

# Vliv koncentrace pigmentu na mechanické vlastnosti plastového dílu

Bc. Patrik Slovák

---

Diplomová práce  
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik Slovák**  
Osobní číslo: **T15331**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv koncentrace pigmentu na mechanické vlastnosti plastového dílu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2017**

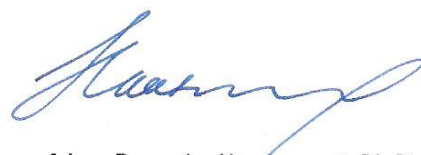
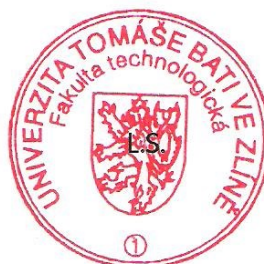
Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2017**

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



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



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

Příjmení a jméno: ...SLOVÁK PATRIK.....

Obor: ...KTZ.....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 19.4.2017



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

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

(2) 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 vzdělávacího 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 jim 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**

Náplní této diplomové práce je měření a vyhodnocení mechanických vlastností polykarbonátu ovlivněného různou koncentrací pigmentu. Teoretická část pojednává o obecném rozdělení a vlastnostech polymerních materiálů a pigmentů. Je popsáno také barvení plastových hmot, kolorimetrie a zkoušení mechanických vlastností. Zkoušky tvrdosti jsou rozděleny a popsány, taktéž s dynamickými zkouškami a zkouškou tahem. Praktická část se zabývá přípravou zkušebních těles a smícháním polymerního materiálu s pigmentem. Pro vyhodnocení mechanických vlastností se provedla zkouška tahem, rázová zkouška v ohybu, zkouška tvrdosti (Shore D) a rozměrová stabilita (smrštění). Zpracované hodnoty se graficky vyhodnotili a následně porovnali.

Klíčová slova: mechanické vlastnosti, polykarbonát, pigmenty, zkouška tahem, zkoušky tvrdosti, kolorimetrie

## **ABSTRACT**

The aim of the thesis is to measure and evaluate mechanical properties of polycarbonate influenced by varying the pigment concentration. The theoretical part describes general distribution and properties of polymeric materials and pigments. Dyeing of plastics, colorimetry and mechanical properties are also described. Hardness tests are divided and described, dynamic tests and tests are also dividend and described. The practical part deals with preparation of test bodies and mixing of polymeric material with pigment. Tensile test, bending impact test, hardness test (Shore D), and dimensional stability (summary) were performed to evaluate the mechanical properties. Processed values are evaluated and then compared.

Keywords: mechanical properties, polycarbonate, pigments, tensile test, hardness test, colorimetry

Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu této diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. a taktéž Ing. Václavu Janošíkovi za odborné vedení a cenné rady, které mi umožnil při psaní této práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ .....	13
1.2 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ DLE TEPLOTNÍHO CHOVÁNÍ .....	14
1.2.1 Termoplasty.....	14
1.2.2 Reaktoplasty .....	14
1.2.3 Elastomery.....	15
1.2.4 Termoplastické elastomery .....	15
1.3 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ DLE APLIKACE.....	16
1.3.1 Plasty pro konstrukční použití.....	16
1.3.2 Plasty pro standartní použití.....	16
1.3.3 High-tech plasty .....	16
1.4 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ DLE VÝCHOZÍCH SUROVIN .....	16
1.4.1 Přírodní.....	16
1.4.2 Syntetické .....	16
1.5 ROZDĚLENÍ DLE DRUHU MAKROMOLEKULÁRNÍCH ŘETĚZCŮ .....	17
1.5.1 Lineární .....	17
1.5.2 Rozvětvené.....	17
1.5.3 Zesíťované.....	17
1.5.4 Prostorově zesíťované .....	17
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>18</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	18
2.2 DIAGRAM PRŮBĚHU TLAKU PŘI VSTŘIKOVACÍM CYKLU.....	19
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	20
<b>3 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>21</b>
3.1 NEWTONSKÁ KAPALINA .....	21
3.2 NENEWTONSKÁ KAPALINA .....	22
3.3 REOLOGIE TERMOPLASTICKÉ TAVENINY .....	22
<b>4 PIGMENTY</b> .....	<b>24</b>
4.1 ROZPUSTNOST PIGMENTŮ .....	24
4.2 DĚLENÍ PIGMENTŮ PODLE PŮVODU.....	25
4.2.1 Anorganické pigmenty .....	25
4.2.2 Organické pigmenty .....	25
4.3 DĚLENÍ PIGMENTŮ PODLE BAREVNOSTI.....	26
4.3.1 Černé pigmenty .....	26
4.3.2 Bílé pigmenty .....	26
4.4 OBECNÉ VLASTNOSTI PIGMENTŮ .....	27
4.4.1 Agregáty.....	27
4.4.2 Aglomeráty.....	27



4.5	BAREVNÉ VLASTNOSTI PIGMENTŮ .....	27
4.6	TOKOVÉ VLASTNOSTI PIGMENTŮ .....	28
4.7	FINÁLNÍ FORMA PIGMENTŮ .....	28
<b>5</b>	<b>BARVENÍ PLASTOVÝCH HMOT .....</b>	<b>29</b>
5.1	PIGMENTOVÉ BARVENÍ PLASTICKÝCH HMOT VE HMOTĚ .....	29
5.2	MÍSENÍ BAREVNÉHO KONCENTRÁTU .....	30
5.3	BAREVNÉ KONCENTRÁTY .....	31
<b>6</b>	<b>LAKOVÁNÍ .....</b>	<b>32</b>
6.1	NANÁŠENÍ MOKRÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT .....	32
6.1.1	Ruční nanášení nátěrové hmoty .....	32
6.1.2	Vzduchové stříkání .....	32
6.1.3	Vysokotlaké stříkání .....	33
6.1.4	Práškové lakování .....	33
6.1.5	Nanášení nátěrové hmoty máčením .....	34
6.1.6	Navalování nátěrových hmot .....	34
6.1.7	Duplexní povlaky .....	35
<b>7</b>	<b>KOLORIMETRIE .....</b>	<b>36</b>
7.1	BARVA TĚLESA .....	36
7.1.1	Tón barvy .....	36
7.1.2	Sytost barvy .....	36
7.1.3	Jas barvy .....	36
7.1.4	Pestrost barvy .....	36
7.2	CHROMATICKÉ SVĚTLO .....	37
7.3	MÍSENÍ BAREV .....	37
7.4	SYSTÉM PRO MĚŘENÍ BAREVNOSTI RGB .....	38
7.5	CHROMATICKÝ DIAGRAM .....	38
<b>8</b>	<b>ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....</b>	<b>40</b>
8.1	MECHANICKÉ VLASTNOSTI .....	40
8.1.1	Pevnost .....	40
8.1.2	Pružnost .....	41
8.1.3	Plasticita .....	41
8.1.4	Houževnatost .....	41
8.1.5	Tuhost .....	41
<b>9</b>	<b>ZKOUŠKY TVRDOSTI .....</b>	<b>42</b>
9.1	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE BRINELLA .....	42
9.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE VICKERSE .....	44
9.3	ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE ROCKWELLA .....	45
9.4	TVRDOST SHORE .....	47
9.4.1	Tvrdost Shore A .....	47
9.4.2	Tvrdost Shore D .....	48
<b>10</b>	<b>DYNAMICKÉ ZKOUŠKY JENORÁZOVÉ .....</b>	<b>49</b>

10.1	RÁZOVÁ A VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST .....	49
10.2	ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU .....	49
10.3	RÁZOVÁ A VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST METODOU CHARPY.....	50
10.3.1	Rázová houževnatost.....	50
10.3.2	Vrubová houževnatost.....	51
<b>11</b>	<b>ZKOUŠKA TAHEM.....</b>	<b>52</b>
11.1	TAHOVÁ KŘIVKA .....	54
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>56</b>
<b>12</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>57</b>
12.1	CÍL PRÁCE .....	57
<b>13</b>	<b>PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....</b>	<b>58</b>
13.1	POUŽITÉ TYP POLYMERNÍHO MATERIÁLU .....	58
13.1.1	PC Lexan 923 .....	58
13.2	POUŽITÉ TYPY PIGMENTŮ .....	58
13.2.1	LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC .....	59
13.2.2	LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC.....	59
13.2.3	LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC .....	60
13.3	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	60
13.3.1	Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 420 C .....	60
13.3.2	Sušička ARBURG THERMOLIFT 100 - 2 .....	61
13.3.3	Vrubovací zařízení CEAST.....	62
<b>14</b>	<b>EXPERIMENT .....</b>	<b>63</b>
14.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ .....	63
14.1.1	Stroj pro tahovou zkoušku ZWICK Roell 1456.....	63
14.1.2	Charpyho kladivo ZWICK Roell HIT 50J .....	64
14.1.3	Tvrdoměr OMAG Affri ART 13.....	65
14.1.4	Portálový měřicí stroj ZEISS CONTURA G2 .....	65
14.2	SMÍCHÁNÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU S PIGMENTEM .....	66
14.3	HODNOTY VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	67
<b>15</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....</b>	<b>68</b>
15.1	RÁZOVÁ ZKOUŠKA V OHYBU .....	68
15.1.1	PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC) .....	68
15.1.2	PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC) .....	70
15.1.3	PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC).....	71
15.2	ZKOUŠKA TAHEM .....	73
15.2.1	PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC) .....	73
15.2.2	PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC) .....	75
15.2.3	PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC).....	76

15.3	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORE D .....	78
15.3.1	PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR- ČERVENÝ 3620 F/PC) .....	78
15.3.2	PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR- MODRÝ 50009 F/PC) .....	79
15.3.3	PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR- ZELENÝ 4842 F/PC).....	79
15.4	SMRŠTĚNÍ (ROZMĚROVÁ STABILITA).....	80
<b>16</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>82</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>98</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály zastupují v současné době nenahraditelný materiál ve všech odvětvích průmyslu. Svou oblibu si převážně získali pro své neocenitelné mechanické vlastnosti. Další významnou přednost mají v nahrazení běžných materiálů jako je ocel, sklo, nebo dřevo. Rostoucí význam polymerů si žádá kvalitní posouzení mechanických vlastností, aby mohl být již při výrobě výrobku použit správný polymerní materiál. Způsob jak zjistit vlastnosti určitého materiálu je použít správnou metodu zkoušení. Metody měření mechanických vlastností jsou odpovědí na neustále se zvyšující požadavky a trendy, které různé odvětví průmyslu žádá.

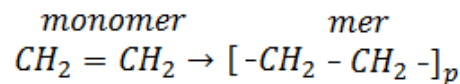
Tato diplomová práce bude sloužit částečně pro objasnění otázek a problému, které se vyskytli při výrobě vstřikovaných výrobků ovlivněných různou koncentrací pigmentů ve firmě OBZOR Zlín. Firma se zaměřuje převážně na výrobu a distribuci drobných elektro-mechanických výrobků, dílů pro automobilový průmysl, kovových dílů a vstřikování plastů.

Cílem diplomové práce je porovnání fyzikálních vlastností polymerního materiálů ovlivněného různou koncentrací pigmentů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

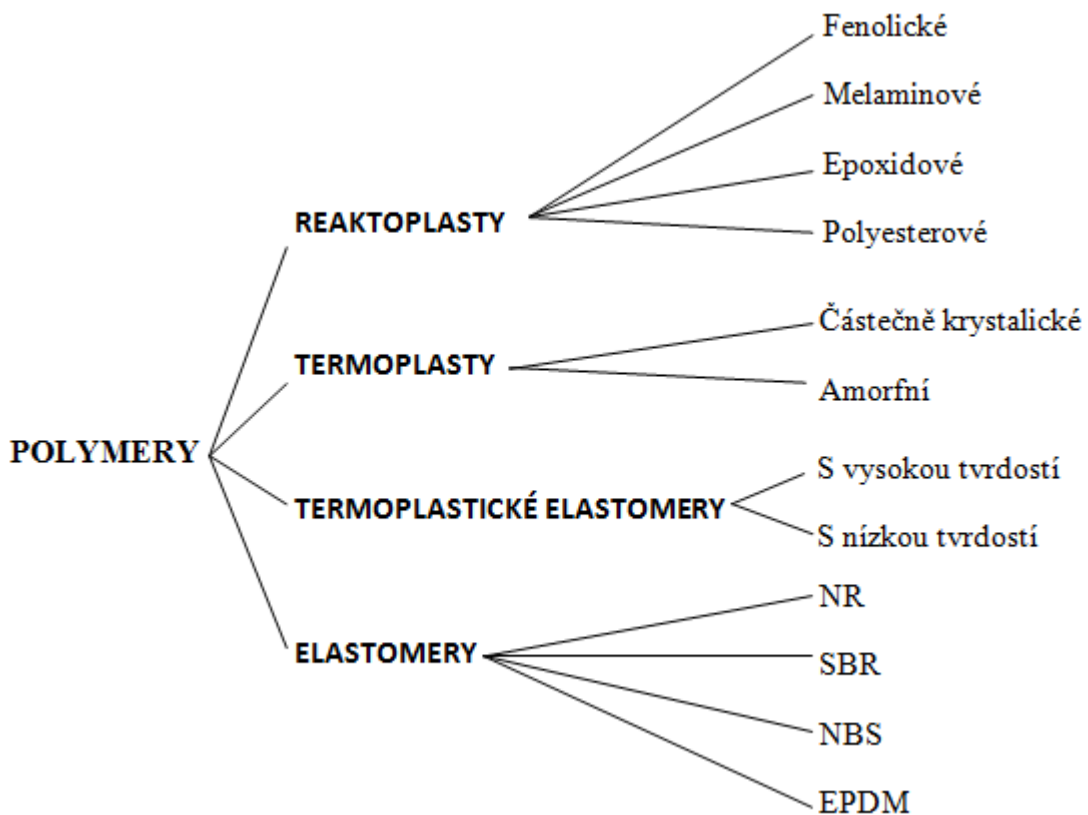
Makromolekulární látky se často nazývají polymery. Název je odvozen od slova meros – část a poly – mnoho, proto se používá název polymer. Tyto látky vznikají z jednodušší sloučeniny monomeru. Polymer se skládá z jedné opakující se jednotky a tak se složení obvykle popisuje stavební jednotku, která nese název mer. Jednotka mer se neustále opakuje a tak vytváří kombinaci s ostatními v základní část struktury polymeru.



Obr. 1 Stavební jednotka

### 1.1 Materiály pro vstřikování

Podle druhu materiálu se volí režim vstřikování resp. podmínky vstřikování a jim pak odpovídá velikost smrštění výstřiku. Polymerní materiály vhodné pro vstřikování se dělí na termoplasty, reaktoplasty, termoplastické elastomery a elastomery viz obr 1. [1]



Obr. 2 Rozdělení polymerních materiálů vhodných ke vstřikování [1]

## 1.2 Rozdělení materiálů dle teplotního chování

### 1.2.1 Termoplasty

Polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  (semikrystalické), resp. teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA).



*Obr. 3 Příklad aplikace termoplastů*

### 1.2.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plastické hmoty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci).



Obr. 4 Příklad aplikace reaktoplastů

### 1.2.3 Elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury. Proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj.



Obr. 5 Příklad aplikace elastomerů

### 1.2.4 Termoplastické elastomery

Jedná se o polymerní materiály, v nichž jsou elastické polymerní řetězce (zvulkanizované) integrovány do polymerní matrice. Integrace není chemické povahy, je pouze fyzikální – směs. Spojují aplikační vlastnosti elastomerů (ohebnost, elasticitu) a zpracovatelské vlastnosti termoplastů. [1]



Obr. 6 Příklad aplikace termoplastických elastomerů



### 1.3 Rozdělení materiálů dle aplikace

Dle aplikace a konstrukční náročnosti vyráběných výrobků lze plasty rozdělit do následujících skupin.

#### 1.3.1 Plasty pro konstrukční použití

Používají se u více namáhaných výrobků, u kterých musí být zaručeny požadované mechanické vlastnosti. Jsou to ozubená kola, bezpečnostní prvky, ve stavebnictví profily a tyče aj. Do této skupiny patří polyamid (PA), polyoximetylén (POM), polymethylmethakrylát (PMMA) aj.

#### 1.3.2 Plasty pro standardní použití

Setkáváme se s nimi prakticky celý život v běžném dnu. Jsou to obalové materiály, součásti elektrospotřebičů aj. Do této skupiny patří polyetylén (PE), polypropylén (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) aj.

#### 1.3.3 High-tech plasty

Tyto plasty odolávají vysokým teplotám, velkému namáhání a jsou odolné chemickým vlivům. Praktikují se v automobilovém, leteckém, chemickém a kosmickém průmyslu. Do této skupiny patří polyamid (PI), polybenzenimid (PBI), polyfenylénsulfid (PPS), polysulfon (PSU), tetrafluoretylén (PTFE).

### 1.4 Rozdělení polymerů dle výchozích surovin

#### 1.4.1 Přírodní

Složení je na přírodní bázi, nalezneme je v živočišných organismech a rostlinách. Vznikají biochemickými procesy. (přírodní kaučuk, celulóza, škrob)

#### 1.4.2 Syntetické

V přírodě je nenajdeme. Vyrábí se reakcemi z organických sloučenin, což znamená, že se velký počet molekul výchozích látek spojí v makromolekulu (polyetylen, polystyren apod.).

## 1.5 Rozdělení dle druhu makromolekulárních řetězců

### 1.5.1 Lineární

Molekuly jsou seřazeny v řadě za sebou. Polymery s lineárním makromolekulárním řetězcem mají dobré zaplnění prostoru a tím i vyšší hustotu, což je zapříčiněno blízkostí jednotlivých řetězců. [2]

### 1.5.2 Rozvětvené

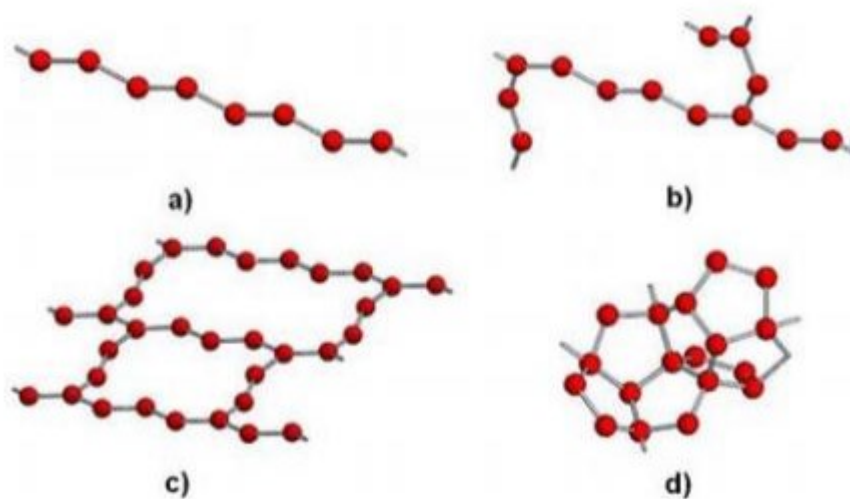
Rozvětvený polymer je tvořen hlavním řetězcem, kterého vystupují další vedlejší větve. Mají nižší hustotu než lineární makromolekuly, protože špatněji zaplňují prostor, což vede ke zhoršení mechanických vlastností výrobku. [2]

### 1.5.3 Zesíťované

Pro tento druh makromolekulárních řetězců je obvyklé propojení vedlejších řetězců za pomoci článků. Propojení způsobí ztrátu tavitelnosti, rozpustnosti a zvýší se odolnost proti působení vyšších teplot. Vzniká buď řídké zesíťování (kaučukovité polymery a elastomery), nebo husté zesíťování (reaktoplasty). [2]

### 1.5.4 Prostorově zesíťované

Jedná se o trojrozměrné polymery, které mají tři kovalentní vazby a vytváří tak trojrozměrnou síť, což je typické pro epoxidy.



Obr. 7 Tvary makromolekulárních řetězců

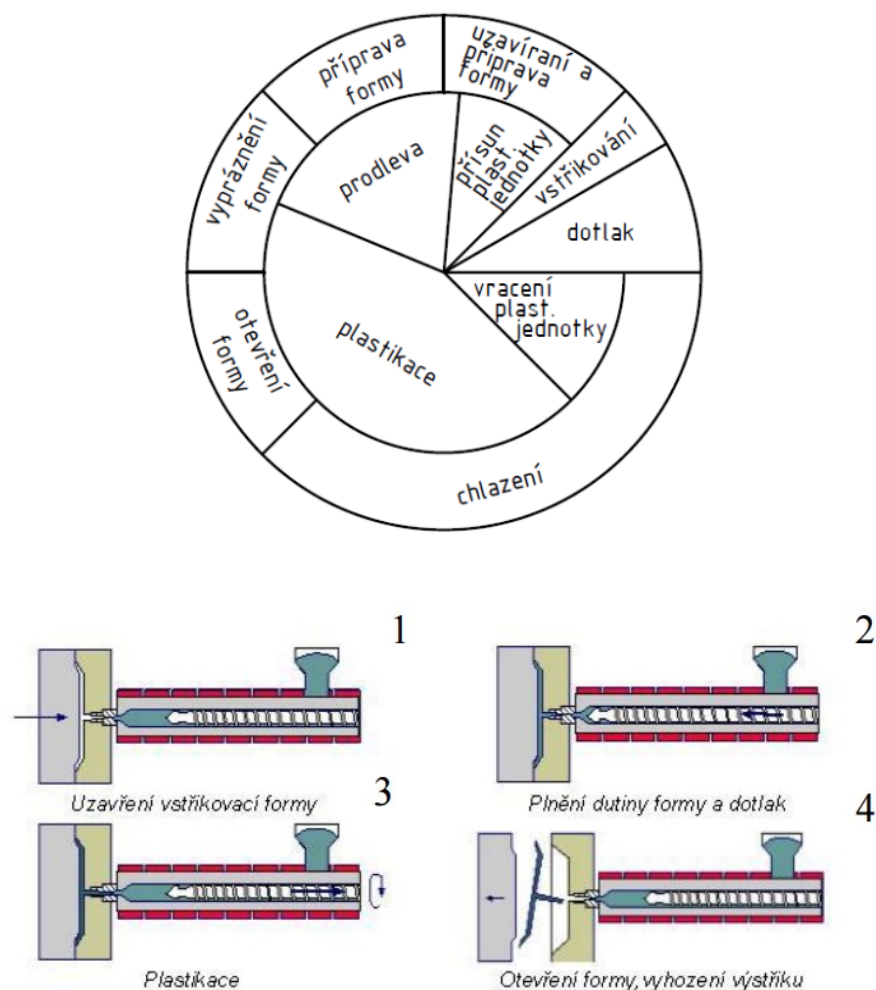
a) lineární, b) rozvětvený, c) zesíťovaný, d) prostorově zesíťovaný

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je termodynamický cyklický proces tváření, při kterém se materiál v plastickém stavu vstřikuje vysokou rychlostí do uzavřené, temperované dutiny formy. Provádí se ve vstřikovacím stroji. V dnešní době je vstřikování nejvíce používaným způsobem výroby výrobků z plastů.

### 2.1 Vstřikovací cyklus

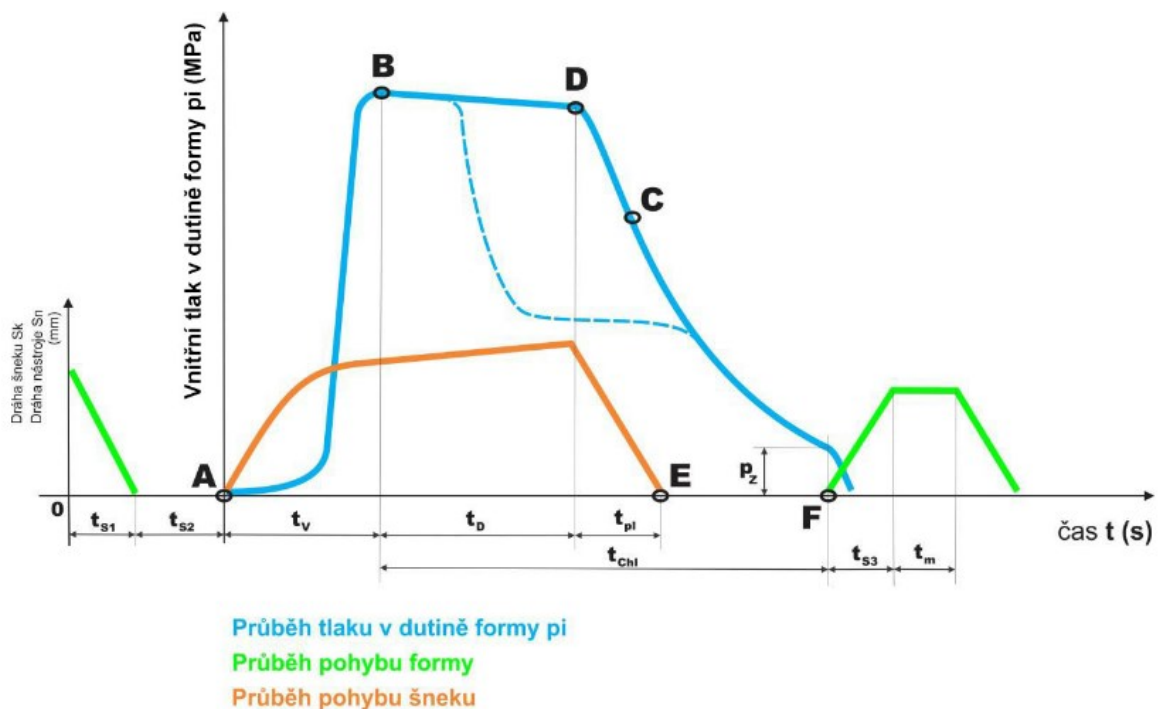
Plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebrán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Tavenina předá formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.



