

Výroba vstřikovaných dílů a vliv recyklátu

Petr Létal

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr LÉTAL
Osobní číslo: T08901
Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Výroba vstřikovaných dílů a vliv recyklátu

Zásady pro vypracování:

Vypracujte bakalářskou práci na téma zpracování plastů technologií vstřikování ve vztahu k použití recyklovaného materiálu. V teoretické části věnujte zvláštní pozornost kopolymeru akrylonitril-butadien-styren a jeho chování při tepelné zátěži, dále pak procesu vstřikování s popisem jednotlivých technologií a nakonec způsobům hodnocení barevnosti plastových dílů. V praktické části nejprve popište stávající stav použití recyklátu ve výrobě firmy IACG, s.r.o. a cíle, kterých chcete v rámci řešení bakalářské práce dosáhnout. Samotný experiment poté směřujte k popisu vlivu recyklátu na procesní parametry a finální výrobky konkrétního vstřikovaného dílu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Polymery J. Mleziva, J. Šňupárek (2. přepracované vydání) ISBN 80-85920-72-7
(Sobotáles)

Vstřikování plastů Lubomír Zeman (1. edice 2009) ISBN 978-80-7300-250-3 (Ben)

Recycling and recovery of plastic Johannes Brandrup (Munich 1996) ISBN 3-446 18258-6

Další dle doporučení.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

1. června 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vlivem recyklátu na výrobky z kopolymeru akrylonitril-butadien-styren z hlediska optometrických vlastností. Na základě experimentálního ověření bylo stanoveno, že až 10% technologického odpadu lze opětovně využít při výrobě běžových interiérových dílů bez negativního dopadu na jakost výrobků a stabilitu celého vstřikovacího procesu.

Klíčová slova: ABS, recyklát, vstřikování, optometrie.

ABSTRACT

The Bachelor thesis focuses on the effect of recycled material on optics properties of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer parts. It is demonstrated that the material can be recycled up to 10 % having no negative influence on quality of the injection-molded parts and the stability of the process.

Keywords: ABS, recycled material, injection molding, optometry.

Děkuji panu Doc. Ing. Romanovi Čermákovi a Ing. Radku Víceníkovi za vedení a podporu při vypracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 ELASTOMERY	12
1.1.1 Kaučuky	12
1.2 PLASTY	12
1.2.1 Termoplasty.....	13
1.2.2 Reaktoplasty	13
1.3 METODY ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ	13
2 ABS	14
2.1 VÝROBA	14
2.1.1 Způsoby dispergace.....	14
2.1.1.1 Mísení	14
2.1.1.2 Roubování	15
2.1.2 Aditivace	15
2.1.2.1 Stabilizátory	15
2.1.2.2 Retardéry hoření	15
2.1.2.3 Koncentráty lubrikantů, činidel a antistatik	15
2.1.2.4 Barviva, pigmenty, optická zjasňovala	16
2.1.2.5 Plniva	16
2.1.3 Kompozitní slitiny, směsi, blendy.....	17
2.2 VLASTNOSTI ABS	17
2.3 ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ ABS	18
2.4 POUŽITÍ ABS.....	18
2.5 CHOVÁNÍ ABS PŘI TEPELNÉ ZÁTĚŽI	18
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	20
3.1 VSTŘIKOVÁNÍ (ZAŘÍZENÍ).....	20
3.1.1 Vstřikovací stroj	20
3.1.1.1 Vstřikovací jednotka	20
3.1.1.2 Uzavírací jednotka	21
3.1.2 Vstřikovací nástroj (forma)	22
3.1.3 Přídavné zařízení (periferie).....	22
3.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	23
3.3 SPECIÁLNÍ DRUHY VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
3.3.1 Technologie zastříkávání (in- mould)	25
3.3.2 Vstřikování plastů s asistencí plynu (GIT).....	25
3.3.3 Vstřikování plastů s asistencí vody (WIT).....	25
3.3.4 Dvou a více komponentní vstřikování	26
3.3.5 Vstřikování sendvičů.....	26
3.3.6 Vstřikování reaktoplastů	26
3.3.7 Vstřikování elastomerů	27
3.3.8 Reaktivní vstřikování (RIM).....	27
3.3.9 Vstřikování plastů procesem MuCell.....	27

4	RECYKLACE POLYMERŮ	28
4.1	ROZDĚLENÍ PLASTŮ DLE ZNEČIŠTĚNÍ:	28
4.2	PRIMÁRNÍ RECYKLACE	29
4.3	SEKUNDÁRNÍ RECYKLACE	29
4.4	TERCIÁLNÍ RECYKLACE	30
4.5	KVARTÉRNÍ RECYKLACE	30
5	ZKOUŠKY PLASTŮ	31
5.1	OPTOMETRIE, MĚŘENÍ BAREVNOSTI	31
5.1.1	Měřicí zařízení	32
5.2	MĚŘENÍ LESKU	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST	35
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	36
6.1	SOUČASNÝ STAV POUŽÍVÁNÍ RECYKLACE PLASTOVÉHO ODPADU, VZNIKAJÍCÍHO PŘI VÝROBĚ VE FIRMĚ IACG S.R.O.	36
6.2	STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	36
7	POUŽITÉ STROJE, ZAŘÍZENÍ.....	37
7.1	STROJ	37
7.1.1	Nástroj	38
7.2	ZAŘÍZENÍ.....	38
7.3	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	40
8	VÝROBA VZORKŮ	41
8.1	MĚŘENÍ	41
8.2	VÝSLEDKY MĚŘENÝCH A ZPRACOVANÝCH DAT	41
8.2.1	Výsledky měření parametru L*	42
8.2.2	Výsledek měření parametru a*	44
8.2.3	Výsledek měření parametru b*	46
8.2.4	Výsledek měření lesku	48
8.2.5	Výsledek vlivu obsahu recyklátu a počtu zpracování na výrobní proces	51
9	DISKUZE	53
9.1	DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ BAREVNOSTI	53
9.2	DISKUZE MĚŘENÍ LESKU	54
9.3	DISKUZE VLIVU OBSAHU RECYKLÁTU NA VÝROBNÍ PROCES	54
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

V práci se zabývám výrobou plastových produktů technologií vstřikováním a vlivem recyklátu na vybrané vlastnosti výrobků z hlediska jejich budoucího použití. V současnosti je toto odvětví stále rozvíjeno a zdokonalováno. Díky skvělým vlastnostem mají plasty rostoucí trend nahrazovat výrobky z tradičních materiálů. Negativním jevem tohoto rozmachu je plastový odpad vznikající při výrobě nebo po spotřebě výrobku. Řešením je rozšíření a větší využití jeho recyklace.

Hlavním cílem této práce je zjistit možnost použitelnosti recyklátu u výrobků z akrylonitril-butadien-styrenového kopolymeru u technologie vstřikování. Dále - jaký má vliv množství obsahu recyklátu na požadované vlastnosti produktu a jeho výrobní proces.

Tato práce je rozdělena na dvě základní části, teoretickou a praktickou. V teoretické části se věnuji základnímu rozdělení polymerů. Pak se soustřeďuji na samotný akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer, na jeho vlastnosti, složení, zpracování a chování při tepelné zátěži. V další kapitole se zabývám technologií vstřikování, ve které popisují vstřikovací stroj a jednotlivá zařízení, rovněž proces a speciální druhy technologie vstřikování. Poté následuje kapitola recyklace a zkoušky zaměřené na optometrii.

