

# **Vliv technologie vstřikování polymeru na barevnost dílů a lesk**

Bc. Kamil Bárta

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kamil BÁRTA**  
Osobní číslo: **T11797**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv technologie vstřikování polymeru na barevnost  
dílů a lesk**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární rešerše na dané téma**
- 2. Vizualizace zkoušeného vzorku**
- 3. Navržení možnosti řešení problematiky**
- 4. Realizace navržených opatření + měření vzorků**
- 5. Vyhodnocení účinnosti opatření**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP.**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**8. února 2013**

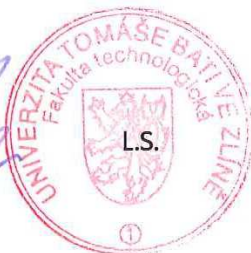
Termín odevzdání diplomové práce:

**10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*





prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Bárta Kamil

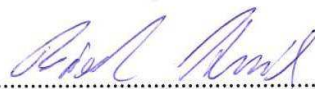
Obor: Výrobní inženýrství

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové 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 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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 8.5.2013



<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 nevýdělečně 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.*

<sup>2)</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, 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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</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 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 problematikou týkající se vstřikovaných polymerů vůči dezénu dílů, respektive formy a dosažení požadované barvy a lesku dílu.

Teoretická část popisuje vstřikované materiály a zpracování polymerů. V teoretické části také bude popsána teorie měření barvy a lesku. Způsoby a metodika měření a také možné přístroje k měření daných veličin.

Praktická část je zaměřena na navržení možných řešení problémů týkající se neshodných vstřikovaných dílů. Zavedení navržených řešení do praxe v rámci zkoušek vstřikování. Vyhodnocení účinnosti navržených nápravných opatření k dosažení požadované kvality dílu. Následné stanovení doporučení pro praktické použití u dané problematiky.

Klíčová slova: barva, lesk, světlo, polymer

## **ABSTRACT**

The Diploma thesis deals with problems related to the injection molded polymer towards tread patterns, respectively mold and the achieving of required colour and gloss of parts.

The theoretical part describes injected materials and polymer processing. There will be also described the theory of the color and gloss measuring, methods and measurement methodology and the possible devices for measurement of values.

The practical part is focused on the suggestion of possible solutions to problems regarding nonconforming injection molded parts, introduction of the proposed solutions into practice within the injection test, evaluation of the effectiveness of the suggested corrective measures to achieve required quality of part and subsequent recommendations for practical use in this issue.

Keywords: colour, gloss, light, polymer

Tímto děkuji vedoucím diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za odborné vedení při teoretické i praktické části, za dobré rady a poskytnuté materiály.

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

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 8.5.2013

.....

podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POLYMERY</b> .....	<b>12</b>
1.1 ROZDĚLENÍ A ZÁKLADNÍ NÁZVOSLOVÍ .....	12
1.2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI.....	16
1.2.1 Tokové vlastnosti .....	16
1.2.2 Fyzikální vlastnosti .....	22
1.2.3 Termodynamické vlastnosti .....	25
1.2.4 Tepelné vlastnosti.....	28
<b>2 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>29</b>
2.1 PŘÍPRAVNÉ OPERACE.....	30
2.2 VSTŘIKOVÁNÍ.....	30
2.2.1 Vstřikovací cyklus.....	31
2.2.2 Vstřikovací stroje .....	31
2.2.3 Vstřikovací formy .....	32
2.3 VYTLAČOVÁNÍ .....	33
2.4 VYFUKOVÁNÍ .....	35
2.4.1 Vstřikovací vyfukování .....	35
2.4.2 Vytlačovací vyfukování .....	36
2.5 LISOVÁNÍ .....	37
2.6 VÁLCOVÁNÍ .....	38
<b>3 TEORIE MĚŘENÍ BARVY A LESKU</b> .....	<b>40</b>
3.1 ZÁKLADY OPTIKY .....	40
3.1.1 Odraz a lom světla.....	41
3.1.2 Rozklad světla .....	43
3.2 MĚŘENÍ BAREVNOSTI .....	44
3.3 MĚŘENÍ LESKU .....	48
<b>4 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE A STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>51</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>52</b>
<b>5 VZORKY A ZAŘÍZENÍ PRO EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>53</b>
5.1 VIZUALIZACE MĚŘENÉHO VZORKU .....	55
5.2 SCHÉMATICKÝ NÁČRT DÍLU.....	56
5.2.1 Kalibrace přístroje .....	57
<b>6 SBĚR DAT</b> .....	<b>58</b>
6.1 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	59
<b>7 REALIZACE NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ</b> .....	<b>69</b>
7.1 ZMĚNA TECHNOLOGICKÝ PARAMETRŮ .....	69
7.2 ZMĚNA DODAVATELE BARVIVA.....	72
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>75</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>76</b>



<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>78</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>82</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>83</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>84</b>

## ÚVOD

Výroba plastových dílů je dnes velice rozšířená a tento pojem „plastový“ výrobek je znám po celém světě. Samozřejmě je s tím spojeno, že na tuto technologii je neustále vyvíjen tlak, aby se u výrobků z polymerů zlepšovali mechanické vlastnosti.

Plastové výrobky vidíme každý den všude kolem sebe. Dá se říct, že v dnešní době si život bez těchto produktů nedovedeme představit. Výrobky zaujímají širokou škálu použití.

Cílem je také nahradit některé klasické materiály jako je kov, dřevo, keramika, kůže, sklo, aj. Polymery mají vlastnosti, které umožňují jejich snadné zpracování a převedení do požadovaného tvaru. Jsou cenově levné a dostupné výchozí suroviny, jež mohou nahradit již zmiňované, v některých případech nedostatkové a drahé materiály.

Polymery se zpracovávají různými druhy technologií, které jsou okrajově zmíněné v této diplomové práci. Výrobek, na který bude tato diplomová práce vázána a řešena je vyroben technologií vstřikováním. Tento způsob zpracování je popsán podrobněji.

Navazuji na problematiku, kterou budu řešit. Předmětem této práce je zjistit vliv vstřikování plastových výrobků na kvalitu dílů, respektive na barevnost dílu, lesk dílu a neovlivnit ostatní sledované veličiny (rozměr, náchylnost dezénu dílu proti poškrábání).

V experimentální části bude souhrn několika prvotních měření a následně bude vyhodnoceno, co se týče „matematiky“, respektive statistiky, tak bude provedeno srovnání měření s požadovaným etalonem, což je pro nás prioritní. Etalon si určil zákazník. Následně budou stanoveny nápravné opatření a ty budou v rámci zkoušek technologií vstřikování realizovány. Vzorky z těchto zkoušek budou proměřeny.

V závěrečné části této práce bude vyhodnoceno měření a shrnutí faktorů, které ovlivní sledované veličiny. Také bude navržen řešení problémů dané problematiky do praxe.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Makromolekulární látky nazýváme obvykle polymery (poly-mnoho, meros-část), protože vznikají z mnoha dílů jednodušší sloučeniny monomeru (monos-jediný). Termín polymer je neurčitý, není v něm specifikována minimální délka nebo velikost molekuly, kterou můžeme nazývat polymerem. Obecně se však termínu polymer používá pro makromolekuly, které jsou charakterizovány specifickými vlastnostmi, které přísluší molekulám s dlouhou řetězcovou strukturou. Poněvadž polymer je vystavěn z jedné základní opakující se jednotky, bývá jeho složení obvykle popisováno touto stavební jednotkou, která se nazývá mer. Tato jednotka se stále opakuje a tvoří kombinaci s dalšími v základní část struktury polymeru. [8].

Polymerní materiály se vyskytují také od nepaměti v přírodě a patří k našemu každodennímu životu. K příkladům patří proteiny, polysacharidy, DNA, RNA, které sehrávají důležitou roli v životech rostlin a zvířat.

Polymerní materiály jsou dnes hojně využívány téměř ve všech odvětvích lidského působení, nejvíce však v průmyslu. Důvodem tak rozsáhlého rozšíření jsou jejich výborné vlastnosti podobné tradičním materiálům (kovy, sklo, dřevo, keramika), nebo naopak vlastnosti odlišné a tím umožňují zcela nové aplikace a konstrukční řešení. K výhodám těchto materiálů patří také jejich příznivá cena, protože mnohé se vyrábí synteticky ze snadno dostupných surovin.

### 1.1 Rozdělení a základní názvosloví

Polymer je možné dělit podle mnoha různých vlastností a pohledů. Nejčastěji používané dělení polymerů:

	dělení dle:		
1	<b>chování za zvýšených teplot:</b>	<i>Plastomery</i>	Termoplasty, reaktoplasty
		<i>Elastomery</i>	□
2	<b>typu chemické reakce, kterými vznikají:</b>	<i>Polymerace</i>	
		<i>Polykondenzace</i>	
		<i>Polyadice</i>	
3	<b>tvaru makromolekul:</b>	<i>Lineární</i>	
		<i>Rozvětvené</i>	
		<i>Zesíťované</i>	
4	<b>nadmolekulární struktury:</b>	<i>Amorfní</i>	
		<i>Krystalické</i>	
5	<b>původu:</b>	<i>Přírodní</i>	
		<i>Syntetické</i>	
6	<b>velikosti deformace:</b>	<i>Plastomery</i>	
		<i>Elastomery</i>	

Tab. 1 – přehled základního dělení polymerů

**Ad 1) Dle chování za zvýšených teplot:**

Termoplasty – Většinou se jedná o viskomolekulární polymery. Materiál lze opakovaně zahřát a plasticky tvářet, po ochlazení se převede zpět do tuhého stavu. Proces lze provádět opakovaně, ovšem za cenu mírné degradace vlastností materiálu.

Reaktoplasty – Tyto materiály jsou také označovány jako termosety, duromery, či duroplasty. Jsou teplem vytvrditelné a nejdou opakovaně zpracovávat pomocí vyšší teploty jako

termoplasty. Při prvotním zpracování za pomoci teploty a tlaku dochází k zesíťování do podoby trojrozměrné prostorové sítě.

Eleastomery - je materiál, který se vlivem zatížení elasticky deformuje a po odlehčení se vrací zpět do původní podoby a tvaru.

### **Ad 2) Dle typu chemické reakce, kterými vznikají:**

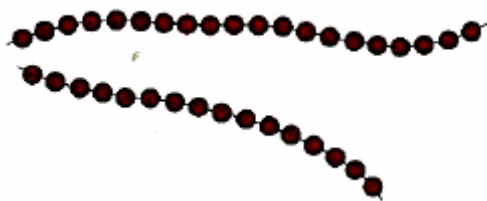
Polymerace - je řetězová chemická reakce velkého počtu molekul monomeru, při níž vznikají dlouhé makromolekuly polymeru. Produktem polymerace je makromolekulární řetězec, který narůstá do své „nekonečné“ délky ve velmi krátké době, takže v reakční směsi existují vedle sebe nezreagované molekuly monomeru a makromolekuly polymeru ve své konečné velikosti. Podle charakteru růstového místa lze základní polymerační reakce rozdělit na radikálovou, ionovou, anionovou polymeraci a kopolymeraci. [8]

Polykondenzace - Polykondenzace je reakce, při níž reagují dva stejné nebo různé monomery, které obsahují dvě nebo více reakčních funkčních skupin a dochází k postupnému nárůstu molekulové hmotnosti. V průběhu reakce nevzniká pouze polymer, ale i nízkomolekulární produkt (např. voda, methanol, amoniak). Významnými produkty polykondenzačních reakcí jsou polyamidy nebo polyestery. [8]

Polyadice - Sloučeniny, jejichž molekuly obsahují násobné vazby nebo jsou tvořeny kruhy s malým počtem členů, mohou být mimo vzájemné spojování (řetězení) schopny adičních reakcí se sloučeninami, jejichž molekuly obsahují vhodné funkční skupiny. Mají-li tyto sloučeniny ve svých molekulách alespoň dvě funkční skupiny, může mnohonásobnou adicí vzniknout polymer. Tato reakce se nazývá polyadice. Jejím příkladem je např. vznik polyuretanů z diizokyanátů a glykolů. Na rozdíl od polymerace poskytuje polyadice strukturu základního článku polymeru odlišnou od struktury výchozích látek. [8]

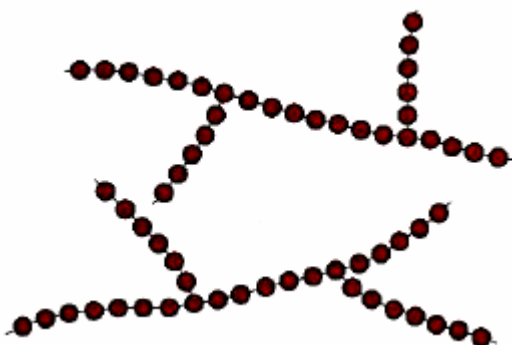
### **Ad 3) Dle tvaru makromolekul:**

Lineární polymer je tvořen jednotlivými monomery spojenými vazbami do polymeru (obr.1).



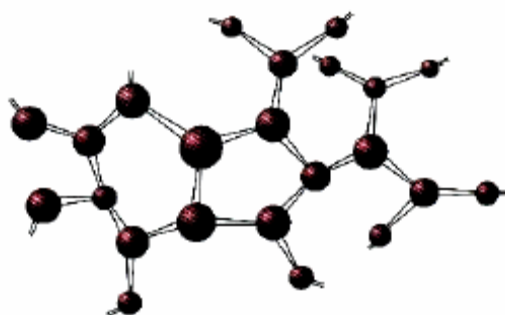
Obr. 1 - lineární polymer [2]

Rozvětvený polymer je odbočka polymeru lineárního (obr. 2).



Obr. 2 - Rozvětvený polymer [2]

Zesíťované polymery vznikají zesíťováním, spojením lineárních nebo mírně rozvětvených polymerů, které obsahují nezreagovaná vazebná místa (obr. 3). Síťováním kaučuků vzniká pryž.



Obr. 3 - zesíťovaný polymer [2]

#### Ad 4) Dle nadmolekulární struktury:

Amorfní plasty, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % pro-

pustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti  $\alpha$  je menší, než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zeskenění  $T_g$ .

Krystalické (semikrystalické) plasty, které vykazují určitý stupeň uspořádanosti a ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání  $T_m$ . [5]

## 1.2 Základní vlastnosti

### 1.2.1 Tokové vlastnosti

Tavenina termoplastu se chová viskózně (jako kapalina), ale zároveň také elasticky (jako pružná látka). Reologické chování taveniny plastu je tak označováno za viskoelastické.

Reologie je nauka zabývající se deformací a tokem. Reologie se však neomezuje pouze na tokové chování kapalin, ale také deformaci tuhých těles, které za určitých okolností (čas) rovněž tečou. Rozhodující je vliv doby pozorování. [14]

$$D = \frac{T_{relaxační}}{T_{pozorování}} \quad (1)$$

$D > 1$  – elastické chování

$D < 1$  – plastické chování

Základní veličinou v reologii, která charakterizuje tokové chování je viskozita, která určuje míru vnitřního odporu materiálů vůči vnějšímu zatížení, jinak řečeno odpor proti toku. Podle druhu zatížení potom rozlišujeme mezi smykovou a elongační viskozitou. A dále podle způsobu měření se rozlišuje mezi dynamickou a kinematickou viskozitou, které jsou vzájemně závislé. [13,14]

### Dynamická viskozita

Viskozita kapaliny vystavené smyku mezi dvěma rovnoběžnými deskami, z nichž jedna se vzhledem k druhé pohybuje ve své rovině rovnoměrným přímočarým pohybem, se definuje Newtonovou rovnicí:



$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

, kde

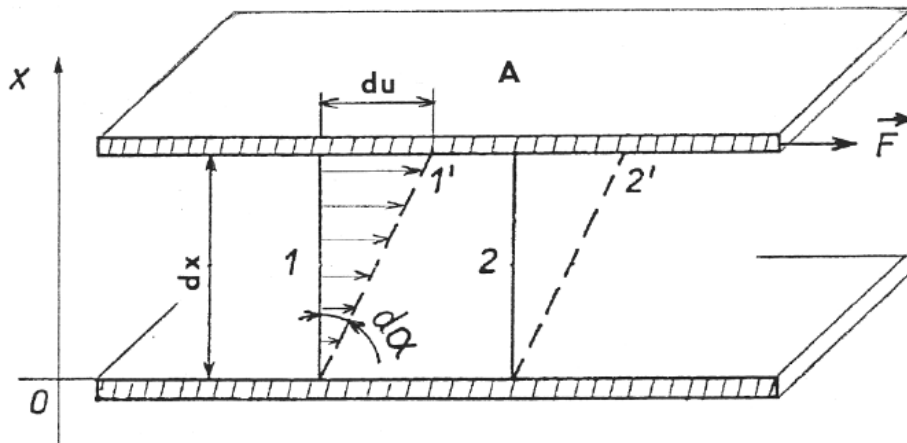
$\tau$  smykové napětí [Pa]

$\eta$  dynamická viskozita [Pa s]

$\dot{\gamma}$  rychlostní gradient neboli rychlost smykové deformace [ $s^{-1}$ ], dána  $\frac{du}{dx}$

, kde  $u$  je rychlost pohybu jedné roviny vzhledem ke druhé rovině a  $x$  je souřadnice kolmá k těmto rovinám. [13]

Rozměr viskozity plynoucí z Newtonova zákona je Pa.s.



Obr. 4 - Rychlostní profil toku v kapalině mezi nepohyblivou a pohybující se deskou. [13]

### Kinematická viskozita

Podíl dynamické viskozity a hustoty měřené kapaliny definuje kinematickou viskozitu, jejíž rozměrem je  $m^2 s^{-1}$ . Polymerní systémy s relativně vysokou viskozitou se však ve svých tokových vlastnostech většinou nepodřizují jednoduchému Newtonovu zákonu a chovají se jako neneutonské kapaliny. Závislost napětí na rychlosti smykové deformace tedy není lineární a obvykle se vyjadřují vztahem: [13]

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

$\tau$  smykové napětí [Pa]

$\eta$  dynamická viskozita [Pa s]

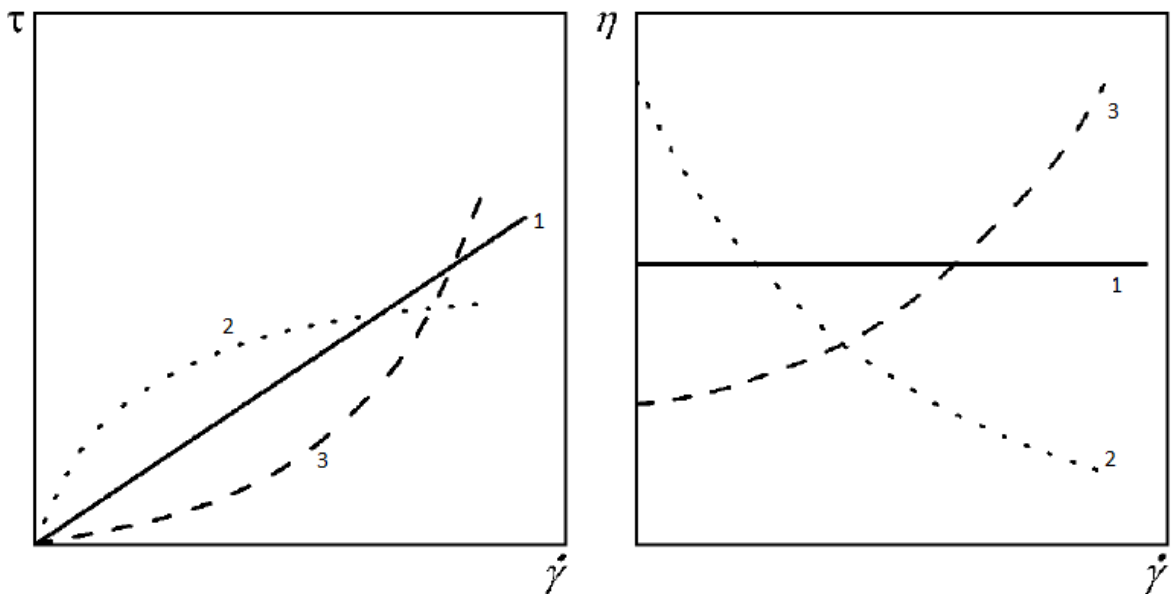
$\dot{\gamma}$  rychlostní gradient neboli rychlost smykové deformace [ $s^{-1}$ ], dána  $\frac{dx}{du}$

$n$  exponent vyjadřující stupeň odklonu tokové křivky od ideálního, newtonského průběhu.

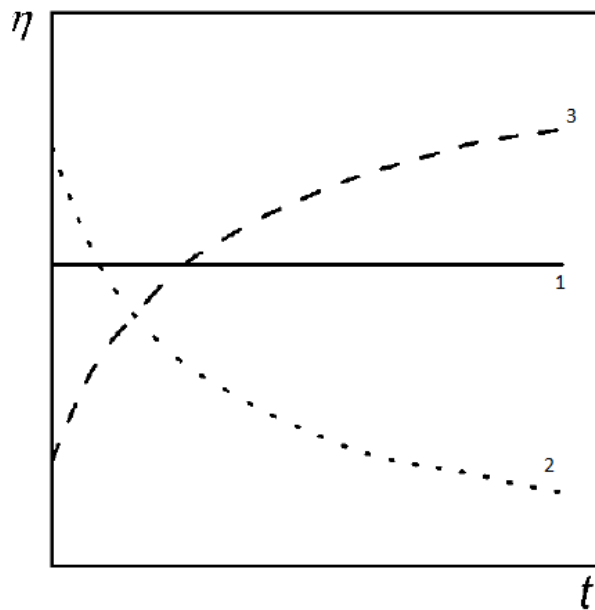
Viskozita  $\eta$  klesá se zvyšující se rychlostí smykové deformace index  $n < 1$  (pseudoplastické chování typické pro polymerní taveniny).

viskozita  $\eta$  vzrůstá se zvyšující se rychlostí smykové deformace index  $n > 1$  (dilatantní chování vykazuje například míchání betonu).

Všeobecné představy o tokových vlastnostech polymerních systémů se ještě dále komplikují případnou závislostí viskozity na experimentální čase (obr.6). Konstantní smykové napětí může rozrušovat pseudoplastické nadmolekulární struktury, což způsobí, že se viskozita s časem snižuje (tixotropie). Někdy naopak působení smykového napětí napomáhá vzniku vyššího stupně uspořádanosti řetězců, což je provázeno vzrůstem viskozity s dobou měření (reopexie). Tyto jevy mohou nastat i vlivem chemických reakcí (tuhnutí cementu, ztužování tuků, polymerace, vulkanizace, degradace). [13,14]



Obr. 5 – tokové křivky pro různé typy modelových kapalin. Newtonská kapalina (1), pseudoplastická kapalina (2), dilatantní kapalina (3) [13]



Obr. 6 - časová závislost viskozity. Newtonská kapalina (1), tixotropní kapalina (2), reopexní kapalina (3) [13]

Viskozitní parametry významně mění s teplotou podle exponenciálního Arrheniova vztahu:

$$\eta = A \cdot e^{\frac{\Delta G}{RT}} \quad (4)$$

kde

$\Delta G$  volná entalpie, míra energie aktivačního toku

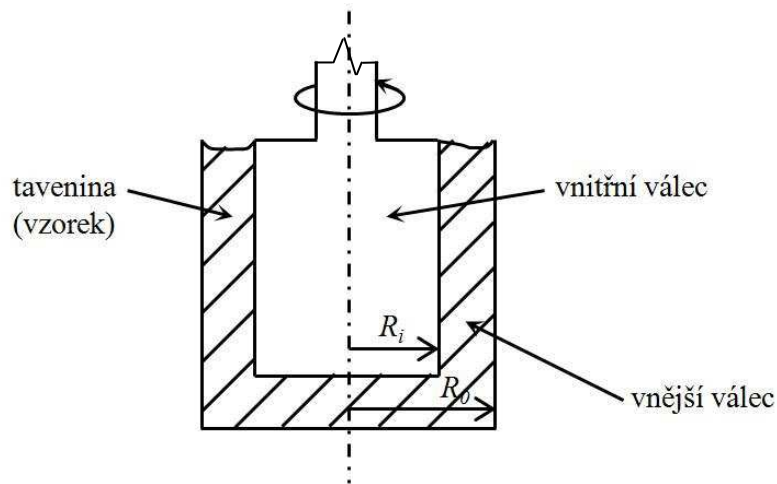
A hodnota viskozity při referenční teplotě

R plynová konstanta

Arrheniova rovnice umožňuje stanovit experimentálně hodnotu aktivační energie toku z měření viskozity při různých teplotách. Pokles viskozity s rostoucí teplotou je způsoben větší tepelnou energií molekul, která zvyšuje pravděpodobnost jejich přeskoků. S rostoucí hodnotou aktivační energie roste závislost viskozity na teplotě. Proto je nezbytné při reologických měřeních sledovaný vzorek vytemperovat a samotné měření provádět při konstantní teplotě. K měření reologických veličin se používá nejrůznějších typů reometrů, které se rozlišujeme například podle sledované veličiny, rozsahu měření, ale i jednoduchostí a přesností vlastního měření. [14]

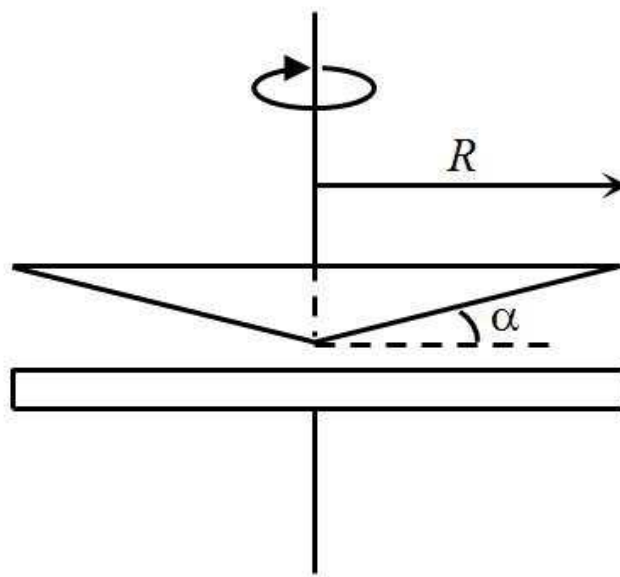
### Rotační reometry

Typ válec-válec - vhodné pro nízkoviskózní materiály. Polymerní tavenina je podrobena smykovému namáhání mezi dvěma soustřednými válci, z nichž jeden (většinou vnitřní) se otáčí konstantní úhlovou rychlostí  $\omega$  [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ] a druhý je stacionární. Rychlost smykové deformace se u tohoto geometrického uspořádání rotačního reometru mění s polohou poloměru. [15]



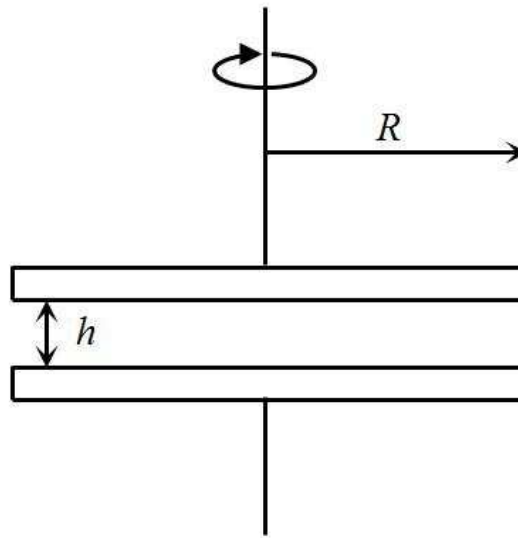
Obr. 7 – reometr typu válec – válec [15]

Typ kužel-deska - výhodou tohoto uspořádání je, že tokové podmínky jsou přesně definovány. Deska je stacionární a kužel s poloměrem  $R$  rotuje kolem své osy konstantní úhlovou rychlostí. Testovaný vzorek je umístěn mezi deskou a kuželem. [15]



Obr. 8 – reometr typu kužel – deska [15]

Typ deska-deska - podstatným rozdílem v geometrickém uspořádání rotačního reometru deska-deska oproti reometru typu kužel-deska je, že rychlost smykové deformace je závislá na vzdálenosti mezi deskami  $h$ :

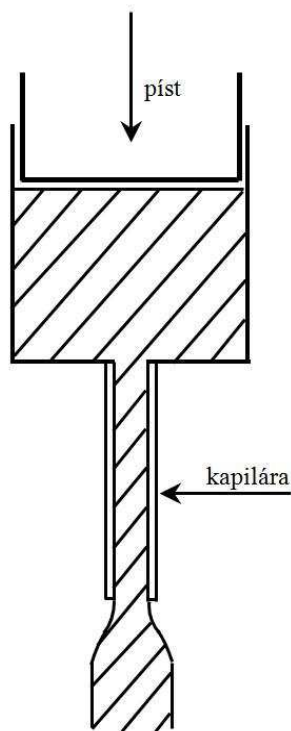


Obr. 9 – reometr typu deska – deska [15]

### **Kapilární reometry**

Nejjednodušším typem kapilárního reometru je zařízení pro měření indexu toku taveniny ITT. ITT udává množství taveniny v gramech, které proteče kapilárou o definovaném průřezu (2,095 mm) a délce (8 mm) za 10 minut při definované teplotě a zatížení.