Obr. 8 Znárodnění vstřikovacího cyklu [3]

Chlazení vstřikovaného výrobku proběhne ve formě a taky mimo ni. Při vstřikovacím cyklu se můžou provádět ještě další úkony jako je roztřídění výstřiků a zmetků, nebo oddělení vtokových zbytků apod. Tyto úkony mohou probíhat současně se vstřikovacím cyklem, bez jeho ovlivnění. U reaktoplastů je obdobný vstřikovací cyklus, ale místo chlazení probíhá tvrzení. Při vstřikování kaučukových směsí musí probíhat vulkanizace. Poté se vstřiknuté výrobky ochladí mimo formu. [3]

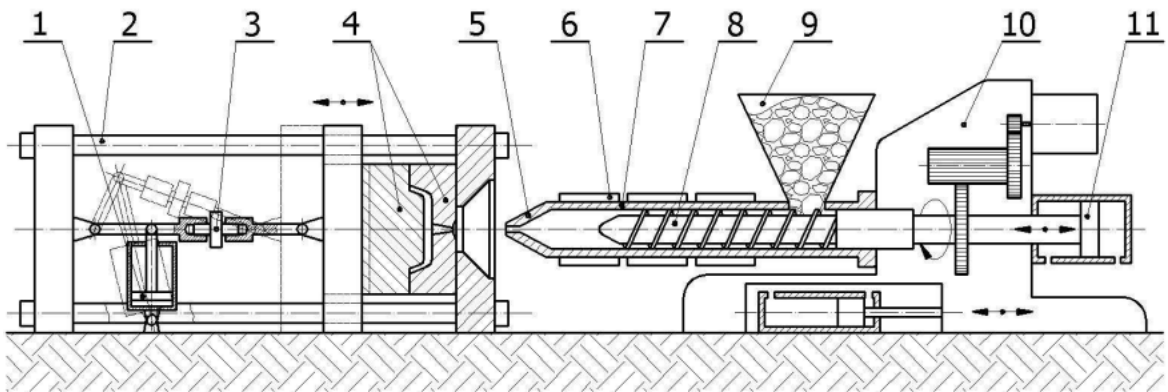
## 2.2 Diagram průběhu tlaku při vstřikovacím cyklu



Obr. 9 Znáornění vstřikovacího cyklu [4]

Na začátku je prázdná dutina formy a otevřená forma. V čase nula zahájí stroj vstřikovací cyklus. Poté se v časovém úseku  $t_{s1}$  forma uzavře a taktéž zamkne. V časovém úseku  $t_{s2}$  nastává přísun tavicí komory. Tyto dva úseky se označují jako strojní časy. Od bodu A se dá do pohybu šnek a nastane fáze vstřikování  $t_v$ . Tavenina uvnitř vstřikovací formy je stlačena, při maximální hodnotě tlaku. V bodě B se změni vstřikovací tlak na dotlak a začne dotlaková fáze  $t_D$ . V bodě D je ukončena fáze dotlaku a nastává fáze plastikace  $t_{pl}$  s novou dávkou, která končí bodem E. Při fázi dotlaku, až po otevření formy a vyhození výstřiku probíhá ochlazovací fáze  $t_{chl}$ . Okamžik ztuhnutí taveniny ve vtokovém kanálu, zobrazuje bod C. Poté se forma otevře v bodě F a výstřik je vysunut pomocí vyhadzovače po dobu  $t_{s3}$ . Časový úsek  $t_m$  je určen pro odebrání výstřiku manipulátorem. [5]

### 2.3 Vstřikovací stroj



Obr. 10 Schéma vstřikovací stroje [6]

1 – uzavírací hydraulický válec, 2 – vodící sloupy, 3 – uzavírací mechanismus, 4 – vstřikovací forma, 5 – vstřikovací tryska, 6 – topná tělesa, 6 – topná tělesa, 7 – pracovní válec, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – převodová skříň, 11 – hydraulický válec s pístem pro axiální pohyb šneku

Vstřikovací stroje, jsou určeny pro zpracování polymerních materiálů, především v podobě granulí. Polymery a směsi rovněž mohou být dodávány ve formě prášku či hmoty těstovinové konzistence. Vstřikovací stroj je složen z hlavních částí, které jsou vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a ovládací a programovací zařízení. [6]

### 3 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Polymerní materiály se většinou zpracovávají v plastickém stavu. Chováním tavenin během toku se zabývá vědní obor reologie. Reologie řeší vztah mezi napětím, deformací a časem, s cílem porozumět chování polymerního materiálu v průběhu jeho zpracování. [7]

#### 3.1 Newtonská kapalina

Reologické chování během smykového namáhání lze nejjednodušeji popsat Newtonovým zákonem.

$$\tau_{xy} = \eta_o \cdot \dot{\gamma}_{xy} \text{ [Pa]} \quad (1)$$

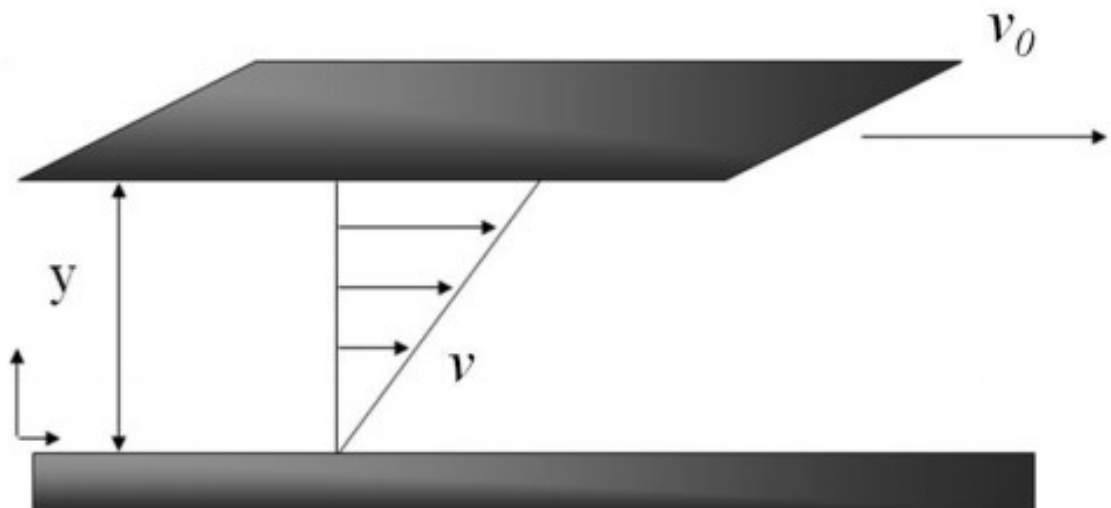
$\tau_{xy}$  - smykové napětí

$\eta_o$  – newtonská viskozita

$\dot{\gamma}_{xy}$  – rychlost smykové deformace

Při definici zákona vycházíme z předpokladu polymerní taveniny mezi dvěma deskami. Dolní deska se nepohybuje a horní deska se pohybuje rychlostí  $v_0$  vyvolanou smykovou silou  $F$  působící v rovině desky s plochou  $A$ . Smykové napětí je pak dáno: [7]

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ [Pa]} \quad (2)$$

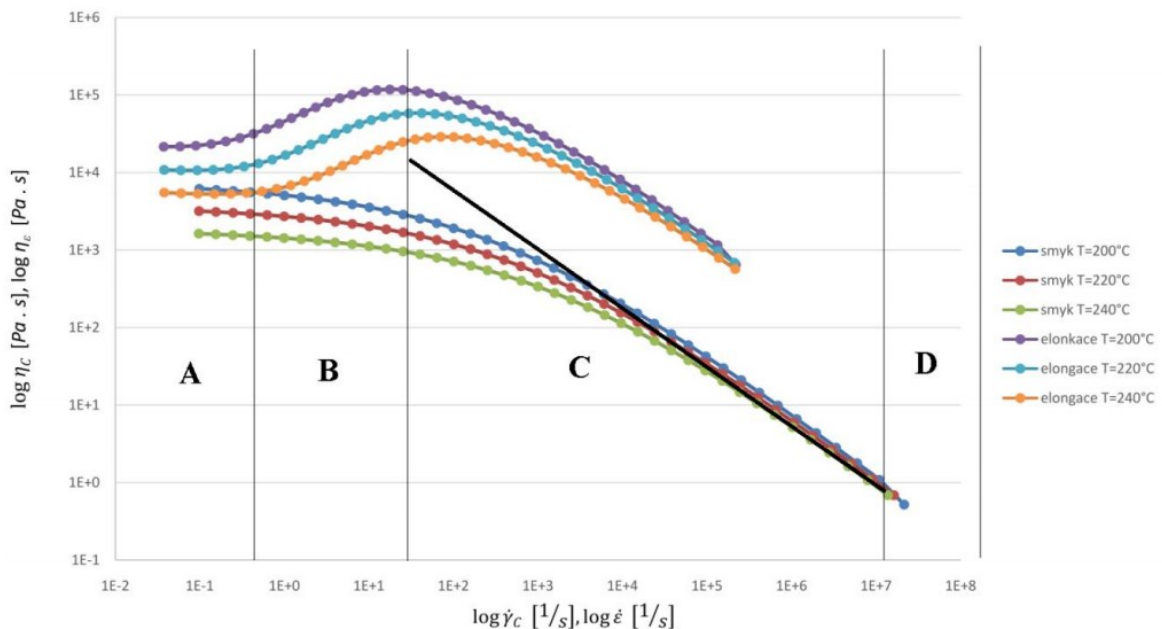


Obr. 11 Model reologického chování během smykového namáhání [7]

Dolní vrstva materiálu je nepohyblivá, horní vrstva se vlivem působící síly posune, viz, obr. 10.

### 3.2 Nenewtonská kapalina

Téměř všechny polymerní látky se během toku chovají newtonsky jen při velmi nízkých rychlostech smykové deformace viz. obr. 11 (oblast A). Zvyšováním rychlosti smykové deformace přestává být na této proměnné viskozita nezávislá – může klesat, což je typické chování polymerních tavenin, nebo může stoupat. V přechodové oblasti (oblast B) se směrnice závislosti mění, ale postupně přechází do konstantní hodnoty, která určuje stupeň nenewtonského chování (oblast C). Druhé newtonské plateau, což je poslední oblast tokové křivky (oblast D) je charakterizované opětovným ustálením viskozity nezávisle na stále se zvyšující rychlosti smykové deformace. Tato oblast je těžko měřitelná. [7]



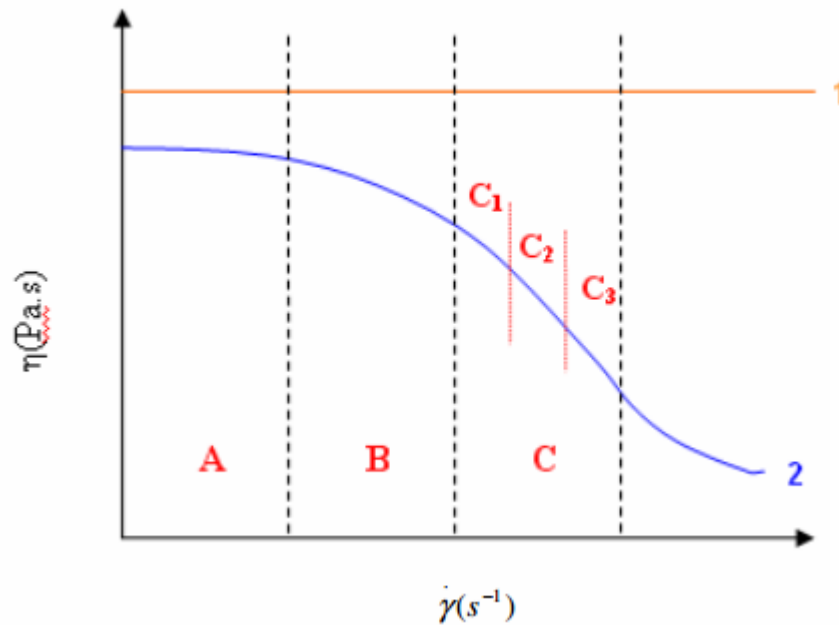
Obr. 12 Toková křivka polyethylenu

### 3.3 Reologie termoplastické taveniny

Jedná se o tokové chování tavenin polymerních látek. Určuje vztah mezi smykovou rychlostí a smykovým napětím. Tokové vlastnosti polymerních materiálů se využívají v celé řadě různých plastikařských druhů odvětví. Tyto informace slouží např. při návrhu vstřikovacího stroje a jeho komponentů, ale také třeba při výpočtu uzavírací síly formy.

Termoplastické taveniny vykazují viskoelastické chování, což znamená, že vykazují viskozní i elastické chování. Tavenina termoplastu a její vlastnosti tokového chování jsou charakterizovány viskozitou.

Závislost dynamické viskozity na smykové rychlosti lze popsat viskozitní křivkou viz. obr. 12.



Obr. 13 Viskozitní křivka [8]

1 – newtonské kapaliny, 2 – pseudoplastické kapaliny, A – oblast konstantní viskozity, B – oblast přechodová, C – oblast platnosti mocninového zákona,  $C_1$  - oblast vhodná pro lisování,  $C_2$  – oblast vhodná pro vytlačování,  $C_3$  – oblast vhodná pro vstřikování



## 4 PIGMENTY

Pigmenty se nejčastěji využívají k barvení plastických hmot, taktéž k výrobě laků, olejových a tiskových barviv. Musí mít určitý odstín, ale také aplikační vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří barvicí síla, dispergační schopnost, krycí schopnost, světlostabilita, termostabilita a všeobecná stabilita proti vlivům okolí. Jsou to malé částičky v podobě prášku. Jejich velikost obvykle bývá několik mikrometrů. [9]



*Obr. 14 Pigmenty*

### 4.1 Rozpustnost pigmentů

Od pigmentu se požaduje, aby byl co nejméně rozpustný ve vybarvovaném médiu i při vyšších teplotách. Částečná rozpustnost pigmentu způsobí rekrystalizaci pigmentu a tím může ovlivnit nepříznivě fyzikální vlastnosti.

Jen ve velmi určitých případech se požaduje, aby pigment byl částečně rozpustný ve vybarvovaném systému. Jako příklad jsou amin diarylové žluté pigmenty, na toluenové bázi, které mají 5% rozpustnost v toluenu. Tím se zlepší barvicí síla a klesne viskozita systému. Využívají se pro ilustrační vysokotlaký tisk. [9]

## 4.2 Dělení pigmentů podle původu

### 4.2.1 Anorganické pigmenty

Dělí se na dvojí druh a to buď přírodní, nebo syntetické. Obvykle to jsou oxidy a sulfidy kovů, sloučeniny uhlíkové červeně, cadmia a rtuti, nebo sole olova. Výhodu oproti organickým pigmentu mají ve světelné a tepelné stabilitě. Velmi snadno se rozptylují v plastických hmotách. Dá se docílit brilantních odstínů, pokud jsou ve vysoké koncentraci, ale s organickými pigmenty se to nedá porovnávat. Mezi další vlastnosti patří dobré reologické vlastnosti a krycí schopnost. Mezi nevýhody patří kalné odstíny a méně typů odstínů. Používají se pro barvení průsvitných i neprůsvitných plastů. [9]

### 4.2.2 Organické pigmenty

Organické pigmenty jsou syntetické. Oproti anorganickým pigmentům mají větší povrch, lepší barvicí sílu, jsou transparentnější, čistší v odstínech, ale mají vyšší cenu. U některých organických pigmentů se objevuje menší světlostálost a odolnost vůči chemikáliím, oproti anorganickým. Tyto horší vlastnosti se překonali syntézou větších molekul na bázi nových struktur. Jedná se například o DPP pigmenty. [9]

V následující tabulce nalezneme hlavní třídy pigmentů pro barvení plastových hmot a jejich základní vlastnosti.

Tab. 1 Přehled organických pigmentů [9]

Chemická třída	Odstín	Vlastnosti	
		Výhody	Nevýhody
Ftalocyaniny	modrá a zelená	prakticky nerozpustné výborná termostabilita a světlostálost poměrně levná cena	špatně se dispergují
Kypové anthrachinonové	všechny odstíny	transparentní světlostálé silné	náchylnost k redukci migrování a krvácení
Kypové thioidigoidní	všechny odstíny	dobrá světlostabilita	nízká termostabilita migrování a krvácení
Kypové perylenové a perynonové	všechny odstíny	výborná termostabilita dobrá světlostabilita	
Azové	žlutá až červená	dobrá světlostabilita odolnost vůči chemikáliím	nízká termostabilita krvácení

Dioxazinové	violeta	vyborná světlostálost	nižší termostabilita
Chinakridonové	oranžová až violeta	poměrně levná cena	špatně se dispergují
Isoindolinové	žlutá až červená	poměrně levná cena	špatně se dispergují
Diketopyrolpyrolové	červená	neobvyklá stálost velmi čisté odstíny	vysoká cena

### 4.3 Dělení pigmentů podle barevnosti

Základní dělení pigmentů podle barevnosti je na bílé, černé a pestré pigmenty.

#### 4.3.1 Černé pigmenty

Mezi základní výrobní surovinu patří saze. Ty vznikají spalováním uhlíkatých látek. Podle použitých surovin se dělí na plamenové (z dehtových olejů), lampové (minerální oleje) a plynové (zemní plyn).



*Obr. 15 Saze*

#### 4.3.2 Bílé pigmenty

Mezi ty nejdůležitější patří zinková a titanová běloba, nebo bezbarvé pigmenty jako hydroxid hlinitý, uhličitan vápenatý, síran barnatý aj.



*Obr. 16 Titanová běloba*

#### **4.4 Obecné vlastnosti pigmentů**

Použití pigmentu závisí na jeho fyzikálních vlastnostech a na konstituci. Základní vlastnosti pigmentů úzce souvisí s jeho strukturou. U primárních částic platí, že čím jsou menší, tím se více uspořádávají do krystalových uskupení. Primární částice rozdělujeme na agregáty a aglomeráty. [9]

##### **4.4.1 Agregáty**

Tyto primární částice, jsou spojené svými plochami. Celkový povrch agregátu je menší, než součet povrchů jednotlivých částic. Značná nevýhoda je, že při rozptýlení v médiu se nerozdělí zpátky na primární částice. [9]

##### **4.4.2 Aglomeráty**

Tyto částice jsou pospojovány hranami a svými rohy. Mezi výhody patří, že nejsou pevné a při rozptýlení se rozdělí nazpět na primární částice. [9]

#### **4.5 Barevné vlastnosti pigmentů**

Barvicí síla pigmentu je určena jako stupeň, na který barvicí pigment dá barvu standardnímu bílému pigmentu. Tento stupeň odpovídá barevnému výtěžku pigmentu. S barvicí silou úzce souvisí transparentnost pigmentu. Anorganické pigmenty, ale i většina organických pigmentů nejsou transparentní. To znamená, že daný materiál obarví a znemožní jeho průhlednost. Zneprůhlednění může nastat i jen částečné, závisí na koncentraci pigmentů. Existuje ale malá řada organických pigmentů, které jsou transparentní, takže lze dosáhnout transparentního zbarvení. [9]

## 4.6 Tokové vlastnosti pigmentů

Tokové vlastnosti u polymerních tavenin mohou být někdy až příliš ovlivněny přítomností určitého druhu pigmentu. Tento důsledek může mít dvě základní příčiny. První příčina může být přikládána dekompozici polymeru způsobenou přítomností pigmentu v součinnosti s vysokou teplotou zpracování. Druhá příčina může být přikládána interakci pigment – stabilizátor. [9]

## 4.7 Finální forma pigmentů

Jedná se o finální formu komerčních pigmentů.

1. Suchá barviva (namletá pigmentová směs na požadovanou velikost částic)
2. Upravená suchá barviva
3. Pigmentová disperze
4. Barvivové koncentráty
5. Zákaznické obarvené formovací prášky

Základním krokem v použití pigmentů je jejich dispergace v médiu. K vytvoření lepších disperzí se využívá povrchových úprav pigmentových částic, za pomoci povrchově aktivních látek. Povrchová úprava se rozumí přidání malého množství (0,5 – 2%) povrchově aktivního materiálu. Při sušení dochází k aglomeraci částic, což má za následek složité rozemílání pigmentu na určitou velikost částic. Byl vyvinut způsob, kdy se rozemílá filtrační koláč (z výroby pigmentů) s organickým rozpouštědlem. Pigment se přechází z vodné suspenze do suspenze v organickém rozpouštědle. Odpadne nám tak operace sušení a aglomerace. [9]

Pokud se přidá větší množství látky (5 – 80%) inertního pigmentu, pak se jedná o redukovaný pigment. Jedním typem redukovaného pigmentu je lak. Často se stává, že smísením pigmentu s inertním pigmentem vznikne směs podobná laku. Výrobci poté nesprávně označují takovéto redukované pigmenty. Pigmentové disperze jsou jemné směsi dispergovaného pigmentu a vhodného nosiče. Nosičem bývá obvykle pryskyřice, ethylenové, nebo vinylacetátové kopolymery, vosky aj. Nejdražší variantou jsou obarvené formovací prášky, protože zákazník kupuje společně s pigmentem i doprovodné látky a polymer. [9]

## 5 BARVENÍ PLASTOVÝCH HMOT

Barvicí postup je vždy do jisté míry určen finálním zpracovatelským úkonem. Granulát určený pro vstříkování, lze vybarvovat suchým způsobem, která je jednodušší. Je to přímé smísení granulátu plastické hmoty s pigmentem v míchacích zařízeních. Nejlépe je to za přídavku adheziv, které zlepšují ulpívání pigmentů na granulátu. Pro tento způsob vybarvování jsou organické pigmenty vhodnější, než anorganické. [10]

Prášek, nebo granulát plastu určený ke zpracování vytlačováním, se vybarvuje tak, že se smíchá v míchacím zařízení s pigmenty a pak se přímo vytlačuje. Při použití organických pigmentů, které mají měkkou texturu se dosahuje jednotného vybarvení již při prvním průchodu šnekovým vytlačovacím strojem. [10]

Nátěrové pasty se musí barvit za použití předsměsi pigmentu a změkčovadla, připravené v třecím zařízení, nebo v kulovém mlýně. Lze také použít pigmentových přípravků, které po zamíchání do pasty po určité době umožňují další zpracování. Tyto pigmentové přípravky jsou vhodné i pro granuláty určené k vytlačování. [10]

### 5.1 Pigmentové barvení plastických hmot ve hmotě

Světlo procházející plastickou hmotou obarvenou pigmentem, může procházet (transparence). Prochází-li toto světlo úplně, z důsledku nevybarveného materiálu, pak se jedná o materiál transparentní. Na rozhraní mezi plastovou hmotou a vzduchem nastává jev zvaný jako index lomu světla. Malá část světla je odražena. Pokud část dopadajícího světla je zrcadlově odražena, nastává povrchový lesk. Velmi hladký povrch materiálu produkuje ostrý a jasný obraz.

Světlo může být také ale absorbováno. Pokud materiál absorbuje část světla a část světla projde materiálem, tak je výsledkem barva. Pigment je v malých částech rozptýlen v plastové hmotě, proto část světla může být rozptýlena. Pokud je rozptyl světla velký, že světlo neprojde, jedná se o neprůsvitný materiál. Rozptyl je způsoben rozdílným indexem lomu, pigmentu a okolního materiálu. Rozptýlené světlo a jeho množství závisí na tomto rozdílu. Rozdíl lomu světla pigmentu a plastové hmoty je velký. Z toho plyne, že pigmenty výborně rozptylují světlo. Dále množství rozptýleného světla závisí na velikosti částic. S rostoucí velikostí částic se zvyšuje rozptyl, pokud je velikost částic přibližně stejně velká, jako je vlnová délka světla. Poté se rozptyl s rostoucí velikostí částic zmenšuje. [9]

## 5.2 Mísení barevného koncentrátu

Nejjednodušší způsob je mísení barevného koncentrátu mimo vstříkovací stroj za použití míchacího zařízení. Poté se takto připravená směs přepraví do násypky vstříkovacího stroje. Distribuce barevného koncentrátu v takto připravené směsi není dokonalá. Navíc dochází vlivem otřesů vstříkovací jednotky k dalšímu rozvrstvení směsi v důsledku vyšší specifické hmotnosti barevného koncentrátu, který obsahuje anorganické pigmenty, proti specifické hmotnosti barveného polymeru. Proto je tento způsob vhodný pro výrobky, u nichž se nekladou vysoké nároky na přesnost barevného odstínu. [11]

Pro přesnější distribuci barevného koncentrátu se používají objemové nebo hmotnostní dávkovače. Srovnáním obou způsobů se ukázalo přesnější hmotnostní dávkování. Tyto dávkovače dodávají odměřené nebo odvážené množství aditiva přímo do otvoru vstříkovací jednotky a to pro každý zdvih. [11]



Obr. 17 Dávkování barevného koncentrátu

1 – nasávač polymerního granulátu, 2 – násypka, 3 – zásobník barevného koncentrátu, 4 – vstup barevné směsi do vstříkovacího stroje, 5 – objemový dávkovač

### 5.3 Barevné koncentráty

Barevný koncentrát tvoří polymerní nosič, který by měl být mísitelný s barveným polymerem. V něm jsou zabudovány anorganické pigmenty či organická barviva v poměru a koncentraci až do 90 %. Výsledný barevný efekt výstřiků musí odpovídat požadavku zákazníka. Požadavky jsou obvykle specifikovány podle barevných vzorníků např. RAL. Často se však jedná o speciální barevné odstíny, které jsou obvyklé v automobilovém průmyslu. Barevné koncentráty musí být stálé při teplotě vstřikování barveného plastu. Dále musí být světelně stálé za podmínek použití barevného výrobku, odolávat UV záření, povětrnosti a pro některé aplikace musí být zdravotně nezávadné. Ke zlepšení účinku barevného odstínu se někdy přidávají optická zjasňovadla. Barevné koncentráty se většinou vyrábějí a dodávají ve formě granulí. Z hlediska rozptylu požadovaných hodnot na barevný odstín je důležitý způsob dávkování a mísení barevného koncentrátu. [11]



*Obr. 18 Granulovaný barevný koncentrát*



## 6 LAKOVÁNÍ

Lakování je jedna z nejpoužívanějších povrchových úprav. Nátěrový povrch se vytváří různými nátěrovými hmotami. Jde o přenos nátěrové hmoty vhodným způsobem na lakované těleso. Nátěrové hmoty vytvoří povlak, který má přesný způsob určení nanášení a specifické vlastnosti.

### a) Ochranné povlaky

Slouží k ochraně součástí především proti korozi a to v různých klimatických podmínkách. Nejvíce se používá ochranných povlaků pro běžné třídy oceli.

### b) Dekorativní povlaky

Tento druh nátěrových hmot upravuje vzhled součástí. Jsou určeny jak do venkovního, tak do vnitřního prostředí a zároveň mohou zaručovat ochrannou funkci.

## 6.1 Nanášení mokrých nátěrových hmot

### 6.1.1 Ruční nanášení nátěrové hmoty

Tento způsob nanášení nátěrové hmoty je příliš pracný a nedosáhneme v porovnání s jinými metodami nanášení stejných výsledků. Nanášení se provádí ručně štětcem, nebo válečkem. Nejvíce se této technologii využívá ve stavebnictví a tam, kde by bylo obtížné manipulovat s technikou jiné metody nanášení nátěrových hmot.