V praktické části definuji současný stav používání recyklace u konkrétní firmy zabývající se výrobou interiérů v automobilovém průmyslu. Uvádím cíle praktické části s ohledem na charakter využití daného výrobku. Věnuji se popisu stroje, zařízení a měřicím přístrojům, sloužícím běžné výrobě, kterých jsem využil pro praktickou část této práce. Dále se zabývám výrobou zkušebních vzorků, jejich měřeními a zpracováním dat. Následně analyzuji výsledky zpracovaných dat měření a výrobního procesu v závislosti na množství obsahu recyklátu. Na závěr shrnu základní problematiku celé práce a uvedu možnosti použití recyklátu s ohledem na požadovanou jakost konkrétního výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Velký rozvoj a rozšíření výroby polymerů nastal ve 20. století. Díky svým vlastnostem, snadné dostupnosti a výrobě, jsou v dnešní době hojně používané ve všech oblastech. [1] Polymery jsou chemické látky mnoha druhů a vlastností. Tvoří se v gigantických molekulách (řetězcích), molekuly se většinou skládají z atomů uhlíku, vodíku a kyslíku, často i jiných látek jako dusík, chlór, fluór a jiné. Polymery jsou prakticky v tuhém stavu, při zpracování mění stav na kapalný a dalším stádiem zpracování se opět mění jejich stav na tuhý, ale již v požadovaném tvaru. Pro zpracování se využívá zvýšené teploty a tlaku. Základní rozdělení polymerů viz tabulka 1: [2]

Polymery		
Elastomery	Plasty	
Kaučuky	Reaktoplasty	Termoplasty

Tabulka 1 Polymery [2]

1.1 Elastomery

Elastomery jsou velmi elastické polymery, které se snadno stabilizují na svůj původní tvar před deformací, způsobenou nízkým napětím. Elastomery se dále dělí na kaučuky (přírodní, syntetické) a výsledné produkty, například pryž (guma). [1]

1.1.1 Kaučuky

Kaučuky můžeme rozdělit do skupin dle specifických vlastností.

- **Všeobecné** - Butadienstyrenové (SBR), ethylenpropylénové (EPM),
- **Olejovzdorné** - Chloroprénové (CR), akrylátové (ACM),
- **Teplovzdorné** - Silikonové (MVQ), fluorouhlíkové (FPM) [2]

1.2 Plasty

Plasty jsou při běžných podmínkách tvrdé. Při zvýšené teplotě přechází do stavu plastického a snadného pro tvarování. Změna může být opakovatelná nebo nezvratná. Pokud je tato změna opakovatelná, jde o termoplasty. Pokud jde o změnu nevratnou, (vlivem chemické reakce a zvýšené teploty), nazýváme reaktoplasty. [1]

1.2.1 Termoplasty

Termoplasty se dále dělí na jednotlivé druhové podskupiny:

- **Polyolefiny:** polyethylen (PE), polypropylen (PP), kopolymer ethylenu s vinylacetátem (EVA).
- **fluoroplasty:** polytetrafluorethylen (PTFE)
- **Vinylové polymery:** polyvinylchlorid (PVC), polyvinylalkohol (PVAL), polyvinylacetát (PVAC).
- **Styrenové a akrylové polymery:** polystyren (PS), kopolymer styren-akrilonitril (SAN), kopolymer akrilonitril-butadien-styren (ABS).
- **Polyestery a polyethery:** polyethylentereftalát (PETP), polykarbonát (PC),
- **Polyamidy a polyuretany:** polyamid (PA), polyurethan (PUR) [1], [2]

1.2.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty dělíme na pryskyřice jednotlivých druhů.

- **Fenoplasty**
- **Pryskyřice** – epoxidové, furanové, polyesterové, silikonové [1], [2]

1.3 Metody zpracování polymerů

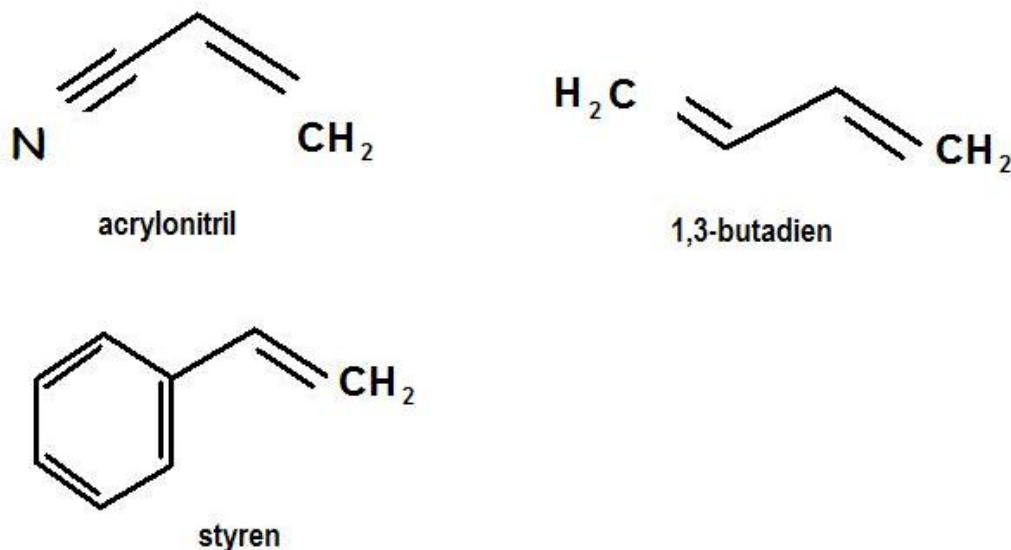
Polymery jsou zpracovávány různými metodami, jako jsou tváření, zpracování na lehčené hmoty, vlákna nebosa využívají v kapalném stavu. K jednotlivým metodám náleží různé technologie.

- **Tváření:** vstřikování, vytlačování, vyfukování, válcování, lisování
- **Zpracování na lehčené hmoty:** mechanické napěňování, lehčení chemickou reakcí
- **Zpracování polymerů na vlákna:** zvlákňování z roztoku, z taveniny, zvlákňování z plastického stavu
- **Zpracování polymerů v kapalném stavu:** máčení, natírání, odlévání, lepidla [2]

2 ABS

2.1 Výroba

Kopolymer ABS je kombinace monomerů, akrylonitril-butadien-styren. Ve srovnání s polystyrenem disponuje lepšími vlastnostmi, zejména chemickou odolností, houževnatostí a zachováním dostatečné tuhosti. Pouhým smícháním těchto tří homopolymerů se stávají směsi nevyhovujícími. Poměr obsahu monomerů se pohybuje v rozpětí 45 až 70 % styrenu, 10 až 30 % akrylonitrilu a 15 až 50 % butadienu. [1]



Obrázek 1 Strukturální vzorec ABS

Hlavní podmínkou výroby je příprava odděleného elastomerního podílu, převládajícího butadienu a ideální dispergace v kopolymeru styrenu s akrylonitrilem. Dispergaci můžeme provést dvěma způsoby, a to mísením a roubováním. [1]

2.1.1 Způsoby dispergace

2.1.1.1 Mísení

Dispergace mechanickým mísením butadien-akrylonitrilového kaučuku a kopolymerem styren-akrylonitrilem. Mechanické mísení se provádí v plastickém stavu v hnětačích nebo vytlačovacích strojích.

2.1.1.2 Roubování

Monomerní styren a akrylonitril se naroubuje na připravený elastomer a následně se smísí s kopolymerem styren-akrylonitrilem. Roubované polymery ABS mají z hlediska kvality lepší vlastnosti než polymery vyrobené mísením. Roubované polymery ABS vykazují lepší vlastnosti reologické, vzhledové, apod. Pro roubování se využívá suspenzní nebo emulzní technika. Emulzní technika je nejrozšířenější. [1]

2.1.2 Aditivace

Aditivace je úprava vlastností polymeru vhodnými přísadami (aditivy). Provádí se za účelem získání snadnější zpracovatelnosti nebo lepších užitných vlastností výrobků.

