové) svislé části okenního rámu na pásové pile.....	39
Obr. 36 Řezání vnější (exteriérové) svislé části okenního rámu na pásové pile.....	40
Obr. 37 Okenní rám s křídlem včetně označení.....	40
Obr. 38 Označené zkušební vzorky nachystané pro měření.....	41
Obr. 39 Označení dvojice zkušebních vzorků okenního křídla.....	41
Obr. 40 Označení dvojice zkušebních vzorků okenního rámu.....	42
Obr. 41 Lineární výškoměr „Linear Height“ LH – 600 B.....	43
Obr. 42 Tlačítkový ovládací panel lineárního výškoměru.....	44
Obr. 43 Saně s dotykovou hlavou.....	44
Obr. 44 Nastavení nulového bodu ABS na koncovou měрку.....	45
Obr. 45 Zkušební vzorek připravený k měření je pozicován na dvou koncových měrkách.....	46
Obr. 46 Ikona pro měření tloušťky.....	46
Obr. 47 Zobrazení naměřené hodnoty tloušťky profilu na LCD obrazovce.....	47

Obr. 48 Zkušební vzorky s červeně označenými místy, kde bylo provedeno měření tloušťek profilů .....	47
Obr. 49 Rozptylový graf naměřených hodnot tloušťek profilů okenních křídel a ráků .....	48
Obr. 50 Box plot – kvartilový graf naměřených hodnot tloušťek profilů okenních křídel a ráků.....	49
Obr. 51 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních křídel 0302_1.....	50
Obr. 52 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních křídel 0302_2.....	50
Obr. 53 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních ráků 061216_1.....	51
Obr. 54 Histogram naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních ráků 061216_2.....	51
Obr. 55 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních křídel 0302_1 a exteriérových částí okenních ráků 61216_1.....	52
Obr. 56 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních křídel 0302_2 a interiérových částí okenních ráků 61216_2 .....	52
Obr. 57 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů interiérových částí okenních křídel 0302_1 a exteriérových částí okenních křídel 0302_2.....	53
Obr. 58 Graf časových řad měření naměřených hodnot tloušťek profilů exteriérových částí okenních ráků 061216_1 a interiérových částí okenních ráků 061216_2 .....	53
Obr. 59 Profilometr firmy Taylor a Hobson .....	55
Obr. 60 Nastavení síly přítlaču měřicího hrotu .....	55
Obr. 61 Podélné měření povrchu profilu – ve směru šipky .....	56
Obr. 62 Příčné měření povrchu profilu – ve směru šipky.....	56
Obr. 63 Profilová křivka z podélného měření povrchu .....	57
Obr. 64 Graf získaný z podélného měření s vyznačeným maximálním rozpětím profilu $P_t$ .....	57
Obr. 65 Profilová křivka z příčného měření povrchu .....	57
Obr. 66 Graf z příčného měření s vyznačeným maximálním rozpětím profilu $P_t$ .....	58
Obr. 67 Box plot – kvartilový graf naměřených hodnot maximálních rozpětí profilu $P_t$ .....	59

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Tabulka kritických oborů testů polohy hypotézy $H_0$ [13].....	30
Tab. 2 Analýza rozptylu pro dvojné třídění s interakcí Tukeyova typu [13].....	35
Tab. 3 Numerické hodnoty statistických parametrů z tloušťek profilů.....	54
Tab. 4 Numerické hodnoty statistických parametrů z maximálního rozpětí profilů.....	60