Jedná se o normovanou zkoušku zpracovatelnosti tavenin polymerních materiálů. Hodnotu ITT udává běžně výrobce polymerních granulátů v tzv. materiálovém listu. Z definice ITT je zřejmé, že představuje pouze jeden bod na tokové křivce, slouží proto jen k rychlé orientaci v tokových vlastnostech materiálů. [15]



Obr. 10 – kapilární reometr [15]

### 1.2.2 Fyzikální vlastnosti

#### Odolnost vůči kyslíku

Vzdušný kyslík, který oxiduje některé organické nízkomolekulární sloučeniny zejména za zvýšených teplot, oxiduje za podobných podmínek i polymery podobného chemického složení. Na změny jejich fyzikálních vlastností má však mnohonásobně větší nepříznivý účinek. Jedná se hlavně o polyolefiny, styrenové polymery, polykarbonáty a pryže z nenasycených kaučuků. Vedle chemického složení má na odolnost vůči kyslíku významný vliv difúze a rozpustnost kyslíku v polymeru, které lze souhrnně charakterizovat propustností polymeru pro kyslík. [1]

Složitější jsou poměry při oxidaci polymerů, jejichž makromolekuly obsahují heteroatomy. Například v případě odštěpování chlorovodíku a s ním související vznik dvojných vazeb.

Některé polymery, např. epoxidové pryskyřice nebo polyakryláty oxidují pouze při vysokých teplotách. To přináší výhodu, že jim nehrozí oxidace při nízkých teplotách, ale zatím nám nejsou známy inhibitory jejich oxidace. Většina přírodních látek, které by jako inhibitory mohly působit, není při těchto teplotách stálá. [1]

### **Odolnost vůči ozonu**

Ozon je přirozenou složkou zemské atmosféry, vytváří se v horních vrstvách atmosféry a v přízemních vrstvách se jeho obsah ve vzduchu pohybuje od jedné do deseti miliontin procenta. I tak nepatrná koncentrace způsobuje stárnutí polymerů, zejména pryží z nenasycených kaučuků. Ozon se aduje na dvojně vazby jejich makromolekulárních řetězců. Reaguje hned na povrchu pryžového výrobku, který pokrývá tvrdou a hlavně křehkou vrstvou ozonidu kaučuku. Při používání takového výrobku vrstva praská a odhaluje nový povrch praxe, který se opět pokrývá vrstvou ozonidu a prasklina roste až nakonec, dojde k mechanickému rozrušení výrobku. Praskliny vznikají ve směru kolmém na deformační síly. Optický efekt, který vzniká, u pryže silně poškozené ozonem se často nazývá „sloní kůže“. [1]

Největší sklon reagovat s ozonem mají kaučuky s největší koncentrací dvojných vazeb v hlavním makromolekulárním řetězci. Podstatné zmenšení koncentrace dvojných vazeb vede k zvětšení odolnosti vůči ozonu. [1]

### **Odolnost vůči slunečnímu záření**

Přesto, že jen asi 5% veškerého slunečního světla dopadajícího na zemský povrch leží v oblasti ultrafialového záření způsobujícího degradaci polymeru, je to jeden z neúčinnějších činitelů jejich přirozeného stárnutí. [1]

Absorbuje-li makromolekula kvantum světelného záření, vzroste její energie. Získaná energie může být uvolněna jako fluorescence, fosforescence nebo teplo. V mnoha případech však aktivovaná molekula zahájí fotochemickou reakci. Tou nejjednodušší je štěpení polymerních řetězců. Z makromolekul vznikají makroradikály, ty jsou náchylnější k disproportionaci nebo terminaci vzdušným kyslíkem, převládnou v polymeru štěpné reakce a jeho molekulová hmotnost se snižuje. Jsou-li makroradikály náchylnější k přenosu a terminaci rekombinací, spojují se řetězce příčnými vazbami a převládají síťovací reakce. Reakce aktivované makromolekuly se vzdušným kyslíkem však může vést také ke vzniku hydroperoxidu a k iniciaci autooxidační řetězové reakce, která se v propagačním a terminačním stádiu nebude zásadně lišit od oxidace polymeru iniciované teplem. [1]

Z nejběžnějších polymerů podléhají této degradaci nejvíce polyolefiny, které velmi účinně absorbují ultrafialovou složku slunečního záření.

### **Odolnost vůči zvýšeným teplotám**

Účinek zvýšené teploty se na polymeru může projevit dvěma způsoby:

- polymer měkne, popřípadě se přijatým teplem zvýší kinetická energie makromolekulárního řetězce do takové míry, že překoná přitažlivé síly a polymer se začne projevovat jako kapalina

- dochází ke změně struktury polymeru. Některé makromolekulární látky se štěpí na nízkomolekulární produkty, eventuálně až na monomer, aniž se změní jejich chemické složení – depolymerují. K depolymerizaci dochází u polymerů, jejichž makromolekuly neobsahují skupiny schopné chemicky reagovat při teplotách depolymerizace, nebo je-li jejich vazebná energie značně vysoká. Jiné odštěpují nízkomolekulární zplodiny, přičemž dochází ke změně chemického složení – destrukují. V obou případech mluvíme o degradaci polymeru.

[1]

### **Odolnost vůči hoření**

Obecně lze říci, že polymery ohni neodolávají a za určitých podmínek jsou všechny hořlavé. To je také vážným problémem při jejich používání a často omezujícím faktorem pro řadu aplikací. Odstranění hořlavosti polymerů je však nemožné, ale lze dosáhnout významného snížení stupně jejich hořlavosti přidáním různých přísad. [1]

Odolnost polymerů proti ohni vzrůstá se vzrůstajícím poměrem obsahu uhlíku k vodíku, se vzrůstajícím obsahem prvků, vykazujících na hoření inhibiční účinek (halogeny, fosfor), a se schopností se rozkládat při vysokých teplotách za odštěpování vody. Také přítomnost nehořlavých prvků (N, Si) zvětšuje odolnost proti ohni. [1]

Polymery obsahující dostatečnou koncentraci retardujících prvků v makromolekule po oddálení z plamene přestávají hořet, nazýváme samozhášivé. Naopak malou odolnost proti ohni vykazují polymery depolymerizující na hořlavý monomer. [1]

Protože k hoření polymeru dochází pouze na povrchu, je jeho velikost důležitá pro rychlost hoření. Z toho vyplývá, že vlákna, textil nebo filmy hoří rychleji než tlustostěnné výrobky ze stejného polymeru. Také vznik zuhelnatělé vrstvy izoluje polymer od plamene a zmenšuje rychlost hoření. [1]

### **Odolnost vůči chemickým činidlům**

Odolnost proti kyselinám a alkáliím snižují hydroxylové, esterové, nitrilové a jiné polární skupiny na polymerním řetězci. Výjimku tvoří atomy halogenů, fluoroplasty a polymery



obsahující na hlavním řetězci atomy chloru odolávají kyselinám, alkáliím a do jisté míry i oxidačním činidlům. [1]

Odolnost polymerů vůči organickým rozpouštědlům závisí na polaritě polymeru a rozpouštědla a na fázovém stavu polymeru. Obecně platí pravidlo, že polymer obsahující polární skupiny je napadán, polárním rozpouštědlem a nepolární zase rozpouštědlem nepolárním, přičemž čím podobnější jsou si mezimolekulární síly, tím rozpustnější je polymer v rozpouštědle. [1]

Pro odolnost vůči chemickým činidlům je důležité, jsou-li v krystalickém nebo amorfním stavu.

### **Odolnost vůči mechanickému namáhání**

Při mechanickém namáhání jako je válcování, hnětení, mletí apod. dochází, zvláště ve styku se vzdušným kyslíkem, k degradaci polymerních řetězců a k jejich zkracování. Tato mechanická degradace, která se vydatně podílí na korozním znehodnocování materiálu, může probíhat nejen radikálově, ale i iontově, a to v případech, kdy jsou v makromolekule méně pevné iontové vazby nebo když je pevnost iontových vazeb snížena polaritou prostředí. Rychlost degradace při hnětení, míchání apod. je závislá především na frekvenci pohybu, teplotě, přítomnosti vzduchu, charakteru a velikosti částic přidávaných látek a samozřejmě na složení a struktuře polymeru. [1]

Je-li makromolekulární látka při působení chemického činidla nebo kyslíkové atmosféry současně vystavena účinku mechanického namáhání, je korozní účinek prostředí daleko vyšší. Tomuto jevu říkáme koroze za napětí a je charakterizována vznikem jemných trhlinek, které postupně rostou a tento jejich růst může vést až k praskání výrobků. [1]

### **1.2.3 Termodynamické vlastnosti**

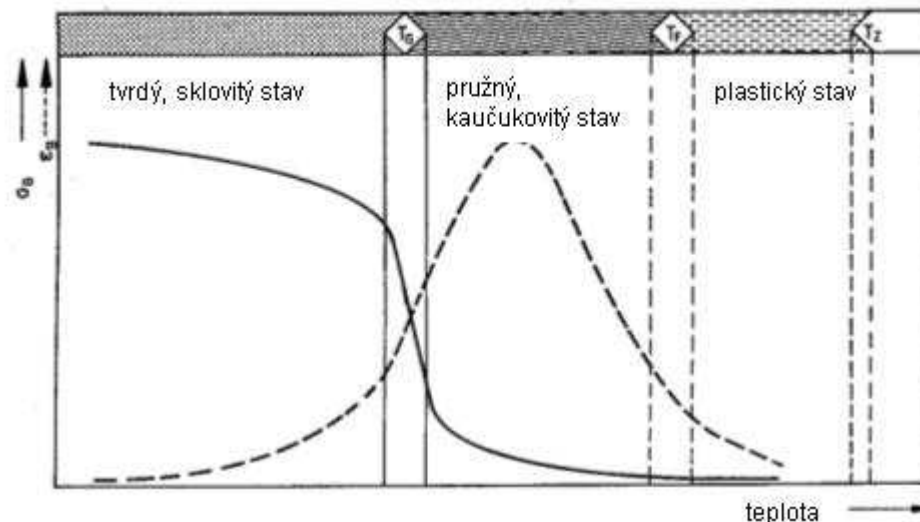
Obdobně jako u jiných materiálů jsou vlastnosti polymerů závislé především na teplotě. V určité oblasti teplot probíhají tyto změny rychleji a nebo se mění skokově. Takové oblasti jsou nazývány přechodové a v těchto oblastech existují přechodové teploty:

$T_g$  – teplota skelného přechodu [°C]

$T_f$  – teplota viskózního toku (u amorfních plastů) [°C]

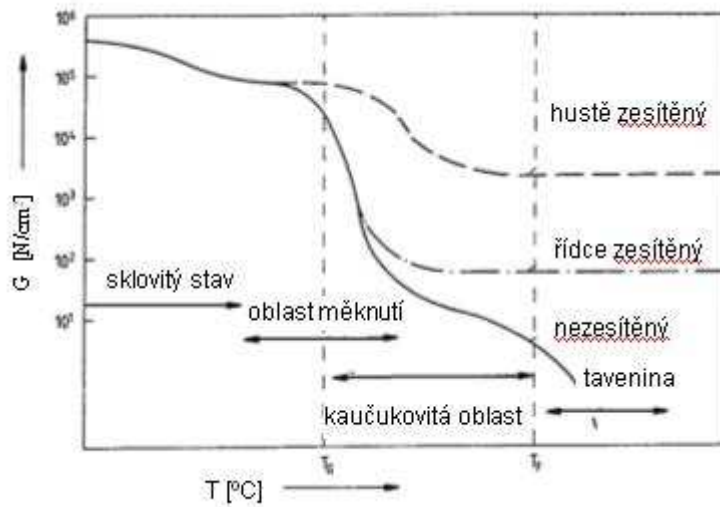
$T_m$  – teplota tání (u semikrystalických plastů) [°C]

U amorfních plastů se hodnota meze pevnosti v tahu v přechodové oblasti v okolí teploty zesklennění  $T_g$  mění skokově. Konkrétní hodnota je závislá na velikosti mezimolekulárních sil (čím budou tyto síly větší, tím bude vyšší i teplota zesklennění) a ohebnosti řetězců (čím bude ohebnost větší a mezimolekulární síly menší, tím bude nižší teplota zesklennění). Teplotu zesklennění je možno ovlivnit např. přidávkem změkčovadel. Je tedy patrné, že nejnižší hodnotu teploty zesklennění vykazují kaučuky.



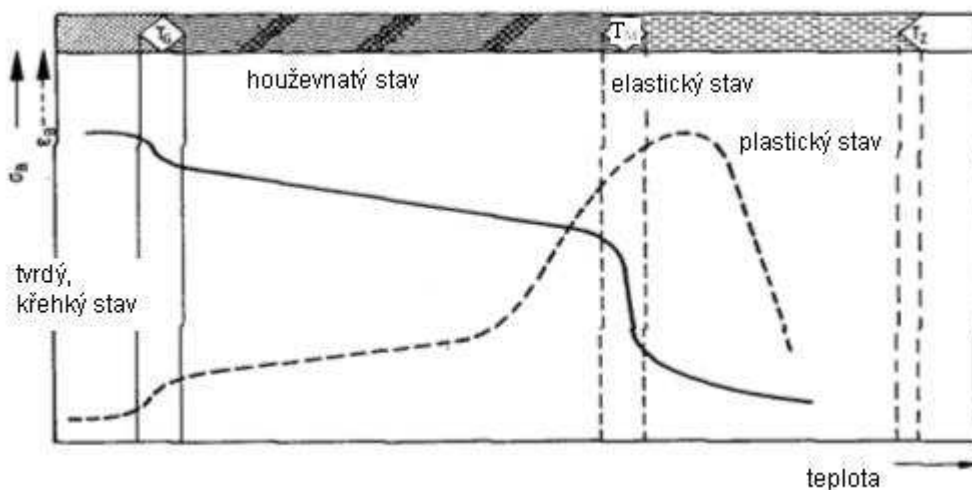
Obr. 11 - Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu [5]

Při teplotě viskózního toku  $T_f$  narůstá intenzita změn vlastností polymeru. Při této teplotě ztrácí hmota své kaučukovité vlastnosti a mění se ve vysoce viskózní kapalinu. Nad touto teplotou leží oblast zpracovatelnosti materiálu. Zvýšením teploty klesají mezimolekulární síly a tím se snižuje i viskozita taveniny. Při dalším zvyšování teploty začne probíhat tepelná degradace polymeru (teplota  $T_z$ ). Zesíťované amorfní polymery se ve srovnání s lineárními chovají odlišně. Tuhá síť chemických vazeb vylučuje přesuny makromolekul jako celku a proto lze u těchto materiálů nalézt při vysokých teplotách jen určitou kaučukovitou oblast s relativně vysokým modulem pružnosti, jehož hodnota pak zůstává konstantní až do teploty rozkladu. [5]



Obr. 12 - Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [5]

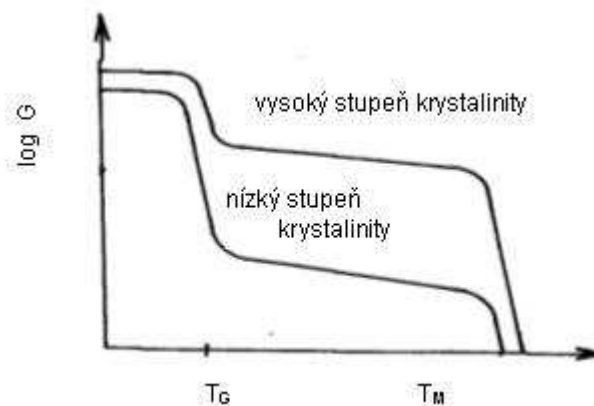
U semikrystalických polymerů dochází k nejrychlejším změnám vlastností v oblasti teplot, kterou charakterizuje teplota tání  $T_m$ . Při teplotě tání dochází k rozpadu a tání krystalitů, což je provázeno změnou fáze hmoty, která přechází ze stavu tuhého do stavu kapalného. Je zřejmé, že tání se děje v určitém teplotním intervalu a teplota  $T_m$  představuje pouze střední hodnotu této oblasti, podobně jako teplota  $T_g$ . Konkrétní hodnota závisí na velikosti mezimolekulárních sil a na velikosti makromolekul. Zvětšení obou veličin má za následek zvýšení teploty tání. [5]



Obr. 13 - Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu [5]

Protože i semikrystalické polymery obsahují určité množství amorfních podílů, lze u nich stanovit teplotu zesklenní, která charakterizuje výrazné změny vlastností polymeru. Tyto

změny se ovšem dotýkají pouze amorfnní složky hmoty, takže čím bude polymer vykazovat vyšší stupeň krystalinity, tím jsou změny při  $T_g$  méně patrné.[5]



Obr. 14 - Vliv stupně krystalinity na modul pružnosti ve smyku [5]

#### 1.2.4 Tepelné vlastnosti

Jak již bylo zmíněno, vlastnosti polymerů jsou silně závislé na teplotě. Tepelné vlastnosti polymeru můžeme posuzovat z mnoha hledisek, a proto je nutné při praktických aplikacích plastů znát:

Teplotní rozsah použitelnosti plastů - u amorfnních polymerů  $T_g$ , u semikrystalických polymerů  $T_m$ . Ve skutečnosti je však tato hranice menší. Maximální teplotu je nutné volit podle způsobu a doby namáhání. S tímto souvisí tzv. krátkodobá a dlouhodobá teplotní mez.

Zpracovatelské teploty – tyto teploty se liší s použitím různých technologií zpracování.

Teplotu tepelného rozkladu - rozkladem polymeru vznikají plynné zplodiny, které je možno za přítomnosti vzduchu zapálit. Podle chování plamene po zapálení plynů rozeznáváme teplotu vzplanutí, zapálení, samovznícení a hoření.

Teplotní roztažnost – vlivem teplotní roztažnosti dochází k rozměrovým a objemovým změnám.

Tepelnou vodivost – schopnost přenášet teplo z jedné makromolekuly na druhou.

Měrné teplo - určuje, jak velké množství tepla musí materiál přijmout, aby se ohřál na určitou teplotu.[4]

## 2 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ

Objemové vlastnosti polymerů mohou být často měněny přísadami. Asi nejvíce známé příklady použití můžeme nalézt v gumárenské technologii, kde změna ve výběru polymerní přísady ovlivňuje vlastnosti finálního výrobku. Přísadami lze také dosáhnout změn v plastických materiálech, jako například PVC.

V některých případech mohou být přísady smíchány s různými polymery pro jejich široké použití, ale v jiných mohou být tyto přísady velmi specifické pro určitý druh polymeru a jeho konkrétní použití. K nejvíce důležitým přísadám patří tyto: [8]

- Antioxidanty,
- Světelné stabilizátory,
- Retardéry hoření,
- Antistatické a vodivé přísady,
- Tepelné stabilizátory,
- Antiblokové a smykové přísady,
- Nukleární přísady.

Technologií pro zpracování plastů bylo vyvinuto velké množství. Pro výběr správné technologie musíme zohlednit řadu parametrů, který má finální výrobek splňovat. Na počátku zvolíme materiál, z něhož má být součást vyráběna. Již tato volba nám přímo ovlivní další výrobní procesy a postupy. Technologie lze v podstatě rozdělit do třech základních skupin, a to:

- tvářecí technologie
- tvarovací technologie
- doplňkové technologie

První zmiňovaná, tvářecí technologie, zahrnuje způsoby výroby, kdy dochází k značnému přesunu částic materiálu. Proces nejčastěji probíhá za kombinace působení teploty a tlaku a spadá sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování a podobně. U tvarovacích technologií nedochází k tak razantnímu přemístování částic. Proces může probíhat za zvýšené teploty či vyšším tlaku, ale také nemusí. Patří sem ohýbání trubek, obrábění, spojování, výroba dutých těles atd. Do doplňkových technologií spadá finální úprava povrchu součás-

ti, jako je barvení, potisk, nebo také přípravné práce před zpracováním základního materiálu.[5]

## 2.1 Přípravné operace

Dříve než začneme materiál zpracovávat, projde celou řadou procesů nutných k získání požadovaných zpracovatelských vlastností.

### Granulace

Granulace je konečným způsobem přípravného zpracování materiálu. Materiál je dodáván ve formě granulí již z chemického závodu nebo od dodavatele. Granulí se využívá zejména z toho důvodu, že jsou lehce skladovatelné a to ve větších či menších pytlích, lehce dávkovatelné, lze je snadno dopravovat a podobně. Navíc lze ke granulím přimíchávat drcený odpad z předešlé výroby, čímž jistou měrou přispíváme k bezodpadovému hospodářství. Granule mohou být ve tvaru kuliček, válečků nebo čoček.

### Tabletování

Podstatou je slisování základního práškového materiálu do podoby tablet, jež mají přesnou hmotnost. Metoda je výhodná z hlediska přesného dávkování, snížení prašnosti výroby, urychlení vytvrzení a zkrácení doby lisování.

### Sušení

Většina plastů vyžaduje při vlastním zpracování určité maximální procento vlhkosti. Toho docílíme sušením materiálu před vlastním zpracováním. Většina materiálů má ve svém materiálovém listu uvedenou dobu skladovatelnosti v uzavřeném obalu, dobu sušení a podobně.

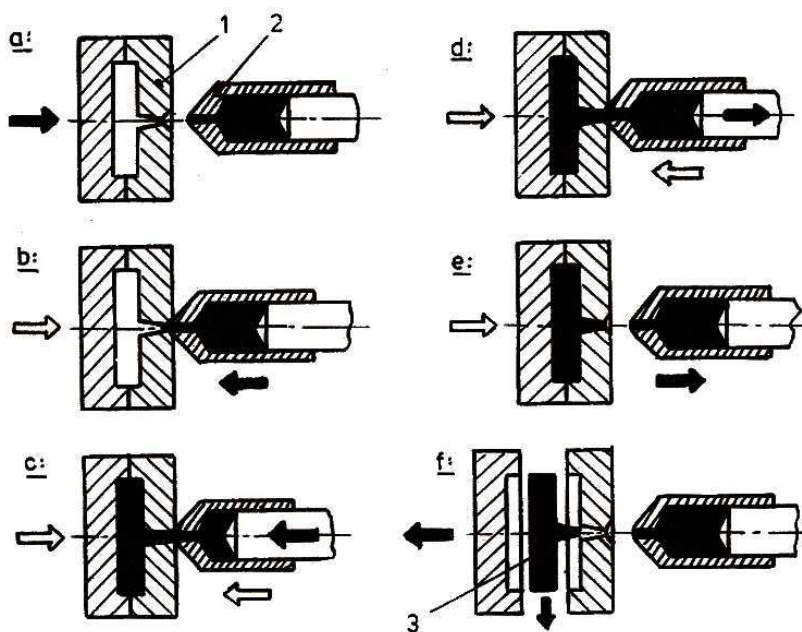
## 2.2 Vstřikování

Vstřikování je nejrozšířenější technologický proces zpracování plastů, kdy je řádně vysušeným granulátem příslušného polymeru naplněna násypka a odtud je postupně odebírán do tavicí komory vstřikovacího stroje, roztaven, zhomogenizován a následně pod vysokým tlakem je vstříknut do uzavřené dutiny formy. Tam se ochladí a nechá ztuhnout v konečnou podobu výrobku (výstřiku). Touto technologií lze zpracovávat bezmála všechny druhy termoplastů a v menším množství také reaktoplasty a kaučuky. Její předností je rychlý pracovní cyklus, nízké nároky na obsluhu a také poměrně vysoký stupeň automatizace. Vstří-

kováním mohou být vyráběny buď polotovary k dalšímu zpracování případně kompletaci celků nebo to mohou být už hotové výrobky. [8]

### 2.2.1 Vstříkovací cyklus

Vstříkovací cyklus je zahájen uzavřením dutiny formy a následným přisunutím vstříkovací jednotky z výchozí polohy. Po příjezdu vstříkovací jednotky je plastický materiál rychle přemístěn z plastikační jednotky do dutiny formy, tedy vstříknut. Ihned po naplnění formy začíná tuhnutí pod tlakem až do zatuhnutí ústí vtoku. Cyklus pak dále pokračuje postupným doplňováním vstříkovací komory plastifikovaným materiálem. Ve formě pokračuje tuhnutí (chlazení), ale již není pod tlakem. V následující fázi dojde k odsunutí vstříkovací jednotky do výchozí polohy. Na závěr cyklu se otevírá forma a výsledný výrobek je vyjmut. Forma i vstříkovací jednotka jsou ve výchozích polohách a cyklus se může opakovat. Touto technologií se vyrábí tvarově složité výrobky, tenkostěnné výrobky a výrobky, které se vyrábí ve velkých sériích.