Aditivace se provádí již při výrobě samotného polymeru, při regranulaci (pokud došlo k úbytku aditiv předchozím zpracováním) nebo před zpracováním, a to mísením k panenskému polymeru. [3]

2.1.2.1 Stabilizátory

Stabilizátory rozdělujeme na termooxidační a UV stabilizátory.

- Termooxidační stabilizátory zlepšují odolnost proti termooxidačnímu stárnutí (znehodnocení polymeru vlivem působením vyšších teplot) a při zpracování prodlužují dobu použitelnosti při působení vyšších teplot.
- UV stabilizátory zamezují propouštění světla polymerem (vlnové délky 300 až 400 nm), které způsobuje jeho. [3]

2.1.2.2 Retardéry hoření

Retardéry hoření snižují hořlavost. Pro ovlivnění zpracovatelských a užitných vlastností je potřeba vyšších koncentrací retardérů v rozmezí 5-30 %. [3]

2.1.2.3 Koncentráty lubrikantů, činidel a antistatik

- Lubrikanty – upravují viskozitu taveniny, usnadňují odformování a mohou ovlivnit intenzitu lesku.
- Nukleační činidla – urychlují krystalizaci polymeru a umožňují zkrácení doby výrobního cyklu.
- Antistatika – snižují vznik elektrostatického pole. [3]

2.1.2.4 *Barviva, pigmenty, optická zjasňovala*

Pro požadovaný barevný odstín polymeru se používají barviva a pigmenty (v polymerech nerozpustné). Dle původu rozlišujeme barviva na organická, anorganická a bronzy ve formě kovových prášků. Jednotlivá barviva mohou mít vedlejší vlivy a působit jako nukleační činidla, tedy ovlivňovat zpracovatelské vlastnosti polymeru. Výrobci polymerů je mohou přidávat již při výrobě nebo ve formě barevných koncentrátů, což je rozšířenější způsob.

Barevný koncentrát se skládá z nosiče, který obsahuje 20 krát až 100 krát více pigmentů nebo barviv než původní granulát. Nosičem mohou být PE vosky, ale výhodnější je mít nosič stejného druhu polymeru. Barevné koncentráty, výrobci nabízí dle vzorníků (RAL,PANTONE, atd.) nebo podle individuálních potřeb zákazníků.

Požadavky na barviva jsou tepelná stálost, odolnost při zpracování, a to i při opětovném zpracování regenerátu. Anorganické pigmenty jsou tepelně stabilnější než organické, u kterých zpravidla mají nejnižší tepelnou stálost pigmenty červené a žluté barvy. Dále je potřebná odolnost povětrnostním podmínkám, UV záření a také světelná stálost a zdravotní nezávadnost výrobků.

Opticky zjasňující přísady (složky) se používají pro lepší vzhled přírodních, bílých a světle barvených polymerů, které způsobují pohlcení záření vlnových délek 320 až 400 nm a reemitují jej do oblasti s převážnou složkou modrého světla, jež potlačuje žlutost, a ve výsledku se tak pro lidské oko jeví jako bělejší. [3]

2.1.2.5 *Plniva*

Plniva jsou struktury dvou a více od sebe odlišných materiálů, základem je matrice – pojivo (polymer s aditivou) a plniva, která se dělí na částicová, vyztužující a nanoplňiva. Celkově se plniva používají pro zlepšení vlastností kompozitů, např. tvrdosti, tuhosti, tepelné odolnosti, vodivosti, ale také mohou mít i nepříznivé zpracovatelské vlastnosti.

- Částicová - například grafit, skleněné mikrokuličky, talek, práškové kovy apod. Obsah přibližně 1 až 60 %.
- Vyztužující - mají obvykle vláknitou strukturu (skelné, uhlíkové vlákna). Obsah 5 až 60 % s délkou od 0,2 - 10 mm

- Nanoplňiva - velikost částic (1 nm) obsah 3 až 7 % výrazně lepší vlastnosti než předchozí zmiňovaná plňiva. [3]

2.1.3 Kompozitní slitiny, směsi, blendy

Kompozitní slitiny jsou směsi dvou polymerních materiálů, využívající kombinaci jejich užitečných vlastností a jsou vhodné pro určité aplikace. Příklady nejpoužívanějších slitin jsou PC-ABS, PA-ABS, PMMA-ABS [3]

2.2 Vlastnosti ABS

ABS má lesklý a tvrdý povrch nevyžadující další potřebu úpravy, je neprůhledný z důvodu heterogenosti materiálu, barvou připomíná bílý vosk. ABS má nízkou molekulární hmotnost, což se promítá do ceny za objemovou jednotku, která je velmi přijatelná.

Polymer ABS má dobré mechanické vlastnosti. Pevnost lze zvýšit použitím plniv (skelná vlákna 20-40 %). ABS je snadno zpracovatelné. ABS má nízký elektostatický náboj a je odolný proti vybraným chemikáliím, (jako jsou hydroxidy, parafín a peroxid vodíku), vodným roztokům, anorganickým solí. ABS je také tvarově stabilní. [1], [3]

Houževnatost materiálu stoupá s množstvím obsahu gelů v butadienovém latexu, kterým je modifikován ABS. Se zvyšujícím se obsahem gelů stoupá rázová houževnatost, ale nadměrný podíl gelů je nežádoucí, protože způsobuje obtížnější zpracovatelnost. K vyššímu obsahu gelů, je nutné použít dostatečné množství antioxidantů (cca 1 %).

ABS má nižší odolnost proti povětrnosti a světelnému stárnutí, tuto nevýhodu lze kompenzovat zvýšením obsahu světelných stabilizátorů, absorbérů UV-záření a koncentrací černého pigmentu. [1]

Hustota	1,03 až 1,06	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Pevnost v tahu	32 až 50	MPa
Tažnost	15 až 30	%
Modul pružnosti v tahu	1900 až 2800	MPa
Tvrdość kuličkou 10 s.	80 až 120	MPa
Rázová houževnatost	70 až (neláme se)	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$

Tabulka 2 Vybrané vlastnosti polymeru ABS [1]

2.3 Způsoby zpracování ABS

Polymer ABS je dobře zpracovatelný všemi obvyklými technologiemi pro tváření termoplastů. Nejvíce používanou technologií je vstřikování (přibližně 55 %) při zpracovatelské teplotě 180 až 250°C, dále pak vytlačování profilů a desek (35 %) při teplotě 150 až 215°C a ostatní technologie (10 %). Výrobky z ABS jsou vhodné pro navazující technologie, jako jsou lepení, svařování a galvanické pokovení, kdy vzhled je zcela srovnatelný s kovy. Pokovením získávají vyšší pevnost, chemickou rezistenci (rozpouštědla) a tvarovou stálost za tepla, odolnost povětrnostním podmínkám a korozi. Těmito vlastnostmi převyšují galvanicky upravené ocelové součásti. [1]

2.4 Použití ABS

V současnosti jsou polymerní materiály snadno cenově. Díky jejich dobrým vlastnostem jsou zvláště vhodné pro technické aplikace. Často jsou používány jako vnitřní a vnější díly v automobilovém průmyslu. Například: interiéry či ozdobné pokovené mřížky masek. Využívají se také u domácích spotřebičů, telekomunikačních, elektroakustických a optických přístrojů, nábytku, v instalatérství (potrubí) a uplatňují se u mnoha dalších aplikací. [1]