*Obr. 19 Ruční nanášení nátěrové hmoty*

### 6.1.2 Vzduchové stříkání

Paprsek vzduchu nanáší nátěrovou hmotu na předmět o tlaku 0,2 MPa – 0,6 MPa. Toto nanášení nátěrové hmoty je značně ztrátové a používá se pro nátěrové hmoty nižších viskozit. Ztráty záleží na tvaru povrchu a uvádí se v desítkách procent.



*Obr. 20 Vzduchové stříkání*

### 6.1.3 Vysokotlaké stříkání

Tento způsob nanášení nátěrových hmot je velmi výkonný a efektivní s přiměřenými ztrátami. Pístovým čerpadlem se vyvodí tlak až 45 MPa a nátěrová hmota může být nanášena rychlostí  $250 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Podle členitosti výrobku se používají trysky s různým množstvím průtoku.

### 6.1.4 Práškové lakování

Práškové nátěrové hmoty se nanášejí stříkáním v elektrostatickém poli. Pomocí elektrostatického pole se částice prášku elektricky nabíjejí, zatímco lakovaný předmět je uzemněn. Výsledná elektrostatická síla stačí k vytvoření dostatečné vrstvy prášku na předmětu. Prášek se udrží na místě, dokud se neroztaví ( $160 - 210 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a nepřilne k povrchu. Obecně platí, že povrch materiálu určeného k povrchové úpravě práškovou barvou, musí být absolutně suchý a čistý. Předepsaná úprava povrchu součásti před vlastním procesem je tedy nutnou podmínkou pro získání kvalitního a trvanlivého povlaku, nebo vrstvy s odpovídajícími vlastnostmi. Touto technologií vznikají minimální ztráty a výhodou je, že zbylý odpad lze vrátit zpět do výrobního procesu. [12]



*Obr. 21 Práškové lakování*

### 6.1.5 Nanášení nátěrové hmoty máčením

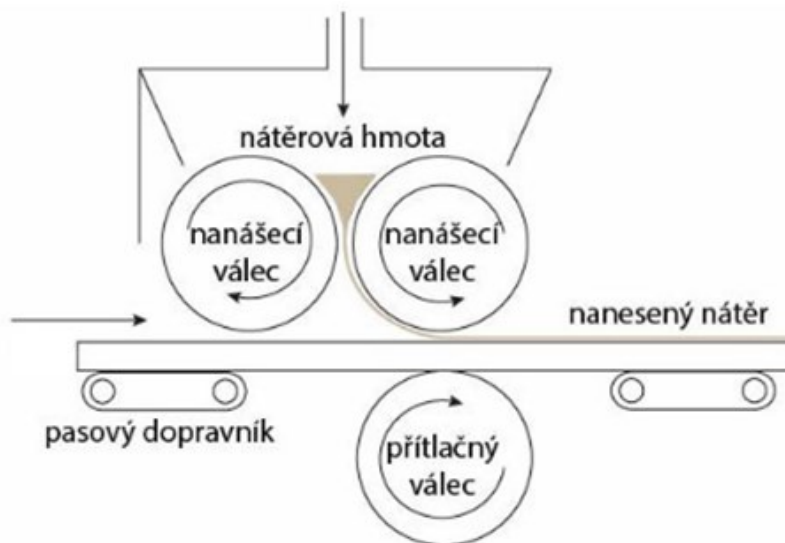
Tento způsob nanášení nátěrových hmot se používá převážně tam, kde by bylo obtížné nanášení štětcem, nebo stříkáním (záhyby, dutiny, žebra). Máčení probíhá v máčecích vanách, které jsou osazeny čerpadly pro promíchávání lázně. Vany se doplňují odkapávacími zónami a sušičkami. Předmět se ponoří do nátěrové hmoty, poté se vytáhne a přebytečná barva se nechá odkapat, uschnout a popřípadě vypálit. [13]



Obr. 22 Možný princip nanášení nátěrové hmoty máčením [13]

### 6.1.6 Navalování nátěrových hmot

Tento způsob spočívá v nanášení nátěrové hmoty soustavou tří a více válců na předmět, který je přinášén a odsouván transportním zařízením. Navalování se používá při povrchové úpravě plošných výrobků, jako jsou například plechy apod. [13]



Obr. 23 Schéma navalování [13]

### 6.1.7 Duplexní povlaky

Duplexní povlaky se používají, tam kde působí silné korozní prostředí. Na ocelové díly se nejprve provede žárové zinkování ponorem, kde je vrstva zinku několik tisíc mikronů. Po této operaci se pomocí pilníku a brusky zabrousí vzniklé nerovnosti zinku. Pak se zinkový povrch zdrsňuje korundem při tlaku 1,5 Bar. Zdrsněním vytvoříme na zinkovém povrchu tzv. kotvu, která je nutná k nanesení finální vrstvy práškové barvy. Bez tohoto zdrsnění zinkového povrchu by na výrobku nedržela barva a začala by se brzy loupat. Na povrch se aplikuje elektrostaticky prášková barva, která se vytvrdí v peci na teplotu cca 200 °C. U duplexního systému záleží na precizním dodržování technologických postupů. Pokud by se v určité části procesu udělala chyba, způsobí to zničení celé povrchové úpravy na výrobku. Pokud však zinkový povrch se ochrání vrstvou práškové barvy, tak se významně prodlouží doba užití celého systému, protože dojde ke snížení rychlosti degradace zinkového povlaku. [14]



*Obr. 24 Výrobek opatřený duplexním povlakem*

## 7 KOLORIMETRIE

Kolorimetrie je optická metoda založená na porovnávání intenzity zabarveného roztoku o neznámé koncentraci s roztokem téže látky o známé koncentraci. Intenzita charakteristické barevnosti látky závisí na její koncentraci v roztoku.

### 7.1 Barva tělesa

Z fyzikálního hlediska je barevnost určena spektrálním složením zdrojem vysílaného světla. Fyzikální popis kolority je založen na barevnosti a relativní intenzitě světla odraženého povrchem tělesa nebo z tělesa vystupujícího. Barvu světla a tělesa lze posuzovat podle těchto vlastností: [15]

#### 7.1.1 Tón barvy

Tón barvy určuje barevnost podle vlnové délky světla, které je v barvě zastoupené. Tón barvy je tedy určen touto vlnovou délkou monochromatického světla, které přispívá k danému světlu největším energetickým příspěvkem. Tón barvy je dán vlnovou délkou daného světla. [15]

#### 7.1.2 Sytost barvy

Sytost barvy je vlastnost zrakového vjemu, jež umožňuje posoudit účast čisté pestré barvy na celkovém vjemu. Sytost je tedy dána poměrem energií jednotlivých monochromatických světél zastoupených v dané barvě. Syté barvy neobsahují bílou složku. Nesyté barvy bílou složku obsahují. Málo sytá barva je tedy vlastně bílá barva s barevným nádechem. [15]

#### 7.1.3 Jas barvy

Jas barvy je integrálním energetickým parametrem světla a vyjadřuje součet všech energetických příspěvků jednotlivých monochromatických světél. Jas je hodnotou maxima křivky dané barvy. Menší hodnota maxima znamená méně jasnou barvu. [15]

#### 7.1.4 Pestrost barvy

Pestrost barvy je vlastnost zrakového vjemu vyvolaná pestrými a nepestrými barvami. Pestré barvy tvoří spektrální barvy a jejich aditivní směsi. Nepestré barvy těles jsou bílá, šedá a černá, zatímco jedinou nepestrou barvou světla je bílá barva. [15]

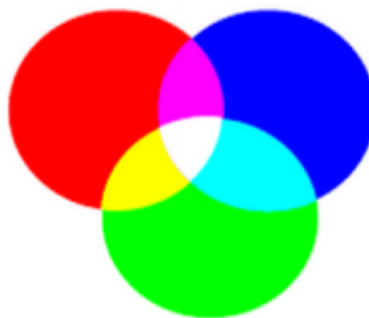
## 7.2 Chromatické světlo

Přirozené světlo obsahuje složky různých vlnových délek. Chromatické světlo obsahuje barvu i jas. U barvy zkoumáme vlnovou délku. Světlo, které obsahuje pouze jednu vlnovou délku je monochromatické, má jinou barvu než světlo s jinou vlnovou délkou. Lidské oko ovšem směsí různých vlnových délek interpretuje jako barvu, ne jako směs barev. Navíc je možné najít taková světla, která mají odlišné frekvenční složení. Ty vyvolávají u člověka stejný barevný vjem. Navíc barvy jako světle zelená a růžová nejsou monochromatickými světly. [16]

## 7.3 Mísení barev

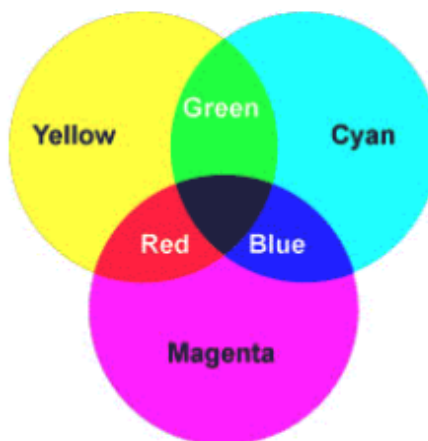
Mísení barevného světla se může vytvořit:

- a) Aditivním mísením – Barevné světlo se vytvoří mísením složkových světel. Tímto způsobem pracuje televize, scanner, monitor aj. Aditivní metoda barvy sčítá.



Obr. 25 Aditivní mísení barev

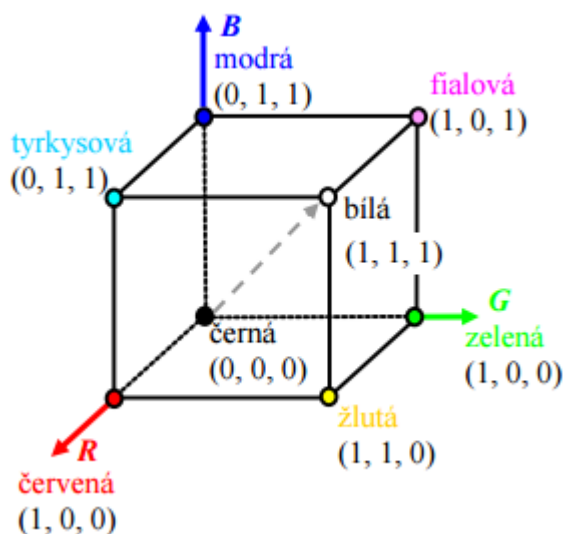
- b) Subtraktivně – Barevné světlo se získá odfiltrováním určitých spektrálních složek z bílého světla.



Obr. 26 Subtraktivní mísení barev [16]

## 7.4 Systém pro měření barevnosti RGB

Základem systému RGB jsou barvy jako červená (R) - 780,0 nm, zelená (G) - 546,1 nm, modrá (B) - 435,8 nm. Systém je aditivní (doplňkový). Kombinací dvou základních barev vzniká barva sekundární. Při aditivní metodě se přidávají tři základní barvy a kombinace všech tří RGB barev vznikne barva bílá. Aditivní metoda barvy sčítá. Modrozelené (C-Cyan), purpurové (M -Magenta) a žluté (Y-Yellow) jsou v subtraktivním modelu systému CMY. [15]



Obr. 27 Skládání základních barev [16]

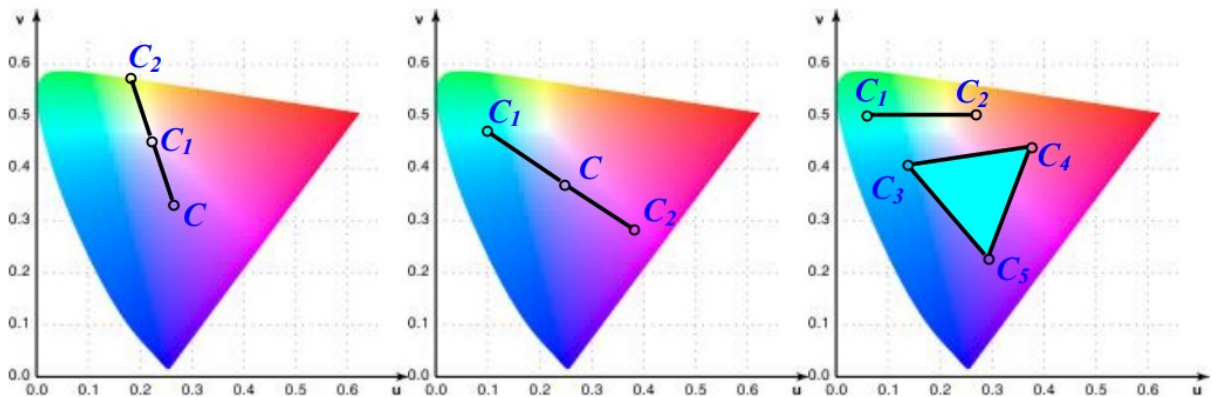
## 7.5 Chromatický diagram

V roce 1931 byl vytvořen standard pro základní barvy. Součástí tohoto standardu je chromatický diagram CIE (Mezinárodní komise pro osvětlení). Předpokládá se zde, že každá barva je definována pomocí váženého součtu tří barev. Barva je ve standardu určena matematicky daným množstvím základních barev potřebných pro její vytvoření. Také každá základní barva je popsána vlastní křivkou rozdělení energie. [16]

Barva se vyjádří jako součet v normalizovaném tvaru a jednotlivé základní barvy jsou označeny jako A, B a C.

$$x = \frac{A}{A + B + C}, \quad y = \frac{B}{A + B + C}, \quad z = \frac{C}{A + B + C} \quad (3)$$

Platí  $x + y + z = 1$ , jsou kterékoliv dvě složky postačující k určení barvy. Jestliže se vybere složka  $x$  a  $y$ , můžou se všechny barvy reprezentovat pomocí dvourozměrného diagramu. [16]



Obr. 28 Chromatický diagram CIE [16]

Na obr. 27 je křivka, která ohraničuje barvy viditelného spektra. Barevné body tvořící obalovou spektrální křivku a jsou označeny vlnovou délkou v nanometrech. Začínají červenou částí spektra a končí fialovou částí spektra. Bod  $C$  odpovídá poloze bílého světla. Je používán jako standard pro průměrné denní světlo. Z chromatického diagramu, který poskytuje prostředky pro určení sytosti a dominantní vlnové délky se dají odvodit další barevné veličiny a vztahy.

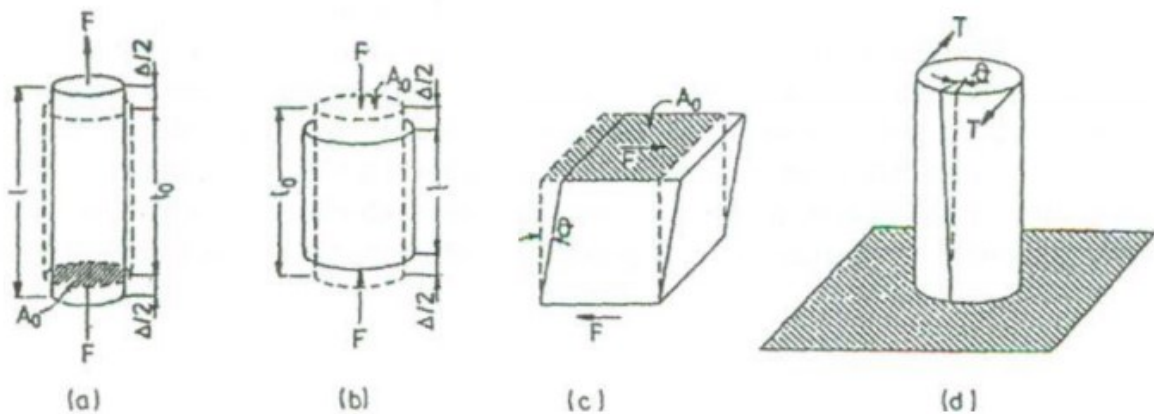
1. Pro jakýkoliv bod, např. bod  $C_1$  se definuje sytost barvy, jako relativní vzdálenost barevného bodu od standardního bílého světla  $C$ . Měří se tak, že bod  $C_1$  je spojen s bodem  $C$  a úsečka  $C - C_1$  je prodloužena na krajní křivku diagramu. Poměr vzdálenosti  $C - C_1$  a  $C - C_2$  je vyjádřen v procentech a udává sytost barvy.
2. Vlnová délka jakékoliv barvy je definována jako vlnová délka na spektrální křivce protínající úsečku, která spojuje bod  $C$  a příslušný bod  $C_1$ . V našem případě dominantní barvou pro bod  $C_1$  je dominantní vlnová délka v bodě  $C_2$ .
3. Doplňkové barvy jsou reprezentovány dvěma koncovými body úsečky, která prochází bodem  $C$ . Pokud mají dvě doplňkové barvy stejnou sytost, vznikne jejich kombinací bílé světlo. [16]



## 8 ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Většina mechanických zkoušek je normalizovaná. To proto, aby získané výsledky a z nich určené vlastnosti se mohli navzájem porovnávat. Zkušební podmínky a postupy jsou přesně definovány. Mechanické zkoušky se rozdělují podle určitých kritérií. [17]

- Dle způsobu zatěžování – zkouška tahem, tlakem, střihem a ohybem.
- Dle stavu napjatosti – zkoušky při jednoosé napjatosti (jednoosý tah), při dvouosé napjatosti a trojosé napjatosti (zkoušky vrubovaných těles).
- Dle časového průběhu zatěžovací síly (statické a dynamické zkoušky)
- Dle fyzikálních podmínek (zkoušky při různých teplotách)



Obr. 29 Různé způsoby zatěžování [17]

a) tah, b) tlak, c) střih, d) krut

### 8.1 Mechanické vlastnosti

Hodnocení chování materiálů za působení vnějších mechanických sil nazýváme mechanickými vlastnostmi. Mezi základní mechanické vlastnosti patří houževnatost, pevnost, pružnost a plasticita. Při určitých podmínkách namáhání lze odvodit další mechanické vlastnosti jako odolnost proti únavě, odolnost proti protečení, nebo tvrdost. [17]

#### 8.1.1 Pevnost

Pevnost je definována jako odpor materiálu proti deformaci a porušení vnějšími silami. Podle způsobu namáhání se rozlišuje pevnost v tlaku, tahu, ohybu, krutu, střihu, nebo i pevnost při únavě, nebo tečení. Rozlišuje se tři druhy pevnosti, podle fyzikální povahy a veličin: [17]

- a) Skutečná pevnost - Skutečné napětí v okamžiku lomu, vyjadřuje odolnost materiálu proti porušení.
- b) Teoretická (ideální) lomová pevnost - Určuje odolnost proti porušení odtržením v pružném stavu. Závisí na krystalografické stavbě.
- c) Konvenční pevnost - Stanovená podílem maximální síly a původní plochy průřezu. Její výhoda je při konstrukčních výpočtech a při zkouškách materiálu.

### 8.1.2 Pružnost

Pružnost je schopnost materiálu vykazovat před porušením pružnou deformaci. K vyhodnocení se používá modulu pružnosti, mezi pružnosti a elastické napjatosti. [17]

### 8.1.3 Plasticita

Plasticita je schopnost materiálu zachovat trvalé deformace vyvolané účinkem vnějších sil. Měřítkem plasticity bývá velikost poměrné trvalé deformace před porušením. [17]

### 8.1.4 Houževnatost

Houževnatost je schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým napětím. Je závislá na pevnosti a plasticitě. Posouzením houževnatosti bývá nejčastěji práce spotřebovaná na deformaci a porušení, ale také to může být hodnota lomové houževnatosti. [17]

### 8.1.5 Tuhost

Tuhost tělesa je fyzikální veličina, charakteristická pro každé pružné těleso, udávající míru změny jeho délky (či jiného daného charakteristického rozměru ve směru působící síly), vzhledem k velikosti působící vnější síly při pružné deformaci. Na rozdíl od modulu pružnosti se týká celého tělesa, nikoliv jen materiálu, jímž je tvořeno. Převrácená hodnota tuhosti se nazývá poddajnost.

## 9 ZKOUŠKY TVRDOSTI

Nejběžnější metody pro měření tvrdosti jsou vnikací metody. Spočívají na principu vtlačování indentoru do povrchu zkoušeného materiálu, stanovenou silou, aby došlo k plastické deformaci. Zkoušení tvrdosti se většinou neprovádí přímo na součástech, ale připraví se vhodné zkušební těleso.

Zkoušky tvrdosti lze rozdělit do více skupin. Dle použitého principu měření se dělí na metody: [18]

- a) vtiskové – výsledná tvrdost je určena z tvaru a velikosti způsobeného indentorem
- b) odrazové – výsledná tvrdost je určena dle velikosti odrazu závaží, které dopadá na zkušební těleso z definované výšky
- c) vrypové – hrotem indentoru se provede na vybroušeném povrchu zkušební tělesa rýha a podle šířky této rýhy se určí tvrdost

Jako další dělení je dle použitého zatížení na zkušební těleso a odezvy zkoušeného materiálu na působící zatížení: [19]

- a) statické – indentor je vtlačován do zkušební tělesa definovanou silou (Vickers, Brinell, Rockwell)
- b) dynamické – nejvíce se používají jako kontrolní zkoušky ve výrobě (Shoreho skleroskop, duroskop, Poldi kladívko)

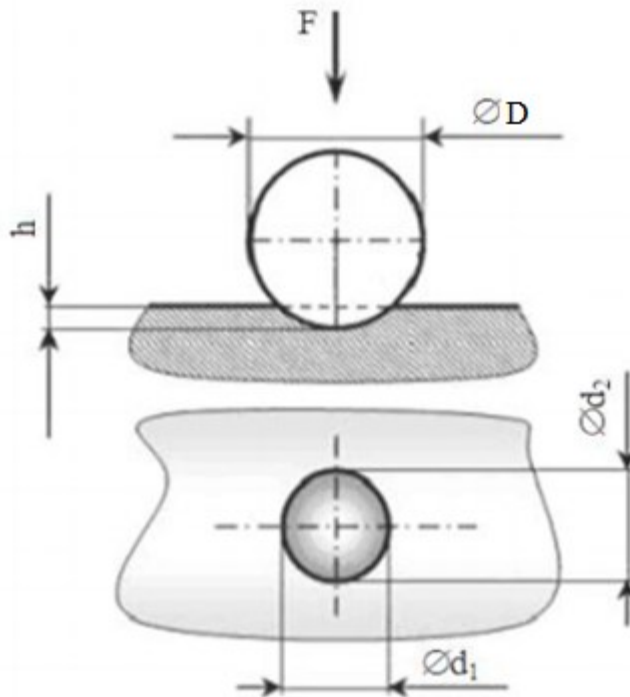
### 9.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella

Zkouška spočívá ve vtlačování indentoru do povrchu zkušební tělesa a následného změření vtisku o průměru  $d$  (aritmetický průměr dvou na sebe kolmých rozměrů  $\varnothing d_1$  a  $\varnothing d_2$ ), který zůstane na povrchu po odlehčení zkušební zatížení  $F$ . [20]

Indentorem je kulička ze slinutých karbidů a metoda je označena jako HBW. Dříve se používala kulička z kalené oceli, metoda byla označována HBS, ale tu dne s již norma vylučuje. To proto, že kulička ze slinutých karbidů má ve srovnání s ocelovou kuličkou menší zbytkovou deformaci, což vede k vyšší spolehlivosti při měření tvrdosti. Dovoluje také větší počet provedených zkoušek. [20]

Zkoušku tvrdosti lze provádět na povrchu dané součásti, ale výhodnější ji je provádět na zkušebním tělese. Povrch zkušební tělesa musí být rovný, hladký, bez mazadel. Přes-

nost Brinellovy zkoušky závisí na správném proměření vtisku. Tloušťka zkušební tělesa musí mít tloušťku alespoň osminásobek hloubky vtisku  $h$ . Průměry indentoru (kuliček) jsou obvykle 1 mm, 2,5 mm, 5 mm a 10 mm. Doba počátku zatěžování, až do jeho úplné hodnoty bývá v rozmezí od 2 do 8 s. Doba plného zkušebního zatížení je v rozmezí 10 až 15 s. Zkušební zatížení bývá v rozmezí 9807 N až 29420 N. Brinellova metoda je vhodná pro zkoušení měkkých až středně tvrdých materiálů. [20]



Obr. 30 Zkouška tvrdosti dle Brinella [21]

Tvrдость dle Brinella se určí jako poměr zkušebního zatížení a povrchu vtisku.

$$HBW = 0,102 \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

kde  $D$  je průměr indentoru (kuličky),  $F$  je zatěžující síla a  $d$  je střední průměr vtisku.