Obr. 15 - Cyklus vstříkování.

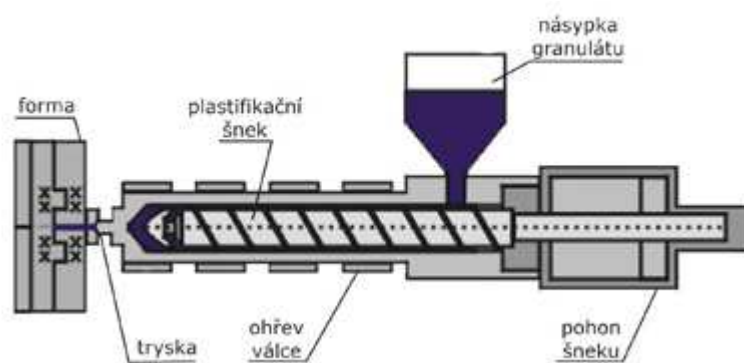
1 - forma, 2 - vstříkovací jednotka, 3 - výrobek [9]

### 2.2.2 Vstříkovací stroje

Vstříkovací stroje jsou složeny ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky (nejčastěji hydraulické), které jsou doplněny o prvky regulující proces. Stroje jsou často vybaveny po-

mocnými roboty, manipulátory, dopravníkovými systémy atd. a je snahou dosáhnout co nejvyššího stupně automatizace.

Stroje můžeme dělit z mnoha hledisek např. podle objemu vstřikované taveniny (malo, stredo a velkogramážní), typu vstřikovacího zařízení (pístové, šnekové a jejich kombinace), druh vstřikovaného materiálu (termoplasty, reaktoplasty, kaučuky) a pro dosažení výrobků vysoké kvality je nutné správně zvolit vstřikovací stroj. K nejdůležitějším parametrům při volbě vstřikovacího stroje patří vstřikovací kapacita, vstřikovací tlak, uzavírací síla, stavební výška formy, velikost upínacích desek.



Obr. 16 – popis vstřikovacího stroje [6]

### 2.2.3 Vstřikovací formy

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymezujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhadzovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku a pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dutina formy musí být zvětšena o hodnotu smrštění zpracovávaného materiálu. [5]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:



- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Kvalitu a jakost výstřiku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém, což je systém kanálů a ústí vtoku, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. [5]

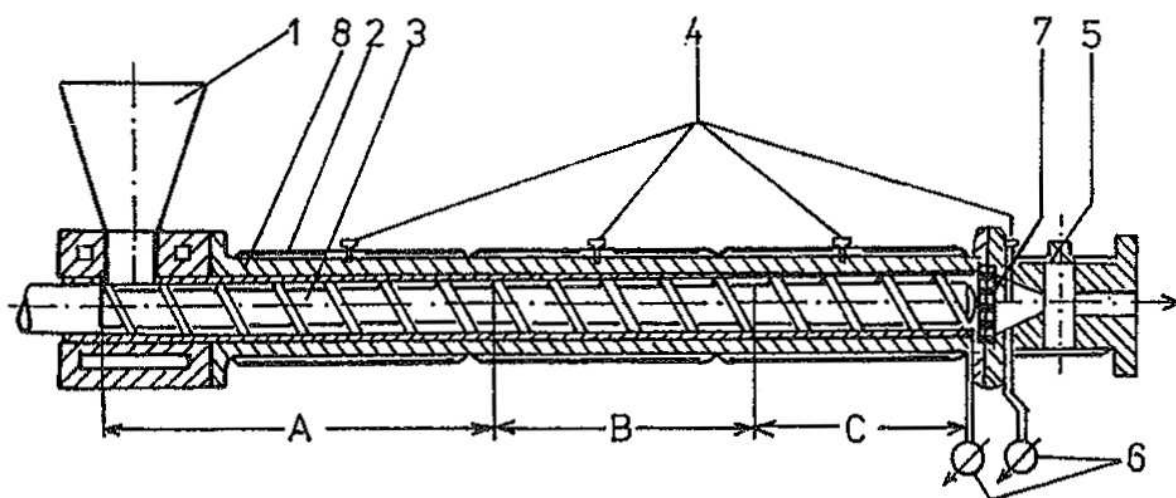
Pro zajištění opakovatelnosti výroby musí hmota v dutině formy zchladnout z technologického a ekonomického hlediska co nejrychleji a proto vstřikovací formy obsahují temperační systém. Temperačním systémem se rozumí systém kanálů a dutin, umožňujících přestup a prostup tepla z taveniny do formy a temperovací kapaliny. Teplota formy se udržuje na požadované výši pomocí chladicího média, které protéká soustavou chladicích kanálů. S ohledem na vlastnosti výrobku by bylo žádoucí, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Důsledky nerovnoměrného ochlazování se projevují např. tím, že výrobek obsahuje vnitřní pnutí, deformuje se a nebo vzniknou trhliny. Rozmístění temperačních kanálů a jejich rozměry je nutno navrhnout s přihlédnutím k celkovému řešení formy, např. umístění vtokové soustavy, vyhazovacích systému, tvarových vložek a jiných dílů. [5]

### 2.3 Vytlačování

Vytlačování je technologická operace, při které je tavenina plastu kontinuálně vytlačována přes profilovací zařízení (vytlačovací hlavu) do volného prostoru. Technologie vytlačování slouží k výrobě buď konečných tvarů nebo k výrobě polotovarů. Podle tvaru konečného výrobku nebo tvaru polotovaru se technologie vytlačování mohou rozdělit do tří základních skupin:

- výroba trubek a profilů,
- výroba fólií a desek,
- ostatní způsoby (oplášťování, výroba vláken a povlaků, granulátu atd.) [5]

Charakteristickými zpracovatelskými zařízeními pro vytlačování termoplastů a kaučukových směsí jsou šnekové vytlačovací stroje, které zaujmají přední místo mezi stroji ke zpracování polymerů. K vytlačování termoplastů a kaučukových směsí ve formě granulátu, aglomerátu, pelet či pásku se používají především jednošnekové stroje, ke zpracování práškových polymerů (např. PVC a některých kaučuků) spíše dvoušnekové vytlačovací stroje.



Obr. 17 - Schéma vytlačovacího stroje [3]

1- násepka, 2 – elektrické odporové topení, 3 – šnek, 4 – termočlánci k měření teploty, 5 – ventil k regulaci tlaku, 6 – snímače tlaku, 7 – lamač, 8 – válec

Šnekový vytlačovací stroj ve vstupní zóně A zachycuje polymerní hmotu a dopravuje směrem k hlavě za současného stlačování. V plastikační zóně B ji plastikuje a stlačuje dále. V zóně C je materiálně i tepelně homogenní polymer v plastickém stavu uváděn nepřetržitě pod tlakem do tvářecí hlavy. [1]

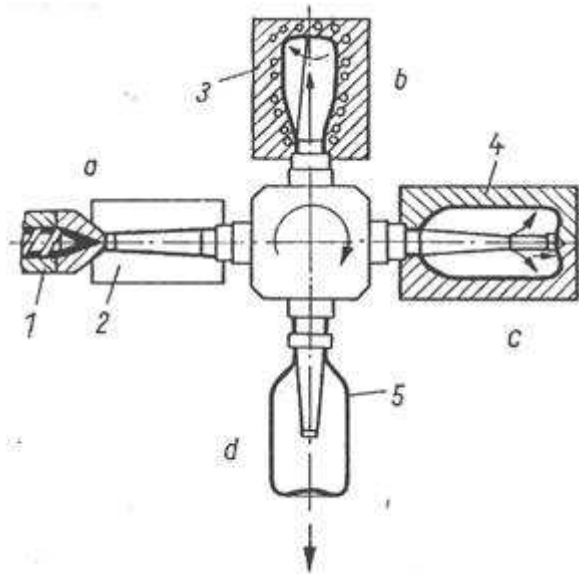
Šnekový vytlačovací stroj pracuje málokdy samostatně. Většinou je zařazován do výrobních linek, v nichž předcházející stroje zajišťují plynulé zásobování šnekového vytlačovacího stroje a následně zase odběr, případně úpravu výrobku. Linky na vytlačování uzavřených i otevřených profilů a trubek se skládají ze šnekového vytlačovacího stroje, vytlačovací hlavy a ze zařízení měřicího, kalibračního, chladicího, odtahovacího, dělicího a navíjecího resp. odkládacího. U linek na výrobu hadic je chladicí zařízení nahrazeno vulkanizačním zařízením. [1,5]

## 2.4 Vyfukování

Vyfukováním se rozumí takový postup, při kterém je polotovar tvarován ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu do tvaru více méně uzavřeného tělesa. Materiál se musí zahřát do plastického stavu, kdy hmota vykazuje potřebnou tvarovatelnost, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudružnost. K nejdůležitějším technologickým parametrům vyfukování patří teplota a tlak. Polotovarem může být předlisek vyráběný vstřikováním, vytlačováním nebo i fólie.

### 2.4.1 Vstřikovací vyfukování

Vstřikovací vyfukování se používá k výrobě dutých těles menších rozměrů a s velmi členitým tvarem. V vstřikovací formě se nastříkne na speciálně upravený, obvykle ocelový, trn v dutině vstřikovací formy tavenina vhodného plastu. Tím je vytvořen polotovar a to včetně dna a kompletního hrdla, např. se závity budoucí láhve. Dále se postup liší podle toho, zda je výlisek tvářen ihned nebo je proces vyfukování zcela oddělen. V prvním případě se ihned po nastříknutí plastu, dokud je hmota ještě v plastickém stavu, trn přenesení do formy nebo se naopak forma přisune k předlisku po odsunutí vstřikovací formy. Následuje vyfouknutí stlačeným vzduchem do tvaru tvarové dutiny formy, ochlazení a ztuhnutí plastu, otevření nástroje a vyhození (sejmutí) z trnu stlačeným vzduchem a celý cyklus se opakuje. Tento postup má výhody v tom, že pokud se používá živý vtok, tak neexistuje technologický odpad, hrdlo se závitem i dno mají vysokou kvalitu, neboť neobsahují svar. Nevýhodou je potřeba dvou forem, složitá výrobní zařízení a plast musí být vhodný jak pro vyfukování, tak i pro vstřikování. Ve druhém případě lze proces oddělit. Vstřikováním se vyrobí předlisky, normálně se ochladí a v druhé formě se potom opět ohřejí do plastického stavu a vyfouknou. Oblast hrdla se závitem se nezahřívá. [5]

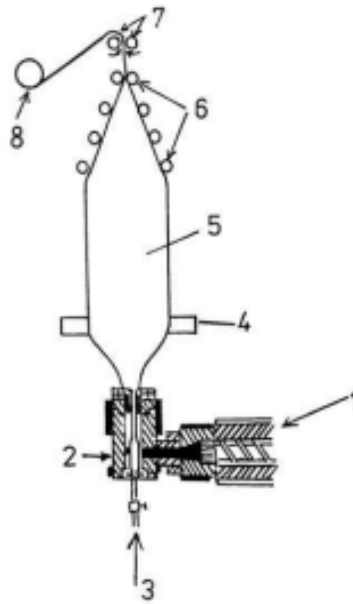


Obr. 18 - Princip vstřikovacího vyfukování s okamžitým vyfouknutím [3]

1 – vstřikovací stroj, 2 – vstřikovací forma, 3, 4 – vyfukovací forma, a – vstřikování, b – vyfukování, c – chlazení, d – vyhození

#### 2.4.2 Vytlačovací vyfukování

Základem vytlačovacího vyfukování je vytlačování polymeru kruhovou šterbinou. Průměr a tloušťka vytlačované hadice jsou regulovány seřízením šterbiny vytlačovací hlavy. Vytlačená hadice je pak sevřena do formy a tlakem vzduchu rozfouknuta do tvaru, který jí udělí forma. Pro výkony do 100 kg/h se používají jednošnekové vytlačovací stroje. Vzduch pro vyfukování se nejčastěji přivádí vyfukovací hlavou pro jednoduchost manipulace, ale z hlediska vzniku spolehlivého svaru dna je nejvhodnější přivádět vzduch zdola. K nejčastějším výrobkům vzniklým touto technologií patří výroba hadic, fólií a lahví.

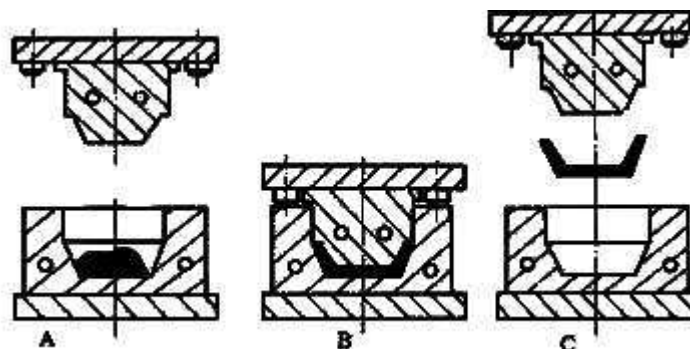


Obr. 19 – schéma výroby fólií výtlačným vyfukováním [1]

1 – vytlačovací stroj, 2 – vyfukovací hlava s přívodem tlakového vzduchu 3, 4 – chladičí prstenec, 5 – vyfouknutá fólie, 6 – zplošťovací válečkové zařízení, 7 - odtahovací válce, 8 – role navíjené fólie (ve formě nekonečného rukávu)

## 2.5 Lisování

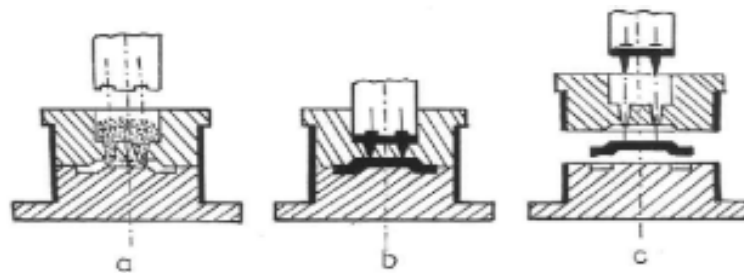
Lisování je nejstarší způsob zpracování polymerů. Tento proces tváření polymerů probíhá za zvýšených teplot a tlaků a výrobek získává výsledný tvar dle tvaru formy. Rozlišujeme dva základní druhy lisování, a to podle působícího tlaku na nízkotlaké ( $p < 3,5$  Mpa) a vysokotlaké ( $p > 3,5$  Mpa). Výsledný tvar výrobku je fixován fyzikální nebo chemickou změnou. Chemická změna je typická pro reaktoplasty a kaučukové směsi. U reaktoplastů se tento proces nazývá vytvrzování a u kaučuků vulkanizace.



Obr. 20 - Princip lisování [9]

Pro reaktoplastické a kaučukové směsi bývá také používáno tzv. nepřímé lisování neboli přetlačování. Při tomto způsobu zpracování je forma na začátku cyklu uzavřena a materiál do ní vtéká značnou rychlostí jedním nebo více malými kanálky. Důležitou součástí procesu je správná teplota polymeru, která se zajišťuje v předehřívacích komorách. [1]

Výhodou toho zpracování je, že polymerní směs přichází do tvárnic formy v již plastickém stavu a méně je opotřebovává, také poskytuje homogenní vylisky přesných rozměrů a umožňuje lisovat výrobky s kovovými základy, které by při klasickém lisování mohly být poškozeny. Nevýhodou je složitější konstrukce formy a větší spotřeba lisovací hmoty. [1]

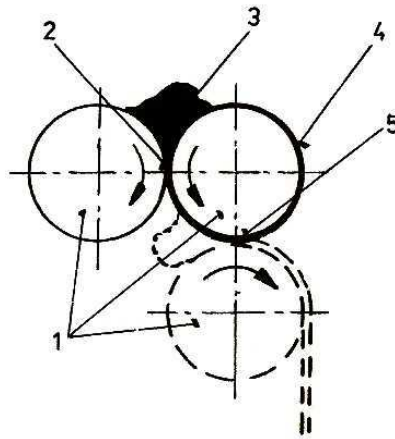


Obr. 21 – princip přetlačování [9]

a – otevřená forma s přetlačovaným materiálem v přetlačovací komoře, b – uzavřená forma s materiálem přetlačeným do tvářecího prostoru, c – otevřená forma s vyjímaným vyliskem

## 2.6 Válcování

Tato tvářecí metoda je určena ke zpracovávání plastů nebo kaučukových směsí mezi otáčejícími se válci. Materiál je tvářen ve štěrbině mezi válci. Intenzitu válcování ovlivňuje mezera mezi válci a rozdíl v obvodových rychlostech válců – *skluz*. Dvouválce se používají v gumárenském průmyslu k míchání a předehřívání směsí, k válcování pásů a fólií, k mletí pryžového odpadu atd. V plastikařském průmyslu slouží dvouválce k přípravě směsi PVC, k želatinaci nebo plastifikaci, válcování fólií ap. [9]

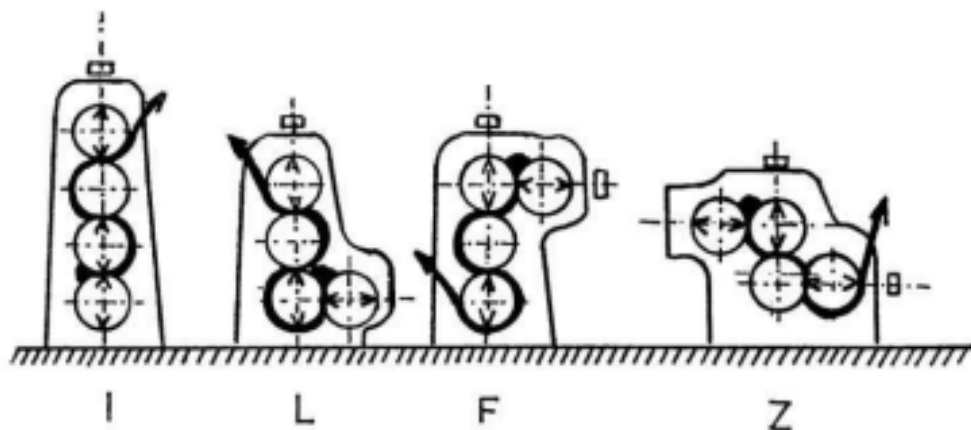


Obr. 22 - Princip válcování [9]

1 - válce, 2,5- skus, 3- návalek, 4- opásání

K nejrůznějším účelům se vyrábějí různé typy kalandrů, které lze nejjednodušeji klasifikovat podle počtu válců. Dvouválcové kalandry slouží ke zdvojování fólií, k leštění jejich povrchu, k želatinaci fólií a nánosů a k dezénování koženek. Tříválcové kalandry se používají k válcování fólií a jednostrannému nánosování polymerních směsí na textilní podložku. [1]

Nejrozšířenějšími kalandry k výrobě fóliového materiálu jsou čtyřválcové. Tyto můžeme dále dělit podle vzájemné polohy válců na typy I, L, F, Z (obr. 16). Nejstarším typem je typ tvaru písmene I, ale dnes se již téměř nepoužívá z konstrukčních důvodů a z důvodů výšky kalandru (obtížný přístup).



Obr. 23 – klasifikace čtyřválců na typy I, L, F, Z [1]

### 3 TEORIE MĚŘENÍ BARVY A LESKU

Během vystavení materiálů povětrnostním podmínkám (zejména UV záření) může docházet k povrchovým změnám. V případě nátěrů se jedná o postupnou degradaci polymerní matrice nátěru, projevující se nejprve ztrátou lesku, dále barevnými odchylkami a posléze může dojít k výraznému poškození polymerního pojiva projevující ho se vypadáváním částic pigmentů a plniv. Tímto nátěr ztrácí svoji užitnou funkci. Při formulování nátěrů je snahou výrobců těmto nežádoucím jevům předcházet (např. přidávkem UV absorbérů či povrchovou úpravou pigmentů) a tím prodloužit životnost nátěrů. Jiný typ nátěrů představují tzv. samočisticí nátěry, do kterých je mimo klasických pigmentů a plniv přidán i fotokatalyzátor, iniciující po ozáření vznik reaktivních částic, schopných oxidativně odbourávat znečišťující látky. Takovéto nátěry si udržují stále svůj vzhled a nejsou náchylné k zašpinění. Při formulaci takovýchto nátěrů je třeba nalézt kompromis mezi fotokatalytickou aktivitou a stabilitou nátěrů s cílem nalezení optimální fotokatalytické aktivity a přijatelné životnosti nátěru. [11]

#### 3.1 Základy optiky

Optika je část fyziky, která zkoumá podstatu světla a zákonitosti světelných jevů, které vznikají při šíření světla a při vzájemném působení světla a látky. Zdroje světla jsou za

- a) přirozené – slunce
- b) umělé – žárovka
- c) chromatické – např. - bílé světlo (7 barev)
- d) monochromatické - laser

Mezi optické přístroje patří například oko, lupa, mikroskop, dalekohled.

Světlo je elektromagnetické vlnění, a proto chování světla při dopadu na překážku můžeme popsat pomocí Huygensova principu, ten předpokládá, že v každém okamžiku lze každý bod na čele šířící se vlny chápat jako nový zdroj vlnění (sekundárních vln). Nový tvar čela vlny v čase o malý okamžik pozdějším lze pak určit jako vnější obálku vln, šířících se z těchto zdrojů. [18]

Huygensův princip není zcela správný, neboť podle něj by se například vlna procházející vzduchem či vodou ze všech bodů vracela zpět do zdroje, aniž by se odrazila od nějaké překážky. Huygensovy představy doplnil francouzský fyzik Augustin-Jean Fresnel. Upřes-

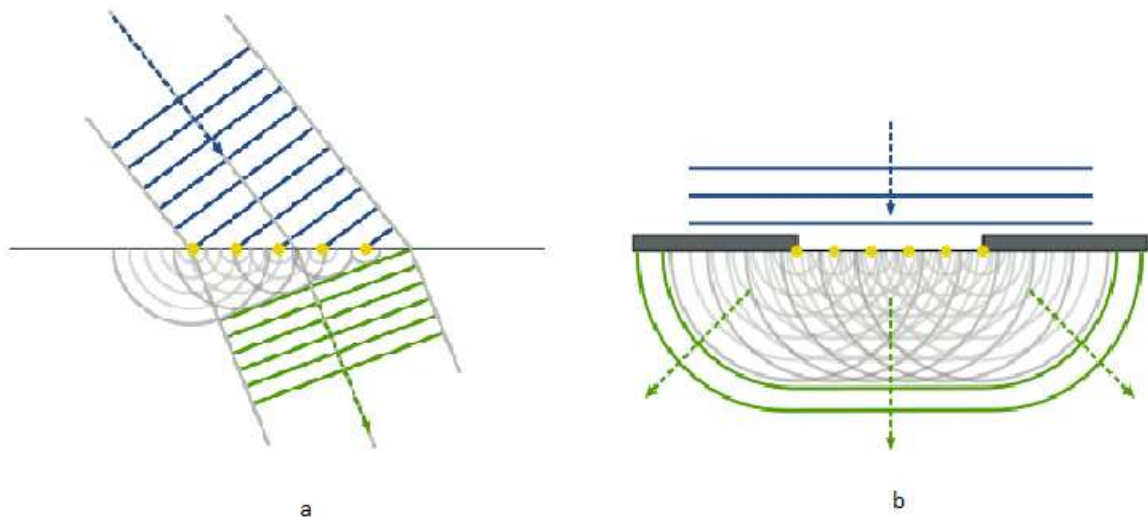


něný Huygensův-Fresnelův princip doplňuje původní představu o interferenci sekundárních vln a zavádí tzv. inklinanční faktor.

$$K(\theta) = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta) \quad (5)$$

kde  $\theta$  je odchylka od původního směru šíření.

Každý bod vlnoplochy, do něhož postupné vlnění izotropního prostředí, v němž existuje vazba, dospělo v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Celková vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obálka všech elementárních vlnoploch a kolmice na ni jednoznačně určuje směr šíření.



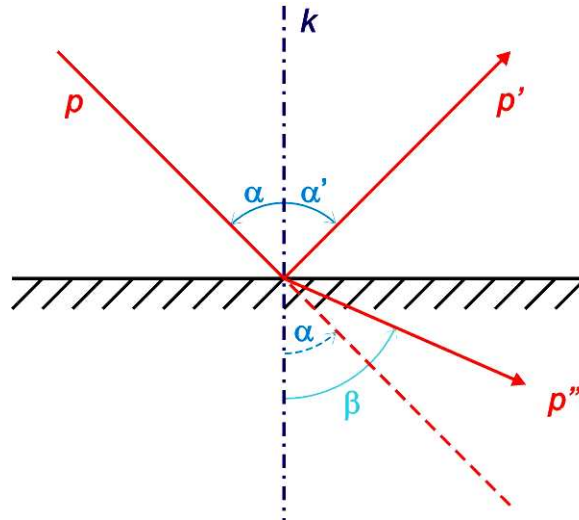
Obr. 24 – Huygensův princip pro lom světla (a) a pro difrakci (b). [18]

Velikost rychlosti světla ve vakuu je  $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Jedná se o maximální možnou rychlost, kterou se může fyzikální objekt pohybovat. Jako světlo se označuje elektromagnetického vlnění, na které je citlivý lidský zrakový orgán - oko: Fyziologický vjem zvaný vidění vyvolává elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 390 nm až 790 nm.