2.5 Chování ABS při tepelné zátěži

Schopnost polymerů odolávat zvýšeným teplotám je v určitých oblastech využití jednou z rozhodujících vlastností. Můžeme rozlišovat tepelné zatížení krátkodobého nebo dlouhodobého charakteru. Tepelná odolnost polymeru není však vždy závislá na bodu tání nebo teplotě skelného přechodu. Tvarová stálost za tepla je vlastnost polymeru, která znamená zachovat si tvar i při zatížení deformujícími silami a působením tepla. Existují zkoušky tvarové stálosti za tepla (podle Vicata, Martense, nebo normy ISO R 75). Hodnoty tvarové stálosti za tepla u polymeru ABS dle Martanse = 75 °C, Vicata = 101°C, ISO R 75 = 91 °C. Při zahřívání polymeru dochází ke ztrátě modulu pružnosti, tedy ke změně fyzikálního stavu. Přitom může docházet i k chemickým změnám makromolekul, (štěpení řetězců, síťování, oxidacím a jiným chemickým reakcím neboli degradacím. [1] Účinkem tepla nastává rozrušení chemických vazeb, přičemž dochází ke změnám složení polymeru a jeho mechanických vlastností. K roztržení makromolekulárního řetězce dochází v místě nejslabší vazby. Rozlišujeme termickou degradaci (bez přístupu kyslíku), termooxidační (za působení kyslíku) v tomto případě nastává degradace při nižších teplotách. [5]

Chemické reakce v polymerech probíhají i při nízkých teplotách. Se stoupající teplotou jejich intenzita narůstá. Dlouhodobé působení při nízké teplotě je srovnatelné s krátkodobým zatížením vyšší teplotou. Při střídavém tepelném zatěžování mají polymery větší sklon k rozkladu než při konstantním zatížení. Některé druhy polymerů, k nimž patří i polymer ABS, nelze tepelně zpracovávat bez přísad stabilizátorů. Proti termooxidační degradaci je nutné použít antioxidanty, přerušovače řetězců, apod. [1]

Pracovní teploty pro polymer ABS z hlediska doby působení:

- Dlouhodobě (20000 h) může být vystaveno max. do 65°C
- Krátkodobě (200 h) může být vystaveno max. 75°C [1]

Polymery mohou být během své životnosti vystaveny dvěma degradačním etapám.

- První etapa je velmi krátká a intenzivní, která nastává při zpracování. [1], Příklad možného vzniku degradace u technologie vstřikování - jestliže je překročena teplota taveniny nebo abnormálně dlouho setrvává tavenina v tavicí komoře a v horkém vtokovém systému formy. Další příklad velké smykové namáhání vlivem vysokých otáček šneku v kombinaci s vysokým zpětným tlakem při plastifikováním. [4]
- Druhá etapa probíhá v pevném stavu polymeru (výrobku), kdy dochází k vnitřním termodynamickým nerovnovážnostem a vnějším vlivům, jako jsou okolní teplota, sluneční záření, kyslík, ozón, mechanická zatížení, apod. [1]

ABS je dvoudruhový polymer, v němž jsou částice roubovaného butadienu rozptýleny do kopolymeru Styrenakrilonitrilu. Degradace není velká při běžné pokojové teplotě kvůli omezené difuzi oxidů. Polybutadiénová složka se začíná rozkládat při teplotě 340 °C, styren při 350 °C a akrylonitril při teplotě 400 °C. Při tepelné degradaci ABS se uvolňuje amoniak a toxický kyanovodík v plynné fázi a dusíkaté sloučeniny v olejové frakci (které mohou vést ke korozi motorových částí, jestliže se využijí jako palivo), dále ke vzniku kyanovodíku a oxidů dusíku. [6]

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je metoda tváření plastů, kdy dochází ke vstříknutí polymerní taveniny vysokou rychlostí (pomocí tlakové komory vstřikovací jednotky) do uzavřené dutiny formy (nástroje). V ní tavenina ztuhne do tvaru požadovaného výrobku.

Technologie vstřikování je nejrozsáhlejší zpracovatelskou technologií tváření plastů.

Pomocí automatizace je tato výrobní technologie cyklická (diskontinuální), vysoce reprodukovatelná, vhodná pro velkoobjemovou výrobu. Běžná doba výrobního cyklu se pohybuje v rozmezí 5-60 vteřin, v závislosti na velikosti výrobku. Výrobky mají velmi dobrou tvarovou a rozměrovou přesnost. Mohou být vyrobeny jako finální produkt bez nutnosti dalšího opracování, dále jako polotovar k navazujícím technologiím nebo jako prvek montážního celku. Vstřikováním se mohou zpracovávat zcela všechny druhy termoplastů. Za určitých podmínek lze vstřikovat také některé druhy reaktoplastů a kaučukových směsí. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady na zařízení, které jsou v porovnání k ceně výrobku neúměrně velké. Také výroba nástrojů je zdlouhavá a nákladná z důvodů jejich výrobní náročnosti. [7]

3.1 Vstřikování (zařízení)

3.1.1 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se skládá ze dvou hlavních částí – vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky. Ve vstřikovací jednotce se převádí polymer z pevného stavu na taveninu a vstřikuje se do dutiny. V uzavírací jednotce je umístěna forma. Uzavírací jednotka slouží k uzavření formy a držení pod tlakem, aby nedošlo k pootevření formy při vysokých vstřikovacích tlacích. Dále otevírá formu, aby bylo možno vyjmout výrobek z její dutiny.

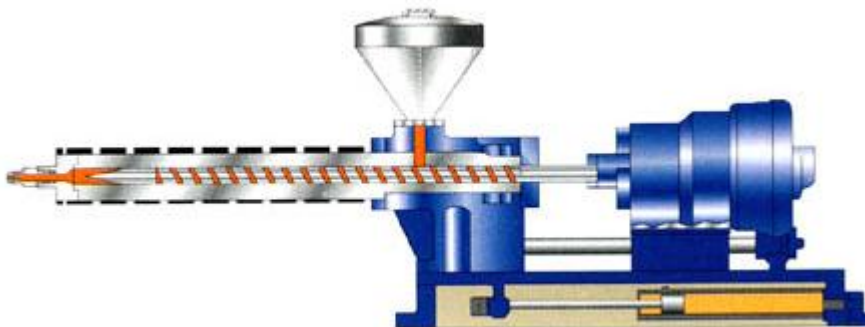
3.1.1.1 Vstřikovací jednotka

Podle konstrukce rozlišujeme tyto jednotky na pístové (v současnosti již zcela nepoužívané) a šnekové. Šneková vstřikovací jednotka (obr. 2) má dvě hlavní funkce – plastifikaci a vstřik. Popis plastifikace: Hrdlem násypky sestupuje polymer většinou ve formě granulí do šneku. Vlivem otáčení postupuje do tavné části, kde se přeměňuje na taveninu vlivem tepla vyhřívané komory a také třením v polymeru mezi šnekem a komorou. Dále tavenina postupuje do kompresní části, kde je vytlačována před čelo šneku a šnek posunován dozadu. Po naplastifikování určené dávky, se otáčení šneku zastaví a je

připraven ke vstřiku. Vstřik proběhne posunutím šneku směrem dopředu (bez otáčení) a dávka je tlačena přes trysku do dutiny formy.