Obr. 31 Digitální tvrdoměr pro měření tvrdosti dle Brinella

## 9.2 Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška se provádí vtlačováním diamantového indentoru do zkušebního tělesa, při zkušebním zatížením  $F$  po stanovenou dobu. Poté se změří úhlopříčky vtisku (aritmetický průměr délek obou změřených úhlopříček  $d_1$  a  $d_2$ ), které zůstanou po odlehčení. Indentorem je čtyřboký diamantový jehlan o vrcholovém úhlu  $136^\circ$ . Tento úhel je zvolen, tak aby se hodnoty tvrdosti co nejméně odlišovali od výsledkům stanovených měření tvrdosti dle Brinella. Doba působení plného zkušebního zatížení je 10 až 15 s. Pro některé materiály lze použít i delší dobu. Zkušební zatížení se volí podle tab. 1 [20]

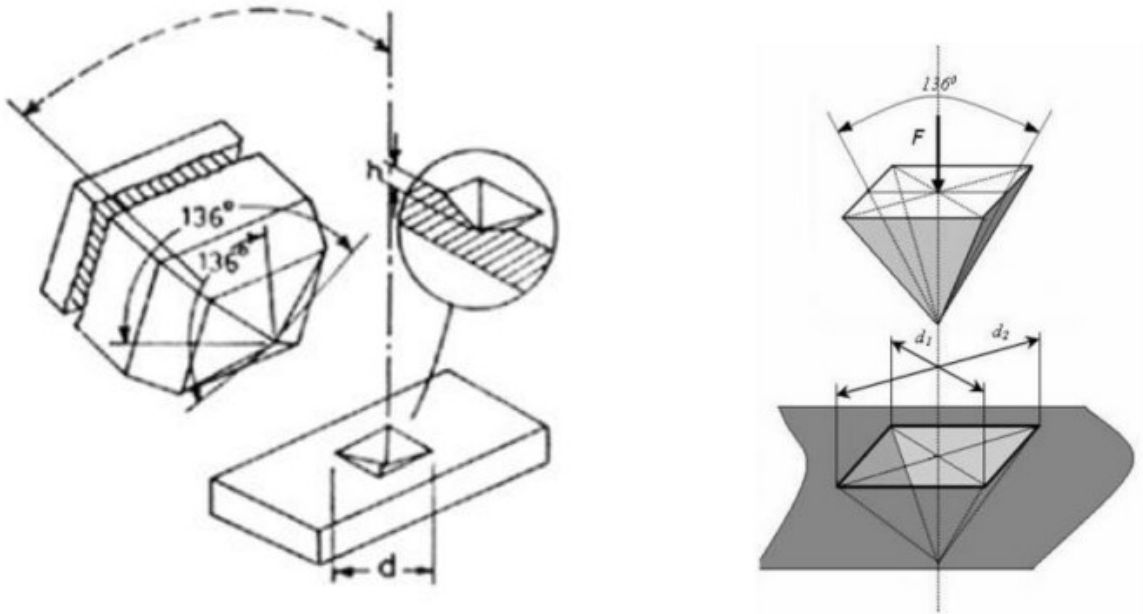
Tab. 2 Typy zkoušek dle Vickerse a rozsah použití [20]

Rozsah zkušebního zatížení $F$ [N]	Označení tvrdosti	Rozdělení zkoušek
$F \geq 49,03$	HV 5	Zkouška tvrdosti podle Vickerse
$1,961 \leq F \leq 49,03$	HV 0,2 až HV 5	Zkouška tvrdosti podle Vickerse při nízkých zatížení
$0,09807 \leq F \leq 1,961$	HV 0,01 až HV 0,2	Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse

Tvrдост dle Vickerse se určí ze vtahu:

$$HV = \frac{1}{g} \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136}{2}}{d^2} \quad (5)$$

kde  $F$  je zatěžující síla,  $d$  je aritmetický průměr obou změřených úhlopříček



Obr. 32 Měření tvrdosti dle Vickerse [21]

### 9.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Metoda spočívá v postupném (dvěma stupni zatížení) vlačování indentoru do povrchu zkušebního tělesa a změření hloubky vtisku  $h$ . Indentorem je diamantový kužel o vrcholovém úhlu  $120^\circ$ , nebo kulička z tvrdokovu o průměru 1,5875 mm, nebo 3,175 mm. Celkové zkušební zatížení  $F$  se skládá z předběžného zatížení  $F_0$  a přídavného  $F_1$  (je různé, podle stupnice tvrdosti). [20]

Při měření tvrdosti zatížíme předběžnou silou  $F_0$  po dobu maximálně 3 s kuličku z tvrdokovu, nebo diamantový kužel dotýkající se povrchu zkušebního tělesa. Poté sílu postupně zvětšujeme o přídavné zatížení  $F_1$ , až dosáhneme celkového zatížení  $F$  předepsané normou. Pak přídavné zatížení  $F_1$  opět odlehčujeme na předběžné zatížení  $F_0$  a zjistíme hloubku vtisku  $h$ . Jelikož existuje více různých druhů indentorů a více velikostí zatížení, tak se používá více druhů značení tvrdosti této metody: [20]

- a) kulička z tvrdokovu – HRB, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK, HRT

b) diamantový kužel – HRA, HRC, HRD, HRN

Tvrdotost podle Rockwella se vyhodnocuje více variantami vztahů, protože záleží na způsobu měření: [21]

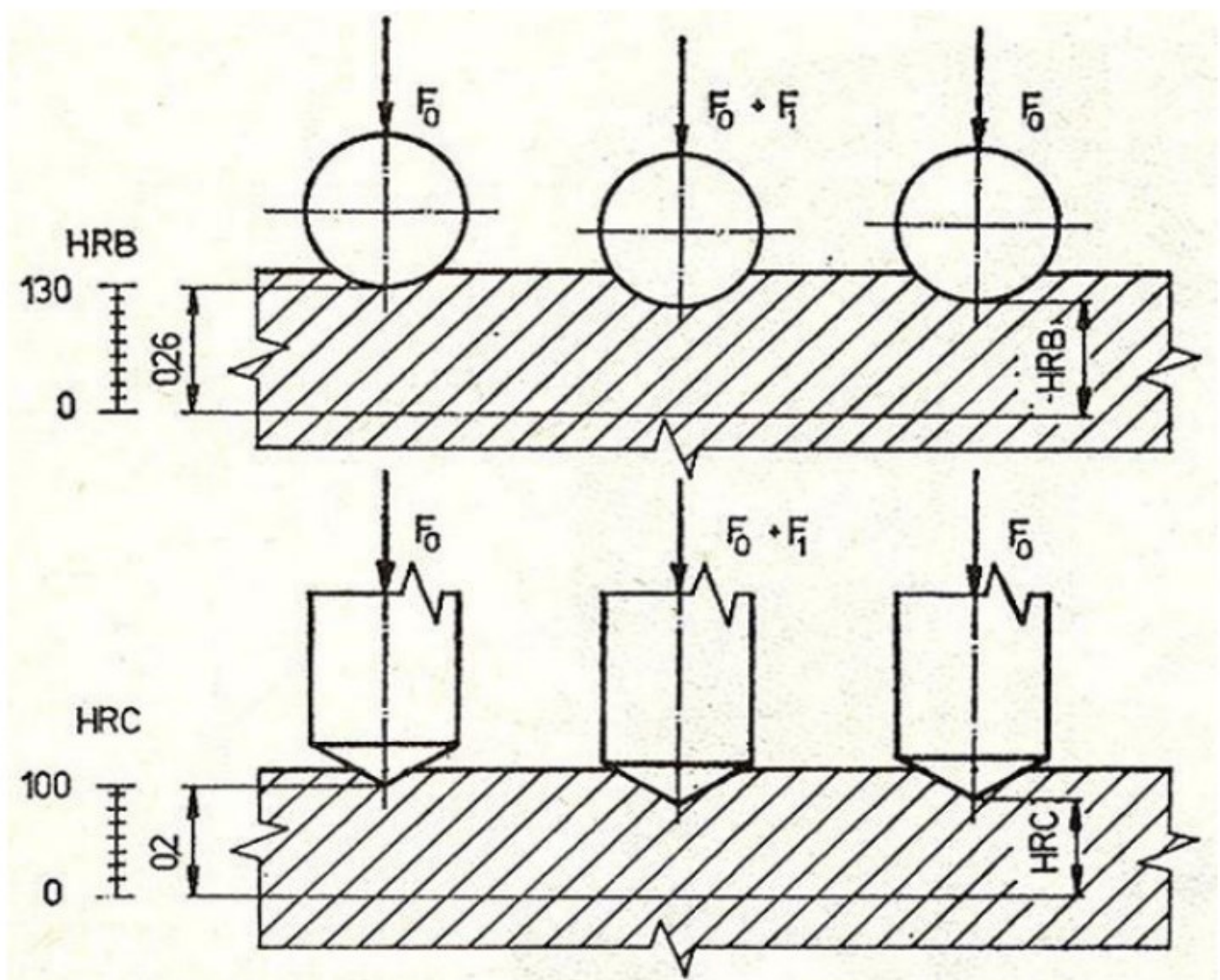
$$HRA, HRC, HRD = 0,100 - \frac{h}{0,002} \quad (6.0)$$

$$HRB, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK = 0,130 - \frac{h}{0,002} \quad (6.1)$$

$$HRN, HRT = 0,100 - \frac{h}{0,001} \quad (6.2)$$

kde HRx je tvrdost dle Rockwella a h je hloubka vtisku indentoru po odlehčení na  $F_0$

Tato metoda je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků a tam, kde HBW již není vhodná. Výhoda této metody spočívá v rychlém a snadném měření. Hloubka vtisku je relativně malá (max. 0,2 mm).



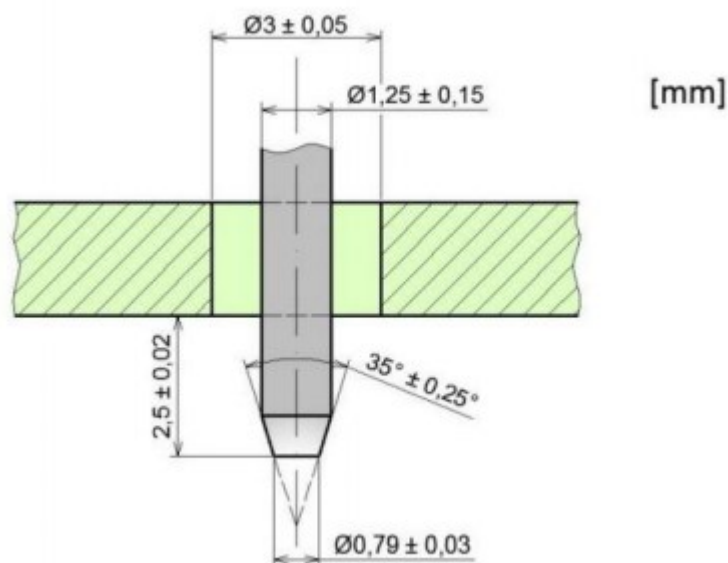
Obr. 33 Měření tvrdosti podle Rockwella [23]

## 9.4 Tvrdość Shore

Měření tvrdości je založeno na měření odporu proti vtlačování indentoru různých tvarů, vyrobených z kalené oceli. Typické pro tvrdoměry Shore je zatěžování pomocí pružin, které je nutno kontrolovat. Přístroje pro měření tvrdości Shore se liší podle použitých rozsahů, na typy A, C, D. [24]

### 9.4.1 Tvrdość Shore A

Při měření tvrdości Shore A se tvrdoměr přiloží na zkušební těleso tak, aby patka přisedala po celé ploše. Tvrdość se odečítá po třech sekundách od okamžiku dotyku. Pokud se mění hodnota na stupnici, tak se tvrdość odečte za 15 sekund. Zkušební těleso musí mít minimální tloušťku 6 mm a měření se provádí nejméně 12 mm od okraje zkušebního tělesa. [24]



Obr. 34 Tvrdoměr Shore A [25]

Vyvozená síla indentoru tvrdoměru Shore A se vypočítá:

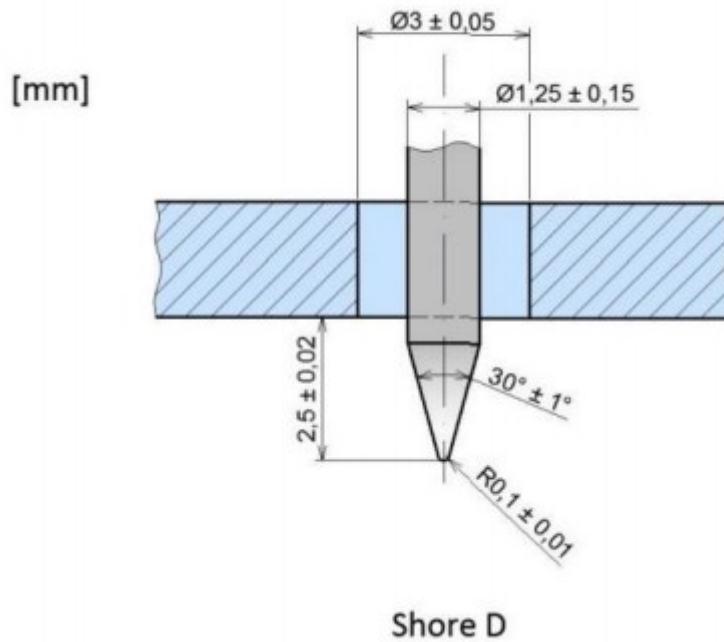
$$F_A = 550 + 750H_A \quad (7)$$

kde  $F_A$  je vtlačovací síla pro tvrdoměr Shore A a  $H_A$  je hodnota tvrdości pro tvrdoměr Shore A.



### 9.4.2 Tvrdost Shore D

Při měření tvrdosti Shore D se postupuje podobně jako u Shore A. Zkušební těleso musí mít minimální tloušťku 6 mm a měření se provádí nejméně 12 mm od okraje zkušebního tělesa. Tato metoda měření tvrdosti je vhodná pro měkké termoplasty a tvrdé elastomery. Indentorem je válcový čep z kalené oceli zakončený rádiusem 0,1 mm. [24]



Obr. 35 Tvrdoměr Shore D [25]

Vyvozená síla indentoru tvrdoměru Shore D se vypočítá:

$$F_D = 455H_D \quad (8)$$

kde  $H_D$  je hodnota tvrdosti pro tvrdoměr Shore D.

## 10 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY JENORÁZOVÉ

Účelem dynamických zkoušek je zjištění vlastností materiálu při působení dynamických sil. Při dynamickém namáhání dochází často k porušení soudržnosti materiálu.

### 10.1 Rázová a vrubová houževnatost

Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti se provádí třemi metodami:

- a) Metoda Charpy – zkušební těleso je umístěno na dvou podpěrách a přeráží se otáčivým kladivem uprostřed
- b) Metoda Izod – zkušební těleso ve tvaru rámečku se na jednom konci upevní a na druhém se přeráží
- c) Metoda Dynstat – zkouška slouží pro zkušební tělesa malých rozměrů, které lze zhotovit z plošných výrobků (laminát)

### 10.2 Zkouška rázem v ohybu

Porušení materiálu nárazem (silou koncentrovanou do velmi krátké doby), souvisí s jeho deformačními vlastnostmi, jako schopnost absorbovat rychle energii (deformovat se určitou rychlostí).

Energie pro rázovou deformaci se získá pomocí padajícího závaží (ocelová koule), ale nejčastěji kyvadlovým kladivem. Hmota kladiva má při dopadu na zkušební těleso kinetickou energii.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot v^2 \quad [J] \quad (9.0)$$

kde  $v$  je okamžitá rychlost,  $G$  je hmota kladiva a  $g$  je tíhové zrychlení.

Otočné zavěšené kladivo (Charpyho kladivo) má ve své horní poloze potenciální energii:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = G \cdot h \quad [J] \quad (9.1)$$

Při uvolnění kladivo padá, projde nejnižší polohou a maximální kinetickou energií, se kterou přeráží zkušební těleso. Při zkoušce se nespotřebává jen na deformaci zkušební tělesa, ale může se rozložit do několika částí. [24]

$$W = W_i + W_p + W_z + W_k + W_h \quad [J] \quad (9.2)$$

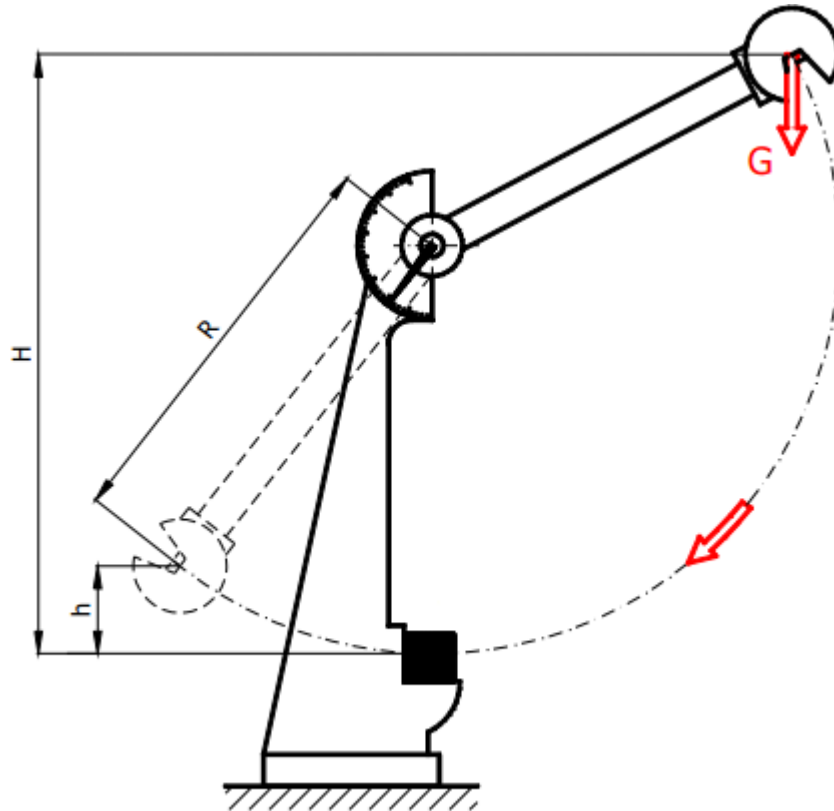
kde  $W_i$  je práce spotřebovaná na iniciaci trhliny

$W_p$  je práce spotřebovaná na šíření trhliny

$W_z$  je práce spotřebovaná na odmrštění přeražených částí tělesa

$W_k$  jsou ztráty třením v ložiscích a vibracemi

$W_h$  je zbývající energie, která vynese kyvadlo do určité výšky  $h$



Obr. 36 Charpyho kladivo [25]

### 10.3 Rázová a vrubová houževnatost metodou Charpy

#### 10.3.1 Rázová houževnatost

Jedná se o kinetickou energii kyvadlového rázového kladiva, která je spotřebovaná na přeražení zkušebního tělesa bez vrubu, vztažená na původní plochu jeho příčného průřezu. [24]

$$A_n = \frac{W}{b \cdot h} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (10)$$

kde  $W$  je deformační energie spotřebovaná k přeražení tělesa,  $b$  je šířka a  $h$  je tloušťka zkušebního tělesa.

### 10.3.2 Vrubová houževnatost

Je to hodnota získaná na zkušebních tělesech zeslabených vrubem vztažená na průřez po odečtení hloubky vrubu.

$$A_k = \frac{W}{b \cdot h_k} \text{ [kJ} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (11.0)$$

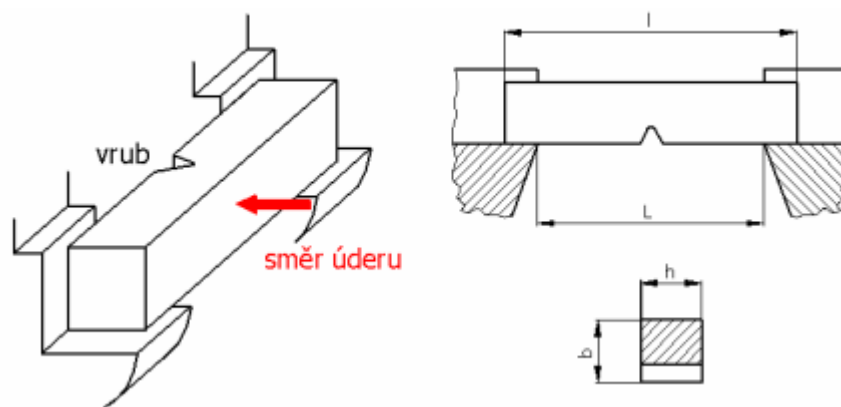
kde  $h_k$  je tloušťka zeslabeného zkušebního tělesa v místě vrubu.

Tato zkouška s vrubem byla původně zavedena, aby došlo k lomu v místě zeslabení (ve středu zkušebního tělesa) a aby lom probíhal kolmo na podélnou osu. Při samotné zkoušce se zkušební těleso zeslabené o vrub položí, tak aby vrub byl v tahové oblasti, což je na opačné straně tělesa, kde je provedena rázová deformace.

Pro vyhodnocení citlivosti různých polymerů vůči zeslabení nejen vrubem, ale i zeslabení, nebo zesílení základní matrice různými plnivými se zavedl vrubový koeficient, jako poměrná rázová houževnatost.

$$K_v = \frac{A_k}{A_n} \quad (11.1)$$

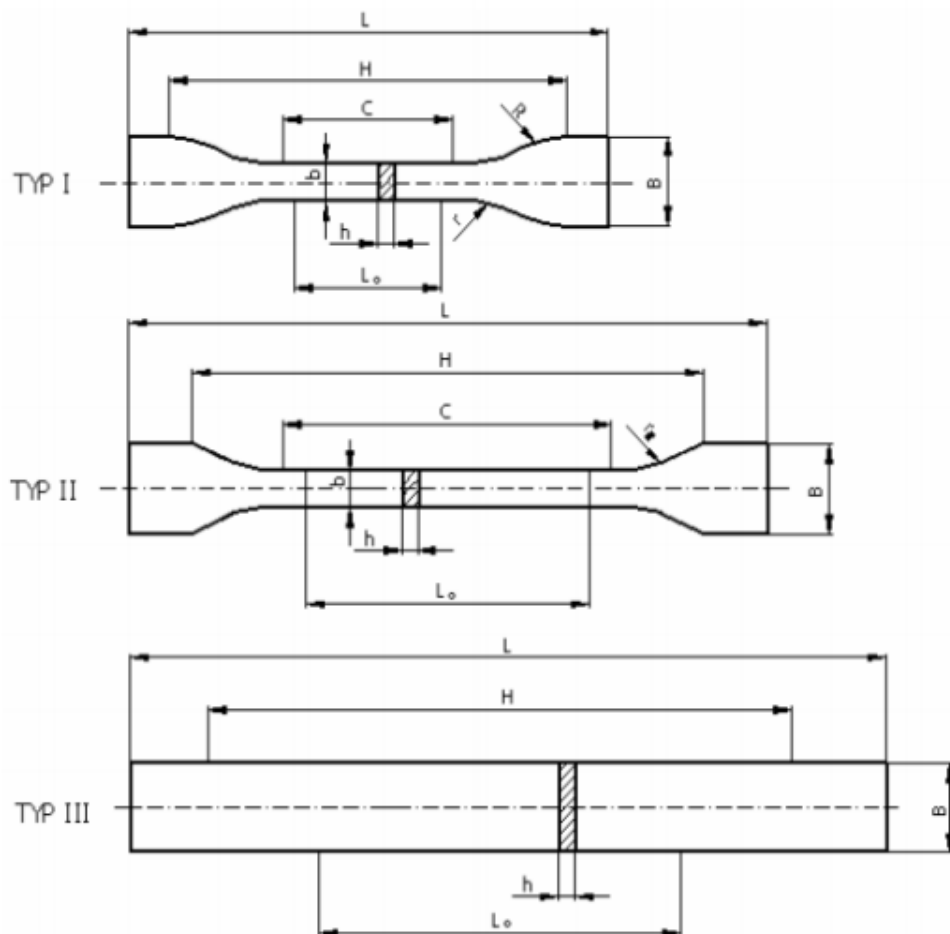
Na vrubovou houževnatost má největší vliv tvar a hloubka vrubu. Nejčastěji se používá tvar vrubu U a V. Dosáhne-li hloubka vrubu více než 20 % tloušťky zkušebního tělesa, pak další prohloubení nemá již vliv na výsledky. [24]



Obr. 37 Zkušební těleso pro zjištění vrubové houževnatosti metodou Charpy [27]

## 11 ZKOUŠKA TAHEM

Zkouška tahem je nejrozšířenější statickou zkouškou. Zkouška se většinou neprovádí přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tělesech definovaných tvarů a rozměrů. Nejčastější tvar zkušebního tělesa je oboustranná lopatka (osmička), nebo tvar kroužku. Tvar oboustranných osmiček je různý, podle jejich pevnosti a způsobu přípravy. Nejčastěji se připravují vstřikováním, ale mohou se vyrobit i obráběním. Jejich tvar je dán nutností pevného uchycení v čelistech a koncentrace osového napětí do zúžené části zkušebního tělesa. U pryže, která je silně deformovaná se používají kroužky, které se navlékají na kladky. [20,24]



Obr. 38 Zkušební tělesa pro zkoušku tahem [28]

Tab. 3 Rozměry zkušebních těles pro zkoušku tahem [29]

Rozměry [mm]	Typ zkušebního tělesa		
	typ I	typ II	typ III
celková délka L	75	150	250
šířka upínací hlavy B	12,5 ±1	20±0,5	25±0,5
délka pracovní části C	25 ±1	80 ±0,5	~
šířka pracovní části b	4 ±1	10 ±0,5	~
malý poloměr zakřivení r	8 ±0,5	~	~
velký poloměr zakřivení R	12,5 ±1	~	~
počáteční měřená délka L <sub>0</sub>	20 ±0,5	50 ±0,5	50±1
vzdálenost mezi značkami H	50 ±2	110 ±5	170±5
poloměr zakřivení r <sub>1</sub>	~	20 - 25	~
tloušťka h	4±0,2	4 ±0,2	4 ±0,2

Zkouškou tahem zjišťujeme mez pevnosti v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci (zúžení). [20]

a) Mez pevnosti v tahu

Je definována, jako napětí potřebné k přetržení, vztažené na původní průřez. Nebo jako smluvní napětí, potřebné k přetržení. Pro výpočet se vždy dosazují maximální hodnoty  $F_{max}$ , i pokud k destrukci došlo později při nižším napětí.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \text{ [MPa]} \quad (12.0)$$

kde  $A_0$  je původní průřez zkušebního tělesa

b) Poměrné prodloužení

Je dáno poměrem změny délky  $\Delta L$  k počáteční délce zkušebního tělesa  $L_0$ .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{l_u - L_0}{L_0} \quad (12.1)$$

kde  $l_u$  je konečná délka po přetržení

c) Tažnost

Je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky.

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (12.3)$$

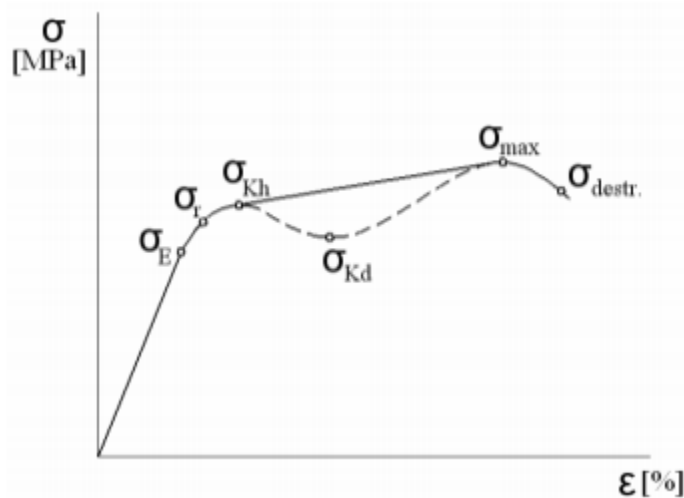
d) Kontrakce

Je poměr rozdílů počáteční plochy  $S_0$  a nejmenší plochy  $S_u$  příčného průřezu zkušebního tělesa po přetržení k počáteční ploše průřezu.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (12.4)$$

### 11.1 Tahová křivka

Za předpokladu, že zkoušený materiál, je izotropní je napětí v tahu rozloženo po celém průřezu zkušební tělesa rovnoměrně. Tento ideální stav však v praxi neexistuje. V důsledku anizotropie se vlastnosti plastické hmoty v různých místech liší a při tahovém namáhání je napětí v tahu rozložené po průřezu nerovnoměrně. [10]



Obr. 39 Tahová křivka [24]

Na obrázku 35 je obecná tahová křivka polymeru. Bod na křivce kde končí Hookeho chování je mez úměrnosti  $\sigma_E$  a vyjadřuje se smluvním napětím:

$$\sigma_E = \frac{F_E}{A_0} [\text{MPa}] \quad (13.0)$$

Zakřivení, vznikající v dalším průběhu křivky zahrnuje časově závislou elastickou a plastickou deformaci. Místo do kterého je ještě tato deformace vratná je mez pružnosti  $\sigma_R$ .