### 3.1.1 Odraz a lom světla

Světelný paprsek dopadá na rozhraní dvou optických prostředí pod úhlem dopadu  $\alpha$ , který paprsek svírá s kolmicí dopadu  $k$  vztyčenou v místě dopadu na rozhraní optických prostředí. V případě, že rozhraní není rovinné, uvažujeme kolmici na tečnou rovinu zakřivené plochy v místě dopadu světelného paprsku. Dopadající paprsek a kolmice dopadu tvoří rovinu - rovinu

dopadu. Odražený paprsek svírá s kolmicí dopadu úhel odrazu  $\alpha'$ . Vztah mezi úhlem dopadu a úhlem odrazu popisuje zákon odrazu: Velikost úhlu odrazu se rovná velikosti úhlu dopadu, tedy  $\alpha = \alpha'$ . Odražený paprsek leží v rovině dopadu. [16]



Obr. 25 - Odraz a lom světla. [16]

$p$  je paprsek, který dopadá na rozhraní dvou prostředí – *dopadající paprsek*. Na tomto rozhraní dochází jednak k odrazu světla (odražený paprsek  $p'$ ) a k lomu světla (lomený paprsek  $p''$ ). Dopadající paprsek svírá s kolmicí dopadu úhel dopadu  $\alpha$ . Odražený paprsek  $p'$  svírá s kolmicí dopadu úhel odrazu  $\alpha'$ . Paprsek, který prošel z prvního prostředí do druhého prostředí ( $p''$ ), označujeme jako lomený paprsek a svírá s kolmicí dopadu úhel lomu  $\beta$ . Zapamatujte si, že veškeré úhly dopadu, odrazu i lomu odečítáme ve směru od kolmice dopadu. [16]

Pro směr lomeného paprsku byl odvozen vztah:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (6)$$

, kde  $\beta$  je úhel lomu. Podíl velikostí rychlostí světla  $v_1$  a  $v_2$  v obou prostředích je pro daná prostředí konstantní a vyjadřuje index lomu  $n$  pro dané rozhraní dvou prostředí. Je-li prvním prostředím je vakuum, je  $v_1 = c$ . Označíme-li  $v_2 = v$ , dostaneme index lomu ve tvaru  $n = c/v$ , který se někdy také nazývá absolutní index lomu. [16]

### 3.1.2 Rozklad světla

Při lomu bílého světla je možné pozorovat, že svazek paprsků lomeného světla se trošku rozšiřuje a jeho okraje jsou zabarvené – okraj vzdálenější od kolmice dopadu je zabarven červeně a okraj bližší ke kolmici je zabarven fialově.

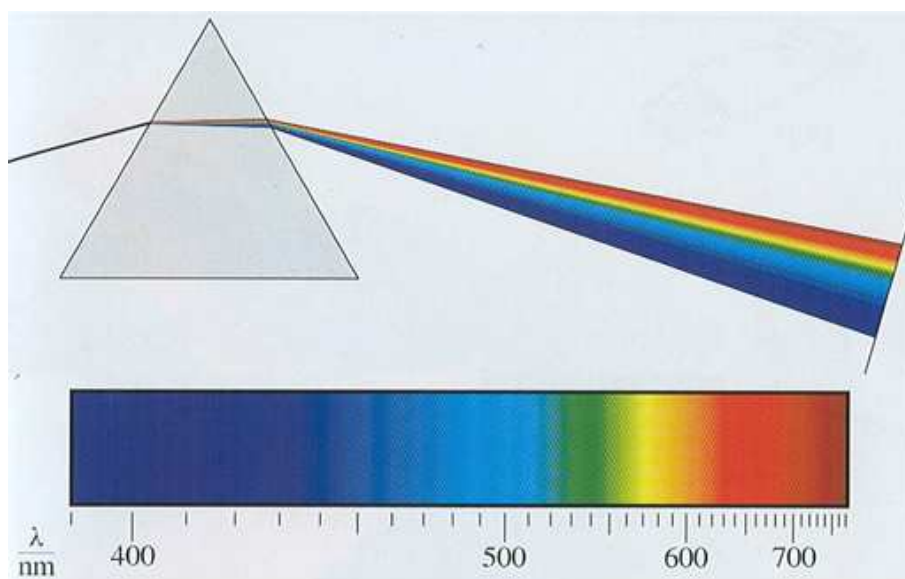
Bílé světlo se při lomu rozloží na barevné složky. Tento jev se nazývá disperze světla a je důsledkem závislosti rychlosti světla v látkách na frekvenci světla.

Rychlost světla se zpravidla s rostoucí frekvencí zmenšuje – v těchto případech nastává tzv. normální disperze. Poněvadž  $n = c/v$ , má index lomu v určitém prostředí odlišné hodnoty pro různé frekvence světla. [19]

Index lomu optického prostředí závisí na frekvenci světla a při normální disperzi se s rostoucí frekvencí zvětšuje.

Vlivem disperze světla se paprsky monofrekvenčního světla různých barev lámou pod různými úhly lomu. Nejvíce se láme paprsek světla fialového a nejméně paprsek světla červeného s nižší frekvencí. Disperze světla svědčí o tom, že bílé světlo je složeno z jednoduchých (barevných) světél. Tato jednoduchá světla již nelze dále rozložit a každému monofrekvenčnímu světlu přiřazujeme určitou barvu.

Při jednom lomu není rozklad světla příliš patrný. Proto se pro rozklad světla používá optický hranol, kde nastane vícenásobný lom na několika rozhraních. Lámací plochy svírají navzájem úhel  $\varphi$ . [19]



Obr. 26 – rozklad světla na optickém hranolu. [19]

Po dvojnásobném lomu na lámavých plochách optického hranolu vznikne na stínítku řada na sebe navazujících barevných proužků, kterou nazýváme hranolové spektrum.

Bílé světlo se hranolem rozloží na spektrum, v němž jsou zastoupeny všechny barvy odpovídající paprskům monofrekvenčního světla v posloupnosti: červená (nejmenší hodnota indexu lomu), oranžová, žlutá, zelená, modrá, fialová (největší hodnota indexu lomu). [19]

Na obrázku spojitého hranolového spektra je vidět, že jednotlivé barvy nejsou ve spektru rozloženy rovnoměrně. Na červeném (dlouhovlnném) konci spektra jsou barvy víc nahuštěny než na fialové (krátkovlnném) konci spektra. [19]

Při průchodu rozhraním optických prostředí se frekvence světla nemění, mění se však rychlost světla. Platí:

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda} \quad (7)$$

( $\lambda_0$ ...vlnová délka světla ve vakuu (vzduchu),  $\lambda$ ...vlnová délka světla v daném prostředí,  $f$ ...frekvence,  $c$ ...rychlost světla,  $v$ ...rychlost,  $n$ ...index lomu světla)

Poněvadž index lomu  $n = \frac{c}{v}$ , platí:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (8)$$

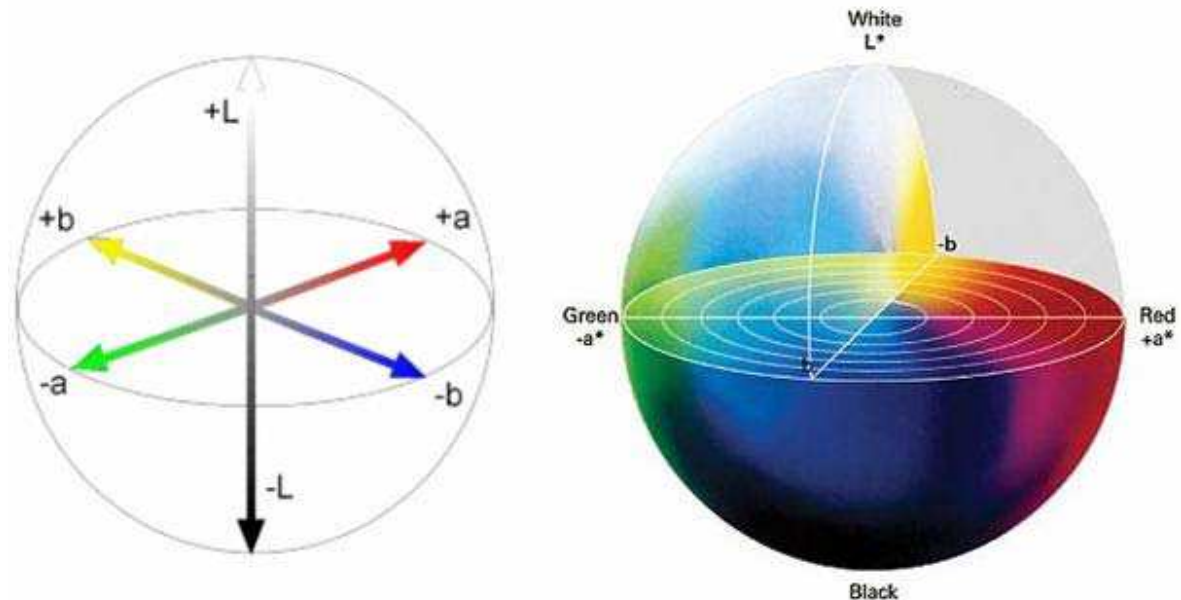
V optickém prostředí o indexu lomu  $n$  je vlnová délka světla  $n$ -krát menší než ve vakuu. [19]

### 3.2 Měření barevnosti

K popisu barvy lze užít tři parametrů, který jí definují. Je to odstín sytost a jas. Odstín (barevný tón) je přirovnání barvy k některé ze spektrálních barev (modrá, zelená, žlutá a červená). Sytost nebo též čistota barvy vyjadřuje relativní podíl intenzity světla v dané oblasti spektra proti celkové intenzitě. Největší čistotu mají barvy monochromatické tj. takové jejichž záření je vyvoláno pouze zářením jedné vlnové délky). Jas vyjadřuje množství světla odraženého vzorkem. [11]

Jelikož barvu popisují tři parametry lze barvu popsat jako bod v barevném prostoru. V praxi nepoužívanějším barevným prostorem je CIELAB  $L^*a^*b^*$ , který byl v roce 1976 navr-

žen Mezinárodní komisí pro osvětlení. Pravoúhlý souřadnicový systém vyobrazen na obr.27 je tvořen třemi osami. Osou nepestrosti (osa jasu) s označením  $L^*$  a dále dvěma osami zelenočervenou (označení  $a^*$ ) a modrožlutou (označení  $b^*$ ).



Obr. 27 – Pravoúhlý souřadnicový systém pro určení bodu v barevném prostoru [11]

V průmyslu nátěrových hmot není důležité znát přesnou souřadnici barvy daného vzorku, ale zajímavá bude spíše odchylka od určitého barevného standardu. Barevnou diferencí je možno vyjádřit pomocí odchylky  $\Delta E$ . Parametr  $\Delta E$  je definován na základě diferencí mezi jednotlivými souřadnicemi porovnávaných parametrů. Parametr  $\Delta E$  je možno spočítat na základě vztahu 1 a vyjadřuje nejkratší vzdálenost mezi souřadnicemi standardu a vzorku v barevném prostoru. Dílčí odchylky  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$   $\Delta b^*$  lze vyjádřit jako rozdíl dané souřadnice barevného standardu a vzorku Pokud je  $\Delta E$  menší než 1 je barevná změna zanedbatelná. [11]

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (9)$$

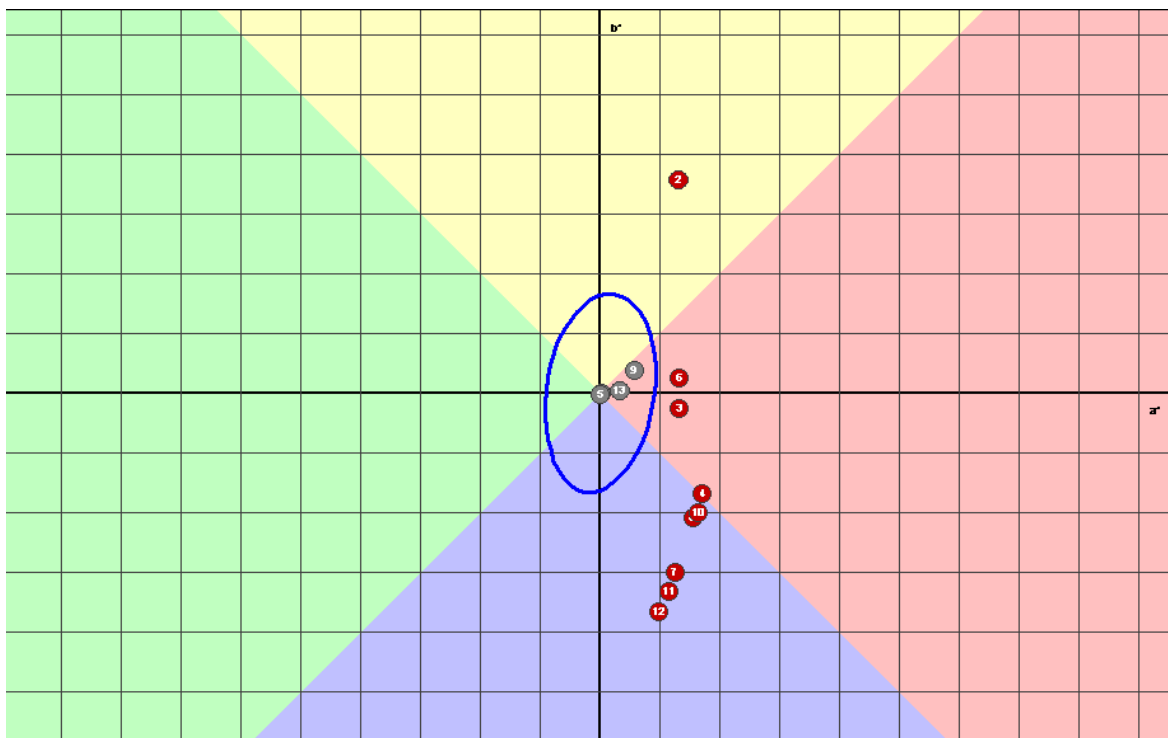
$$\Delta L^* = (L^*_{standard} - L^*_{vzorek}) \quad (10)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{standard} - a^*_{vzorek}) \quad (11)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{standard} - b^*_{vzorek}) \quad (12)$$

Konkrétní odchylka je vyjádřena v barveném prostoru koulí či elipsoidem. Bod (barva daného vzorku), který náleží do toleranční elipsy značí, že je barevná diference pouhým okem nepostřehnutelná a tudíž považována za zanedbatelnou. Příklad znázornění toleranč-

ní elipsy v barevném prostoru je znázorněna na obr. 28. Barevný prostor je zde pro přehlednost znázorněn pouze dvojrozměrně (osa jasů není znázorněna). Ze schématu plyne, že vzorky číslo 5, 13 a 9 jsou přijatelně vzdáleny od barevného standardu. Naproti tomu vzorek č. 2 má žlutější odstín než standard a ostatní vzorky mají odstín zbarvený více do červena. [11]



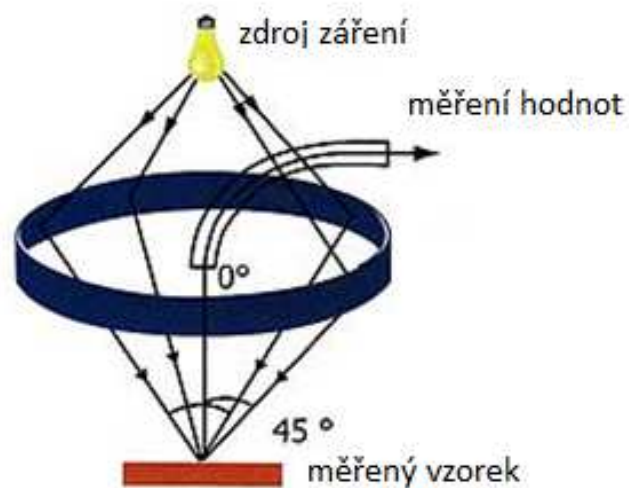
Obr. 28 – příklad toleranční elipsy v barevném dvojrozměrném prostoru [11]

Měření barevnosti je prováděno na odrazovém spektrofotometru, kdy se měrná hlavice přístroje umístí do kontaktu s měřeným povrchem. Světelný zdroj přístroje ozáří vyměřené měrné pole a fotodetektor poté vyhodnotí množství odraženého světla. Vyhodnocování probíhá po celém rozsahu vlnových délek (400-700 nm) v 10 nm intervalech. Tím dojde k stanovení tzv. remisní křivky (některé vlnové délky jsou odráženy předmětem více a některé vlnové délky naopak pohlcuje). Remisní křivka je pro danou barvu charakteristická. Spektrální přístroje pro měření barevnosti se liší podle geometrie měření. [11]



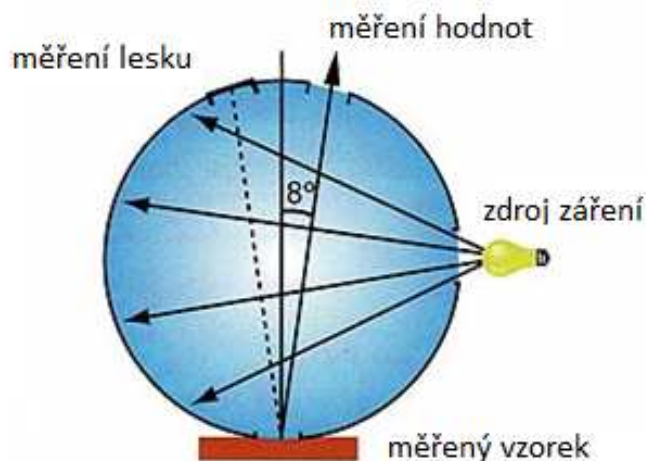
Obr. 29 – přístroj na měření barevnosti povrchu od firmy Konica Minolta

Rozlišují se přístroje s geometrií  $45^{\circ}/0^{\circ}$ , kde světelný paprsek dopadá na povrch pod úhlem  $45^{\circ}$  a snímá se světlo odražené pod úhlem  $0^{\circ}$ . Při použití tohoto typu geometrie bude výsledek ovlivňován intenzitou lesku nebo strukturou povrchu, takže takováto geometrie není vhodná pro měření lesklých povrchů, neboť se odrazí více světla pod úhlem  $45^{\circ}$  a do detektoru se dostane světla méně.



Obr. 30 – schéma přístroje na měření barevnosti typ -  $45^{\circ}/0^{\circ}$  [11]

Druhý typ geometrie využívá difúzně rozptýlené světlo a měří se světlo odražené pod úhlem  $8^\circ$  od kolmice povrchu. Difúzní geometrie (označení  $d/8^\circ$ ) je vhodná tam, kde je třeba měřit pigmentaci nátěrů bez ohledu na jejich lesk či strukturu. [11]



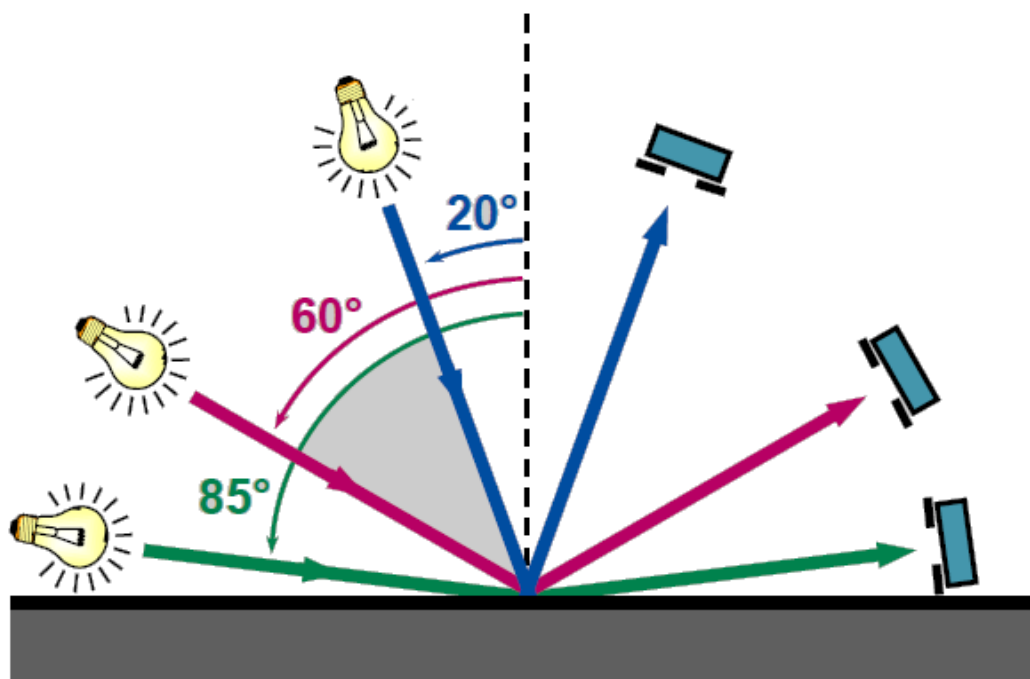
Obr. 31 - schéma přístroje na měření barevnosti typ -  $d/8^\circ$  [11]

### 3.3 Měření lesku

Při hodnocení výsledné kvality povrchové úpravy se většinou zaměřujeme na odstín, strukturu, přilnavost a další parametry. Méně se však mluví o lesku. Přitom samotný stupeň lesku dokáže výrazně ovlivnit výsledný povrchový efekt.

Stupeň lesku lze definovat jako poměr mezi intenzitou dopadajícího a odraženého světelného záření určitého spektra od sledovaného povrchu. V praxi se setkáváme převážně s přenosnými měřicími systémy, které se kalibrují podle standardu z černého skla v určitém indexu lomu (obvykle 1,567), který odpovídá 100 jednotkám. Reflektometry lze dále rozdělit podle úhlu dopadu osvětlovacího mechanismu. Geometrie jsou standardně nastaveny na  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $85^\circ$ . Stupeň lesku bývá vyjadřován v jednotkách lesku GU (gloss units). Často se reflektometrem naměřená hodnota vztahuje k množství vyzářeného světla a vyjadřuje se v %. [10]





Obr. 32 - Princip měření lesku povrchu [10]

Pro běžné užití je doporučeno užít geometrii  $60^\circ$ , která by měla poskytovat hodnoty lesku od 10-70 GU. Pokud přesahuje lesk 70 GU je doporučeno užít geometrii  $20^\circ$  a naopak pokud v případě matných povrchů s leskem nižší než 10 GU je vhodné použít geometrii  $85^\circ$  (viz tab. 1). [11]

	hodnoty GU	úhel
<b>střední lesk</b>	10-70	$60^\circ$
<b>vysoký lesk</b>	>70	$20^\circ$
<b>nízký lesk</b>	<10	$85^\circ$

Tab. 2 - tabulka doporučených úhlů pro jednotlivé úrovně lesku

Jelikož výsledná úroveň lesku vychází z poměru dopadajícího a odraženého záření, mohou mít na konečnou hodnotu vliv například různé povrchové kazy sledovaného místa. Dopadající paprsek je v místě defektu sice odražen ze svého směru, avšak vychýlením paprsku na defektu se vnáší do měření chyba, která může dále ovlivnit zaznamenané hodnoty. Mezi takovéto defekty lze zařadit prach, špínu, otisky prstů a další. [10]



Obr. 33 – ukázka práce s přístrojem na měření lesku od firmy BYK

Jedním z faktorů na zachování lesku a odstínu je vhodná volba aplikované barvy. Epoxy-polyesterové barvy podléhají degradaci a ztrátě vzhledu působením UV záření a vnějších vlivů řádově rychleji než barvy na bázi polyesteru. [10]

## 4 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE A STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V této diplomové práci je teoretická část rozdělena na tři rozsáhlejší kapitoly. První část je zaměřena na polymery – rozdělení polymerů a základní vlastnosti. V druhé, asi nejrozsáhlejší kapitole jsou popsány způsoby zpracování polymerů. Některé jsou zmíněny okrajově, avšak technologie vstřikování je popsána podrobněji z toho důvodu, že vzorek, který budu měřit a posuzovat, je uvedenou technologií vyroben. To už je také zmíněno v úvodu této diplomové práce. Třetí a poslední kapitola je zaměřena na teorii měření barvy a lesku na plastových dílech.

Cílem této diplomové práce je zjistit a vyhodnotit zda technologií vstřikování polymerů je možné ovlivnit kvalitu dílů, respektive barevný odstín a lesk dílu.

V experimentální části bude souhrn několika prvotních měření a následně bude vyhodnoceno, co se týče „matematiky“, respektive statistiky, tak bude provedeno srovnání měření s požadovaným etalonem. Následně budou stanovena nápravná opatření a ty budou odzkoušeny a také vyhodnoceny.

V závěrečné části této práce bude vyhodnoceno měření a shrnutí faktorů, které ovlivní sledované veličiny. Také bude navržen řešení problémů dané problematiky do praxe.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 VZORKY A ZAŘÍZENÍ PRO EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

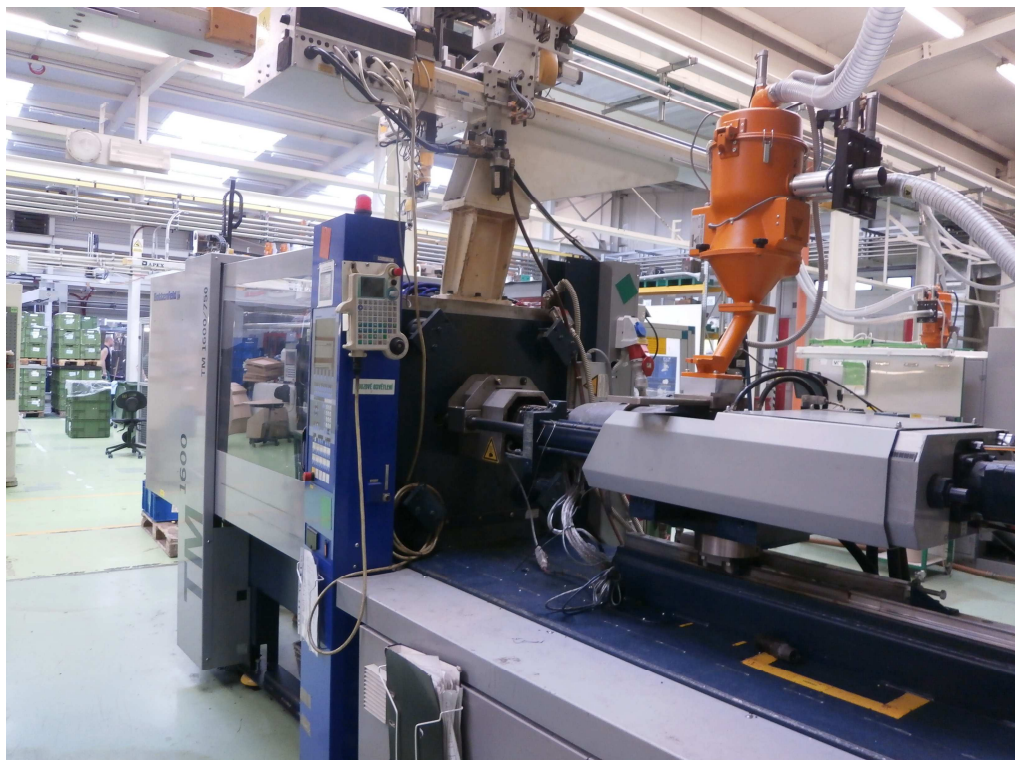
Vzorky byly vyráběny ve firmě Kasko spol. s r.o., která je zaměřena na výrobu plastových výrobků do automobilového průmyslu. Pro výrobu dílů byl použit lis Battenfeld BA1600/750TM, uzavírací síla 160t, výrobní číslo 59 116, průměr šneku 45mm. (obr. 34, obr. 35, obr. 36). Firma samozřejmě splňuje podmínky a dodržuje zásady popsané v normách, které jsou nutné pro výrobu plastových dílů do automobilů. Certifikát pro systém managementu dle EN ISO 14001 : 2004 a systém managementu jakosti dle ISO/TS 16 964 : 2009.