Popis jednotlivých částí vstřikovací jednotky:

- **násypka** slouží jako malá předzásoba polymerního materiálu ke zpracování,
- **tavicí komora** slouží k tavení polymeru. Je vybavena topnými pásmi s regulací teploty. Zpravidla bývá rozdělena do několika zón, přičemž nastavené teploty jednotlivých zón vzestupně rostou ve směru od násypky po **trysku**, kterou je tavicí komora ukončena,
- **šnek** se nachází uvnitř tavicí komory. Šnek můžeme rozdělit na tři funkční zóny. První je dopravní (dávkovací). V ní je šnekový kanál nejhlubší a průměr jádra nejtenčí. Nachází se u ústí násypky. Další zóna je kompresní. Průměr jádra se postupně zvětšuje, tím dochází k velkému stlačování polymerního materiálu a k jeho největší přeměně na taveninu. Poslední zóna je hnětací. Hloubka šnekového kanálu je nejmenší a konstantní. Tavenina tu dosahuje ideálních vlastností pro zpracování. Zakončení šneku musí zkonstruováno tak, aby při vstřiku nedocházelo ke zpětnému protékání taveniny. Nejvýhodnější je jeho zakončení zpětným uzávěrem. [7]



Obrázek 2 Schéma vstřikovací jednotky [8]

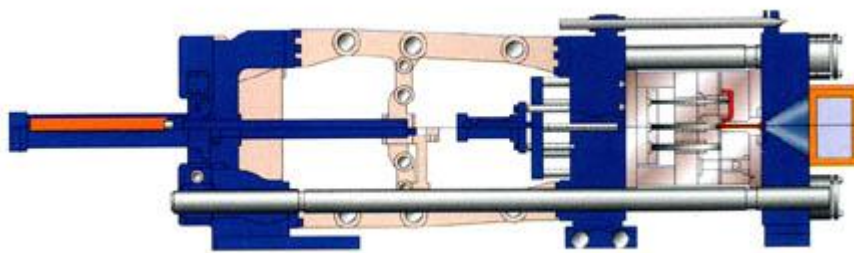
3.1.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka (obr. 3) slouží především jako nosič nástroje (formy), provádí otevírání, zavírání formy a její uzavření určitou silou proti pootevření při vstřikování. Uzavírací síla se běžně pohybuje v rozmezí 50-2000 kN (v závislosti na velikosti, násobnosti formy a druhu použitého polymeru). Konstrukční dispozice mezi uzavírací jednotkou a vstřikovací

jednotkou mohou být řešeny různými způsoby, nejčastější je horizontální, to znamená, že osa vstřikovací jednotky je rovnoběžná s osou pohybu uzavírací jednotky.

Popis jednotlivých částí uzavírací jednotky:

- **Opěrná deska nepohyblivá** (s otvorem pro trysku vstřikovací jednotky), na níž je upnuta jedna část formy,
- **opěrná deska pohyblivá s uzavíracím mechanismem**, na níž je upnuta druhá část formy. [7]



Obrázek 3 Schéma uzavírací jednotky s kloubovým mechanismem [8]

3.1.2 Vstřikovací nástroj (forma)

V dutině vstřikovací formy vzniká požadovaný tvar výrobku. Na základě požadavků na výrobek se určuje konstrukční řešení formy. Forma musí splňovat nároky na cyklickou výrobu, odolávat vysokým tlakům, opotřebení, korozi a mít tvarovou stálost po celou dobu své životnosti.

Forma se skládá z izolační desky, upínací desky, kotevní desky, tvarové desky - tvárníku a tvárnice (tvořící dutinu formy), vodicí a středící části, vtokového systému, temperačního a chladicího systému, vyhazovacího systému a dalších. [7]

3.1.3 Přídavné zařízení (periferie)

Pro plně automatický velkoobjemový provoz výroby vstřikováním je potřeba dalších periferních zařízení, souvisejících s materiálem, formou a strojem. Některé z periferií mohou být dodány výrobcem jako součást vstřikovacího stroje nebo dovybaveny později. [3]

Mezi přídavná zařízení patří:

- Sušicí zařízení slouží k odstranění vlhkosti z polymerů. Mohou být použité různé typy, například sušárny s cirkulací nebo oběhem ohřátého vzduchu (nebo navíc suchého vzduchu), podtlakové (vakuové) apod.
- Temperanční zařízení sloužící k udržení stabilní teploty formy je zpravidla vybaveno automatickou regulací teplot, průtoku a měření teploty formy.
- Zařízení pro dopravu materiálů ze zásobníků (sil) do sušáren a následně do násypek jednotlivých strojů zařízení pro dávkování. Nejrozšířenější je podtlakový systém. Skládá se z těchto částí: generátor podtlaku, systém ovládacích klapek, rozvodu hadic a potrubí, ovládací jednotka a nasávače.
- Zařízení pro dávkování (gravimetrické jednotky) slouží k dávkování aditiv, barviv a přísad k základnímu polymernímu materiálu. Druh dávkování může být objemový nebo hmotnostní.
- Mlýny pro přípravu drtě z vtokových zbytků pro opětovné zpracování.
- Separátory kovových částic se doporučují hlavně při zpracovávání drtě.
- Roboty sloužící k odebrání výstřiků, případně vtokových zbytků z formy, jejich výhoda spočívá v možnosti vykonávat další operace (např. ukládání a balení výrobků). Nejčastější typy robotů jsou tzv. tříosé nebo víceosé (kloubové).
- Dopravníky (pásové) slouží pro dopravu vtokových zbytků nebo samotných výrobků k obsluze.
- Zařízení pro vyhřívání horkých vtoků slouží k vyhřívání horkých vtoků, jejich regulaci a měření teplot.
- Zařízení pro chod a ovládání trysek horkých vtoků se využívá u řízeného vstřikování.
- Zařízení pro vstřikování s asistencí plynu je používáno k vytváření dutin ve výrobcích.
- Zařízení pro vstřikování s asistencí vody slouží k vytváření dutin ve výrobcích. [3]

3.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus můžeme rozdělit na úseky a jednotlivé fáze. Před započítáním cyklu musí být splněny tyto předpoklady: všechna zařízení připravená pro proces (v chodu), správně

nastavené parametry a vytemperovaná forma, tavicí komora a případně horký vtokový systém formy. Forma je otevřená, v dutině není výstřik výrobku, případně vtokové zbytky a jiné nečistoty. Výrobní dávka je neplastifikována. [7]

Z hlediska časového zaznamenávání strojem, začíná cyklus zavíráním formy. Pohyblivá část formy se přisune do těsné blízkosti nepohyblivé formy, dle konstrukčního řešení uzavíracího mechanismu se posuv uzamkne a vyvolá se uzavírací síla. Dochází k držení formy pod vysokým tlakem až do fáze těsně před otevřením, přitom velikost uzavírací síly musí být větší než tlak v dutině formy při vstřikování, aby nedošlo k pootevření formy, a tím ke snížení kvality výstřiku. Další pohyb vykoná vstřikovací jednotka přisunutím k formě (špička trysky vstřikovací jednotky dosedá na sedlo vtokového systému formy), vyvolá se přítlak vstřikovací jednotky k formě. [7]

Následuje úsek vstřikování, axiálním pohybem šneku v tavicí komoře je polymerní tavenina tlačena čelem šneku a přes trysku vstřikována vysokým tlakem a rychlostí (v řádech milisekund až několik vteřin) do dutiny formy. Po zaplnění dutiny nastává fáze dotlaku, který je potřebný k dodatečnému dotlačení taveniny, čímž se kompenzuje smrštění (zmenšení objemu taveniny v dutině), propadliny a staženiny vzniklé vlivem ochlazení. Dotlak se provádí pomocí zbytkové taveniny předělem šneku tzv. polštářem. Jeho objem by neměl být příliš velký (zpravidla 10 až 15 % vstřikovací dávky), aby nedocházelo k tepelné degradaci, jelikož je zbytkový materiál součástí další dávky. Dotlak má největší vliv na tvar, rozměry a hmotnost výstřiku. [7]

Chlazení je zpravidla nejdéle trvající fází výrobního cyklu při procesu vstřikování. Doba chlazení je závislá na tloušťce stěn výstřiku a teplotě formy. Při chlazení (po fázi dotlaku) může probíhat plastifikace další vstřikovací dávky s odsunem vstřikovací jednotky od formy.