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_0} [\text{MPa}] \quad (13.1)$$

Z toho bodu se po uvolnění napětí vrací deformace po celé křivce do původního bodu. V úseku nad mezí pružnosti nastává převážně nevratná plastická deformace. Tomuto přechodu říkáme mez kluzu  $\sigma_K$ . Projevili se na křivce za tímto bodem snížené napětí, tak se jedná o horní mez kluzu  $\sigma_{Kh}$ , zatímco na pokračující křivce místo minimálního napětí je dolní mez kluzu  $\sigma_{Kd}$ . Všechny meze kluzu se vyjadřují smluvním napětím:

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A_0} \text{ [MPa]} \quad (13.2)$$

$$\sigma_{Kh} = \frac{F_{Kh}}{A_0} \text{ [MPa]} \quad (13.3)$$

$$\sigma_{Kd} = \frac{F_{Kd}}{A_0} \text{ [MPa]} \quad (13.4)$$

Za dolní mezí kluzu vzrůstá opět napětí do určité maximální hodnoty  $\sigma_{max}$ , kde se těleso buď přetrhne, nebo nastává za touto mezí porušením soudržnosti další pokles napětí až k  $\sigma_{destr.}$  kde dojde k lomu. Nastává-li destrukce za mezí pružnosti, kdy ještě nedochází k tak velkému protažení materiálu, označujeme tento lom jako křehký (polystyrén, polymethylmetakrylát aj.). Pokud však nastane velká deformace, dochází k tažnému lomu (polyamid, polyester, polyetylen, polypropylen aj.). [24]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 12 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 12.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

Cílem diplomové práce bylo porovnání fyzikálních (mechanických) vlastností polymerního materiálů ovlivněného různou koncentrací tří barev pigmentů (červená, zelená a modrá). Vybraný typ polymerních materiálů byl PC (Lexan 923) ovlivněný 1%, 2%, 3%, 4%, 5% a 6% pigmentů. Materiály byly testovány tahovou zkouškou, rázovou zkouškou v ohybu, zkouškou tvrdosti a měřím rozměrů pro vyhodnocení smrštění. Výsledky měření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

## 13 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

### 13.1 Použité typy polymerního materiálu

Pro zjištění fyzikálních (mechanických) vlastností byl vybrán polymerní materiál, polykarbonát (PC) Lexan 923 od firmy SABIC. Zkušební tělesa byla vyrobena vstříkáváním tohoto polymerního materiálu s různou koncentrací tří druhů barev pigmentů.

#### 13.1.1 PC Lexan 923

Polykarbonát Lexan 923 se vyznačuje vysokou odolností proti nárazům, je pevný a zároveň pružný. Vylučuje možnost vzniku střepin. Výrobky při styku s ohněm měknou a taví se, oheň dále nepodporují a nerozšiřují. Nízká hmotnost s dobrými mechanickými vlastnostmi zaručují dlouhou životnost.

Používá se nejvíce ve stavebnictví jako zasklívání budov, přístřešků, nástupišť, bezpečnostní zasklení, protihlukové bariéry, střešní světlíky výrobních i jiných hal, skleníky, zimní zahrady, verandy, vstupní přístřešky, spojovací chodby, vnitřní předěly místností aj. Ale také pro speciální účely jako jsou zdravotnické potřeby.



*Obr. 40 Možné využití PC (Lexan 923)*

### 13.2 Použité typy pigmentů

Pro obarvení základního polymerního materiálu bylo použito tří barevných druhů pigmentů, které se běžně používají ve firmě OBZOR Zlín. Tyto pigmenty byly zakoupeny od firmy LIFOCOLOR s.r.o.

### 13.2.1 LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC

Vysoce účinný pigment ve formě granulátu, určený pro obarvení polykarbonátu (PC). Tepelná stálost tohoto pigmentu je 300 °C.



*Obr. 41 Pigment 3620 F/PC*

### 13.2.2 LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC

Vysoce účinný pigment ve formě granulátu, určený pro obarvení polykarbonátu (PC). Tepelná stálost tohoto pigmentu je 290 °C.



*Obr. 42 Pigment 4842 F/PC*

### 13.2.3 LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC

Vysoce účinný pigment ve formě granulátu, určený pro obarvení polykarbonátu (PC). Tepelná stálost tohoto pigmentu je 290 °C.



*Obr. 43 Pigment 50009 F/PC*

## 13.3 Použité zařízení pro výrobu zkušebních těles

### 13.3.1 Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 470H 1000 - 400

Tento vstřikovací stroj lze optimálně dimenzovat, pro aplikace všech známých technologií vstřikování. Disponuje individuální úpravou výkonu technologie pohonu, takéž zastříkáváním dílů v dělicí rovině formy s využitím systému ALLROUNDER s otočnou uzavírací jednotkou a výměnou vstřikovací jednotkou. Lze taky upravovat nastavení s ohledem na spotřebu energie. Regulované vstřikování zajišťuje reprodukovatelné výsledky plnění formy a vysokou kvalitu vstřikování. Procesy lze přehledně programovat prostřednictvím grafického řízení SELOGICA. Řízení funguje jako centrální systém, pro nastavení a kontrolu celého vstřikovacího procesu. Všechny technické vlastnosti řízení jsou způsobeny tak, aby proces obsluhy byl realizovatelný rychle, bezpečně a přitom. [30]



*Obr. 44 Vstřikovací stroj [30]*

### 13.3.2 Sušička ARBURG THERMOLIFT 100 - 2

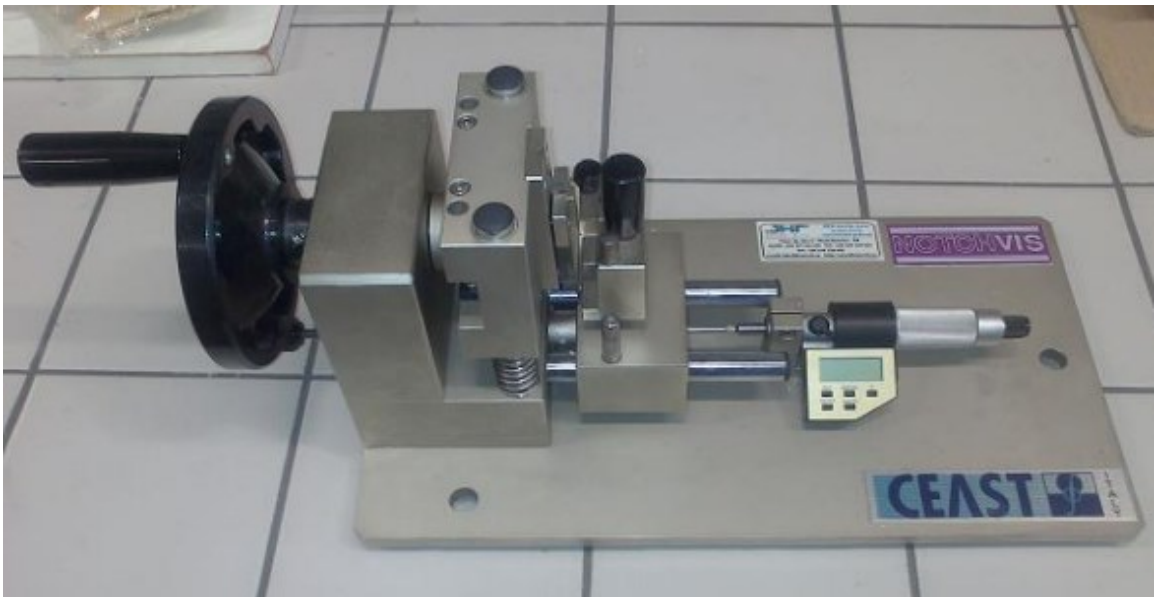
Sušička THERMOLIFT je kompaktní zařízení spojující výhody sušících a dopravních systémů plastového granulátu. Jedno zařízení THERMOLIFT lze použít k podávání materiálu do dvou strojů ALLROUNDER. Mezi výhody toho zařízení patří: Rychlé a účinné sušení proudícím vzduchem, optimální regulace sušení materiálu pomocí čerstvého i cirkulujícího vzduchu a možnost volby mezi tlakovou a sací dopravou v závislosti na vlastnostech materiálu. Jednoduchá obsluha a bezproblémová integrace do pracovních cyklů řídicího systému SELOGICA. Polymerní materiál (PC) byl sušen při 120 °C 4 hodiny. [31]



*Obr. 45 Sušička [31]*

### 13.3.3 Vrubovací zařízení CEAST

Zařízení, které je opatřeno mikrometrem slouží pro přípravu zkušebních těles normalizovaných tvarů vrubů V dle ISO 179 a ISO 180 typ A, B, C a U. Vrubovací zařízení se obsluhuje ručně, což vede k vysokým nárokům na přesnost ze strany člověka, který s tímto zařízením pracuje. Zkušební těleso se položí do přesně definovaného prostoru pracovní části. Poté se musí začít jednou rukou otáčet ruční pohon a druhou rukou se pomalu otáčí mikrometr, než se nůž dotkne připravovaného zkušebního tělesa. Mikrometr se anuluje a může se začít tvořit vrub o určitém tvaru a hloubce. Vrub jsem volil hloubky 2 mm. [32]



Obr. 46 Vrubovací zařízení [32]



Obr. 47 Zkušební těleso opatřené vrubem V (před provedením rázové zkoušky v ohybu a po provedení zkoušky)

## 14 EXPERIMENT

Materiály byly testovány tahovou zkouškou, rázovou zkouškou v ohybu, zkouškou tvrdosti a měřím rozměrů pro vyhodnocení smrštění. Výsledky měření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

### 14.1 Zkušební zařízení

Pro porovnání fyzikálních (mechanických) vlastností polymerního materiálů (PC) ovlivněného různou koncentrací pigmentu, byl použit stroj pro tahovou zkoušku, charpyho kladivo, portálový měřicí stroj a tvrdoměr pro zkoušku tvrdosti (Shore D).

#### 14.1.1 Stroj pro tahovou zkoušku ZWICK Roell 1456

Stroj pro tahovou zkoušku ZWICK Roell 1456 je vhodný pro testování ve všech oblastech. Osvědčený způsob ovládání zaručuje spolu s flexibilním stavebnicovým designem zatěžovacího rámu optimální řešení pro náročné použití. Ale také pro kontrolu kvality a také pro výzkumné projekty. Veškeré mechanické, elektronické i softwarové komponenty a bohaté nabídky příslušenství se vyvíjí a vyrábí v sídle společnosti Zwick v Německu. Všechny součásti jsou proto optimálně sladěny. Stroj je vhodný pro zkušební síly do 200 kN. Nabízí výšku zkušebního prostoru do 420 mm. Rychlost zkoušení je do 750 mm/min a rychlost zkušebního stroje nezávisí na síle zkoušení. [33]



Obr. 48 Upnuté zkušební těleso ve stroji pro tahovou zkoušku [32]



### 14.1.2 Charpyho kladivo ZWICK Roell HIT 50J

Rázové kladivo HIT automaticky rozpozná použité kyvadlo, a proto poskytne přesná měřicí data v předepsaném rozsahu a odpovídající dané normě. Pro výrobu kyvadel bylo použito dvojité karbonové tyče. Tím je dosažena vysoká pevnost ve směru rázu a velká koncentrace hmoty v místě úderu. Rázové kladivo disponuje volitelnou brzdou kyvadla. Elektronika obsahuje digitální snímač s velkým rozlišením pro přesné měření úhlu kyvu. Každý soubor měření byl proveden na 20 zkušebních tělesech. [34]



*Obr. 49 Charpyho kladivo [34]*



*Obr. 50 Provedení rázové zkoušky v ohybu*

### 14.1.3 Tvrdoměr OMAG Affri ART 13

Univerzální tvrdoměr, na kterém byla provedena zkouška tvrdosti (ShoreD). Každý soubor měření obsahoval 10 měření na 10 zkušebních tělesech.



Obr. 51 Tvrdoměr OMAG Affri ART 13

### 14.1.4 Portálový měřicí stroj ZEISS CONTURA G2

Měřicí zařízení disponuje pasivním senzorem s flexibilní otočnou hlavou RDS nebo s aktivní skenovací hlavou. Na stroji ZEISS CONTURA se používají keramická vedení v technologii CARAT pro vysokou tuhost, nízkou tepelnou roztažnost a minimální pohyblivost. Vzduchová ložiska ve všech třech osách zajišťují konstantní stabilitu i při vysoké pojezdové rychlosti a při zrychlení. Zařízení má sklokeramická měřítka s plovoucím uložením, která téměř nepodléhají roztažnosti a nevyžadují tudíž přídatná teplotní čidla a matematickou kompenzaci. Systém je řízen pomocí ovládacího panelu nezávislého na počítači. Progressivní joystick slouží pro snadné a přesné ovládání všech osových pohybů. V CNC režimu lze variabilně nastavit rychlost. [35]



Obr. 52 Portálový měřicí stroj [35]

## 14.2 Smíchání polymerního materiálu s pigmentem

Smíchání se provedlo ručně a to vždy v přesném poměru polymerního granulovaného materiálu PC (Lexan 923) s určitým barevným granulovaným pigmentem. Bylo použito systému míchání, který se běžně používá v průmyslu a také ve firmě Obzor Zlín. Pigment byl smíchán v 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 % a 6 % koncentraci, viz Tab. 5. Celková hmotnost finální směsi byla 1500 g směsi. Navážení směsi se provedlo na váze HELAGO HL - 2000i.

Tab. 4 Smíchání polymerního materiálu s pigmentem

koncentrace pigmentu	hmotnost pigmentu ve směsi	koncentrace PC	hmotnost PC ve směsi	celková hmotnost směsi
1%	15 g	99%	1485 g	1500 g
2%	30 g	98%	1470 g	1500 g
3%	45 g	97%	1455 g	1500 g
4%	60 g	96%	1440 g	1500 g
5%	75 g	95%	1425 g	1500 g
6%	90 g	94%	1410 g	1500 g



Obr. 53 Váha HELAGO HL – 2000i

### 14.3 Hodnoty vstřikování zkušebních těles

Tabulka ukazuje konečné nastavení vstřikovacího stroje ARBURG Allrounder 420 C pro smíchanou směs polymerního materiálu PC (Lexan 923) a tři druhy barevného pigmentu různé koncentrace.

Tab. 5 Hodnoty vstřikování

Parametr	Hodnota	Jednotky
teplota formy	60	°C
dráha dávkování	24	mm
vstřikovací tlak	800	bar
dotlak	300	bar
celkový čas dotlaku	15,5	s
rychlost vstřikování	40	mm/s
dráha přepruty	8	mm
čas chlazení	30	s
<b>Teplotní rozhraní pásem plastikační jednotky</b>		<b>Jednotky</b>
teplota pod násypkou	40	°C
2. teplotní pásmo	270	°C
3. teplotní pásmo	275	°C
4. teplotní pásmo	280	°C
5. teplotní pásmo	285	°C
teplota trysky	290	°C

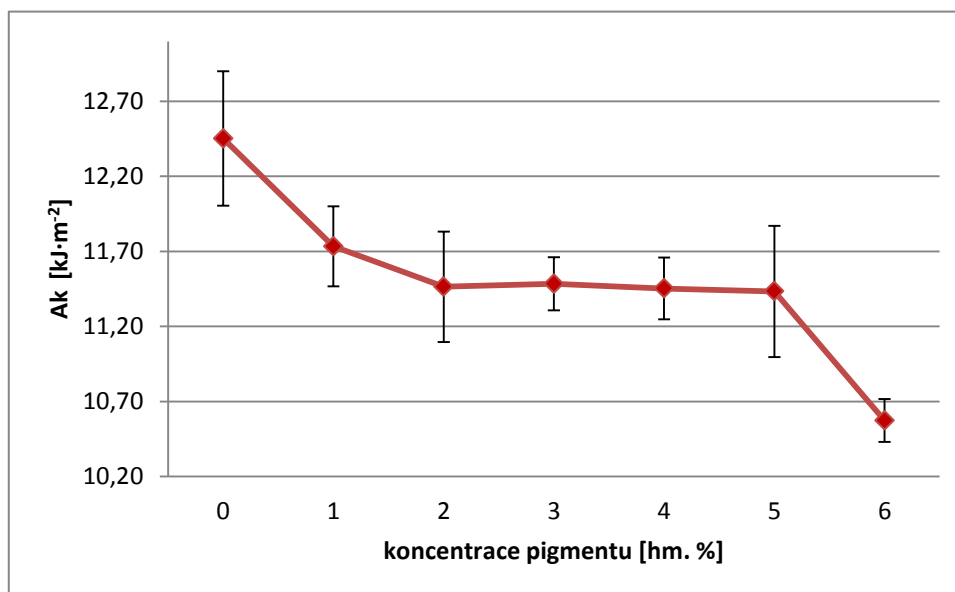
## 15 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a graficky zpracovány. Při zpracování bylo použito statistických vztahů pro vyhodnocování.

### 15.1 Rázová zkouška v ohybu

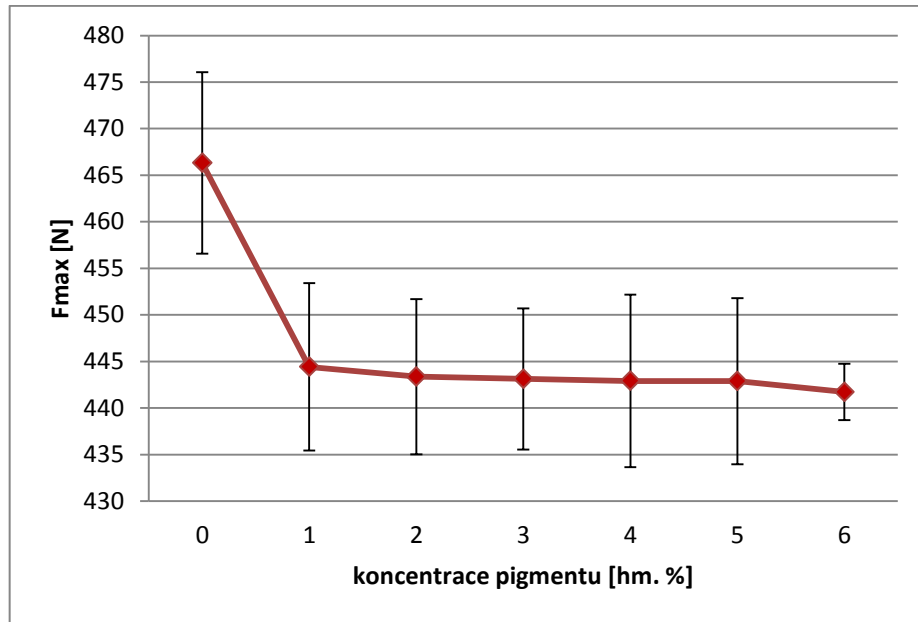
Rázová zkouška v ohybu se provedla dle normy ČSN EN ISO 179-1 na Charpyho kladivu od firmy ZWICK Roell HT 50J. Dle této normy byla zkušební tělesa ustanovena vodorovně na podpěrách a přeražena úderem rázového kladiva. Zkušební tělesa byla opatřena vrubem V hloubky 2 mm. Na každý soubor měření bylo použito 20 zkušebních těles. Teplota ve zkušební místnosti byla 20 °C.

#### 15.1.1 PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC)



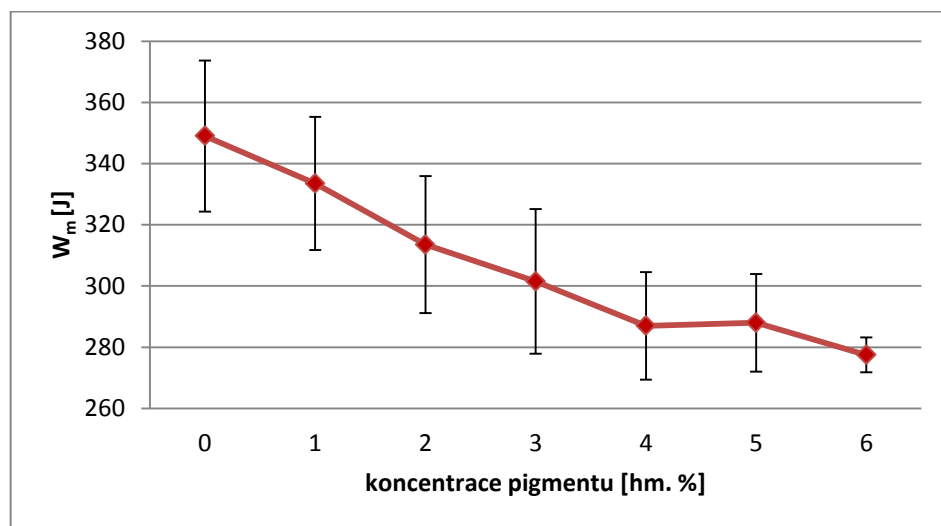
Obr. 54 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 54) bylo zjištěno, že vrubová houževnatost s rostoucí koncentrací pigmentu klesá. V rozmezí koncentrace pigmentu 2 až 4 hm. % byla zjištěna jen nepatrná změna, kde vrubová houževnatost je přibližně 11,5 kJ·m<sup>-2</sup>. Pro porovnání byla u transparentního materiálu naměřena vrubová houževnatost 12,5 kJ·m<sup>-2</sup>, což nelze považovat za dramatický pokles vrubové houževnatosti. O něco větší pokles byl zaznamenán při 1 a 6 hm. % koncentrace pigmentu.



Obr. 55 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

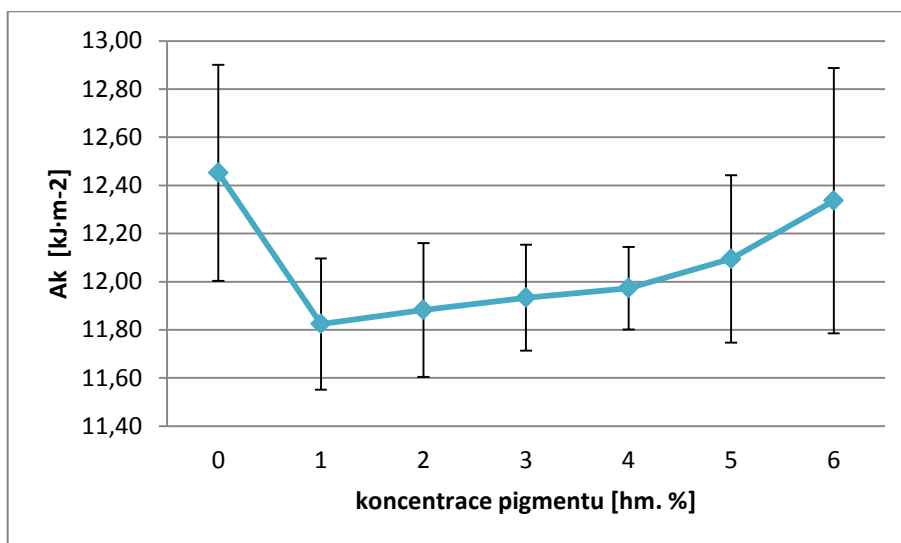
Při porovnání výsledků měření (obr. 55) bylo zjištěno, že maximální síla s rostoucí koncentrací pigmentu klesá. Maximální síla se pohybuje v rozmezí přibližně od 444 do 442 N. U transparentního materiálu byla naměřena maximální síla 468 N.



Obr. 56 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

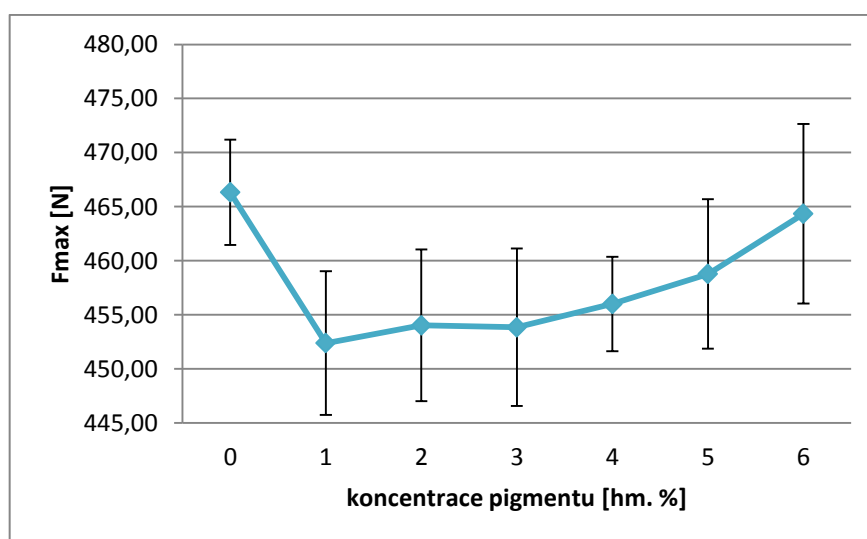
Při porovnání výsledků měření (obr. 56) bylo zjištěno, že deformační energie s rostoucí koncentrací pigmentu klesá lineárně. Maximální deformační energie je přibližně 340 J a minimální deformační energie je přibližně 270 J. U transparentního materiálu byla deformační energie o něco vyšší. (352 J).