Obr. 34 – Pohled na vstříkovací stroj typ Battenfeld BA1600/750TM



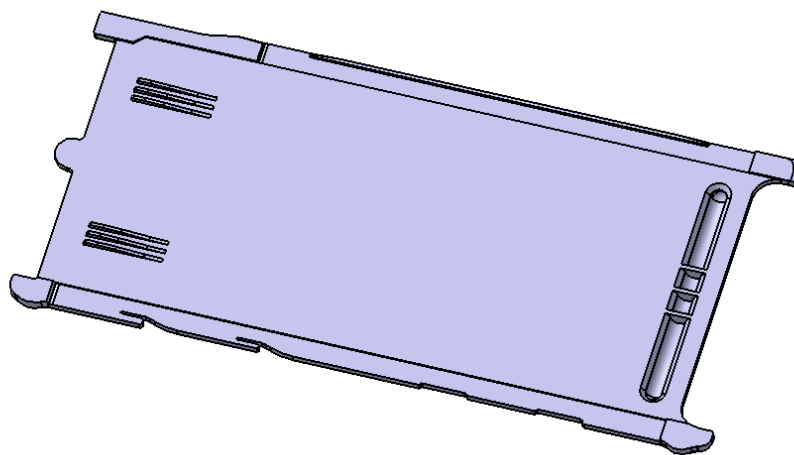
Obr. 35 – Vizualizace uchycení formy na stroji a ovládací jednotky.



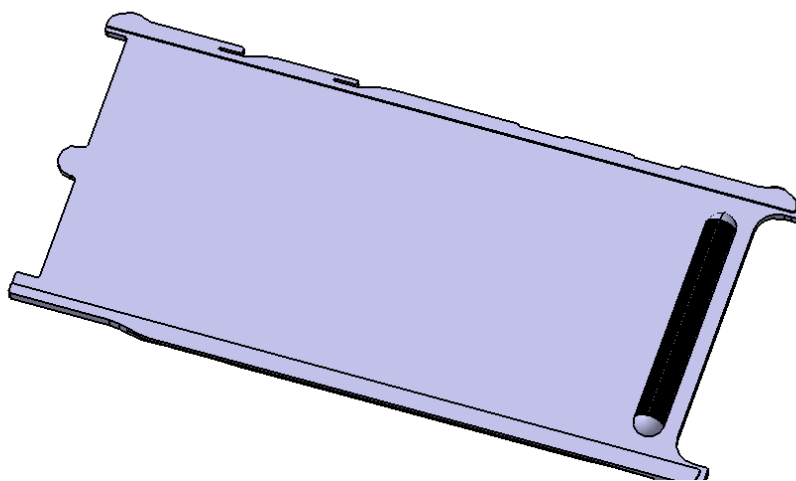
Obr. 36 – Pohled na vstřikovací jednotku stroje

## 5.1 Vizualizace měřeného vzorku

Zkušební vzorek, na kterém bylo měření prováděno (obr. 37, obr. 38) je plastový díl, který je vyráběn pro koncern VW a je nazýván Krytka zrcátka sluneční clony. Díl je kompletován s kombinací rámečku sluneční clony a výztuhy, která je lisována s kovovým rámem (drátem), který slouží jako výztuha. Naše posuzovaná součást je používána jako krytka zrcátka a posunem ve sluneční cloně odkrývá, případně zakrývá zrcátko u řidiče nebo spolujezdce ve sluneční cloně a můžete ho najít konkrétně v autě s označením VW Golf. Díl je vyráběn z materiálu PC/ASA (Polykarbonát / Akrylonitril Styren Akrylát) – regenerát se nepřidává, poměr 50/50. Materiál je od dodavatele materiálu Ultraform.

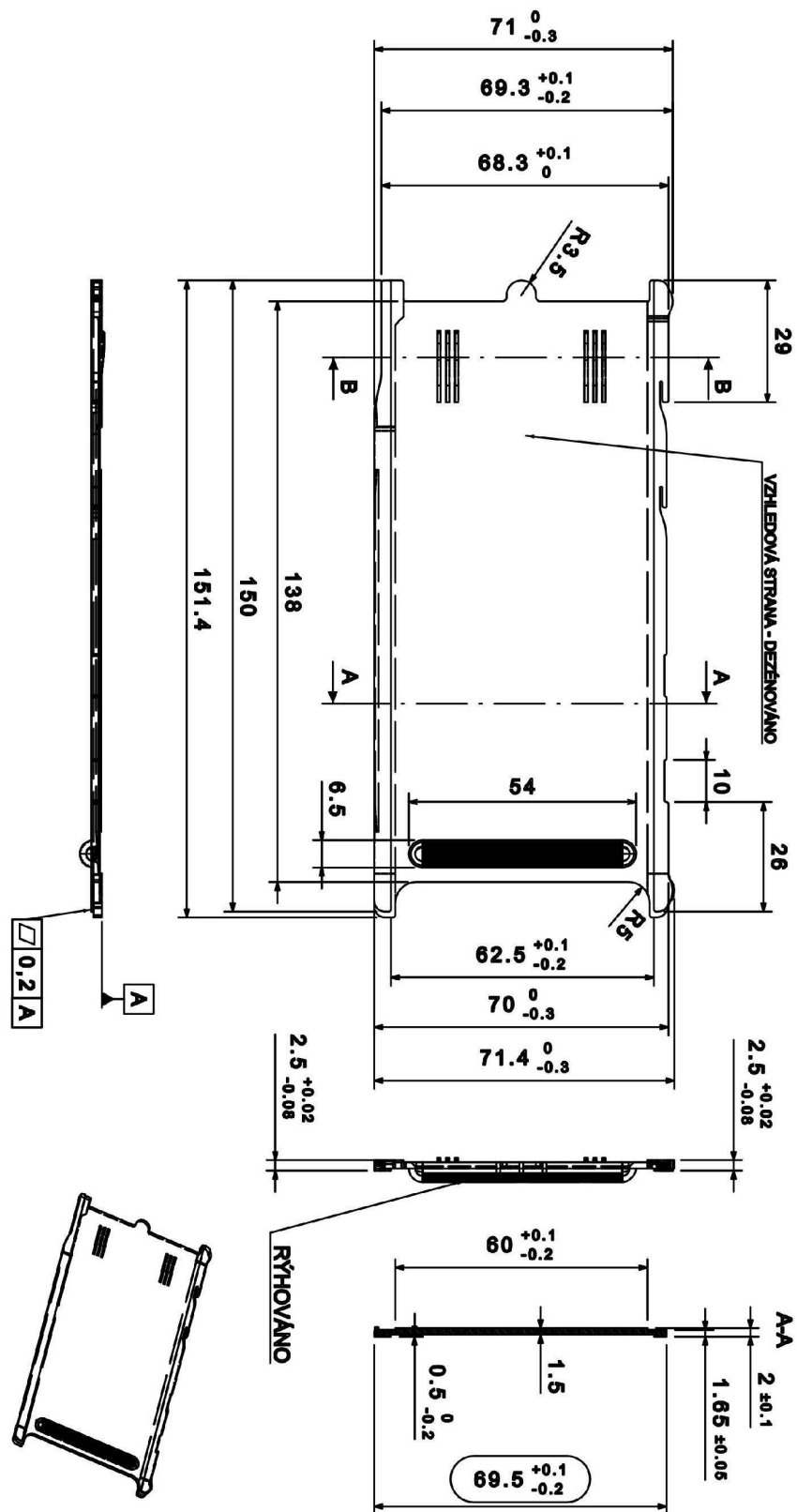


Obr. 37 – 3D vizualizace dílu pomocí programu CATIA (V5R19) – spodní pohled



Obr. 38 – 3D vizualizace dílu pomocí programu CATIA (V5R19) - horní pohled

5.2 Schématický náčrt dílu



Obr. 39 – Náčrt dílu



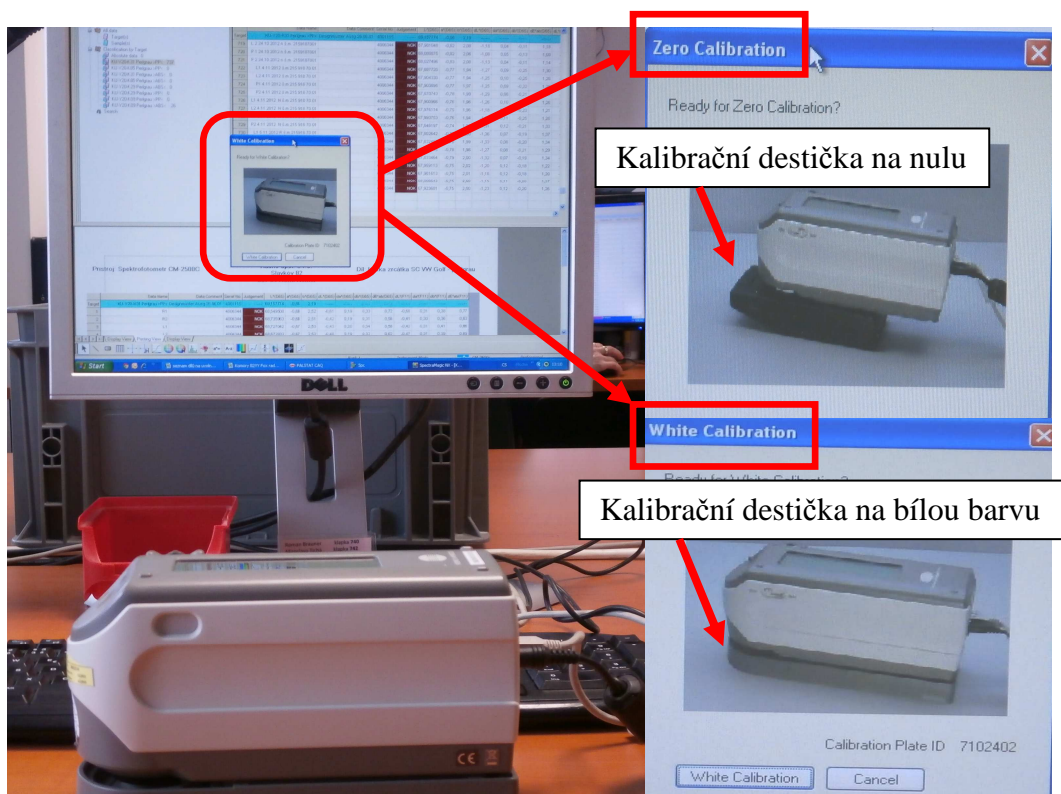
### 5.2.1 Kalibrace přístroje

Spektrofotometr, který byl používán k měření, byl kalibrován dodavatelskou firmou přístroje Konica Minolta – kalibrační certifikát v příloze I a II. V prvním certifikátu je kalibrace do 3.3.2013 a ve druhém dokumentu je potvrzení navazující kalibrace od 4.3.2013.

Nicméně aby nedošlo k pochybnostem výsledků měření, před každým měřením jsem přístroj kalibroval. Kalibraci jsem prováděl dle doporučeného návodu, tedy v první řadě jsem kalibroval na tzv. kalibraci nuly (obr. 40) a následně kalibraci bílé barvy (obr. 40). Množství rozptýleného světla se může měnit v důsledku prachu nebo nečistot nahromaděných v optickém systému, v důsledku teploty, opakované činnosti, vibrací a nárazů působící na přístroj. Proto jsem kalibroval vždy před každým měřením.

Kalibrace na nulu: je měření černého standardu, respektive měření a vysvícení zdroje světla do světelné pasti neboli kalibrační podložky. V tu chvíli dostává spektrofotometr informaci, že měří „ideální“ černé těleso. Veškeré spektrum je vysvíceno mimo spektrofotometr, nedochází k odrazu zpět a tím se přístroj kalibruje na nulu ( $L^*=0$ ).

Kalibrace na bílou barvu: spektrofotometr dostává informaci o přesně nastavené hodnotě  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  a předem nastavené hodnoty ve spektrofotometru tomu musí odpovídat, jinak spektrofotometr nahlásí chybu.

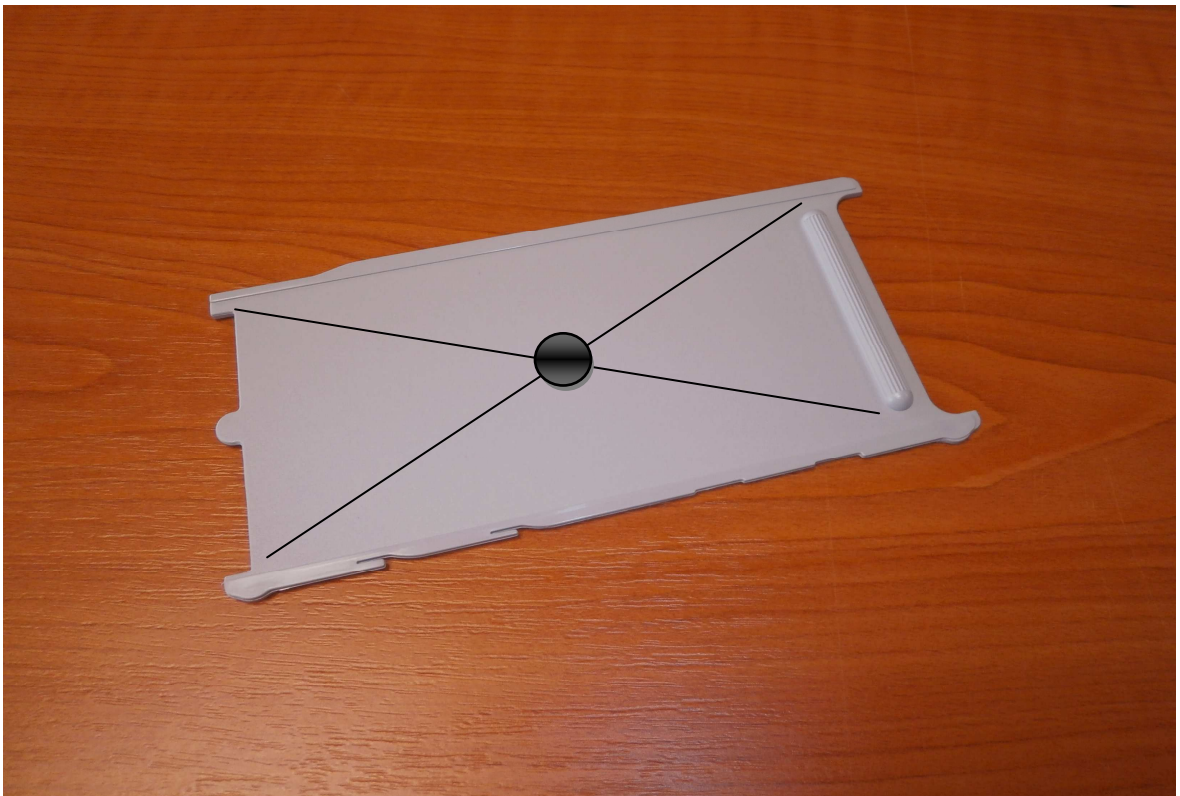


Obr. 40 – Ukázka kalibrace Spektrofotometru

## 6 SBĚR DAT

Zvolil jsem si místo na vzorku, kde měření budu provádět (obr. 41). Místo bylo zvoleno na průsečíku úhlopříček dílu.

Byl proveden sběr dat z 331 měření a následující části budou výsledky vyhodnoceny. K měření jsem používal **Spektrofotometr CM – 2500c CT**, který byl kalibrován dle výše uvedeného postupu. Firma, která kalibraci prováděla je certifikována dle ISO 17025.



Obr. 41 – Místo, kde měření bylo prováděno.

## 6.1 Vyhodnocení měření

Díky získaným hodnotám z měření budu schopen v této části diplomové práce vyhodnotit pomocí SW – Minitab 15 výsledky měření a následně stanovím další postup.

Pro vysvětlení a upřesnění zkratk, které jsou použity v označení v grafech, které jsou popsány dle normy VW50190 (vydaní 2011-01).

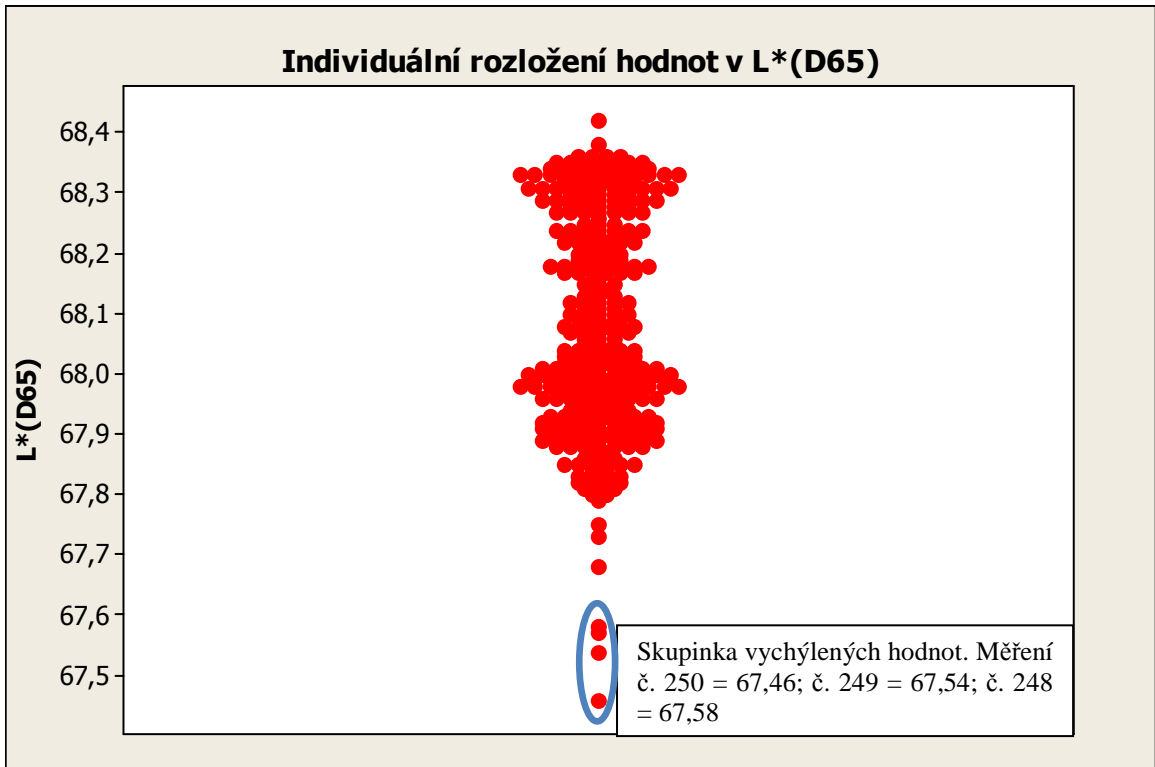
Osa  $L^*$  znázorňuje jas nebo také jinak řečeno spektrum od bílé do černé ( $+L \rightarrow$  více bílé;  $-L \rightarrow$  více černé).

Osa  $a^*$  je takzvaná červeno – zelená osa ( $+a \rightarrow$  narůstá červená barva;  $-a \rightarrow$  narůstá zelená barva-

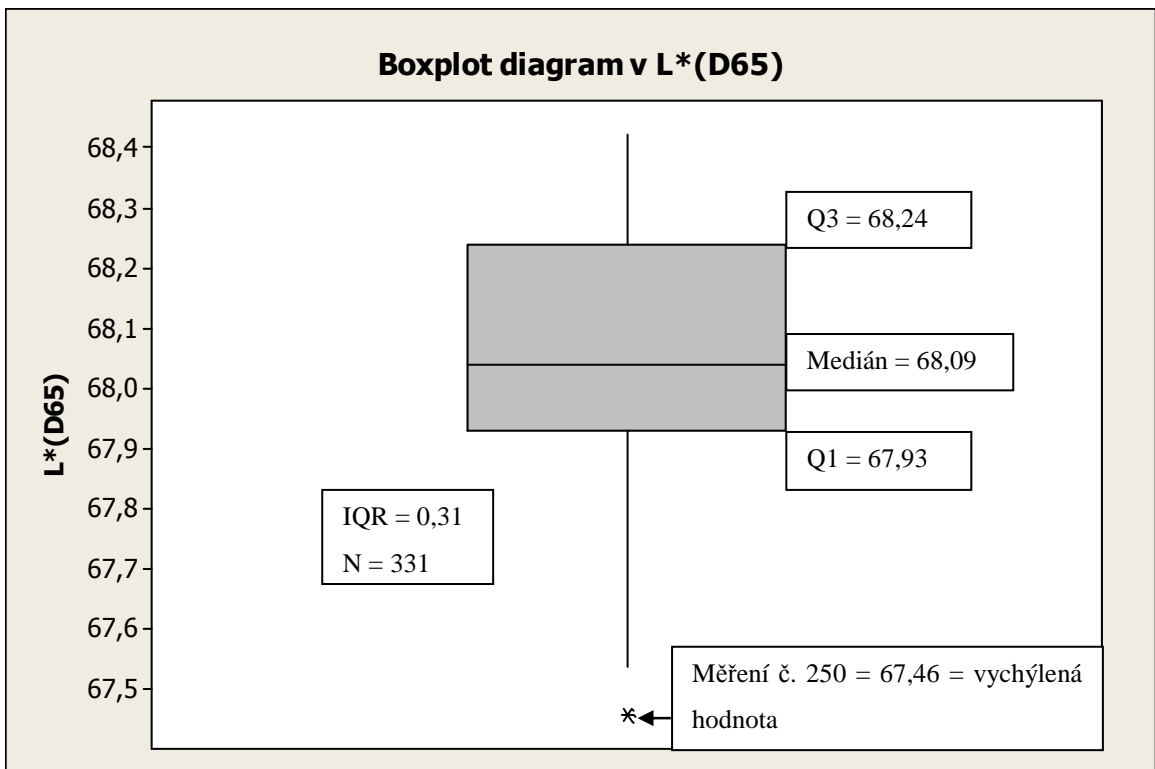
Osa  $b^*$  zachycuje spektrum od žluté po modrou ( $+b \rightarrow$  narůstá žlutá barva;  $-b \rightarrow$  narůstá modrá barva).

Spektrofotometr simuluje zdroj světla - znázorněno zkratkou. Nejčastěji jsou používány dva zdroje a to: D65 - denní světlo nebo F11 – zářivka.

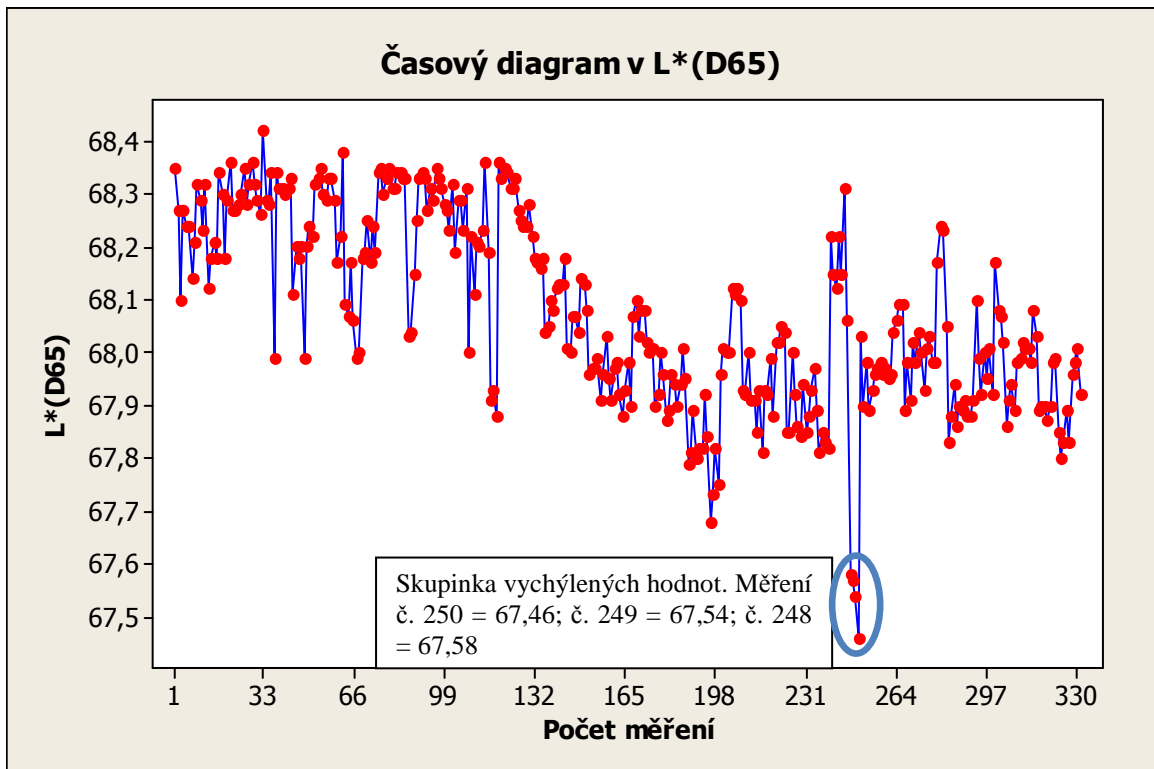
Hodnoty  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  jsou bezrozměrné. Jsou to vždy souřadnice konkrétního bodu v barevném prostoru CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (CIELAB), který má tvar ideální koule. Rozsah je  $L^* = 0-100$ ,  $a^*$  i  $b^* = -100$  až  $100$ . U všech hodnot se ale může stát, že hodnotu 100 překročíme. Jsou to však výjimečné případy, kdy měřený materiál přijme z osvětlení nejenergičtější část – UV a tu potom přemění na světlo ve viditelné oblasti. Potom je tento signál vyšší než teoretické maximum a hodnoty mohou překročit hodnotu 100. Typický příklad je klasický kancelářský papír. Ten obsahuje UV zjasňovače a ty fungují tak, že přijmou energii UV a vysvítí je v blízké modré oblasti a odezva této modré může způsobit hodnotu  $L^*$  až 120.