Otevření formy: nejprve se uvolní uzavírací síla, forma se otevře a nastane vyhození výstřiku a k následnému odebrání. [7]

3.3 Speciální druhy vstřikování

Existují také speciální druhy vstřikování, které se odlišují od klasického například konstrukcí, použitými druhy materiálů, apod. [9]

3.3.1 Technologie zastříkávání (in- mould)

Principem této technologie je vložení polotovaru do dělicí roviny formy, kde je následně klasickým vstřikováním zastříknut. Běžně používané polotovary jsou textilní mřížky, plechy (využívané v automobilovém průmyslu jako oblast airbag zóny v přístrojové desce), kovové části (brusle, šroubováky) a podobně. [9]

3.3.2 Vstřikování plastů s asistencí plynu (GIT)

Vstřikování plastů s asistencí plynu slouží ke zhotovování výrobků s dutinou. Princip je velmi podobný klasickému vstřikování, navíc je ale do taveniny v dutině formy vtlačen plyn (dusík o čistotě 99,8 %). Forma musí být vybavena tryskou a vysokotlakým vedením. Rozlišujeme dvě techniky požití: **krátký vstřík** neboli dofukovací způsob, kdy je dutina zaplněna taveninou jen částečně (50-90 %) a následně tlakem plynu dotvarována, (tlak plynu tu působí jako dotlak), a **dlouhý vstřík**, při němž je plyn se vpouštěn do taveniny až po ukončení fáze dotlaku. Při vpouštění plynu do taveniny se otevírá odtok pro vytlačenou taveninu z dutiny tvořené plynem. Této technologii se využívá u většiny druhů termoplastů její výhodou je snížení hmotnosti a zkrácení doby chlazení (vlivem dutiny je výstřík tenkostěnný a má nižší nároky na chlazení).

3.3.3 Vstřikování plastů s asistencí vody (WIT)

Princip obdobný jako (GIT), ale místo plynu se zde používá voda. Po vytvoření dutiny je voda odsáta nebo vytlačena tlakovým vzduchem do zásobníku pro opětovné použití. U technologie WIT dochází k ještě intenzivnějšímu chlazení než u GIT, a tím je výrazně zkrácena doba cyklu. Touto metodou se vyrábí rozmanité tvary potrubí využívané u spalovacích motorů (vhodný materiál - PA). [9]

3.3.4 Dvou a více komponentní vstřikování

Tato technologie umožňuje aplikovat dva a více druhů materiálů na jednom výstřiku. Vstřikovací stroj musí být vybaven dvěma a více vstřikovacími jednotkami, které jsou na sobě funkčně nezávislé. Nejrozšířenější je metoda dvoukomponentní, - nejprve vystříknut první materiál, pak se výrobek přemístní do druhé pozice a vstřikuje se jiný materiál. Dispozice vstřikovacích jednotek mohou mít vůči sobě různou polohu (nejčastěji používaná je ve tvaru L). Jednotlivá překládání výstřiků mohou být řešena: rotací poloviny formy kolem osy, použitím šoupátek (jader) nebo robotem. Touto technologií se nejčastěji vyrábí rukojeti náradí, zubní kartáčky a podobně. [9]

3.3.5 Vstřikování sendvičů

Vstřikováním sendvičů se zhotovují výrobky ze dvou rozdílných, ale mísitelných materiálů. Výsledným produktem je výrobek s jádrem jednoho materiálu (recykláž) a skořepinou z materiálu s požadovanými vlastnostmi. Vstřikování je řízeno tryskou strojespojenou s dvěma vstřikovacími komorami. Nejprve se vstřikuje tavenina, která je určena pro skořepinu, následně se vstřikuje druhý materiál pro tvoření jádra výstřiku a na fázi dotlaku je opět použit první materiál k uzavření jádra. Proces je náročný na seřízení a odhad dávek jednotlivých materiálů, v tomto procesu se využívá laminárního proudění tavenin. [9]

3.3.6 Vstřikování reaktoplastů

Vstřikování reaktoplastů je princip zcela shodný se vstřikováním termoplastů. Reaktoplasty mají odlišnou viskozitu, nedochází k fázi chlazení, ale vytvrzování při teplotách 150-190°C. Reaktoplasty jsou plastifikovány při teplotách 45 až 115°C. Konstrukce kompresní části šneku musí být přizpůsobena tak, aby nedocházelo k velkému smykovému namáhání a předčasnému vytvrzování. Při zpracování reaktoplastů vznikají nežádoucí plyny. Pro efektivnější odvodu se využívá způsob pootevření formy při 80 až 95% objemu taveniny v dutině, pak je forma opět uzavřena a doplněna. [9]

3.3.7 Vstřikování elastomerů

Vstřikování elastomerů je založeno na stejném principu jako u reaktoplastů i s přibližně stejnými teplotami. Rozdíl spočívá v tom, že místo vytvrzování probíhá vulkanizace (zesíťování).

3.3.8 Reaktivní vstřikování (RIM)

U reaktivního vstřikování dochází ke vstříknutí kapalné směsi (monomerní a reakční) do uzavřené dutiny formy, kde proběhne polymerace materiálu. Díky nízké viskozitě směsi lze tuto technologii využít pro výrobu velkých dílů (například vany do koupelen). Používané materiály v reakční technologii jsou PUR a PA. [9]

3.3.9 Vstřikování plastů procesem MuCell

Principem této technologie je příprava polymerní taveniny v plastifikačním válci, do níž je vstřikován stlačený plyn (dusík nebo oxid uhličitý) ve formě super kritických fluidů (tz. chování jako kapalina a vysoká rozpustnost v polymeru) Po vstříknutí taveniny do dutiny formy a poklesu tlaku dochází k uvolnění plynových bublinek o rozměrech 5-50 mikrometrů a ty svým tlakem kompenzují dotlak. Výhodou je zejména dobrá dostupnost potřebných plynů, přičemž oxid uhličitý dosahuje superkritických podmínek již při teplotě 31°C a tlaku 73 barů. Touto technologií dosáhneme ve srovnání s klasickým vstřikováním výrazné snížení hmotnosti výrobku, vyšší tuhosti, tvarové a rozměrové stability a vysoké jakosti povrchu. Technologie MuCell má nižší náročnost na uzavírací sílu a zkrácení výrobního cyklu. [9]

4 RECYKLACE POLYMERŮ

Vlivem neustálého uplatnění polymerů ve všech odvětvích narůstá množství plastového odpadu, a stává se tak závažným problémem pro životní prostředí. Z celkového objemu odpadu tvoří plasty 10 až 20 %. Je to hlavně důsledkem krátkého životního cyklu a nízké degradovatelnosti většiny plastových výrobků (hlavně obalů na jedno použití).

Z hlediska spotřeby energie pro výrobu srovnatelných výrobků (papír, kov, sklo), mají plasty o 10 až 80 % nižší energetickou náročnost, také míra znečištění vod a ovzduší při výrobě je několikanásobně nižší. Při srovnání hmotnosti obalů z plastu a skla je také důležitá úspora nákladů na paliva nutná pro dopravu zboží.

Jednou z cest snižování plastového odpadu je vývoj biopolymerů a snadno degradovatelných polymerů, což může nahradit jen určitou část dnešní produkce. Proto je nutné využít recyklace plastů přeměnou odpadu na další výrobky. V současnosti není recyklace dostatečně rozšířená, například z důvodů složitého třídění, separace odpadu a zatím malého trhu výrobků z recykláže. [1]

4.1 Rozdělení plastů dle znečištění:

Nyní se budu zabývat rozdělením plastů podle jejich znečištění a druhu. Rozeznáváme plasty jediného druhu, vícedruhové a pak uvedené plasty s různým typem znečištění.