### 15.1.2 PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC)



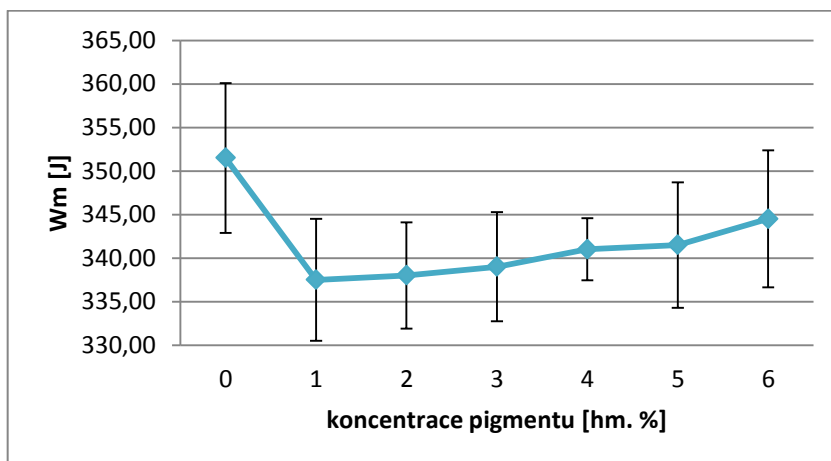
Obr. 57 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 57) bylo zjištěno, že vrubová houževnatost s rostoucí koncentrací pigmentu roste. V rozmezí koncentrace pigmentu 1 až 5 hm. % byl zjištěn mírný lineární nárůst vrubové houževnatosti. O něco větší nárůst vrubové houževnatosti byl zaznamenán při 6 hm. % koncentrace pigmentu. U transparentního materiálu byla vrubová houževnatost  $12,5 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , což nelze považovat za výrazný pokles vrubové houževnatosti.



Obr. 58 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

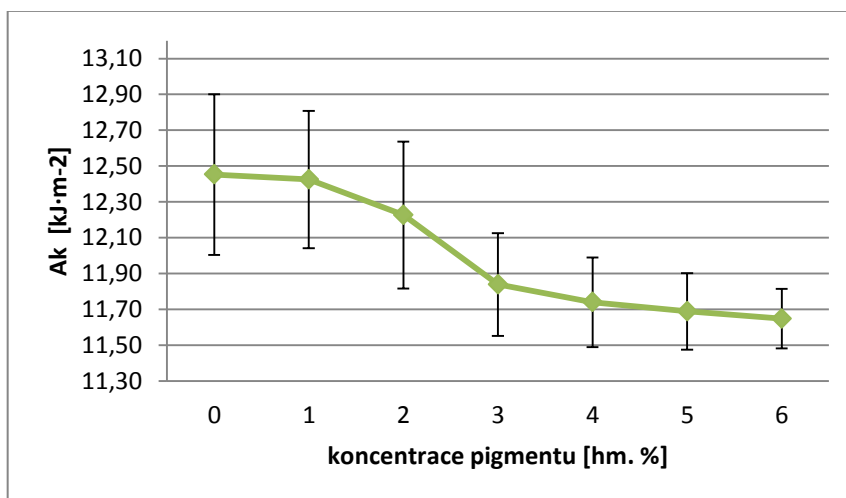
Při porovnání výsledků měření (obr. 58) bylo zjištěno, že maximální síla s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Maximální síla se pohybuje v rozmezí přibližně od 453 do 465 N. U transparentního materiálu, byla naměřena maximální síla 468 N, takže pokles u materiálu ovlivněného koncentrací pigmentu není nijak výrazný.



Obr. 59 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 59) bylo zjištěno, že deformační energie s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Maximální deformační energie je přibližně 344 J a minimální deformační energie je přibližně 337 J. U transparentního materiálu byla deformační energie o něco vyšší (352 J).

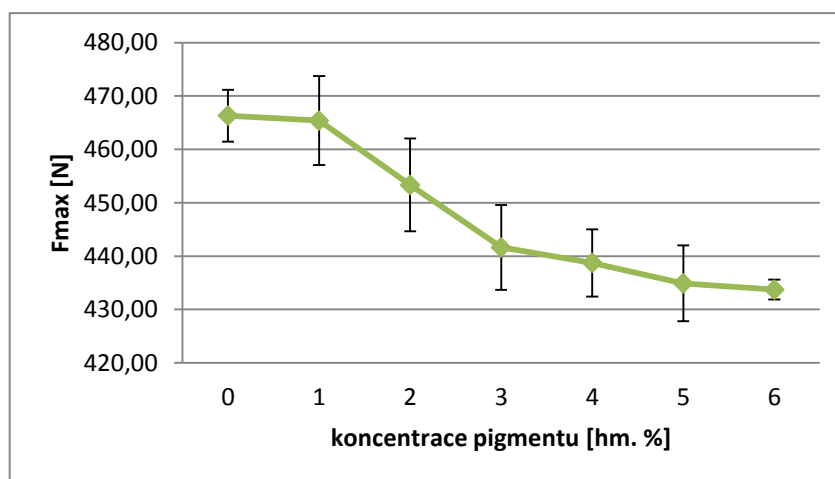
### 15.1.3 PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC)



Obr. 60 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

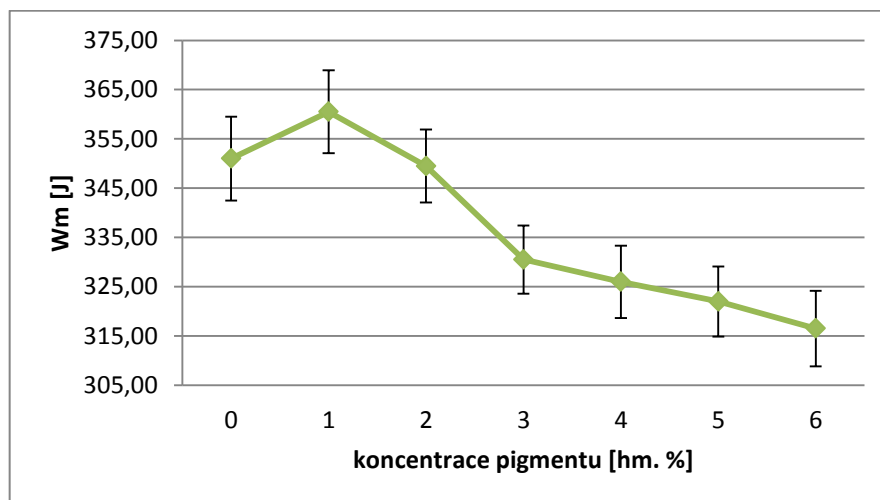


Při porovnání výsledků měření (obr. 60) bylo zjištěno, že vrubová houževnatost s rostoucí koncentrací pigmentu klesá. V rozmezí koncentrace pigmentu 1 až 4 hm. % byl zjištěn lineární pokles vrubové houževnatosti. V rozmezí koncentrace pigmentu 4 až 6 hm. % byl zjištěna jen nepatrná změna, kde vrubová houževnatost je přibližně  $11,7 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ . Pro porovnání byla u transparentního materiálu naměřena vrubová houževnatost  $12,5 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , což lze považovat za stejnou hodnotu jako u PC (Lexan 923) s 1hm. % koncentrací pigmentu.



Obr. 61 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 61) bylo zjištěno, že maximální síla s rostoucí koncentrací pigmentu klesá. Maximální síla se pohybuje v rozmezí přibližně od 465 do 435 N. U transparentního materiálu byla naměřena maximální síla 468 N.



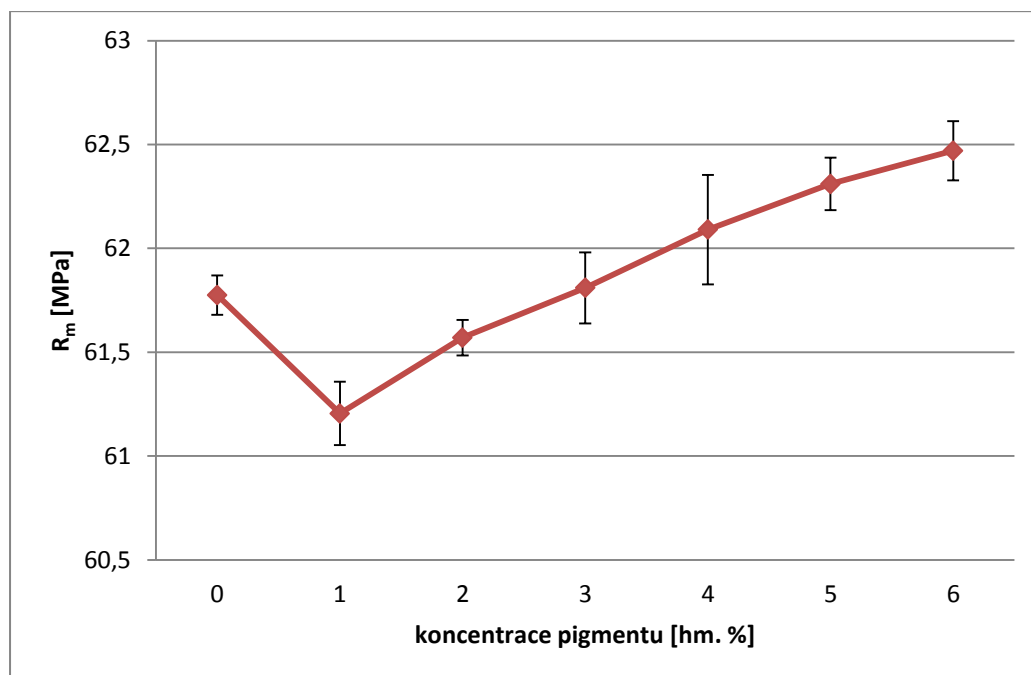
Obr. 62 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 62) bylo zjištěno, že deformační energie s rostoucí koncentrací pigmentu klesá. Maximální deformační energie je přibližně 360 J a minimální deformační energie je přibližně 315 J. V rozmezí koncentrace pigmentu 4 až 6 hm. % byla zjištěna jen nepatrná změna vrubové houževnatosti.

## 15.2 Zkouška tahem

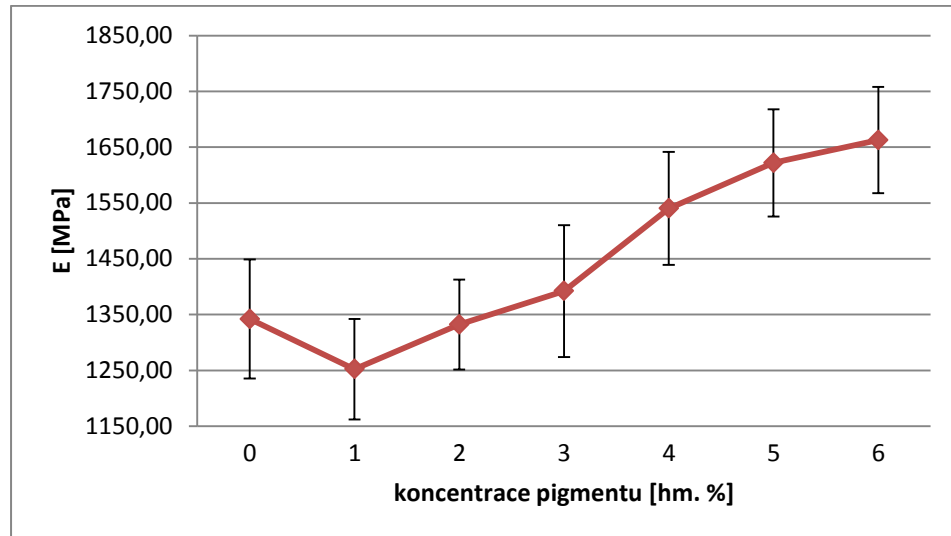
Zkouška tahem se provedla dle normy ČSN EN ISO 527 – 1 na zkušebním stroji ZWICK Roell 1456. Zkušební tělesa měla tvar lopatek – typ II. Na každý soubor měření bylo použito 20 zkušebních těles. Teplota ve zkušební místnosti byla 22 °C.

### 15.2.1 PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC)



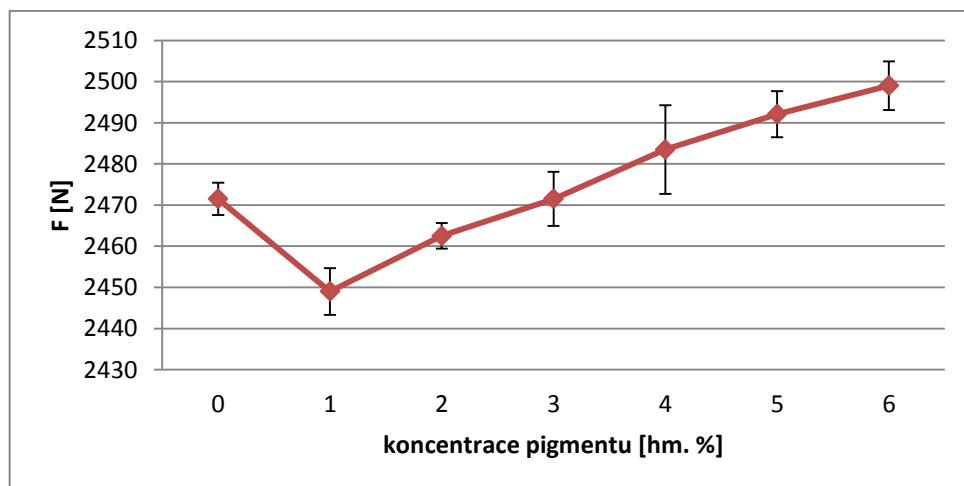
Obr. 63 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 63) bylo zjištěno, že mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentu roste lineárně. Pro porovnání byla u transparentního materiálu naměřena mez pevnosti v tahu 62 MPa, což přibližně odpovídá hodnotě PC (Lexan 923) ovlivněný 3 hm. % koncentrací pigmentu. Maximální mez pevnosti v tahu (62,5 MPa) je nepatrně vyšší jako u transparentního materiálu.



Obr. 64 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

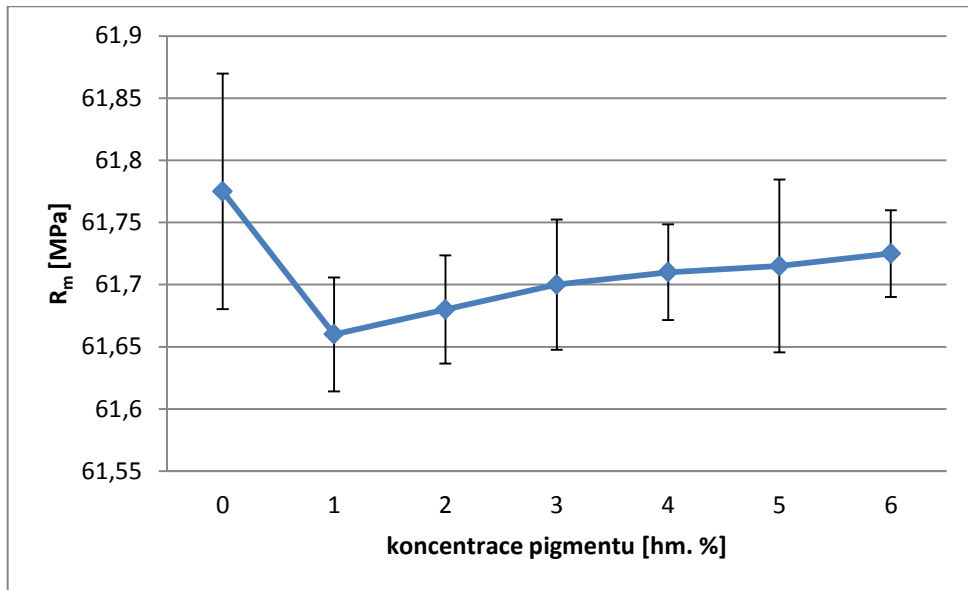
Při porovnání výsledků měření (obr. 64) bylo zjištěno, že modul pružnosti s rostoucí koncentrací pigmentu roste přibližně lineárně. Pro porovnání byl u transparentního materiálu naměřen modul pružnosti 1350 MPa, což přibližně odpovídá hodnotě PC (Lexan 923) ovlivněný 2 hm. % koncentrací pigmentu. Maximální modul pružnosti (1650 MPa) je o něco vyšší jako u transparentního materiálu.



Obr. 65 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

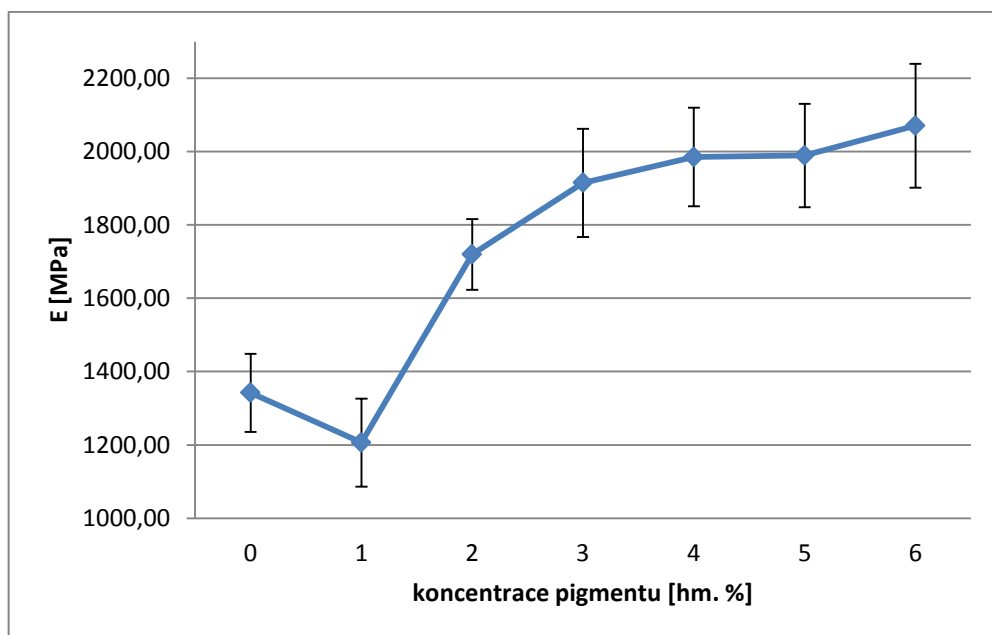
Při porovnání výsledků měření (obr. 65) bylo zjištěno, že síla potřebná k přetržení s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Síla potřebná k přetržení se pohybuje v rozmezí přibližně od 2450 do 2490 N. U transparentního materiálu byla naměřena maximální síla 2472 N.

### 15.2.2 PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC)



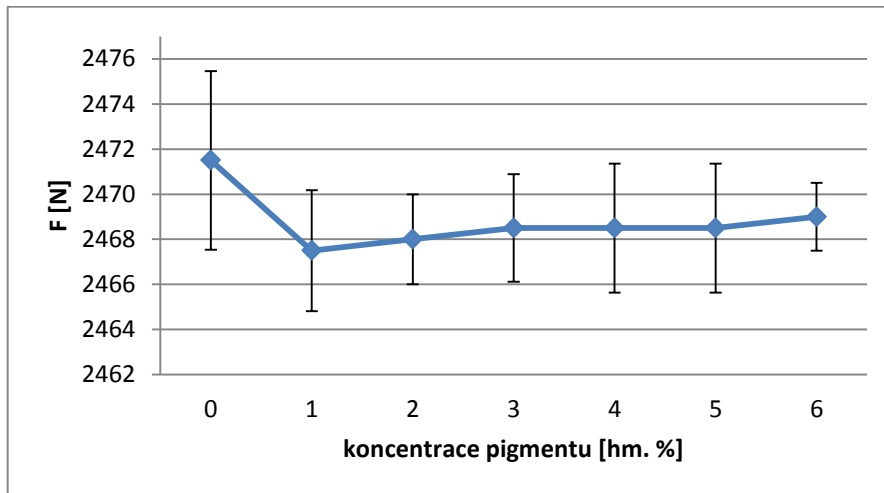
Obr. 66 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 66) bylo zjištěno, že mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentu roste lineárně. Maximální mez pevnosti v tahu je podobná jako u transparentního materiálu (62 MPa).



Obr. 67 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

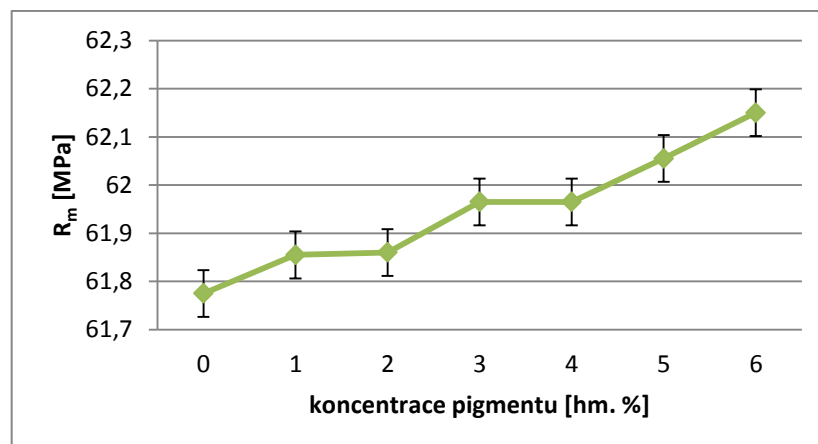
Při porovnání výsledků měření (obr. 67) bylo zjištěno, že modul pružnosti s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Pro porovnání byl u transparentního materiálu naměřen modul pružnosti 1352 MPa, což přibližně odpovídá hodnotě PC (Lexan 923) ovlivněný 1 hm. % koncentrací pigmentu.



Obr. 68 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

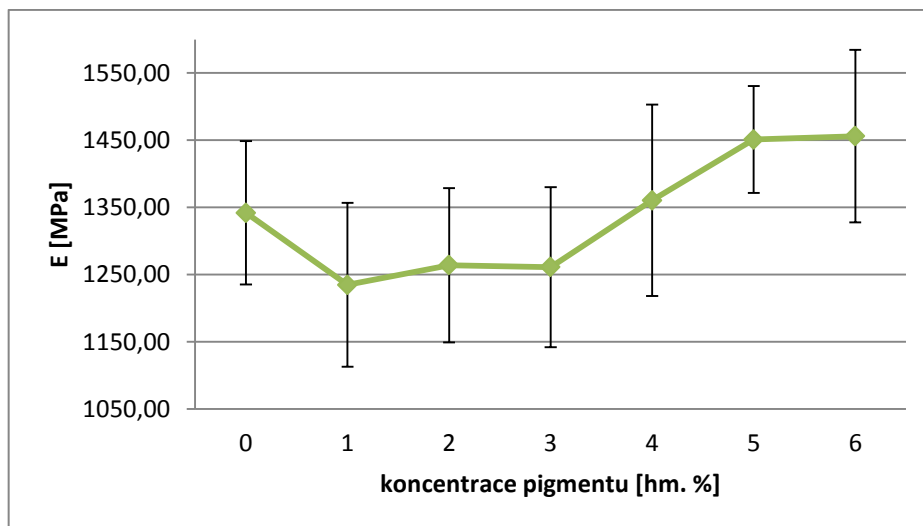
Při porovnání výsledků měření (obr. 68) bylo zjištěno, že síla potřebná k přetržení s rostoucí koncentrací pigmentu nepatrně roste. Síla potřebná k přetržení se pohybuje v rozmezí přibližně od 2467 do 2470 N. U transparentního materiálu byla naměřená síla potřebná k přetržení 2472 N.

### 15.2.3 PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC)



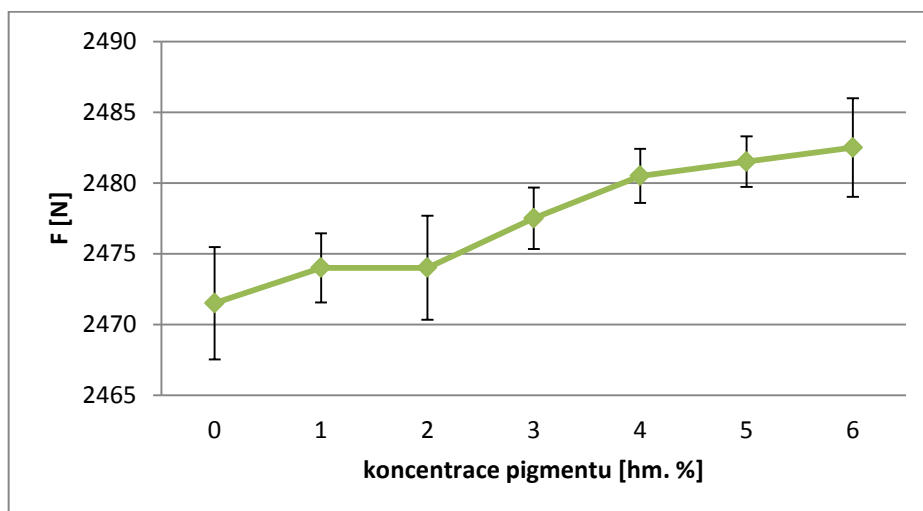
Obr. 69 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 69) bylo zjištěno, že mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentu roste. V rozmezí koncentrace pigmentu 1 až 2 hm. % byla zjištěna jen nepatrná změna růstu meze pevnosti v tahu. Naopak v rozmezí koncentrace pigmentu 3 až 6 hm. % se projevil lineární růstu meze pevnosti v tahu. U transparentního materiálu byla naměřena mez pevnosti v tahu 61,8 MPa.



Obr. 70 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 70) bylo zjištěno, že modul pružnosti s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Pro porovnání byl u transparentního materiálu naměřen modul pružnosti 1350 MPa, což přibližně odpovídá hodnotě PC (Lexan 923) ovlivněný 4 hm. % koncentrací pigmentu.



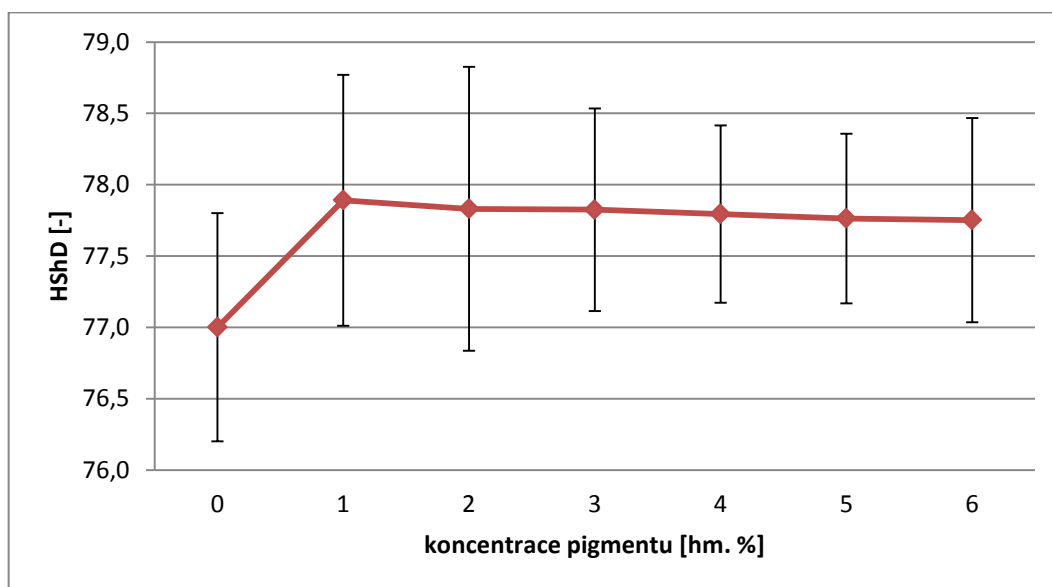
Obr. 71 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 71) bylo zjištěno, že síla potřebná k přetržení s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Síla potřebná k přetržení se pohybuje v rozmezí přibližně od 2475 do 2483 N. U transparentního materiálu byla naměřená síla potřebná k přetržení 2472 N.