Graf 1 – Individuální rozložení hodnot v  $L^*$ .



Graf 2 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v  $L^*$ .

Graf 3 – Časový diagram v ose  $L^*$ .

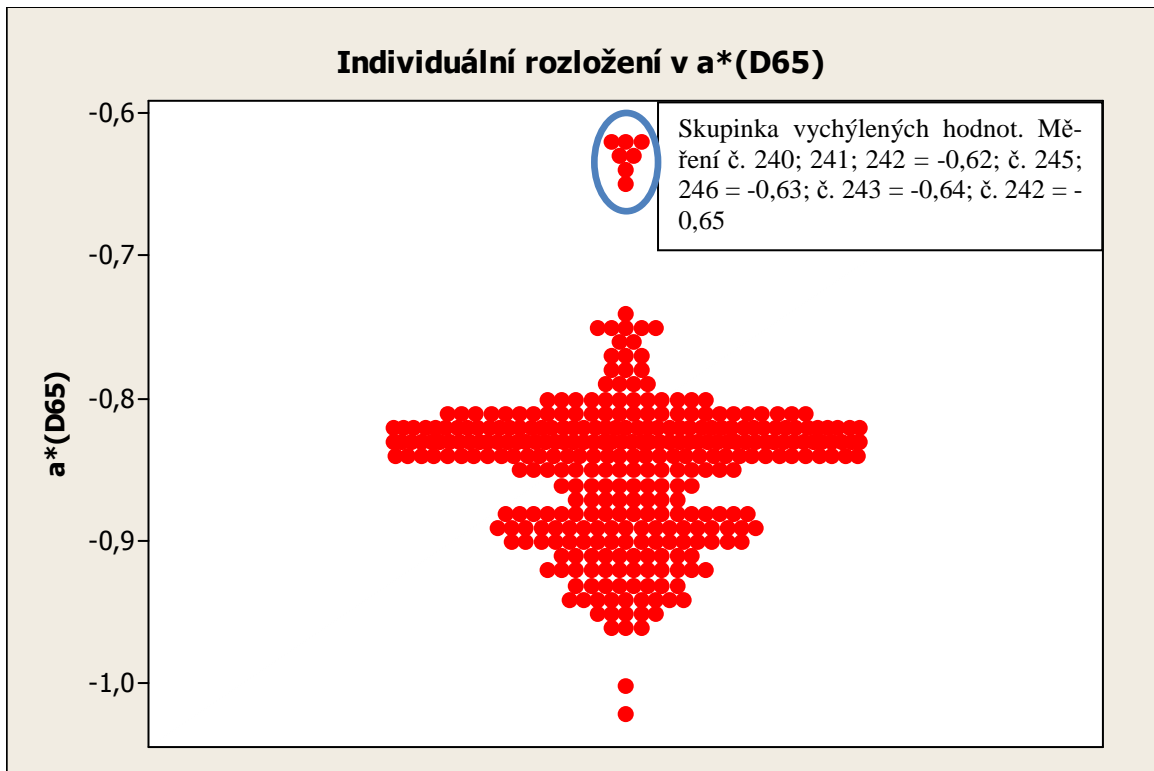
Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
$L^*(D65)$	331	68,077	0,00989	0,18	0,26	67,46
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
67,93	68,04	68,24	68,42	0,96	0,31	

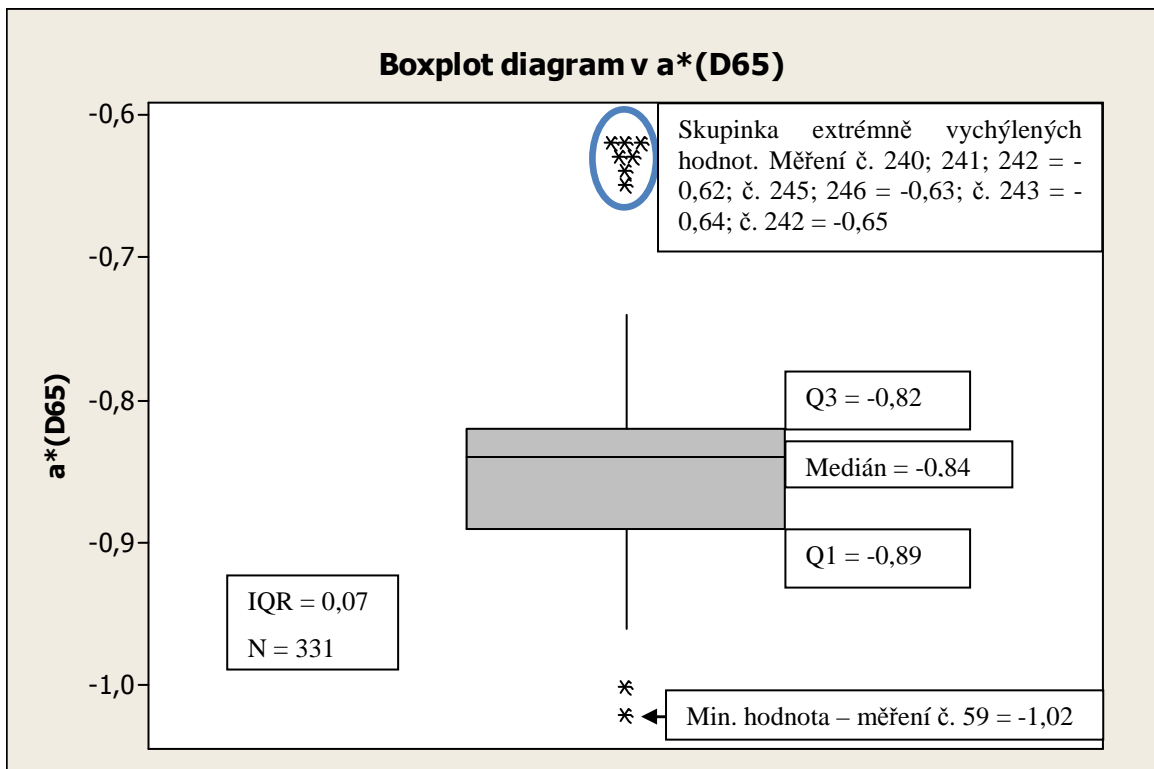
Tab. 3 – Statistika v  $L^*(D65)$ 

Vysvětlivky: Variable – název měření (legenda), Total Count – celkový počet měření, Mean – odhad aritmetického průměru, SE Mean – odhad nejistoty aritmetického průměru, StDev – odhad směrodatné odchylky, CoefVar – odhad variačního koeficientu, Q1 – první kvartil, Median – odhad aritmetického průměru, Q3 – třetí kvartil, Range – variační rozpětí, IQR – interkvartilové rozpětí.

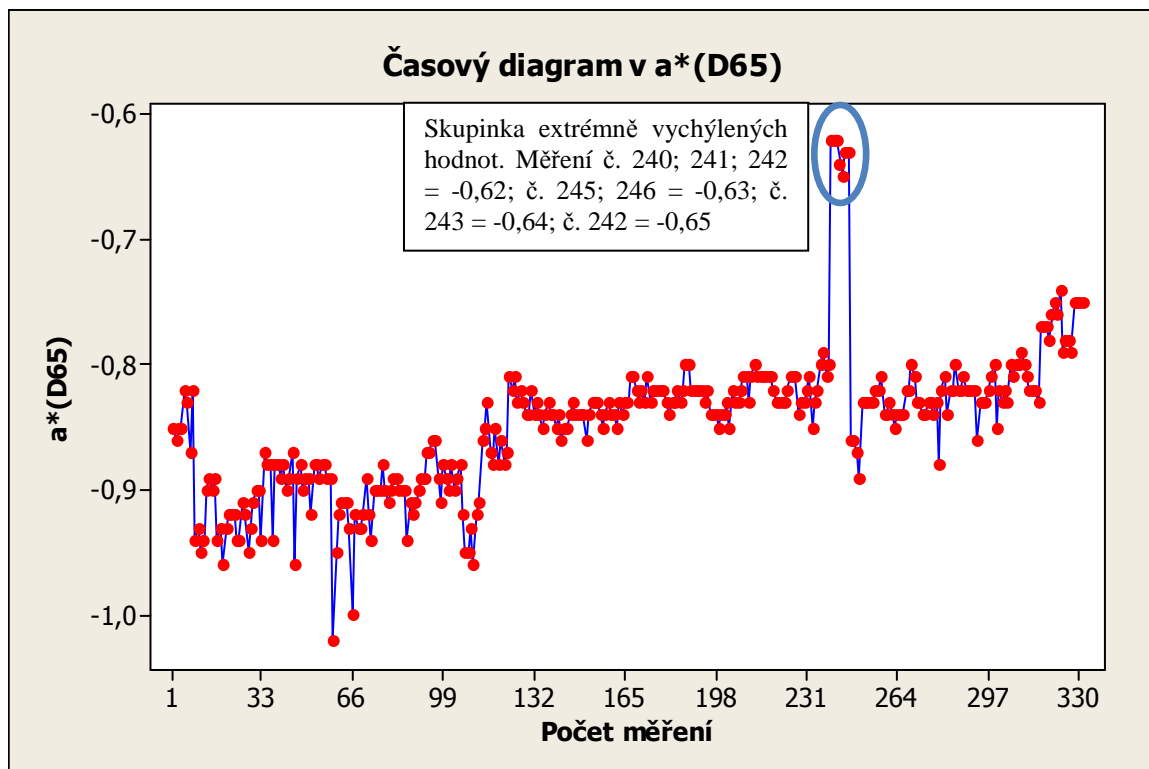
Grafické zobrazení v  $a^*$



Graf 4 – Individuální rozložení hodnot v  $a^*$ .



Graf 5 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v barevném spektru  $a^*$ .



Graf 6 – Časový diagram v ose  $a^*$ .

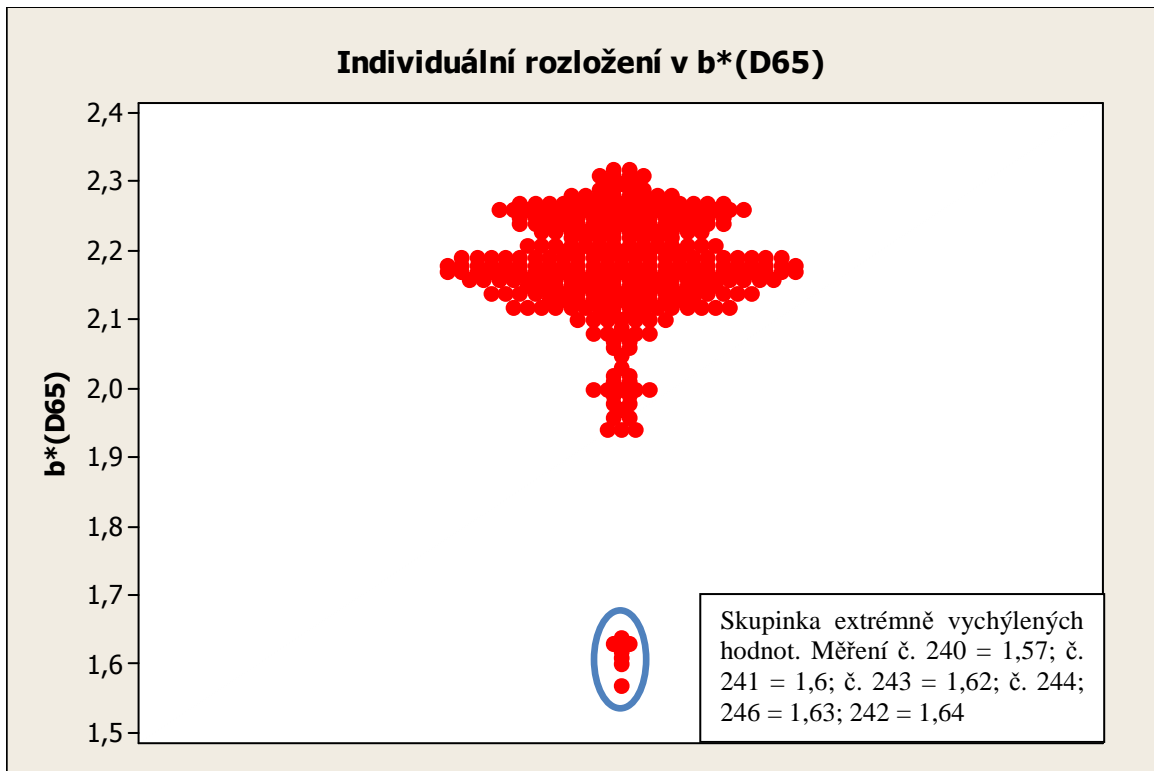
Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
$a^*(D65)$	331	-0,8472	0,0031	0,05639	-6,66	-1,02
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
-0,89	-0,84	-0,82	-0,62	0,4	0,07	

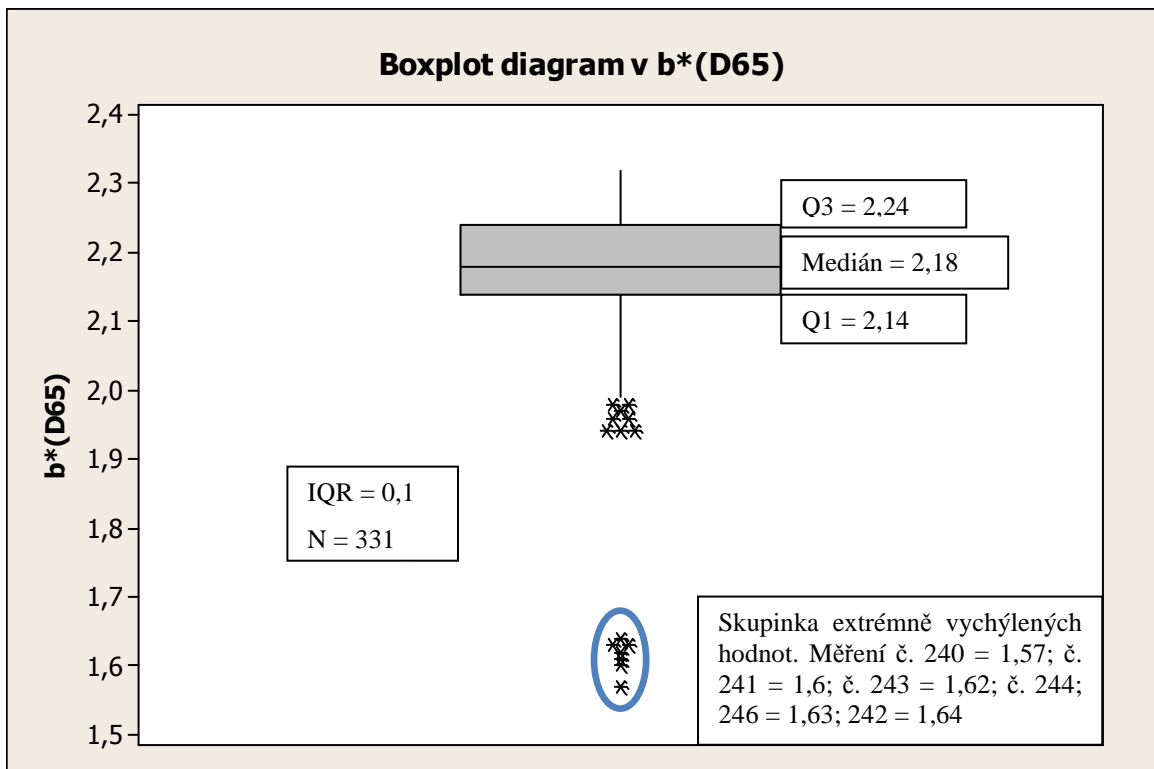
Tab. 4 – Statistiky v  $a^*(D65)$

Vysvětlivky: Variable – název měření (legenda), Total Count – celkový počet měření, Mean – odhad aritmetického průměru, SE Mean – odhad nejistoty aritmetického průměru, StDev – odhad směrodatné odchylky, CoefVar – odhad variačního koeficientu, Q1 – první kvartil, Median – odhad aritmetického průměru, Q3 – třetí kvartil, Range – variační rozpětí, IQR – interkvartilové rozpětí.

Grafické zobrazení v  $b^*$

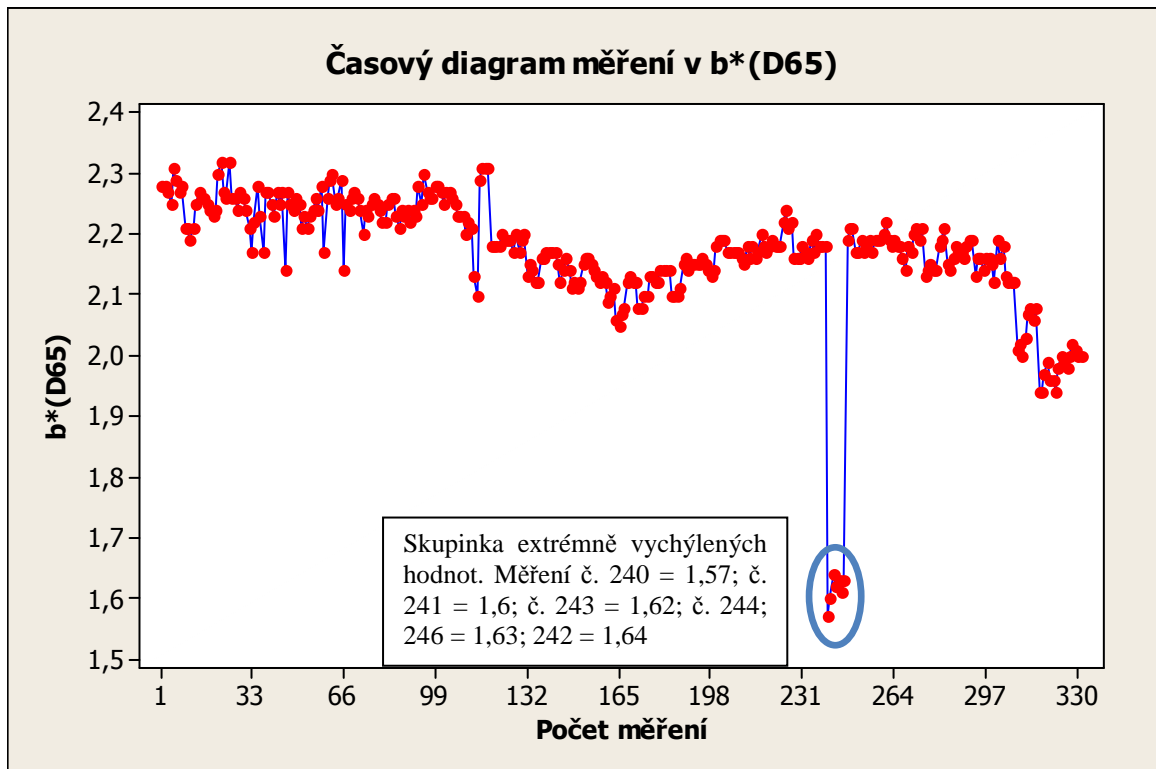


Graf 7 – Individuální rozložení hodnot v  $b^*$ .



Graf 8 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v barevném spektru  $b^*$ .



Graf 9 – Časový diagram v ose  $b^*$ .

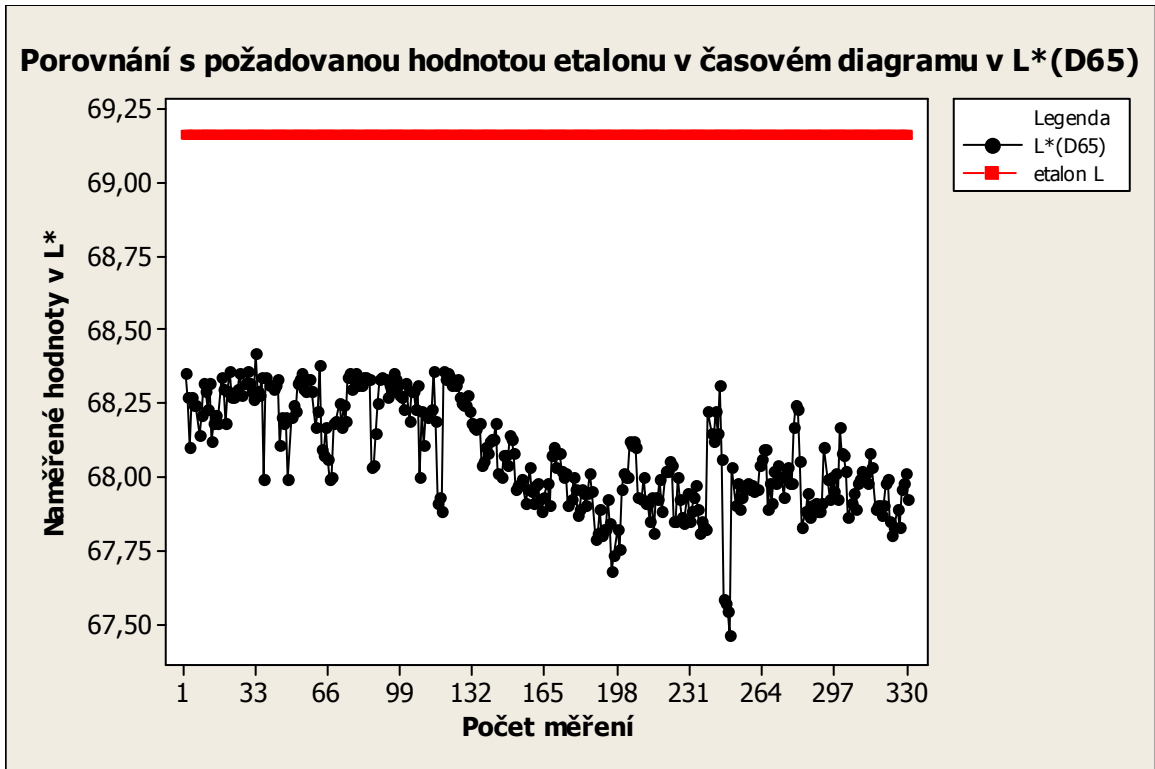
Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
$b^*(D65)$	331	2,1669	0,00604	0,1098	5,07	1,57
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
2,14	2,18	2,24	2,32	0,75	0,1	

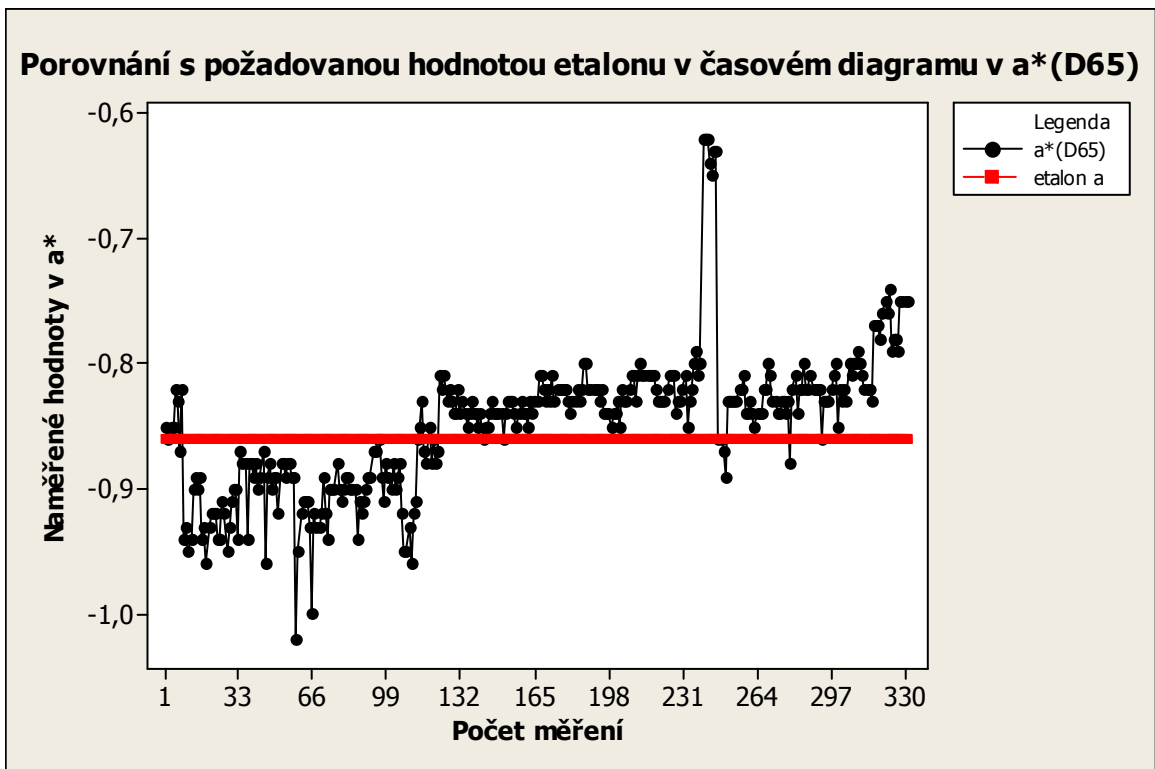
Tab. 5 – Statistiky v  $b^*$  (D65)

Vysvětlivky: Variable – název měření (legenda), Total Count – celkový počet měření, Mean – odhad aritmetického průměru, SE Mean – odhad nejistoty aritmetického průměru, StDev – odhad směrodatné odchylky, CoefVar – odhad variačního koeficientu, Q1 – první kvartil, Median – odhad aritmetického průměru, Q3 – třetí kvartil, Range – variační rozpětí, IQR – interkvartilové rozpětí.