- Plasty jediného druhu neznečištěné

Plasty jediného druhu neznečištěné jsou takové plasty, které se vyznačují jedním druhem polymeru a nejsou znečištěné jiným odpadem. Tyto plasty mohou být využity k opětovnému zpracování ve stejném procesu. Jedná se například o vtoky při vstřikování.

- Plasty jediného druhu kontaminované

Plasty jediného druhu kontaminované, (znehodnoceny). Tyto plasty nemohou být využity k opětovnému zpracování, ale dalším zpracováním mohou být vhodné pro jiné konečné aplikace.

- Více druhové plastové odpady známého složení

Jedná se o druhy plastů, u nichž známe jejich složení. Jsou to směsi plastů neobsahující neplastové kontaminanty.

- Směsné plastové odpady smíšené s komunálním odpadem

Směsné plastové odpady smíšené s komunálním odpadem je nutné třídit pomocí různých metod, jako je promývání, prosévání, ruční třídění, magnetická separace a podobně. [1]

4.2 Primární recyklace

Primární recyklace je určena pro plasty jediného neznečištěného druhu, patří také k nejsnadnějším, a tím i k nejlevnějším typům recyklace. Využívá se přímo ve výrobní továrně. Recyklovaný odpad je přidáván k originálu za podmínky zachování požadované kvality výroby nebo je určen jako druhořadý pro výrobky s nižšími nároky na kvalitu.

Je potřeba brát zřetel na to, že při zpracovávání může docházet k nepříznivým procesům, jako jsou chemické reakce, které mohou ovlivnit fyzikální vlastnosti plastu. Při vytlačování dochází k výraznému poškozování polymeru mechanickým štěpením polymerních řetězců. Další vlivy, které mohou působit, jsou zvýšená teplota, ultrafialové záření, atd.. Degradaci recyklovatelných plastů pro opětovné zpracování lze restabilizovat vhodnými příměsemi, a to fenolickými nebo fosfitovými antioxidanty. Jejich množství bývá i desetinásobně vyšší než u původního materiálu. [1]

4.3 Sekundární recyklace

Sekundární recyklace se využívá pro odpady o obsahu více druhů plastů a různé kontaminace. U tohoto druhu odpadu můžeme dle zamýšleného záměru dalšího zpracování využít dvě metody.

U první metody oddělujeme plasty od kontaminantů, a poté roztřídíme na jednotlivé druhy plastů. K jejich separaci se hodí metody hojně využívající rozdílu hustot materiálů, jako jsou fluidní separace vzduchem pro pěny, kapalinou pak pro plasty různé hustoty. Tato metoda je nevhodná pro plasty s plnivou nebo pro ty, které jsou kontaminovány lepidly měnícími jejich původní hustotu. Pro odstranění lepidel (z PETP) se využívá kryogenní drcení, při němž lepidla zmrznou do formy lehce odstranitelného prášku. Kryogenní metodou se zpracovávají i ojeté pneumatiky. Velký význam má třídění plastového odpadu pomocí rozpouštědel, při kterém snadno odfiltrujeme nerozpustné kontaminanty a následným zchlazením nebo vhodným srážedlem vznikne výsledný produkt v podobě prášku nebo granulí.

Druhá metoda spočívá v roztavení a oddělení kontaminantů. Vzniklé polymerní směsi (blends) mají špatné mechanické vlastnosti vlivem rozdílného chemického složení. Termodynamickou nemísitelností rozdílných polymerů vznikají vícefázové systémy. Přijatelných vlastností směsi lze dosáhnout:

- úpravou poměrů jednotlivých polymerů ve směsi,
- pomocí vhodných aditiv pro lepší kompatibilizaci fází,
- přidáním nepolymerních komponent (plniv – vlákna, piliny). [1]

4.4 Terciální recyklace

Při terciální (chemické) recyklaci dochází k rozkladu polymerního materiálu na nízkomolekulární látky (monomery) vhodné k opětovné polymeraci nebo k výrobě paliv a chemikálií.

Depolymerace je rozklad polymerních řetězců na jednotlivé monomery vlivem vyšší teploty. Je vhodná především pro polymery PMMA, PTFE. Probíhá při teplotě 400–500 °C, uvolňuje se čistý monomer, použitelný k opětovné polymeraci.

Pyrolýza je definována jako dekompozice polymerů při působení vyšších teplot bez přístupu kyslíku. Touto metodou mohou vzniknout plynné, kapalné i pevné fáze polymerů. Závisí to na reakčních podmínkách a vstupním materiálu. Pyrolýzu u polyolefinů dělíme na nízkoteplotní, která probíhá při teplotě 400 až 600 °C a dochází během ní k uvolňování uhlovodíků, a vysokoteplotní, probíhající za teploty 1100 až 1600 °C, při níž se uvolňuje methan.

Gasifikace neboli zplyňování je technologie, kterou se odpadní plasty zpracovávají na plyn. Probíhá při teplotě 1300 - 1500 °C a jeho produktem je syntézní plyn.

Hydrogenace je způsob, při kterém se z odpadních plastů získávají oleje, a to při teplotách 500 °C a tlaku 40 MPa. [1]

4.5 Kvartérní recyklace

Kvartérní recyklace spočívá v přeměně plastového odpadu na energetický obsah spalováním a využitím vznikajícího tepla. Z ekologického hlediska je tato recyklace nepřijatelná z důvodů znečištění ovzduší. Řešením je čisté energetické spalování dosažené vhodným spalováním a čištěním vznikajících spalin. Některé země tímto způsobem zpracovávají až 80% komunálního odpadu. [1]

5 ZKOUŠKY PLASTŮ

Zkoušky plastů můžeme rozdělit dle charakteru požadovaných vlastností, například:

- zkoušky mechanických vlastností
- zkoušky vlivu prostředí
- zkoušky elektrických vlastností
- zkoušky odolnosti tepla a hoření
- **zkoušky optometrických vlastností**

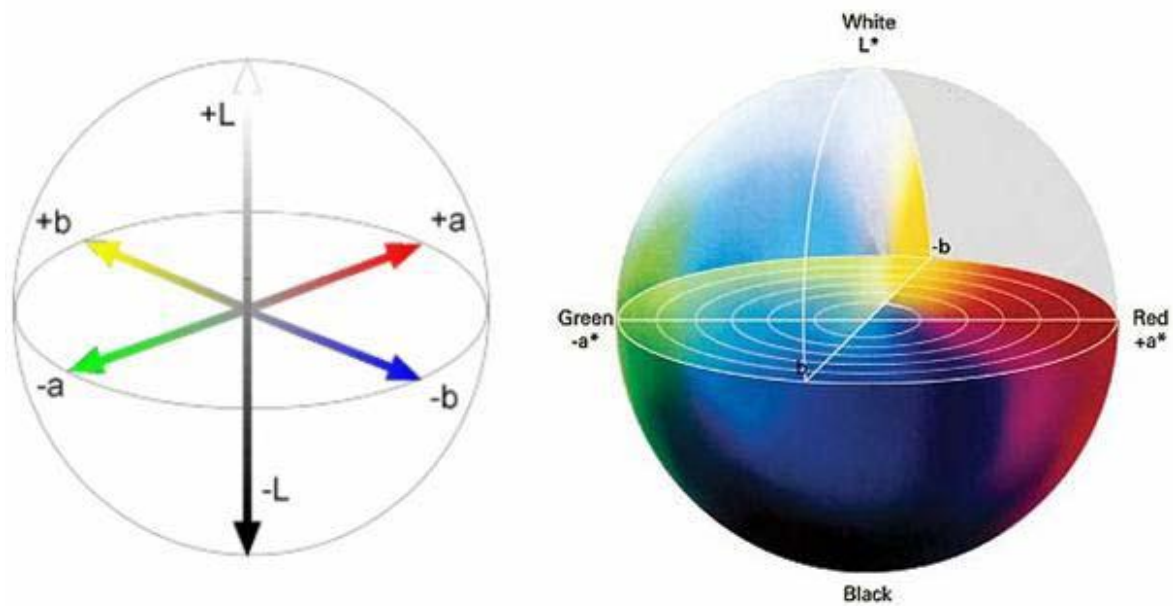
Z hlediska zaměření své práce se budu v této části zabývat hlavně optometrickými zkouškami.