### 15.3 Zkouška tvrdosti Shore D

Zkouška tvrdosti (Shore D) se provedla dle normy ČSN ISO 7619-1 na tvrdoměru OMAG Affri ART 13. Zkušební tělesa měla tloušťku v místě zkoušení 8 mm a jejich povrch byl hladký a čistý. Na každý soubor měření bylo použito 10 zkušebních těles, na kterých se provedlo vždy 10 měření. Teplota ve zkušební místnosti byla 22 °C.

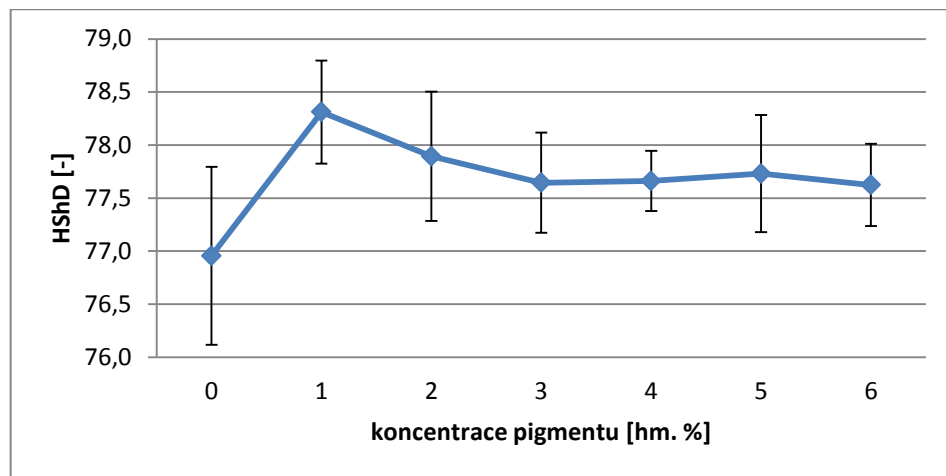
#### 15.3.1 PC (Lexan 923) ovlivněný červeným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC)



Obr. 72 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 72) bylo zjištěno, že tvrdost (Shore D) s rostoucí koncentrací pigmentu nepatrně klesá. U transparentního materiálu byla naměřena tvrdost (HShD = 77), což je o něco menší jako u PC (Lexan 923) ovlivněného různou koncentrací pigmentu (obr. 72).

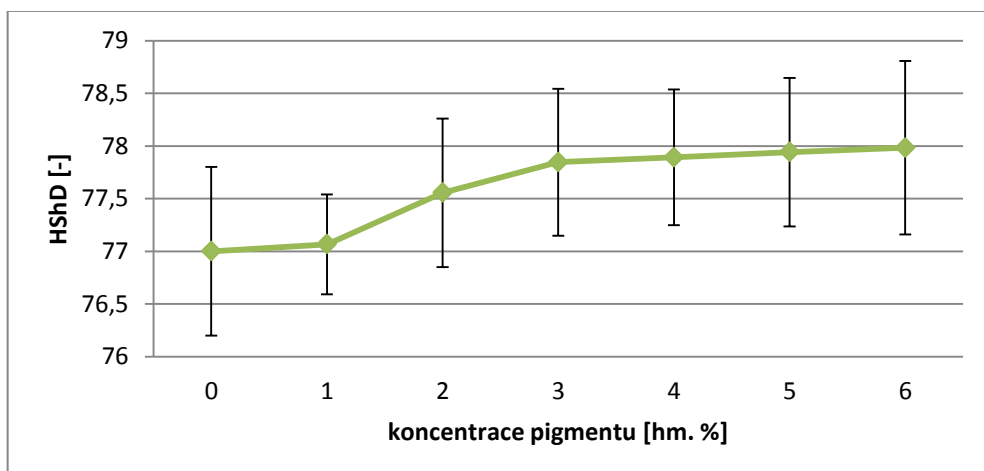
### 15.3.2 PC (Lexan 923) ovlivněný modrým pigmentem (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC)



Obr. 73 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)

Při porovnání výsledků měření (obr. 73) bylo zjištěno, že tvrdost (Shore D) s rostoucí koncentrací pigmentu nepatrně klesá. V rozmezí koncentrace pigmentu 1 až 2 hm. % byl zjištěn lineární pokles tvrdosti. Naopak v rozmezí koncentrace pigmentu 3 až 6 hm. % se projevila pouze nepatrná změna tvrdosti. U transparentního materiálu byla zjištěna tvrdost (HShD = 77), což je o něco menší jako u PC (Lexan 923) ovlivněného různou koncentrací pigmentu.

### 15.3.3 PC (Lexan 923) ovlivněný zeleným pigmentem (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC)



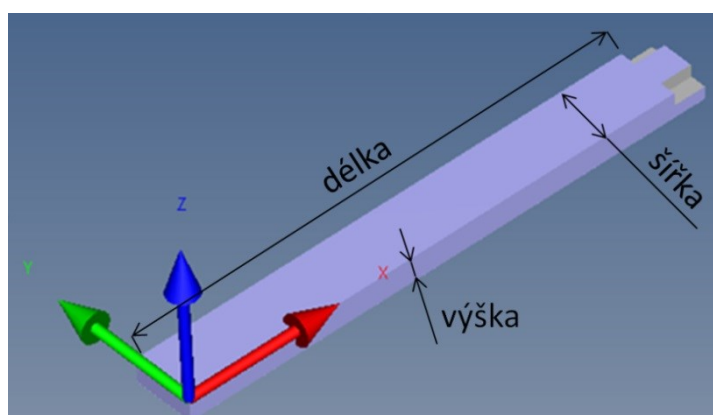
Obr. 74 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu (zelený pigment)



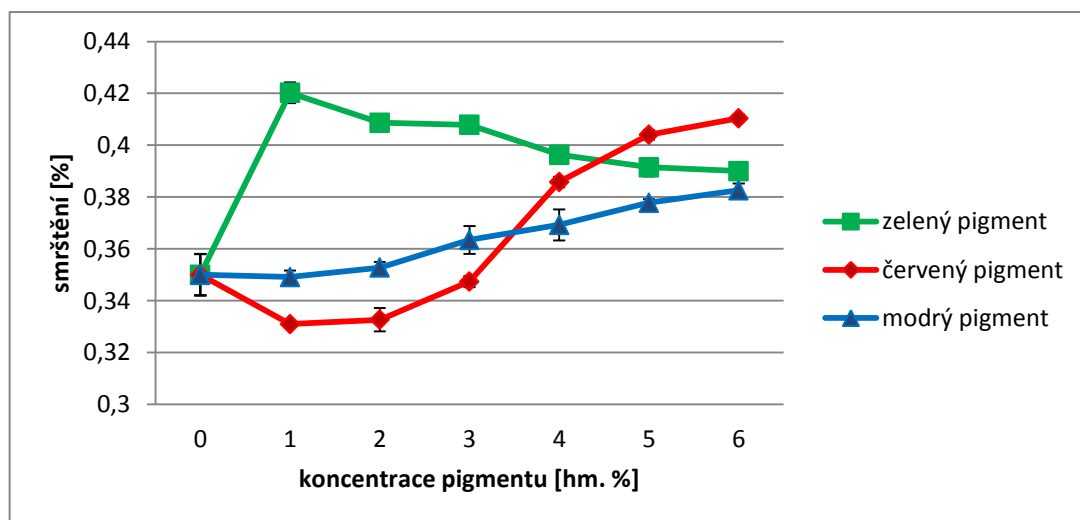
Při porovnání výsledků měření (obr. 74) bylo zjištěno, že tvrdost (Shore D) s rostoucí koncentrací pigmentu roste. Maximální tvrdost (HShD=78) byla u 6 hm. % koncentrace pigmentu.

#### 15.4 Smrštění (Rozměrová stabilita)

Měření rozměrů bylo provedeno na portálovém měřicím stroji ZEISS CONTURA G2, po čtrnácti dnech od výroby zkušebních těles. Dodatečné smrštění bylo vyhodnoceno dle normy ISO 294-4, s tím rozdílem, že zkušební těleso mělo tvar hranolu o předpokládané šířce 10 mm, výšce 4 mm a délce 80 mm. Dutina vstřikovací formy měla šířku 10,2 mm, výšku 4,05 mm a délku 81,7 mm. Na každý soubor měření bylo použito 10 zkušebních těles. Porovnání bylo vždy provedeno za stejných měřicích podmínek, tj. určení deseti měřených bodů, z kterých byly aproximovány roviny. Z těchto rovin byla měřena průměrná vzdálenost mezi stěnami. Zkušební tělesa byla skladována a posléze změřena ve zkušební místnosti, která měla teplotu 20 °C.

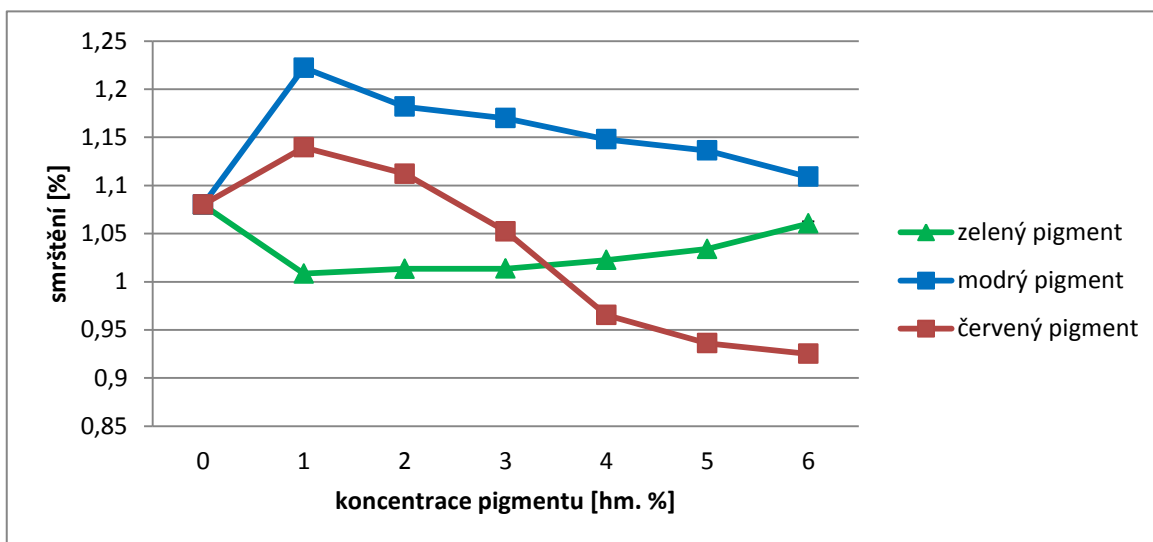


Obr. 75 Určení rozměrů zkušebního tělesa



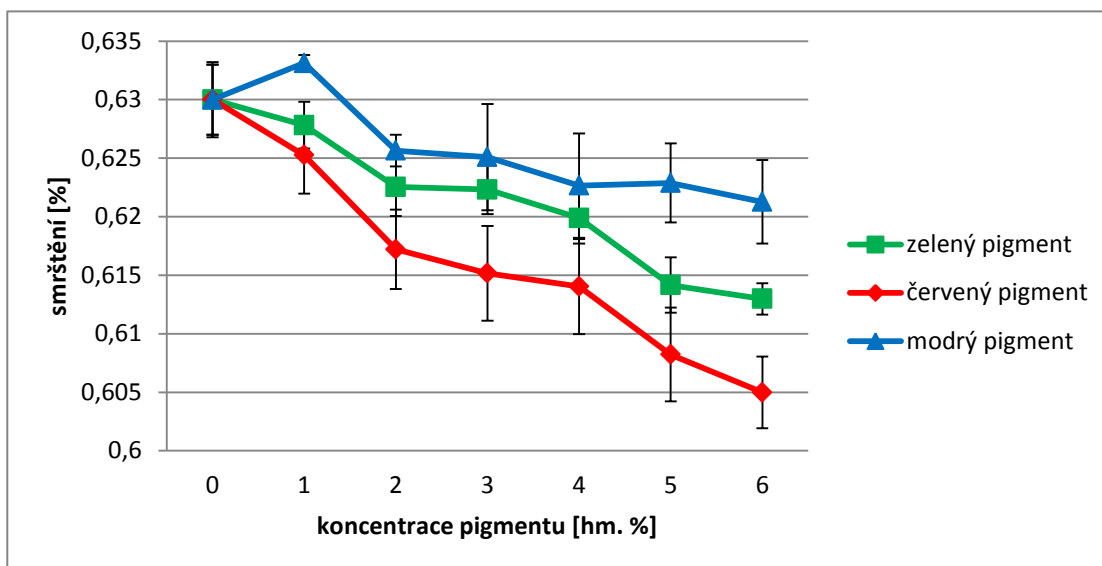
Obr. 76 Vliv koncentrace pigmentu na smrštění šířky zkušebního tělesa

Při porovnání výsledků měření (obr. 76) bylo zjištěno, že smrštění s použitím modrého pigmentu rostlo lineárně, zatímco smrštění s použitím zeleného pigmentu nepatrně klesalo. Při použití červeného pigmentu začínal být růst smrštění významnější až od 3 hm. % koncentrace pigmentu.



Obr. 77 Vliv koncentrace pigmentu na smrštění výšky zkušebního tělesa

Při porovnání výsledků měření (obr. 77) bylo zjištěno, že smrštění s použitím modrého pigmentu klesalo lineárně, zatímco smrštění s použitím zeleného pigmentu nepatrně rostlo. Při použití červeného pigmentu klesalo smrštění nejvýznamněji.



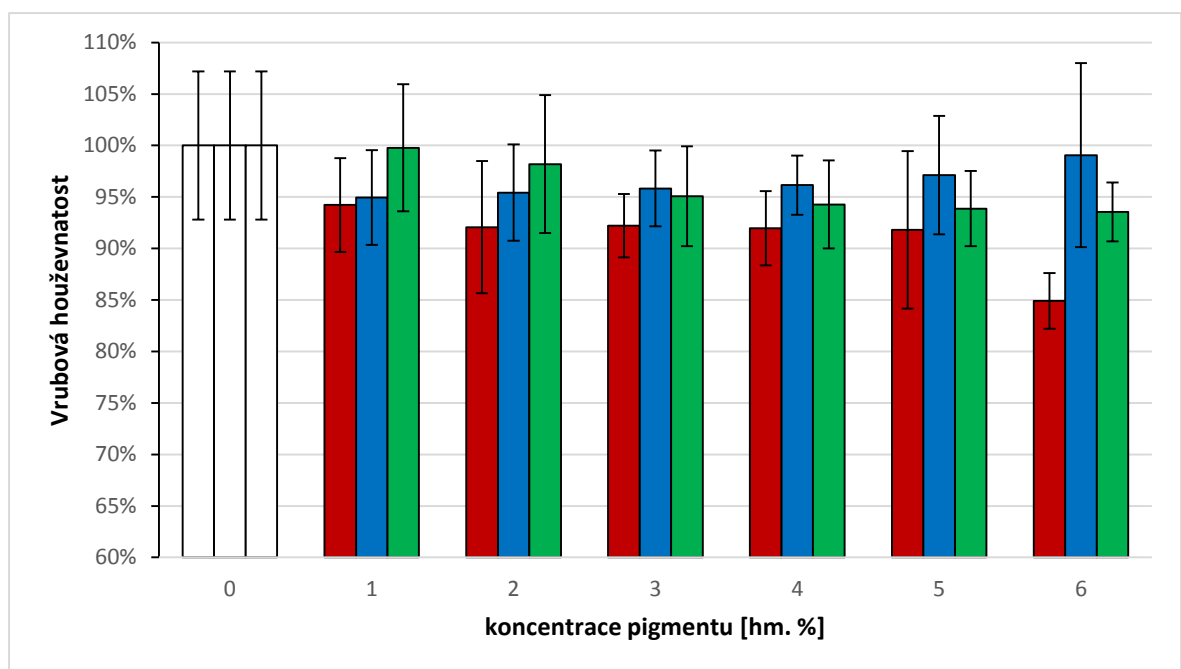
Obr. 78 Vliv koncentrace pigmentu na smrštění délky zkušebního tělesa

Při porovnání výsledků měření (obr. 78) bylo zjištěno, že smrštění s použitím modrého, červeného a zeleného pigmentu nepatrně klesalo.

## 16 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce bylo porovnání fyzikálních vlastností polymerního materiálu ovlivněného různou koncentrací tří barev pigmentů (červená, zelená a modrá). Vybraný typ polymerních materiálů byl PC (Lexan 923) ovlivněný 1%, 2%, 3%, 4%, 5% a 6% pigmentů. Materiály byly testovány tahovou zkouškou ( $F_m$ ,  $E$ ,  $R_m$ ), rázovou zkouškou v ohybu ( $A_k$ ,  $W_m$ ,  $F_{max}$ ), zkouškou tvrdosti Shore D (HShD) a měřím rozměrů pro vyhodnocení smrštění. Výsledky měření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Z rázové zkoušky v ohybu, která udává tuhost zkušebního tělesa, bylo zjištěno, že pokud byl přidán do materiálu PC (Lexan 923) červený pigment (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC), nebo zelený pigment (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC) tak vrubová houževnatost klesala s rostoucí koncentrací pigmentu. V případě přidání modrého pigmentu (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC) vrubová houževnatost naopak rostla s rostoucí koncentrací pigmentu. Při přidání červeného, zeleného, nebo modrého pigmentu bylo zjištěno, že vrubová houževnatost dosáhla nižších hodnot, jako u transparentního materiálu PC (Lexan 923).

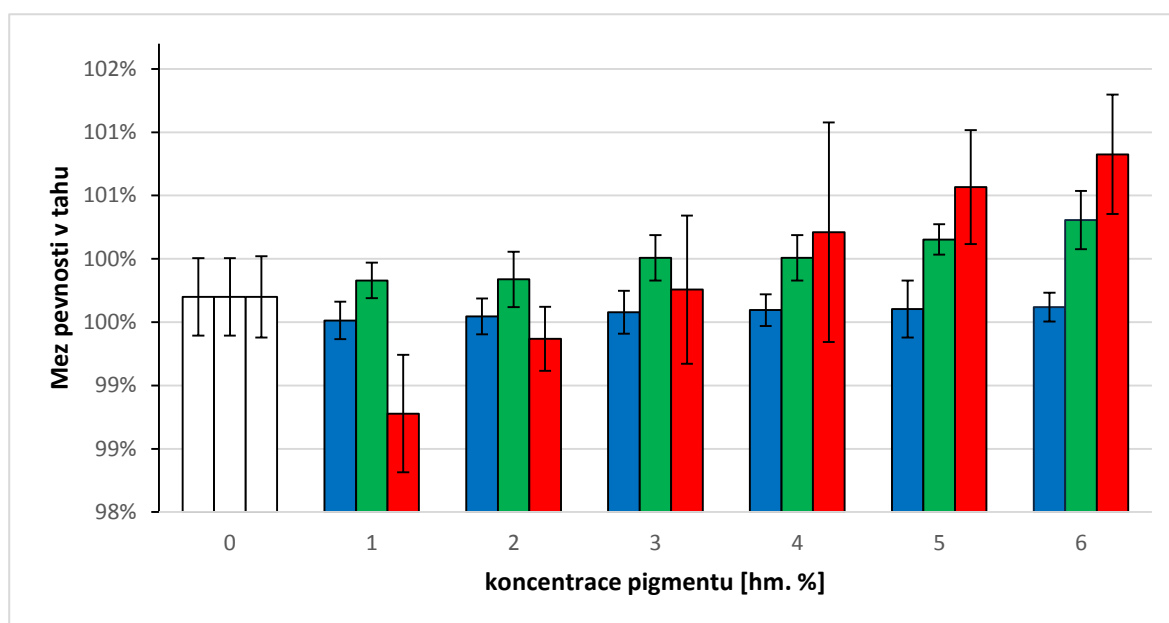


Obr. 79 Porovnání vrubové houževnatosti

Z procentuálního porovnání výsledků měření vrubové houževnatosti, lze konstatovat, že vrubová houževnatost se po přidání 1 hm. % koncentrace červeného pigmentu do transparentního materiálu se snížila o 6 % oproti transparentnímu materiálu. Výraznější změna byla u 6 hm. % koncentrace červeného pigmentu, kde vrubová houževnatost klesla o

15 %. Po přidání 1 hm. % koncentrace modrého pigmentu do transparentního materiálu se snížila vrubová houževnatost o 5 % oproti transparentnímu materiálu. Ale naopak při přidání 6 hm. % koncentrace modrého pigmentu se vrubová houževnatost snížila jen o 1 %. Po přidání 1 hm. % koncentrace zeleného pigmentu, lze konstatovat, že vrubová houževnatost je stejná jako u transparentního materiálu. Při přidání 4 až 6 hm. % koncentrace zeleného pigmentu se vrubová houževnatost snížila již jen o 1%. Lze tedy usoudit, že přidáním vybraných pigmentů do transparentního materiálu se se tuhost zkušební tělesa snížila.

Z tahové zkoušky, bylo zjištěno, že pokud byl přidán do materiálu PC (Lexan 923) červený pigment (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC), zelený pigment (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC), nebo modrý pigment (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC), tak se mez pevnosti v tahu zvyšovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Při nižších hodnotách hmotnostních koncentrací modrého a červeného pigmentu dosahovala mez pevnosti v tahu nižších hodnot jako u transparentního materiálu.

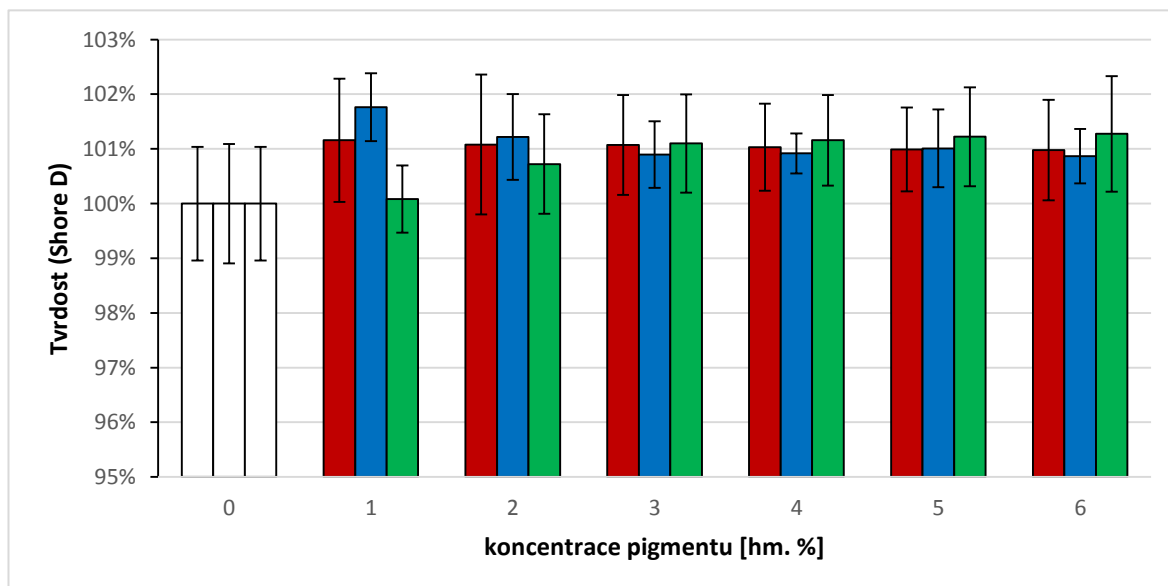


Obr. 80 Porovnání meze pevnosti v tahu

Z procentuálního porovnání výsledků měření meze pevnosti v tahu, lze konstatovat, že mez pevnosti v tahu se po přidání 1 až 6 hm. % modrého pigmentu jen velmi nepatrně snížila. Tudíž lze usoudit, že přidáním modrého pigmentu do transparentního materiálu se nijak výrazně neovlivní mez pevnosti v tahu. Při přidání 1 hm % koncentrace červeného pigmentu do transparentního materiálu se mez pevnosti snížila o 1% oproti transparentnímu materiálu. Ale po přidání 4 hm. % koncentrace červeného pigmentu do transparentního materiálu

lu se mez pevnosti v tahu nepatrně zvyšovala až do 1 % oproti transparentnímu materiálu. Lze tedy konstatovat, že při vyšších hmotnostních koncentracích červeného pigmentu se mez pevnosti v tahu zvyšovala. Při přidání 1 až 6 hm. % koncentrace zeleného pigmentu do transparentního materiálu se mez pevnosti v tahu nepatrně zvyšovala o 1 % oproti transparentnímu materiálu. Lze tedy usoudit, že přidáním zeleného pigmentu se nepatrně ovlivní mez pevnosti v tahu ku prospěchu.

Ze zkoušky tvrdosti (Shore D) bylo zjištěno, že pokud byl přidán do materiálu PC (Lexan 923) červený pigment (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC), nebo modrý pigment (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC), tak se tvrdost snižovala s rostoucí koncentrací pigmentu. V případě přidání zeleného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC) se tvrdost zvyšovala s rostoucí koncentrací pigmentu.



Obr. 81 Porovnání tvrdosti (Shore D)

Z procentuálního porovnání výsledků měření tvrdosti (Shore D), lze konstatovat, že nejvýznamněji se tvrdost zvýšila po přidání 1 hm. % modrého pigmentu a to o 2 % oproti transparentnímu materiálu. Tudiž lze usoudit, že přidáním modrého pigmentu do transparentního materiálu se dosáhlo zvýšení tvrdosti oproti transparentnímu materiálu. Při přidání červeného pigmentu do transparentního materiálu se tvrdost zvýšila o 1 % oproti transparentnímu materiálu. Při přidání zeleného pigmentu do transparentního materiálu se tvrdost pomalu zvyšovala s rostoucí hmotnostní koncentrací pigmentu do 1 % oproti transparentnímu materiálu.