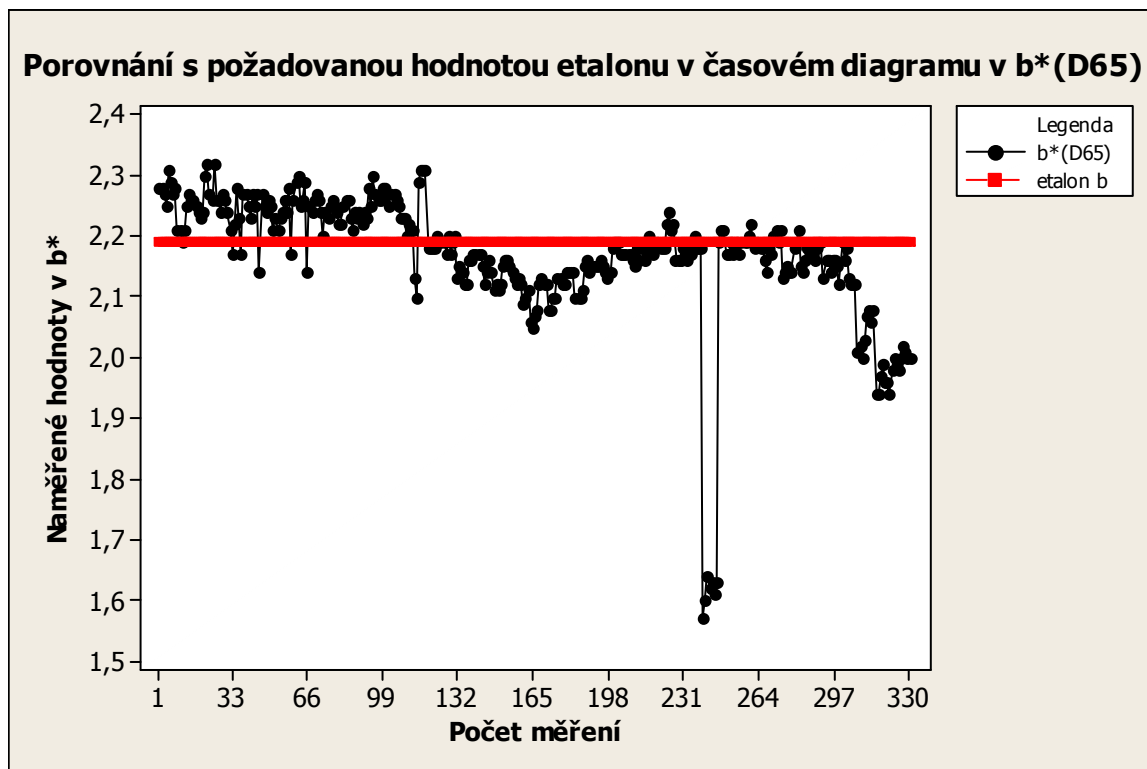
Porovnání se standardem



Graf 10 – Porovnání měření s požadovaným etalonem v  $L^*$



Graf 11 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $a^*$



Graf 12 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $b^*$

Na základě těchto výsledků jsem vyhodnotil, že měření z hlediska statistiky jsou vyhovující, ale díl je přesto příliš odlišný (tmavý) vůči požadovanému etalonu a to v hodnotě  $L^*$ . V průměru bylo odchýlení od etalonu v  $L^* = -1,08$ ;  $a^* = 0,01$ ;  $b^* = -0,02$ . V barevném spektru  $a^*$  a  $b^*$  nebyly výrazné odchylky ve větší četnosti. Hodnoty se nachází ještě v tolerančním poli dle normy VW50190 (tolerance  $-L^* = \pm 0,45$ ;  $a^* = \pm 0,25$ ;  $b^* = \pm 0,25$ ), podle této normy bylo také měření prováděno. Měření č. 240 – 246 se extrémně vychyluje ve všech tří sledovaných a měřených hodnot, respektive barevných spekter. Tyto výsledky považuji za hrubou chybu měření, protože se v tento moment měnil člověk, který měření dílů prováděl. Jelikož je měření problematické a choulostivé, tak se stalo, že první měření jiného člověka nebylo provedeno zcela správně.

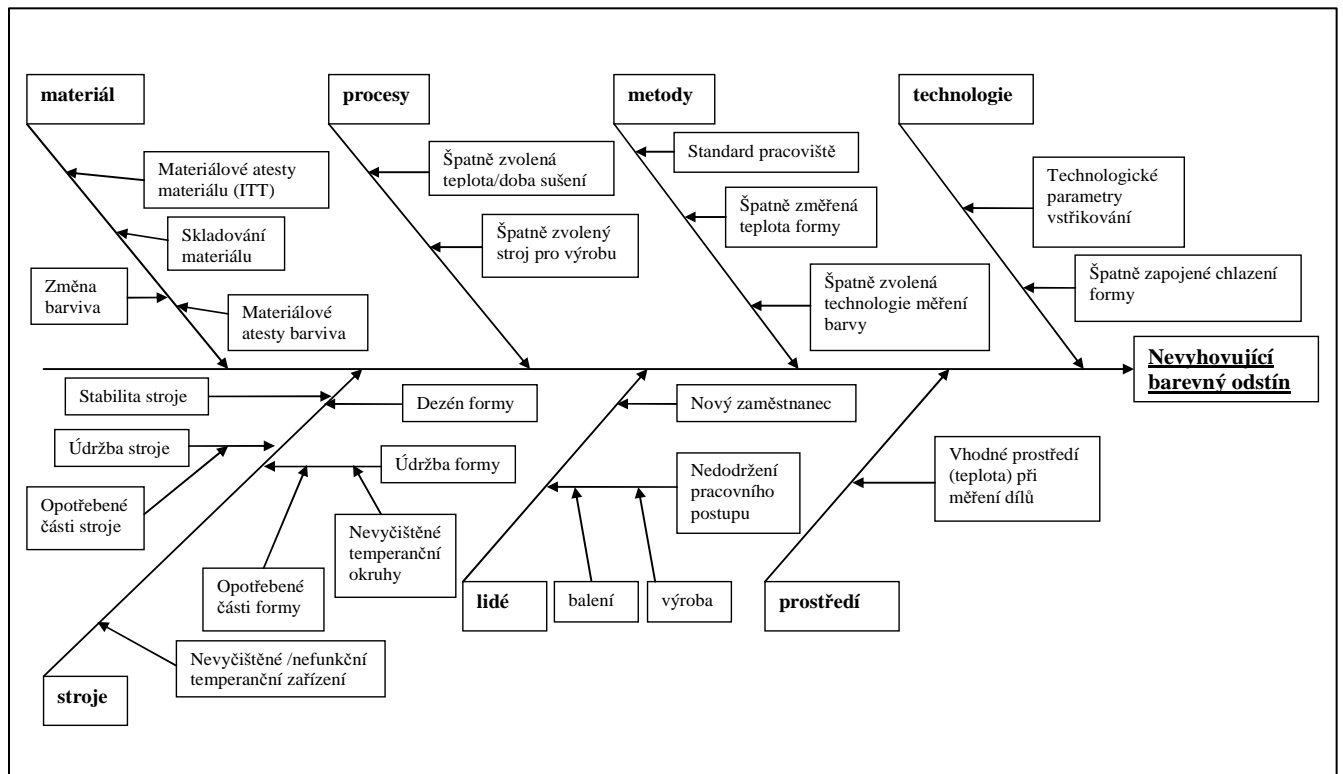
Následně byl svolán tým lidí a využil jsem techniky nazvané Brainstorming, která je založena na týmové práci, jejímž cílem je shromáždit maximum nápadů k danému tématu. Následně tyto poznámky byly zaznamenány do diagramu nazývaném rybí kost nebo také Ishikawův diagram.

Moderátor brainstormingu (týmu): Bc. Kamil Bárta (referent kvality)

Ostatní členové týmu: Ing. Darek Hráček (ředitel úseku kvality a prostředí), Zdeněk Kadlček (ředitel výroby), Ing. Petr Novák (manažer projektu), Zbyněk Bobčík (vedoucí

výroby), Ing. Václav Málek (vedoucí údržby), Ing. Pavel Horák (vedoucí technologie), Ing. Marián Kusenda (vedoucí nákupu), Ing. Viktor Třetina (manažer kvality), Jakubčíková Miroslava (mistrová směny), Davidová Jitka (technická/směnová kontrola), Kadlčková Iveta (vedoucí logistiky/expedice).

ISHIKAWA



Z Ishikawi jsem vybral dvě nejlevnější varianty, které by mohly napomoci změně, kterou požadujeme a to: změna technologických parametrů a změnu dodavatele materiálu.

Ostatní možnosti z Ishikawi byly prověřeny.

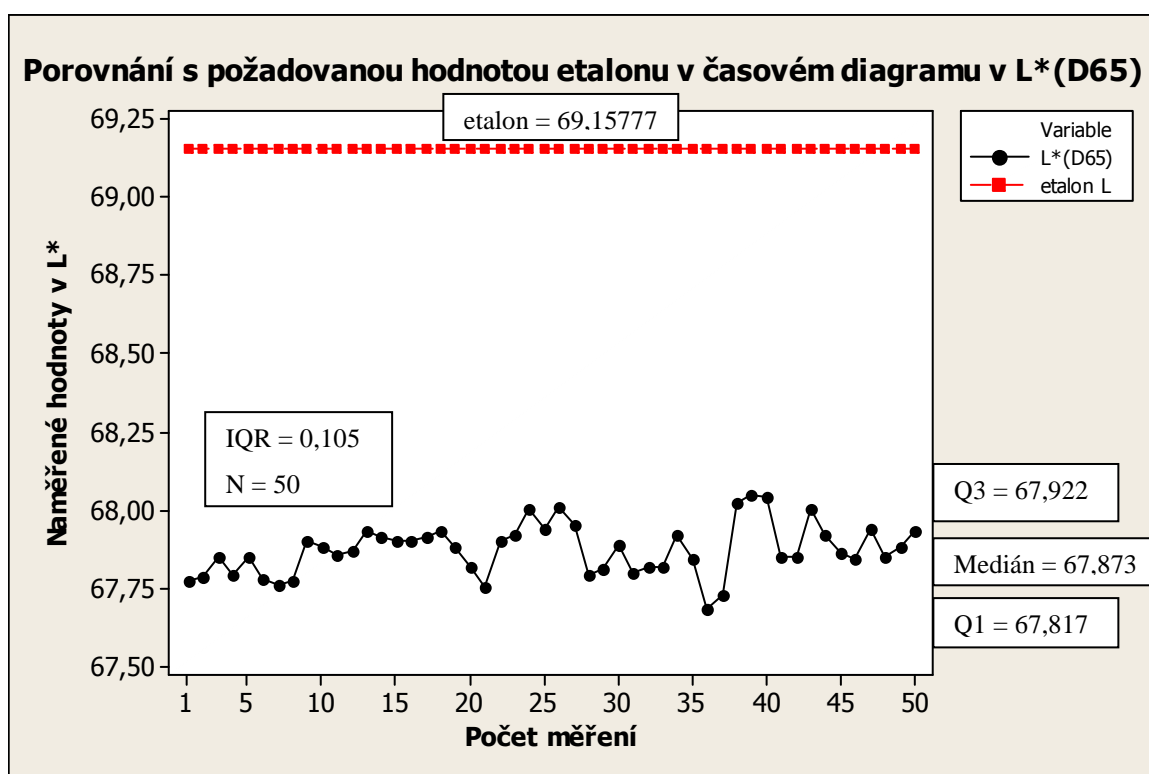
Dále budu vyhodnocovat a porovnávat měření s etalonem, respektive požadované hodnoty standardu našeho vstřikovaného dílu.

Pokud by tato opatření nevedla k zlepšení stavu, tak by se nabízela další možnost a to úprava nástroje. Kvůli vysokým finančním výdajům se toto opatření zavede až v krajním případě.

## 7 REALIZACE NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

### 7.1 Změna technologický parametrů

Jako první variantu a bezpochyby nejlevnější jsem zvolil pokusit se změnit technologické parametry při výrobě našeho vstříkovaného dílu. Po konzultaci s technologem a zákazníkem jsme zvolily změnu těchto parametrů: teplota formy a bylo posíleno chlazení formy – zapojení na 2 termy (pevná a pohyblivá část formy zapojena zvlášť).

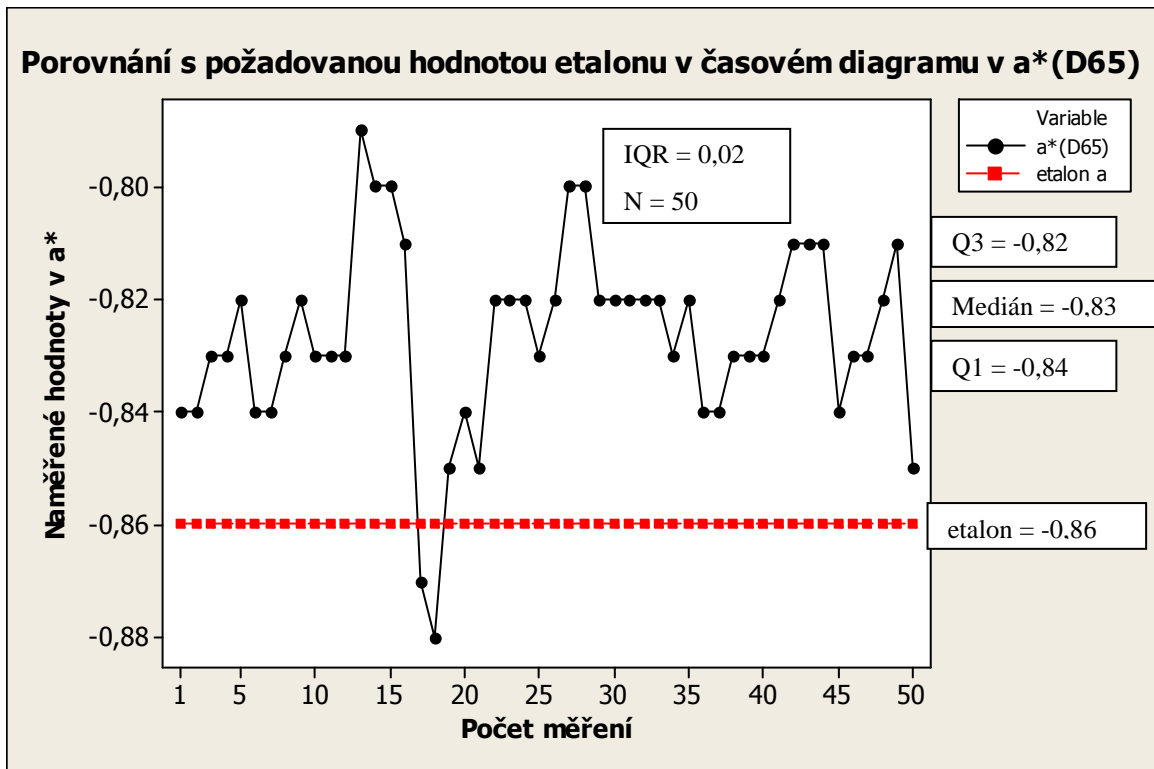


Graf 13 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru L\* po změně TP

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
L*(D65)	50	67,873	0,0116	0,0821	0,12	67,98
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
67,817	67,873	67,922	68,05	0,37	0,105	

Tab. 6 – Statistiky v L\* (D65) po změně TP

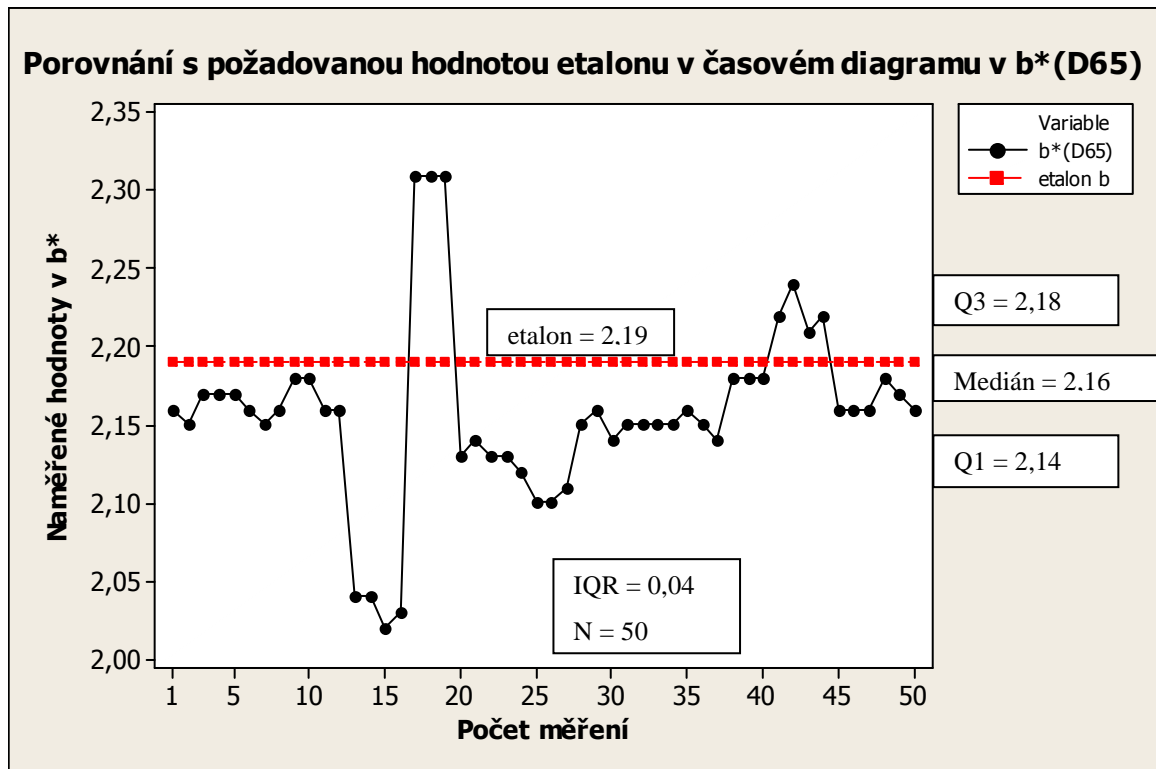


Graf 14 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $a^*$  po změně TP

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
a*(D65)	50	-0,8266	0,0024	0,01698	-2,05	-0,88
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
-0,84	-0,83	-0,82	-0,79	0,09	0,02	

Tab. 7 – Statistiky v  $a^*$  (D65) po změně TP



Graf 15 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $b^*$  po změně TP

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
b*(D65)	50	2,1582	0,00827	0,0585	2,71	2,02
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
2,14	2,16	2,18	2,31	0,29	0,29	

Tab. 8 – Statistiky v  $b^*$  (D65) po změně TP

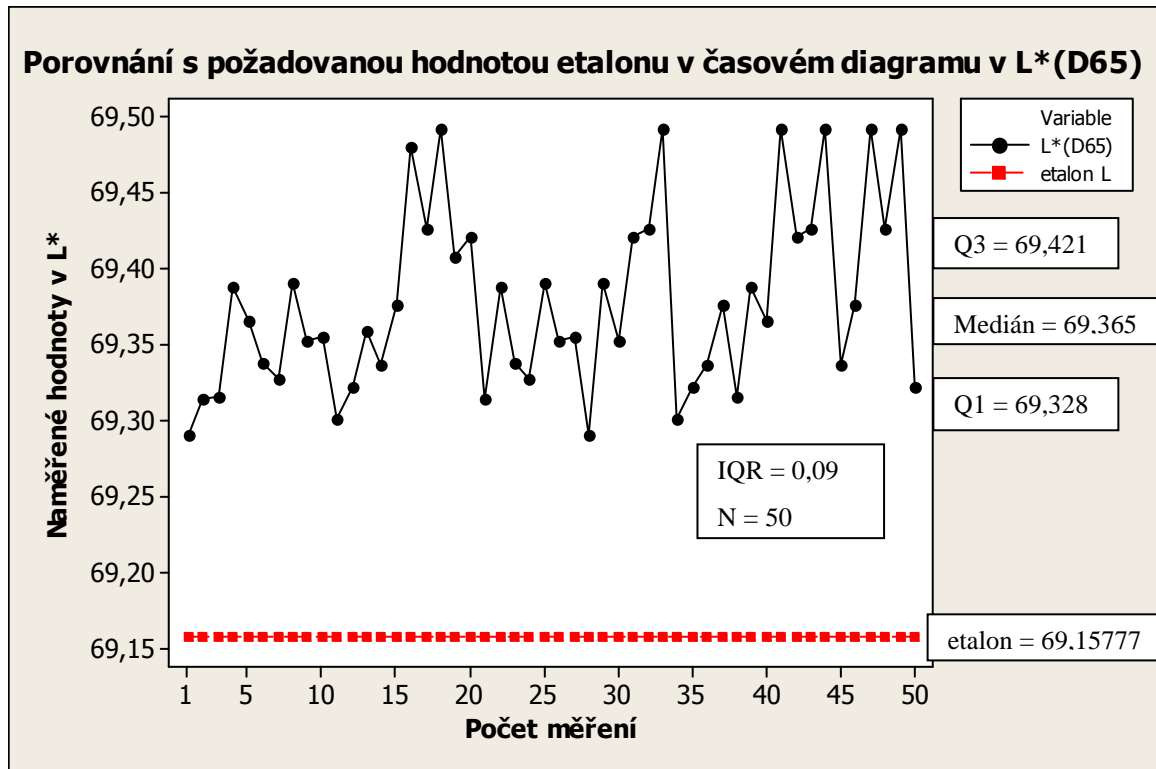
Směrodatná odchylka nebo také variační koeficient nám ukazuje, že ze statistického hlediska jsou náměry v pořádku. Vidíme, že hodnoty se ustálily. Bohužel systematická odchylka od požadovaného standardu se objevila a opět jsme mimo tolerance v hodnotě  $L^*$ .

V průměru bylo odchýlení od etalonu v  $L^* = -1,29$ ;  $a^* = 0,04$ ;  $b^* = -0,03$ .

Bude tedy odzkoušena druhá navrhovaná varianta řešení.

### 7.2 Změna dodavatele barviva

Druhá nejlevnější varianta, která v tomto případě je, je vyrábět díl z jiného materiálu. Námí vybraný dodavatel barviva Scanblend zaslal vzorek (15Kg materiálu) na odzkoušení vstříkování polymeru.



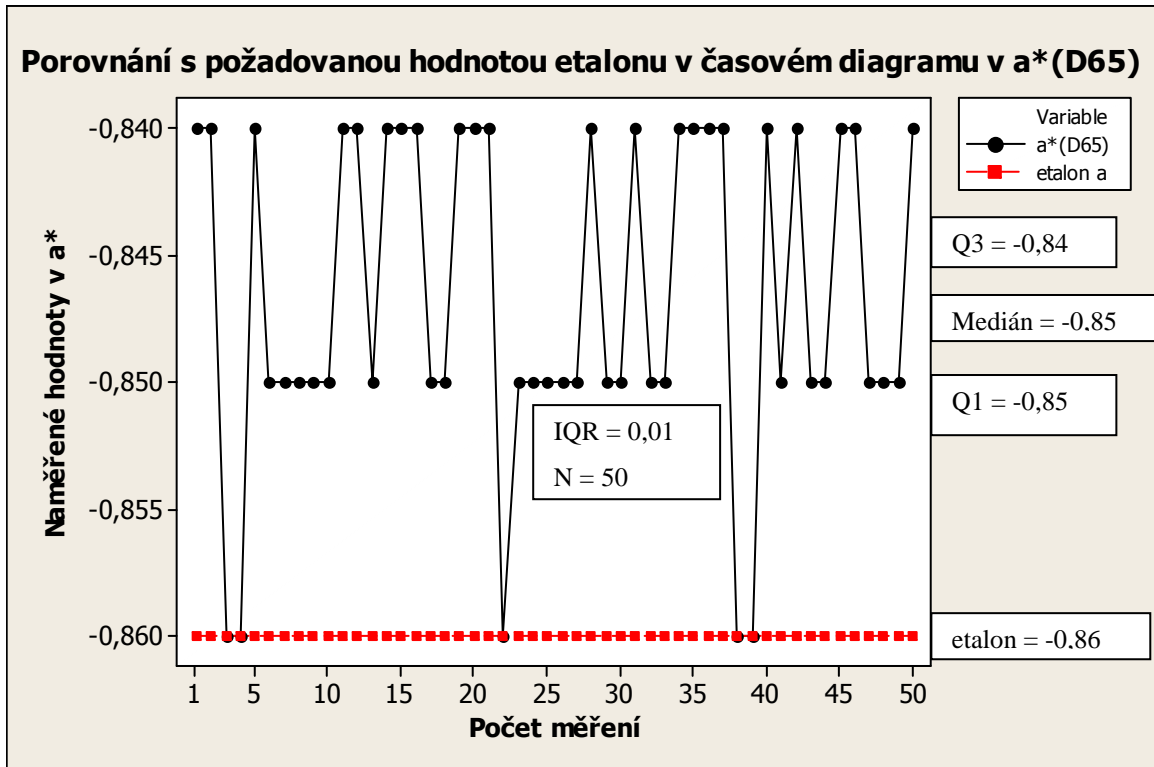
Graf 16 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $L^*$  po změně barviva

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
L*(D65)	50	69,377	0,00844	0,0597	0,09	69,29
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
69,328	69,365	69,421	69,491	0,202	0,0931	

Tab. 9 – Statisticky v  $L^*$  (D65) po změně barviva



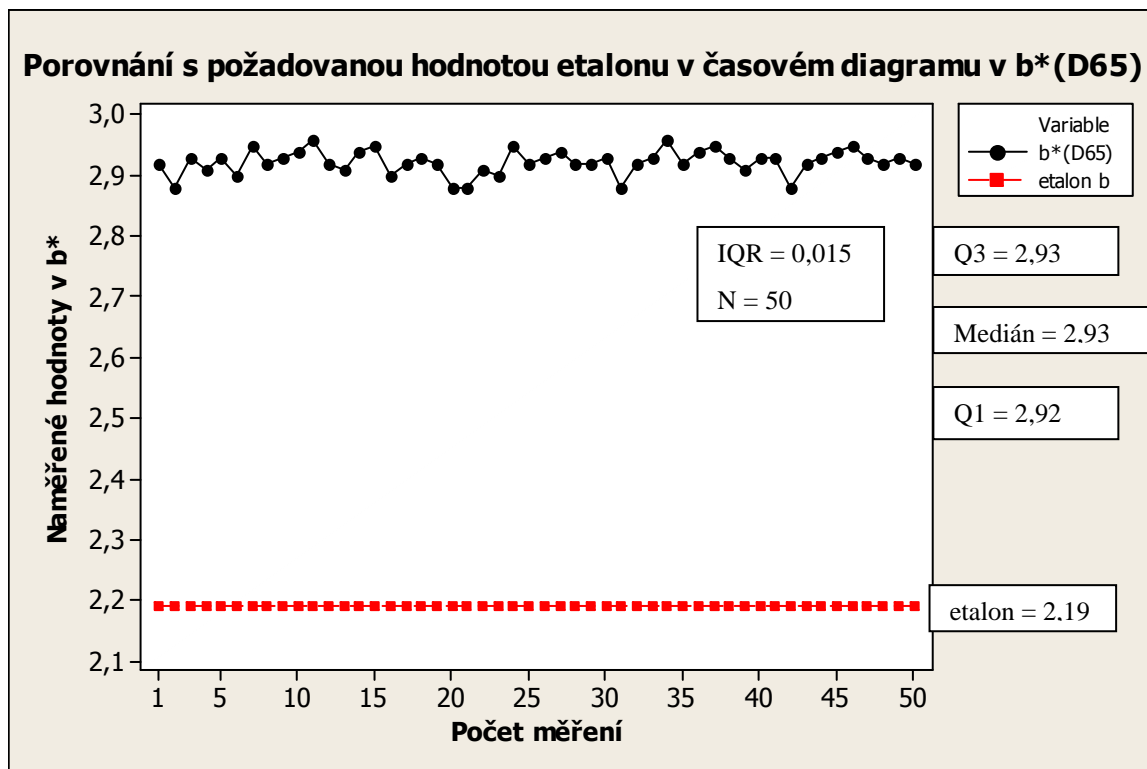


Graf 17 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru a\* po změně barviva

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
a*(D65)	50	-0,8466	0,000931	0,00658	-0,78	-0,86
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
-0,85	-0,85	-0,84	-0,84	0,02	0,01	

Tab. 10 – Statistiky v a\* (D65) po změně barviva



Graf 18 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru  $b^*$  po změně barviva

Statistické vyhodnocení pomocí SW:

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum
b*(D65)	50	2,9232	0,00286	0,0202	0,69	2,88
Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
2,9175	2,925	2,9325	2,96	0,08	0,015	

Tab. 11 – Statistiky v  $a^*$  (D65) po změně barviva

Ze statistického hlediska jsou náměry opět v pořádku. Vidíme, že náměry jsou stabilní. Systematické odchylky od požadovaného standardu se také bohužel objevily. Jsme mimo tolerance a to tentokrát v hodnotě „b“ kladným směrem. Což znamená, že díly vykazují „žlutší“ charakter a tento stav u šedých dílů považují za přijatelnější než předchozí výsledky a jsou okem hůře rozeznatelné, než když díly vykazovaly rozdíl ve světlosti dílu.