Z vyhodnocení rozměrového smrštění zkušebních těles bylo zjištěno, že při smrštění šířky zkušebního tělesa po přidání červeného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC), nebo modrého pigmentu (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC) se s rostoucí koncentrací pigmentu smrštění zvyšovalo. Nejspíš kvůli toku polymerní taveniny. Naopak při přidání zeleného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC) se smrštění zkušebního tělesa s rostoucí koncentrací pigmentu snižovalo. Při smrštění výšky zkušebního tělesa bylo zjištěno, že po přidání červeného pigmentu nebo modrého pigmentu se s rostoucí koncentrací pigmentu smrštění snižovalo. Naopak při přidání zeleného pigmentu se smrštění zkušebního tělesa s rostoucí koncentrací pigmentu zvyšovalo. Při smrštění délky zkušebního tělesa bylo zjištěno, že po přidání červeného pigmentu, modrého pigmentu, nebo zeleného pigmentu se s rostoucí koncentrací pigmentu smrštění snižovalo.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porovnání fyzikálních vlastností polymerního materiálu ovlivněného různou koncentrací tří barev pigmentů (červená, zelená a modrá). Vybraný typ polymerních materiálů byl PC (Lexan 923) ovlivněný 1%, 2%, 3%, 4%, 5% a 6% pigmentů. Materiály byly testovány tahovou zkouškou ( $F_m$ ,  $E$ ,  $R_m$ ), rázovou zkouškou v ohybu ( $A_k$ ,  $W_m$ ,  $F_{max}$ ), zkouškou tvrdosti Shore D (HShD) a měřím rozměrů pro vyhodnocení smrštění. Výsledky měření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Z výsledků měření fyzikálních (mechanických) vlastností, bylo zjištěno po přidání červeného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC), do transparentního materiálu PC (Lexan 923) se při vyhodnocení rázové zkoušky v ohybu se vrubová houževnatost snižovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Naopak při zkoušce tahem se mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentů zvyšovala. Při porovnání výsledných hodnot v obou případech bylo zjištěno, že oproti transparentnímu materiálu PC (Lexan 923) se fyzikální vlastnosti spíše zhoršili. Při vyhodnocení zkoušky tvrdosti (Shore D) se tvrdost snižovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Ale při porovnání výsledných hodnot tvrdosti se oproti transparentnímu materiálu PC (Lexan 923) fyzikální vlastnosti mírně zlepšili.

Z výsledků měření fyzikálních (mechanických) vlastností, bylo zjištěno po přidání modrého pigmentu (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC) do transparentního materiálu PC (Lexan 923) se při vyhodnocení rázové zkoušky v ohybu, vrubová houževnatost zvyšovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Při zkoušce tahem se mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentů taktéž zvyšovala. Při porovnání výsledných hodnot v obou případech bylo zjištěno, že oproti transparentnímu materiálu PC (Lexan 923) se fyzikální vlastnosti nepatrně zhoršili. Při vyhodnocení zkoušky tvrdosti (Shore D) se tvrdost snižovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Ale při porovnání výsledných hodnot tvrdosti se oproti transparentnímu materiálu PC (Lexan 923) fyzikální vlastnosti zlepšili.

Z výsledků měření fyzikálních (mechanických) vlastností, bylo zjištěno po přidání zeleného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC) do transparentního materiálu PC (Lexan 923) se při vyhodnocení rázové zkoušky v ohybu, vrubová houževnatost snižovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Naopak při zkoušce tahem se mez pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací pigmentů zvyšovala. Při vyhodnocení zkoušky tvrdosti (Shore D) se tvrdost zvyšovala s rostoucí koncentrací pigmentu. Při porovnání výsledných hodnot tvrdosti se oproti transparentnímu materiálu PC (Lexan 923) fyzikální vlastnosti zlepšili.

Z výsledků vyhodnocení smrštění (rozměrové stability) se ukázalo, že nejvýznamnější pokles dodatečného smrštění je s použitím červeného pigmentu (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC) u rozměru výšky zkušebního tělesa (osa z dle obr. 75). Naopak nejvýznamnější růst dodatečného smrštění je opět s použitím červeného pigmentu a to u rozměru šířky zkušebního tělesa (osa y dle obr. 75). Oba tyto rozměry jsou ve vedlejším směru toku taveniny, to znamená, že jsou kolmé na hlavní (přímý) tok taveniny. U rozměru délky zkušebního tělesa (osa x dle obr. 75), byl zaznamenán pokles smrštění v závislosti na hmotnostní koncentraci pigmentu a to u červeného, zeleného a modrého pigmentu. Tento rozměr zkušebního tělesa byl hlavní (přímý) ve směru toku taveniny. V závěru lze vyhodnotit, že smrštění (rozměrová stabilita) výšky a délky zkušebního se po přidání vybraných druhů pigmentů snižuje. Naopak u výšky zkušebního tělesa se zvyšuje.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] Rozdělení makromolekulárních řetězců [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)>
- [3] Vstřikovací cyklus [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW:  
<[https://www.google.cz/search?q=zn%C3%A1zorn%C4%9Bn%C3%AD+vst%C5%99ikovac%C3%ADho+cyklu&biw=1920&bih=974&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi1rfqBtavRAhUReVAKHUdkDpsQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=vst%C5%99ikovac%C3%AD+cyklus&imgcr=hbYi0Kq26ibm9M%3A](https://www.google.cz/search?q=zn%C3%A1zorn%C4%9Bn%C3%AD+vst%C5%99ikovac%C3%ADho+cyklu&biw=1920&bih=974&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi1rfqBtavRAhUReVAKHUdkDpsQ_AUIBigB#tbm=isch&q=vst%C5%99ikovac%C3%AD+cyklus&imgcr=hbYi0Kq26ibm9M%3A)>
- [4] SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2001, 145 s. ISBN 80-86229-15-7.
- [5] POTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter. Injection Molding – An Introduction Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 s. ISBN 1-56990193.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. a kol. Formy pro zpracování plastů, Díl I, Brno:UNIPLAST, 1999.
- [7] Reologie [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW:  
<[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika\\_pol/FP\\_02.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_02.pdf)>
- [8] ADAMEC, Lukáš. Návrh technologie výroby plastové páčky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 78 s., 5 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.
- [9] Pigmenty [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.upce.cz/fcht/uocht/spektrum/ktol-pigmenty.pdf>>
- [10] RYBNIKÁŘ, František. Analýza a zkoušení plastických hmot. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 418 s.
- [11] Mísení barevného koncentrátu [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html>>

- [12] Práškové lakování [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <[http://www.josef-matus-ik.cz/technologie/praskovelakovani/?utm\\_source=sklik&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=praskove-lakovani](http://www.josef-matus-ik.cz/technologie/praskovelakovani/?utm_source=sklik&utm_medium=cpc&utm_campaign=praskove-lakovani)>
- [13] Máčení a navalování [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/166/18.html>>
- [14] Duplexní povlaky [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.eurometal.cz/magazin/co-je-duplexni-system-detail-59>>
- [15] Kolorimetrie [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/542-zaklady-kolorimetrie>>
- [16] Systém barevnosti RGB [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/ZPG/00/6.pdf>>
- [17] Zkoušení mechanických vlastností [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <[http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3\\_2\\_\\_struktura-a-vlastnosti-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3_2__struktura-a-vlastnosti-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf)>
- [18] PTÁČEK, L. a kol.,: Nauka o materiálu I, Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001, 505 s.
- [19] TICHAVA, M.: Měření tvrdosti pryže a plastů v současném zkušebnictví: Technická zpráva VUGPT Zlín. Zlín, 1985.
- [20] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie: nauka o materiálu. Díl 1/1. 2. oprav. vyd. Praha: Scientia, 1999, 216 s. ISBN 8071831506.
- [21] Zkouška tvrdosti podle Brinella [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>>
- [22] BRZOBOHATÝ, T.,: Současné trendy v metodách měření tvrdosti, Brno, 2010, 32 s.
- [23] Průběh Rockwellovy zkoušky [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupný z WWW: <[http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/kom/tvrdost/rock1.jpg](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/tvrdost/rock1.jpg)>
- [24] SCHÄTZ, Miroslav a Petr VONDRÁČEK. Zkoušení polymerů. 2., přepr. a dopl. vyd. Praha: VŠCHT, 1988, 276 s

- [25] ČSN EN ISO 868. Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore). Praha: Český normalizační institut, 2003. 12 s
- [26] Technická norma: ČSN EN ISO 179 (640612)
- [27] KAŠTÁNEK, Otakar. Strojírenské materiály a technologie. Brno: VUT, 1979, 308s
- [28] Technická norma: ČSN EN ISO 527 (640604)
- [29] JARUŠEK, J. Metody zkoumání polymerů. 2. Vyd. Pardubice: VŠCHT, 1989. 105 s. ISBN 80-85113-01-5
- [30] Vstříkovací stroj [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW: <[https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_hydraulic\\_allrounders\\_680480\\_cz/#](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_hydraulic_allrounders_680480_cz/#)>
- [31] Sušička polymerního granulátu [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW: <<https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/prislusenstvi/>>
- [32] SLOVÁK, Patrik. Mechanické vlastnosti konstrukčních polymerů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2015. 60 s. Vedoucí bakalářské práce: Maňas David, doc. Ing. Ph.D.
- [33] Stroj pro tahovou zkoušku [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW:<<http://www.zwick.cz/cs/produkty/stroje-pro-staticke-zkouseni.html>>
- [34] Charpyho kladivo [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW:<<http://www.zwick.cz/cs/produkty/produkty-pro-razove-zkousky/razova-kladiva/razova-kladiva-hit-do-50-j.html>>
- [35] Měřicí portálový stroj [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z WWW:<<https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/bridge-type-cmms/contura.html>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Tažnost
$A_k$	Vrubová houževnatost
$A_n$	Rázová houževnatost
$A_s$	Plocha vytlačeného důlku
b	Šířka zkušebního tělesa
d	Aritmetický průměr délek obou změřených úhlopříček
D	Kulová výseč kuličky
$d_1$	Délka úhlopříčky 1
$d_2$	Délka úhlopříčky 2
$E_k$	Kinetická energie
$E_p$	Potenciální energie
F	Zatěžující síla
$F_A$	Vtlačovací síla pro Shore A
$F_D$	Vtlačovací síla pro ShoreD
g	Tíhové zrychlení
H	Hloubka vtisku
$H_A$	Hodnota tvrdosti pro Shore A
HBW	Hodnota tvrdosti podle Brinella
$h_k$	Tloušťka zkušebního tělesa
HR	Tvrdest podle Rockwella
HV	Tvrdesti podle Vickerse
$K_v$	Vrubový koeficient
L	Celková délka zkušebního tělesa
$L_0$	Počáteční délka zkušebního tělesa

---

$n$	Počet měření
$S$	Průřez zkušebního tělesa
$S_0$	Počáteční průřez zkušebního tělesa
$t_v$	Fáze vstřikování
$t_D$	Dotlaková fáze
$t_{pl}$	Fáze plastikace
$t_{chl}$	Ochlazovací fáze
$v$	Okamžitá rychlost
$W$	Deformační energie spotřebovaná k přeražení tělesa
$x_i$	Hodnota měřené veličiny
$Z$	Kontrakce
$S_J$	Jednotková stupnice
$\sigma_E$	Smluvní napětí
$\sigma_R$	Mez pružnosti
$\sigma_K$	Mez kluzu
$\sigma_{Kh}$	Horní mez kluzu
$\sigma_{Kd}$	Dolní mez kluzu
$\pi$	Ludolfovo číslo
$\tau_{xy}$	Smykové napětí
$\eta_o$	Newtonská kapalina
$\dot{\gamma}_{xy}$	Rychlost smykové deformace

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1</i> Stavební jednotka .....	13
<i>Obr. 2</i> Rozdělení polymerních materiálů vhodných ke vstřikování [1].....	13
<i>Obr. 3</i> Příklad aplikace termoplastů .....	14
<i>Obr. 4</i> Příklad aplikace reaktoplastů .....	15
<i>Obr. 5</i> Příklad aplikace elastomerů.....	15
<i>Obr. 6</i> Příklad aplikace termoplastických elastomerů .....	15
<i>Obr. 7</i> Tvary makromolekulárních řetězců .....	17
<i>Obr. 8</i> Znázornění vstřikovacího cyklu [3] .....	18
<i>Obr. 9</i> Znázornění vstřikovacího cyklu [4] .....	19
<i>Obr. 10</i> Schéma vstřikovací stroje [6] .....	20
<i>Obr. 11</i> Model reologického chování během smykového namáhání [7] .....	21
<i>Obr. 12</i> Toková křivka polyethylenu .....	22
<i>Obr. 13</i> Viskozitní křivka [8] .....	23
<i>Obr. 14</i> Pigmenty .....	24
<i>Obr. 15</i> Saze .....	26
<i>Obr. 16</i> Titanová běloba .....	27
<i>Obr. 17</i> Dávkování barevného koncentrátu .....	30
<i>Obr. 18</i> Granulovaný barevný koncentrát .....	31
<i>Obr. 19</i> Ruční nanášení nátěrové hmoty .....	32
<i>Obr. 20</i> Vzduchové stříkání .....	33
<i>Obr. 21</i> Práškové lakování .....	33
<i>Obr. 22</i> Možný princip nanášení nátěrové hmoty máčením [13] .....	34
<i>Obr. 23</i> Schéma navalování [13] .....	34
<i>Obr. 24</i> Výrobek opatřený duplexním povlakem .....	35
<i>Obr. 25</i> Aditivní mísení barev .....	37
<i>Obr. 26</i> Subtraktivní mísení barev [16] .....	37
<i>Obr. 27</i> Skládání základních barev [16] .....	38
<i>Obr. 28</i> Chromatický diagram CIE [16] .....	39
<i>Obr. 29</i> Různé způsoby zatěžování [17] .....	40
<i>Obr. 30</i> Zkouška tvrdosti dle Brinella [21] .....	43
<i>Obr. 31</i> Digitální tvrdoměr pro měření tvrdosti dle Brinella .....	44
<i>Obr. 32</i> Měření tvrdosti dle Vickerse [21] .....	45

<i>Obr. 33 Měření tvrdosti podle Rockwella [23]</i> .....	46
<i>Obr. 34 Tvrdoměr Shore A [25]</i> .....	47
<i>Obr. 35 Tvrdoměr Shore D [25]</i> .....	48
<i>Obr. 36 Charpyho kladivo [25]</i> .....	50
<i>Obr. 37 Zkušební těleso pro zjištění vrubové houževnatosti metodou Charpy [27]</i> .....	51
<i>Obr. 38 Zkušební tělesa pro zkoušku tahem [28]</i> .....	52
<i>Obr. 39 Tahová křivka [24]</i> .....	54
<i>Obr. 40 Možné využití PC (Lexan 923)</i> .....	58
<i>Obr. 41 Pigment 3620 F/PC</i> .....	59
<i>Obr. 42 Pigment 4842 F/PC</i> .....	59
<i>Obr. 43 Pigment 50009 F/PC</i> .....	60
<i>Obr. 44 Vstřikovací stroj [30]</i> .....	61
<i>Obr. 45 Sušička [31]</i> .....	61
<i>Obr. 46 Vrubovací zařízení [32]</i> .....	62
<i>Obr. 47 Zkušební těleso opatřené vrubem V (před provedením rázové zkoušky v ohybu a po provedení zkoušky)</i> .....	62
<i>Obr. 48 Upnuté zkušební těleso ve stroji pro tahovou zkoušku [32]</i> .....	63
<i>Obr. 49 Charpyho kladivo [34]</i> .....	64
<i>Obr. 50 Provedení rázové zkoušky v ohybu</i> .....	64
<i>Obr. 51 Tvrdoměr OMAG Affri ART 13</i> .....	65
<i>Obr. 52 Portálový měřicí stroj [35]</i> .....	66
<i>Obr. 53 Váha HELAGO HL – 2000i</i> .....	67
<i>Obr. 54 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)</i> .....	68
<i>Obr. 55 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)</i> .....	69
<i>Obr. 56 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu (červený pigment)</i> .....	69
<i>Obr. 57 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)</i> .....	70
<i>Obr. 58 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu (modrý pigment)</i> .....	70
<i>Obr. 59 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu</i>	

(modrý pigment).....	71
Obr. 60 Závislost vrubové houževnatosti na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	71
Obr. 61 Závislost maximální síly na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	72
Obr. 62 Závislost deformační energie na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	72
Obr. 63 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(červený pigment) .....	73
Obr. 64 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(červený pigment) .....	74
Obr. 65 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(červený pigment) .....	74
Obr. 66 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(modrý pigment).....	75
Obr. 67 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(modrý pigment).....	75
Obr. 68 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(modrý pigment).....	76
Obr. 69 Závislost meze pevnosti v tahu na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	76
Obr. 70 Závislost modulu pružnosti na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	77
Obr. 71 Závislost síly potřebné k přetržení na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	77
Obr. 72 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(červený pigment) .....	78
Obr. 73 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(modrý pigment).....	79
Obr. 74 Závislost tvrdosti (Shore D) na hmotnostní koncentraci pigmentu	
(zelený pigment).....	79
Obr. 75 Určení rozměrů zkušebního tělesa .....	80
Obr. 76 Vliv koncentrace pigmentu na smrštění šířky zkušebního tělesa.....	80



---

<i>Obr. 77</i> Vliv koncentrace pigmentu na smrštění výšky zkušebního tělesa .....	81
<i>Obr. 78</i> Vliv koncentrace pigmentu na smrštění délky zkušebního tělesa .....	81
<i>Obr. 79</i> Porovnání vrubové houževnatosti .....	82
<i>Obr. 80</i> Porovnání meze pevnosti v tahu .....	83
<i>Obr. 81</i> Porovnání tvrdosti (Shore D) .....	84

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Přehled organických pigmentů [9]</i> .....	25
<i>Tab. 2 Typy zkoušek dle Vickerse a rozsah použití [20]</i> .....	44
<i>Tab. 4 Rozměry zkušebních těles pro zkoušku tahem [29]</i> .....	53
<i>Tab. 5 Smíchání polymerního materiálu s pigmentem</i> .....	66
<i>Tab. 6 Hodnoty vstřikování</i> .....	67

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I.: Materiálový list - PC (Lexan 923)

Příloha P II.: Materiálový list – ČERVENÝ PIGMENT (LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ  
3620 F/PC)

Příloha P III.: Materiálový list – MODRÝ PIGMENT (LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009  
F/PC)

Příloha P IV.: Materiálový list – ZELENÝ PIGMENT (LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ  
4842F/PC)

## Příloha P I



### LEXAN™ Resin 923

### Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

LEXAN 923 is a low viscosity flame retardant, UV-stabilized grade, especially suitable for electrical applications.

TYPICAL PROPERTIES <sup>1</sup>	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
<b>MECHANICAL</b>			
Taber Abrasion, CS-17, 1 kg	10	mg/1000cy	SABIC Method
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	63	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	60	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	6	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	85	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2350	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	90	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2300	MPa	ISO 178
Hardness, H35B/30	95	MPa	ISO 2039-1
Hardness, Rockwell R	118	-	ISO 2039-2
<b>IMPACT</b>			
Izod Impact, unnotched 80°10°3 +23°C	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1801U
Izod Impact, unnotched 80°10°3 -30°C	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1801U
Izod Impact, notched 80°10°3 +23°C	60	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1801A
Izod Impact, notched 80°10°3 -30°C	10	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1801A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	60	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1791eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80°10°3 sp=62mm	11	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1791eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80°10°3 sp=62mm	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1791eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80°10°3 sp=62mm	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1791eU
Charpy impact, notched, 23°C	25	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 1792C
<b>THERMAL</b>			
Thermal Conductivity	0.2	W/m·°C	ISO 8302
CTE, 23°C to 80°C, flow	7.E-05	1/°C	ISO 11359-2

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards and prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.

(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER - THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (i) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

© 2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).

# Прілога P I



## LEXAN™ Resin 923

### Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

TYPICAL PROPERTIES <sup>1</sup>	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
<b>THERMAL</b>			
Ball Pressure Test, 125°C +/- 2°C	PASSES	-	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate B/50	140	°C	ISO 308
Vicat Softening Temp, Rate B/120	141	°C	ISO 308
HDT/Ba, 0.45MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	133	°C	ISO 75/Ba
HDT/Aa, 1.8 MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	122	°C	ISO 75/Aa
Relative Temp Index, Elec	130	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact	120	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact	125	°C	UL 746B
<b>PHYSICAL</b>			
Mold Shrinkage on Tensile Bar, flow (2) (5)	0.5 - 0.7	%	SABIC Method
Density	1.2	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/sat)	0.35	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.15	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 300°C/1.2 kg	21	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133
<b>OPTICAL</b>			
Haze, 2.54 mm	NA	%	ASTM D 1003
Refractive Index	NA	-	ISO 489
<b>ELECTRICAL</b>			
Volume Resistivity	>1.E+15	Ohm-cm	IEC 60093
Surface Resistivity, ROA	>1.E+15	Ohm	IEC 60093
Dielectric Strength, in oil, 3.2 mm	17	kV/mm	IEC 60243-1
Relative Permittivity, 1 MHz	2.7	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 50/60 Hz	0.001	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 1 MHz	0.01	-	IEC 60250
Comparative Tracking Index	225	V	IEC 60112
Relative Permittivity, 50/60 Hz	2.7	-	IEC 60250

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.  
(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupons. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.  
(6) Needs hard coat to consistently pass 90 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

**DISCLAIMER - THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.**

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).

## Příloha P I



### LEXAN™ Resin 923

#### Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

PROCESSING PARAMETERS	TYPICAL VALUE	Unit
<b>Injection Molding</b>		
Drying Temperature	120	°C
Drying Time	2 - 4	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	280 - 300	°C
Nozzle Temperature	270 - 290	°C
Front - Zone 3 Temperature	280 - 300	°C
Middle - Zone 2 Temperature	270 - 290	°C
Rear - Zone 1 Temperature	260 - 280	°C
Hopper Temperature	60 - 80	°C
Mold Temperature	80 - 100	°C

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.  
(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded articles.  
(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATIONAL WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).

## Příloha P II



LIFOCOLOR, s.r.o. Etna Roužky 1287/2627 00, Brno Česká republika

### Materiálový list

#### **LIFOCOLOR-CR-ČERVENÝ 3620 F/PC**

Doporučené dávkování v %	3,00 %
Doladěno do	PC LEXAN 141
Doladěno dle	předloha
Tepelná stálost pigmentů	300 °C
Svitelná stálost pigmentů (modrá stupnice)	8
Stálost na povětrnosti (šedá stupnice)	3
Obsahuje pigmenty na bázi Pb	Ne
Obsahuje pigmenty na bázi Cd	Ne
Obsahuje diarylové pigmenty	Ne
Fyzikální forma	Granulát
Balení	PE ventilové pytle á 25 kg
Odpovídá doporučení BfR IX	Ano

Dodávky se uskutečňují na základě Všeobecných dodacích podmínek (naleznete na [www.lifocolor.cz](http://www.lifocolor.cz)), pokud není písemně uvedeno jinak.

Telefon 548211388  
Fax: 548211386  
[info@lifocolor.cz](mailto:info@lifocolor.cz)  
[www.lifocolor.cz](http://www.lifocolor.cz)

Obchodní rejstřík: KS Brno  
Rg C 10529  
IČO 48528072  
DIČ CZ48528072

Bankovní spojení:  
UniCredit Bank Czech Republic and Slovakia a.s. - SWIFT: BAC  
č.ú. CZK: 5089052001/2700 - IBAN: CZ232700000005089052001  
č.ú. EUR: 5089052026/2700 - IBAN: CZ702700000005089052026

## Příloha P III



LIFOCOLOR, s.r.o. Ericha Roušky 1287/2627 00 Brno Česká republika

### Materiálový list

#### **LIFOCOLOR-CR-MODRÝ 50009 F/PC**

Doporučené dávkování v %	3,00 %
Doladěno do	PC LEXAN 141
Doladěno dle	předloha
Tepelná stálost pigmentů	290 °C
Svitelná stálost pigmentů (modrá stupnice)	7
Obsahuje pigmenty na bázi Pb	Ne
Obsahuje pigmenty na bázi Cd	Ne
Obsahuje diarylové pigmenty	Ne
Fyzikální forma	Granulát
Balení	PE ventilové pytle á 25 kg
Odpovídá doporučení BfR IX	Ano

Dodávky se uskutečňují na základě Všeobecných dodacích podmínek (naleznete na [www.lifocolor.cz](http://www.lifocolor.cz)), pokud není písemně uvedeno jinak.

Telefon 548211388  
Fax: 548211386  
info@lifocolor.cz  
www.lifocolor.cz

Obchodní rejstřík: KS Brno  
Rg. C 10529  
IČO 48528072  
DIČ CZ48528072

Bankovní spojení:  
UniCredit Bank Czech Republic and Slovakia a.s. - SWIFT: BAC  
č.ú. CZK: 6089052001/2700 - IBAN: CZ2327000000005089052001  
č.ú. EUR: 6089052028/2700 - IBAN: CZ7027000000005089052028



## Příloha P IV



LIFOCOLOR, s.r.o. Erička, Broučkovy 1287/2827 00, Brno Česká republika

### Materiálový list

#### **LIFOCOLOR-CR-ZELENÝ 4842 F/PC**

Doporučené dávkování v %	3,00 %
Doladěno do	PC LEXAN 141
Doladěno dle	předloha
Tepelná stálost pigmentů	290 °C
Svitelná stálost pigmentů (modrá stupnice)	8
Stálost na povětrnosti (šedá stupnice)	5
Obsahuje pigmenty na bázi Pb	Ne
Obsahuje pigmenty na bázi Cd	Ne
Obsahuje diarylové pigmenty	Ne
Fyzikální forma	Granulát
Balení	PE ventilové pytle á 25 kg
Odpovídá doporučení BfR IX	Ano

Dodávky se uskutečňují na základě všeobecných dodacích podmínek (naleznete na [www.lifocolor.cz](http://www.lifocolor.cz)), pokud není písemně uvedeno jinak.

Telefon 546211388  
Fax: 546211386  
[info@lifocolor.cz](mailto:info@lifocolor.cz)  
[www.lifocolor.cz](http://www.lifocolor.cz)

Obchodní rejstřík: KS Brno  
Rg. C 10529  
IČO 48528072  
DIČ CZ48528072

Bankovní spojení:  
UniCredit Bank Czech Republic and Slovakia a.s. - SWIFT: BAC  
č.ú. CZK: 5089052001/2700 - IBAN: CZ232700000005089052001  
č.ú. EUR: 5089052028/2700 - IBAN: CZ702700000005089052028