V průměru bylo odchýlení od etalonu v  $L^* = 0,22$ ;  $a^* = 0,02$ ;  $b^* = 0,73$ .

## ZÁVĚR

Na základě problému, které vznikají při výrobě plastového dílu, který jsem prezentoval v úvodu experimentální části této práce, jsem si zvolil problematiku jako námět na diplomovou práci. Předmětem této diplomové práce je zjistit jaký je vliv technologie vstřikování polymeru na barevný odstín vstřikovaného dílu.

Na základě prvního souboru měření bylo jasné, že díly ze statistického hlediska jsou vyhovující, ale odchylky ke standardu, které díly vykazují, nebyly pro zákazníka akceptovatelné. Díly vykazovaly jiný odstín.

Byla navržena nápravná opatření a následně dvě byla vybrána a zavedena do praxe.

První varianta, kterou byla změna technologických parametrů, nevedla k žádnému pokroku. Proto jsem se rozhodl zavést další nápravné opatření a to již několikrát zmíněnou změnu materiálu, respektive barviva. Na základě níže uvedených výsledků (odchylek od standardu) jsem se rozhodl, že pro sériovou výrobu zavedeme námi zvolenou variantu číslo dvě a to změnu dodavatele barviva. Tento stav a výsledky z měření jsem konzultoval se zákazníkem, ten je akceptuje. Díly budou sledovány a měřeny při každé další výrobě výrobku. Pokud nedojde k markantní změně, další opatření nebude třeba zavádět.

	Odchylka v L*	Odchylka v a*	Odchylka v b*
Základní měření	-1,08	0,01	-0,02
Změna technologický parametrů	-1,29	0,04	-0,03
<b>Změna dodavatele barviva</b>	<b>0,22</b>	<b>0,02</b>	<b>0,73</b>

Tab. 12 – Souhrn systematických odchylek od požadovaného standardu

Pro připomenutí dle normy VW 50190 jsou tolerance stanoveny  $L^* = \pm 0,45$ ;  $a^* = \pm 0,25$ ;  $b^* = \pm 0,25$ .

Závěrem. Dle výsledků a provedených zkoušek vstřikování je průkazné, že barevný odstín v našem případě lze těžko ovlivnit změnou podmínek při vstřikování. Ani změny doporučených parametrů od odborníků v této oblasti. Tato změna je však možná pouze v nemnoha desetinách dané veličiny, respektive barevného spektra. Pokud potřebujeme provést změnu v řádech jednotek, musíme zvolit jiné řešení a to změnu barviva, popřípadě realizovat úpravu formy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DUCHÁČEK V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 001. ISBN 80-7080-617-6
- [2] PLUHAŘ, J., a kol. Nauka o materiálech. Praha : SNTL, 1989. 552 s. ISBN 04-205-89.
- [3] ŠPAČEK, J. Technologie gumárenská a plastikářská II. 1.vyd. Praha : SNTL,1987. 200 s.
- [4] LENFELD, P. tul.cz [online]. [cit. 9.1.2013]. Dostupný na WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/odolnost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/odolnost.pdf)
- [5] LENFELD, P. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. Technologie II: Část II - Zpracování plastů. Technická univerzita Liberec –Fakulta strojní – Katedra strojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008. [online]. Dostupné z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
- [6] ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Brno :Sekurkon s.r.o, 2004. 220 s. ISBN 80-86604-16-0.
- [7] KOLOUCH, J. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha :SNTL, 1986. 229 s
- [8] MEISSNER B., ZILVAR V.: Fyzika polymerů. SNTL/Alfa, Praha, 1987
- [9] TOMIS, F.; RULÍK, F. Gumárenské a plastikářské stroje II. 1.vyd. Brno : SNTL,1981. 216 s. ISBN 05-105-81
- [10] MAZUREK, P. mmspektrum.com [online]. [cit. 14.1.2013]. Dostupný na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/hodnoceni-lesku-povrchove-upravy.html>
- [11] LHOTKA, M. Stanovení povrchových vlastností [online]. [cit. 6.1.2013]. Dostupný na WWW: [http://www.vscht.cz/kat/download/lab2\\_stanoveni\\_povrchovych\\_vlastnosti.pdf](http://www.vscht.cz/kat/download/lab2_stanoveni_povrchovych_vlastnosti.pdf)
- [12] RAAB M.: Materiály a člověk. Encyklopedický dům, Praha, 1999
- [13] Technologická Fakulta Univerzity Tomáše Bati: [online]. [cit. 2013-02-08]. Dostupné z WWW: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_03.pdf)

- [14] <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>
- [15] Technologická Fakulta Univerzity Tomáše Bati: [online]. [cit. 2013-02-04]. Dostupné z WWW: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika\\_pol/FP\\_05.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_05.pdf)
- [16] Gymnázium Ladislava Jaroše Holešov: [online]. [cit. 2013-02-08]. Dostupné z WWW:[http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/02\\_odraz\\_a\\_lom/02\\_odraz.htm#indexlomu](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/02_odraz_a_lom/02_odraz.htm#indexlomu)
- [17] Encyklopedie Fyziky: [online]. [cit. 2013-02-11]. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/438-lom-refrakce-svetla>
- [18] Odmaturuj.cz: [online]. [cit. 2013-02-11]. Dostupné z WWW: <http://www.odmaturuj.cz/fyzika/lom-svetla/>
- [19] Výuka fyziky frg.wz.cz: [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z WWW: [http://frg.wz.cz/Optika/1\\_5%20Disperze%20svetla.htm](http://frg.wz.cz/Optika/1_5%20Disperze%20svetla.htm)
- [20] LEPIL, O. *Fyzika pro gymnázia – Optika*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2002

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$T_g$	Teplota skelného přechodu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_f$	Teplota viskózního toku [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_m$	Teplota tání [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_z$	Teplota degradace polymer [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$m$	Hmotnost [kg]
$t$	čas [s]
$p$	tlak [MPa]
$\Delta E$	nejkratší vzdálenost (diference) mezi body v souřadnicích barevného prostoru
$\tau$	smykové napětí [Pa]
$\eta$	dynamická viskozita [Pa s]
$\dot{\gamma}$	rychlostní gradient neboli rychlost smykové deformace [ $\text{s}^{-1}$ ]
$n$	exponent vyjadřující stupeň odklonu tokové křivky od ideálního, newtonského průběhu.
$\Delta G$	volná entalpie, míra energie aktivačního toku
$A$	hodnota viskozity při referenční teplotě
$R$	plynová konstanta
$\theta$	odchylka od původního směru šíření
$L^*$	znázorňuje jas nebo také jinak řečeno spektrum od bílé do černé
$a^*$	zachycuje barevné spektrum červené – zelené
$b^*$	zachycuje barevné spektrum od žluté po modrou
$\omega$	úhlová rychlost [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$\lambda_0$	vlnová délka světla ve vakuu (vzduchu) [m]
$\lambda$	vlnová délka světla v daném prostředí [m]
$f$	frekvence [Hz]
$c$	rychlost světla [m/s]

v rychlost [m/s]

n index lomu [-]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 - lineární polymer [2].....	15
Obr. 2 - Rozvětvený polymer [2].....	15
Obr. 3 - zesíťovaný polymer [2] .....	15
Obr. 4 - Rychlostní profil toku v kapalině mezi nepohyblivou a pohybující se deskou. [13] .....	17
Obr. 5 – tokové křivky pro různé typy modelových kapalin. Newtonská kapalina (1), pseudoplastická kapalina (2), diletantní kapalina (3) [13] .....	18
Obr. 6 - časová závislost viskozity. Newtonská kapalina (1), tixotropní kapalina (2), reopexní kapalina (3) [13] .....	19
Obr. 7 – reometr typu válec – válec [15] .....	20
Obr. 8 – reometr typu kužel – deska [15] .....	20
Obr. 9 – reometr typu deska – deska [15].....	21
Obr. 10 – kapilární reometr [15] .....	22
Obr. 11 - Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu [5] .....	26
Obr. 12 - Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [5] .....	27
Obr. 13 - Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu [5].....	27
Obr. 14 - Vliv stupně krystalinity na modul pružnosti ve smyku [5] .....	28
Obr. 15 - Cyklus vstřikování.....	31
Obr. 16 – popis vstřikovacího stroje [6] .....	32
Obr. 17 - Schéma vytlačovacího stroje [3] .....	34
Obr. 18 - Princip vstřikovacího vyfukování s okamžitým vyfouknutím [3] .....	36
Obr. 19 – schéma výroby fólií výtlačným vyfukováním [1] .....	37
Obr. 20 - Princip lisování [9] .....	37
Obr. 21 – princip přetlačování [9] .....	38
Obr. 22 - Princip válcování [9] .....	39
Obr. 23 – klasifikace čtyřválců na typy I, L, F, Z [1] .....	39
Obr. 24 – Huygensův princip pro lom světla (a) a pro difrakci (b). [18] .....	41
Obr. 25 - Odraz a lom světla. [16] .....	42
Obr. 26 – rozklad světla na optickém hranolu. [19] .....	43
Obr. 27 – Pravoúhlý souřadnicový systém pro určení bodu v barevném prostoru [11].....	45
Obr. 28 – příklad toleranční elipsy v barevném dvojrozměrném prostoru [11] .....	46
Obr. 29 – přístroj na měření barevnosti povrchu od firmy Konica Minolta.....	47



---

Obr. 30 – schéma přístroje na měření barevnosti typ - $45^{\circ}/0^{\circ}$ [11].....	47
Obr. 31 - schéma přístroje na měření barevnosti typ - $d/8^{\circ}$ [11] .....	48
Obr. 32 - Princip měření lesku povrchu [10] .....	49
Obr. 33 – ukázka práce s přístrojem na měření lesku od firmy BYK.....	50
Obr. 34 – Pohled na vstřikovací stroj typ Battenfeld BA1600/750TM .....	53
Obr. 35 – Vizualizace uchycení formy na stroji a ovládací jednotky.....	54
Obr. 36 – Pohled na vstřikovací jednotku stroje.....	54
Obr. 37 – 3D vizualizace dílu pomocí programu CATIA (V5R19) – spodní pohled.....	55
Obr. 38 – 3D vizualizace dílu pomocí programu CATIA (V5R19) - horní pohled .....	55
Obr. 39 – Náčrt dílu .....	56
Obr. 40 – Ukázka kalibrace Spektrofotometru .....	57
Obr. 41 – Místo, kde měření bylo prováděno. ....	58

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 – přehled základního dělení polymerů.....	13
Tab. 2 - tabulka doporučených úhlů pro jednotlivé úrovně lesku .....	49
Tab. 3 – Statistika v $L^*(D65)$ .....	61
Tab. 4 – Statistiky v $a^*(D65)$ .....	63
Tab. 5 – Statistiky v $b^*(D65)$ .....	65
Tab. 6 – Statistiky v $L^*(D65)$ po změně TP .....	69
Tab. 7 – Statistiky v $a^*(D65)$ po změně TP.....	70
Tab. 8 – Statistiky v $b^*(D65)$ po změně TP .....	71
Tab. 9 – Statistiky v $L^*(D65)$ po změně barviva.....	72
Tab. 10 – Statistiky v $a^*(D65)$ po změně barviva .....	73
Tab. 11 – Statistiky v $a^*(D65)$ po změně barviva .....	74
Tab. 12 – Souhrn systematických odchylek od požadovaného standardu.....	75

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 – Individuální rozložení hodnot v $L^*$ .....	60
Graf 2 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v $L^*$ .....	60
Graf 3 – Časový diagram v ose $L^*$ .....	61
Graf 4 – Individuální rozložení hodnot v $a^*$ .....	62
Graf 5 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v barevném spektru $a^*$ .....	62
Graf 6 – Časový diagram v ose $a^*$ .....	63
Graf 7 – Individuální rozložení hodnot v $b^*$ .....	64
Graf 8 – Rozložení pomocí Box plotového diagramu v barevném spektru $b^*$ .....	64
Graf 9 – Časový diagram v ose $b^*$ .....	65
Graf 10 – Porovnání měření s požadovaným etalonem v $L^*$ .....	66
Graf 11 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $a^*$ .....	66
Graf 12 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $b^*$ .....	67
Graf 13 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $L^*$ po změně TP .....	69
Graf 14 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $a^*$ po změně TP .....	70
Graf 15 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $b^*$ po změně TP .....	71
Graf 16 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $L^*$ po změně barviva .....	72
Graf 17 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $a^*$ po změně barviva .....	73
Graf 18 - Porovnání měření s požadovaným etalonem v spektru $b^*$ po změně barviva .....	74

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I - Kalibrační certifikát 1

Příloha P II - Kalibrační certifikát 2

Příloha P III – Výkres součásti

Příloha P IV – Certifikát společnosti

Příloha P V – Certifikát společnosti 2

# PŘÍLOHA P I: KALIBRAČNÍ CERTIFIKÁT 1



KONICA MINOLTA

## Calibration certificate

Page 1/2

Certificate number : 20007114  
Calibration subject : Spectrophotometer  
Maker and model : Konica Minolta CM-2500c CT  
Serial number : 4006344

Commissioner : ANAMET s.r.o.  
Mr Lukas Valek  
Kovaku 26  
150 00 Praha 5 Smichov  
Czech republic

Calibrated on : 03.03.2011  
Next calibration : 03.03.2013

This is to certify that above calibration subject is inspected and calibrated, using apparatus traceable to Japanese or other international standards. The results of inspection and calibration have been found to satisfy the inspection standards of Konica Minolta Sensing. For detail informations about traceability please refer to <Traceability of Konica Minolta Radiometric Instruments>, which can be downloaded from our homepage.

Bremen, 03.03.2011

Service Manager  
  
Ulrich Strahlendorf

Service Technician

  
Joern Blanke  
Andre Hellmers  
Frank Kruse  
Oliver Meins  
Andreas Nick  
Dennis Oetken

Calibration certificates cover only the calibration subject.  
Calibration certificates without sign are not valid.  
Calibration certificates may be distributed only completely and unmodified.

**Konica Minolta Sensing Europe B.V.**

European Service Center  
Ulbremer Strasse 90 28217 Bremen  
Phone: 0421 - 526289 - 0 Fax: 0421 - 526289 - 73  
Email: esc@seu.konicaminolta.eu

## PŘÍLOHA P II: KALIBRAČNÍ CERTIFIKÁT 2



KONICA MINOLTA

### Calibration certificate

Page 1/2

Certificate number : 20012110  
Calibration subject : Spectrophotometer  
Maker and model : Konica Minolta CM-2500c CT  
Serial number : 4006344

Commissioner : Kasko spol. s.r.o.  
  
Mr Kamil Barta  
Slavkov 82  
68764 Horni Nemci  
Czech republic

Calibrated on : 04.03.2013  
Next calibration : 04.03.2014

This is to certify that above calibration subject is inspected and calibrated, using apparatus traceable to Japanese or other international standards. The results of inspection and calibration have been found to satisfy the inspection standards of Konica Minolta Sensing. For detail informations about traceability please refer to <Traceability of Konica Minolta Radiometric Instruments>, which can be downloaded from our homepage.

Bremen, 04.03.2013

Service Manager

Ulrich Strahlendorf

Service Technician

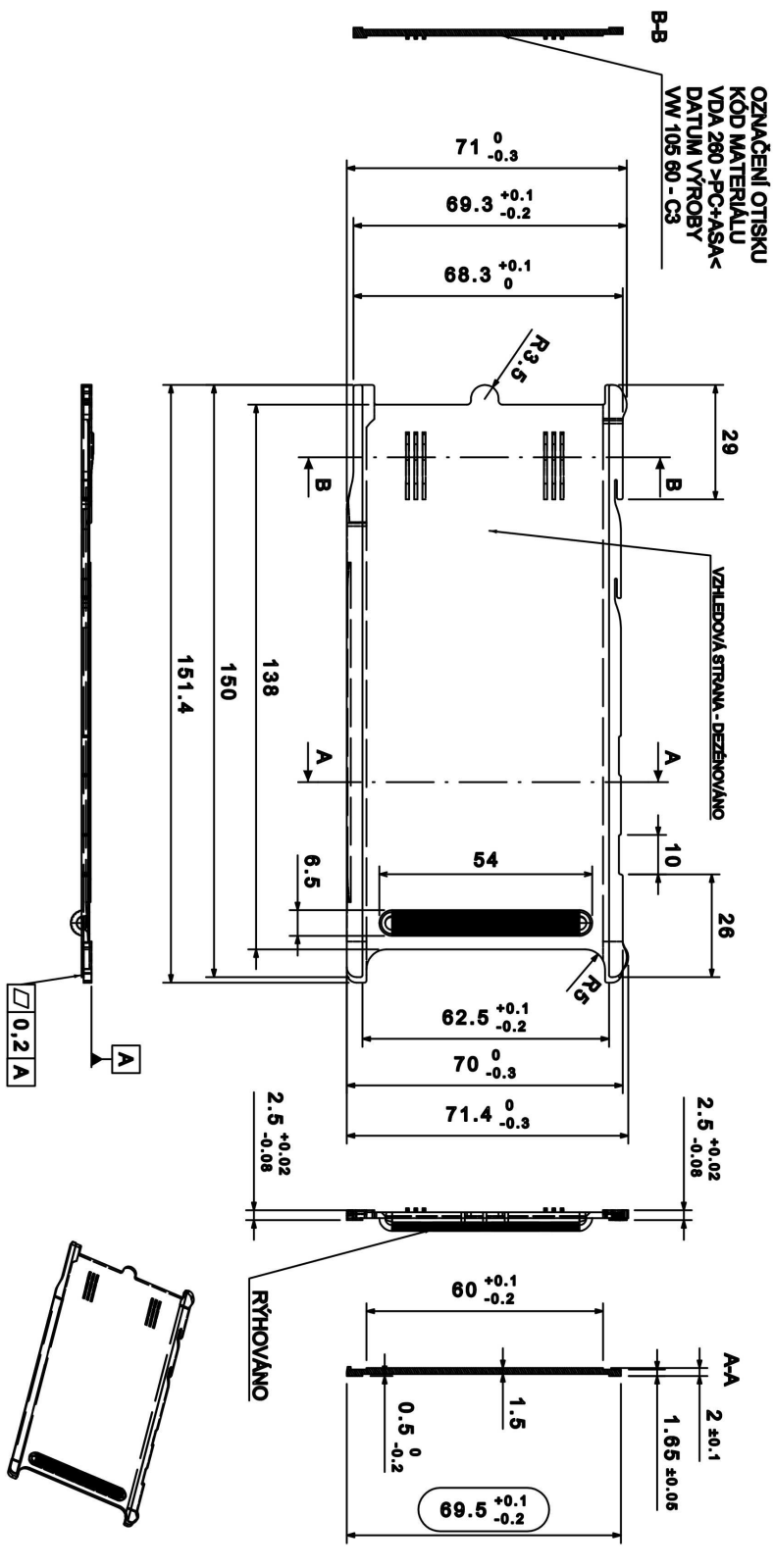
Oliver Meins

Calibration certificates cover only the calibration subject.  
Calibration certificates without sign are not valid.  
Calibration certificates may be distributed only completely and unmodified.

**Konica Minolta Sensing Europe B.V.**

European Service Center  
Utbremer Strasse 90 28217 Bremen  
Phone: 0421 - 526289 - 0 Fax: 0421 - 526289 - 73  
Email: [esc@seu.konicaminolta.eu](mailto:esc@seu.konicaminolta.eu)

# PŘÍLOHA P III: VÝKRES SOUČÁSTI



ALUOT max. 1,5	±1
>400 ≤ 1000	±1
>120 ≤ 400	±1
>90 ≤ 120	±0,5
>6 ≤ 90	±0,2
≤ 6	±0,1
úhelní	±30'
koncentrické	nezprac.

Všeobecná tolerance pro	Hraný díl <
Zpracování součástí bez tolerance	VW 010 88
Zpracování šikmým lůžkem dle VW 811 01	
Průřezná tolerance	VW 137 05

**REKONSTRUKČNÍ KVALITA 82%**  
**TERMOLOTNÍ FUNKČNOST -40C -80C**  
**EMISNÍ OBSAH PODLE VW 801 80**  
**NEKOTOVANÉ TVARÝ PŘEVZIT Z DATOVÉHO SOUBORU**  
**NEKOTOVANÉ POLOMĚNÝ R (0,5-0,2) mm**  
**BARVA A DEŽEN PODLE BARVEVNÉ KOMBINACE**  
**OZNAČENÍ DLE DOHODY KONSTRUKCE S VÝROBCEM**

Podklady
TL 1010
PV 1200 - 8 CYKLU
PV 1303 - 3 CYKLU
VW 801 80
VW105 80 - C3
VDA 280
DN 1481 - B3
VW 811 00
VW 811 01
VW 811 02
VW 801 85
VW 811 04
TL 828 82 - A
TLD 805 001 VI
TLD 805 002 VI
DN 76 220

**DEŽEN A BARVA: DLE ETALONU**  
**KRYTKA ZRCÁTKA PRAVÁ ě. dílu DI-075-18K JE ZRCADLOVÝM OBRAZEM**

NOVĚ	POD	BI	HMOTNOST kg	MĚŘ.
1	1	1		1:1
ZNÁMÍ: POŽÁSA SCHLAFLEND WIR & UV CAL T.O.				
ROZM. POLOH.				
POH. ZÁR.				
VÝBR. Bar-za, Konil				
PRÍZK.				
TECHNOL.				
NÁZEV				
KRYTKA ZRCÁTKA LEVÁ				
LM80				LM8

# PŘÍLOHA P IV: CERTIFIKÁT SPOLEČNOSTI

# CERTIFIKÁT



pro systém managementu dle  
**EN ISO 14001 : 2004**

V souladu s TÜV NORD CERT postupy je tímto potvrzeno, že

## KASKO.

**KASKO spol. s r.o.**  
Slavkov 82  
687 64 Horní Němčí  
Česká republika

má zaveden systém managementu v souladu s výše uvedenou normou pro následující  
obor platnosti

**Vývoj, výroba a montáž plastových dílů.**

Registrační číslo certifikátu 44 104 125127  
Audit, zpráva číslo 710 148/020

Platný do 2014-08-31

Certifikační místo  
TÜV NORD CERT GmbH

Praha, 2012-09-11

Tato certifikace byla provedena v souladu s TÜV NORD CERT certifikačními postupy a je podnětem k provádění pravidelných kontrolních auditů.

TÜV NORD CERT GmbH

Langemarckstrasse 20

45141 Essen

[www.tuev-nord-cert.com](http://www.tuev-nord-cert.com)





# PŘÍLOHA P V: CERTIFIKÁT SPOLEČNOSTI 2

## CERTIFIKÁT



pro systém managementu jakosti dle  
**ISO/TS 16949:2009**  
(3. Vydání, 2009-06-15)

V souladu s TÜV NORD CERT postupy je tímto potvrzeno, že

### KASKO

**KASKO spol. s r.o.**  
Slavkov 82  
687 64 Horní Němčí  
Česká republika

má zaveden systém jakosti v souladu s výše uvedenou normou pro následující obor platnosti

**Vývoj a výroba plastových dílů pro automobilový průmysl**

IATF-registrační číslo 0148412  
Registrační číslo certifikátu 44 111 121744

Platný od 2012-10-17  
Platný do 2015-10-16

  
Certifikační místo  
TÜV NORD CERT GmbH

Essen, 2012-10-17

Tato certifikace byla provedena v souladu s TÜV NORD CERT certifikačními postupy a je podnětem k provádění pravidelných kontrolních auditů.

TÜV NORD CERT GmbH

Langemarckstrasse 20

45141 Essen

[www.tuev-nord-cert.com](http://www.tuev-nord-cert.com)



02-IAO-QMC-01021

Strana 1/1