5.1 Optometrie, měření barevnosti

Měření barevnosti lze popsat třemi parametry, a to odstínem, sytostí a jasem. Odstín, neboli barevný tón, je přiblížení k určité spektrální barvě (zelená, modrá, žlutá a červená). Sytost je definována relativním obsahem intenzity světla v porovnání k jeho celkové intenzitě. Barvy s nejvyšší čistotou, které vyzařují záření jen jedné vlnové délky, se nazývají monochromatické. Jas vystihuje velikost obsahu světla odraženého od měřeného vzorku.

Pro nejsnadnější představu popisu třemi parametry lze barvu popsat jako bod v prostoru tříosého pravoúhlého souřadnicového systému navrženého Mezinárodní komisí pro osvětlení (1976), který je rovněž nejrozšířenější CIELAB L^* a^* b^* . Na obrázku 4 je znázorněn pravoúhlý souřadnicový systém tvořen třemi osami. L^* vyjadřující jas, osou a^* zobrazující barvu červenozelenou a osou b^* zobrazující barvu žlutomodrou.

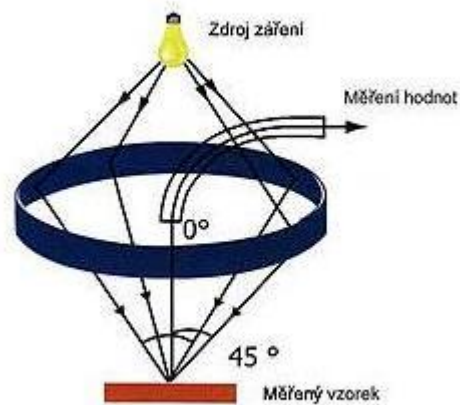
Ve výrobním odvětví není zcela nutné znát souřadnice daného výrobku, ale spíše jeho odchylku od určeného vzoru nebo vzorníku barev (například RAL). Odchylka (ΔE) vyjadřuje rozdíl mezi porovnávanými parametry. Výpočet ΔE vyjádříme vztahem určujícím nejkratší rozměr souřadnic, mezi vzorem a měřeným výrobkem v barevném prostoru. Graficky lze vyjádřit odchylku v prostoru toleranční koulí nebo elipsoidem. [10]

Obrázek 4 Zobrazení barevného prostoru dle CIELAB L^* a^* b^* [10]

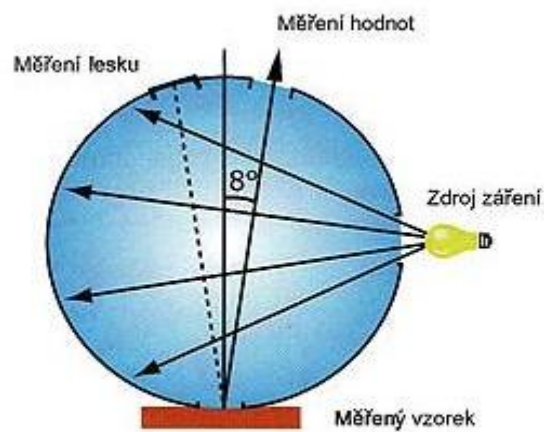
5.1.1 Měřicí zařízení

Měření realizujeme odrazovým spektrofotometrem, kdy se měrná hlavice přístroje přiloží k měřenému povrchu. Pro měření je ideální takové prostředí, v němž nejsou žádné světelné zdroje, které by mohly mít vliv na měření při nedokonalém kontaktu hlavice s povrchem. Měřený povrch je ozářen světelným zdrojem přístroje, následně dochází k zachycení celého rozsahu vlnových délek (400 – 700 nm v 10nm intervalech) pomocí fotodetektoru a ke stanovení tzv. remisní křivky. Pro každou barvu je charakteristická určitá křivka. Ta se pomocí algoritmů převádí na souřadnice v barevném prostoru a odchylky ΔE .

Přístroje pro měření barevnosti rozlišujeme podle geometrie měření. V geometrii $45^\circ/0^\circ$ (obr. 5) na měřený povrch dopadají paprsky světelného zdroje pod úhlem 45° a odražené světlo od povrchu je snímáno pod úhlem 0° . Tento typ geometrie je ovlivněn intenzitou lesku nebo strukturou povrchu, a tak není příliš vhodný pro lesklé povrchy. Další typ geometrie ($D/8^\circ$) využívá difúzně rozptýlené světlo a snímá je pod úhlem 8° od kolmice povrchu (obr. 6). Tato geometrie je vhodná pro lesklé povrchy nebo pro povrchy se strukturou. [10]



Obrázek 5 Schéma principu měření barevnosti[10]

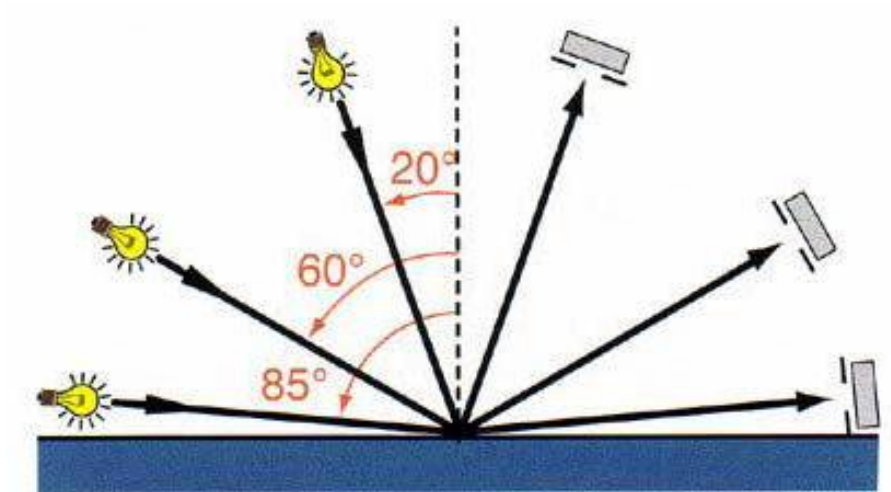


Obrázek 6 Schéma geometrie měření (D/8°)

5.2 Měření lesku

Míra lesku lze určit jako poměr mezi dopadajícím a odraženým zářením. Měření lesku je založeno na principu měření intenzity odraženého záření s různou geometrií, u běžných přístrojů bývá geometrie nastavitelná (20°, 60° a 85°) viz (obr 7). Vyhodnocený lesk je vyjádřen v jednotkách (GU), přičemž 100 GU odpovídá úrovni černého lesklého skla o indexu lomu 1,567. To znamená, že u velmi lesklých povrchů s vysokým indexem lomu je možné naměřit hodnoty GU až 2000. Pro první měření je doporučeno použít geometrii 60° s výsledným leskem přibližujícím se hodnotám 10 – 70 GU. Pokud je lesk vyšší než 70

GU, pak je doporučeno aplikovat geometrii 20° . Naopak u matných povrchů s nižším leskem než 10 GU je využívána 85° geometrie. [10]



Obrázek 7 Geometrie přístrojů pro měření lesku[10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

6.1 Současný stav používání recyklace plastového odpadu, vznikajícího při výrobě ve firmě IACG s.r.o.

Ve firmě IACG s.r.o. je v současnosti recyklace plastového odpadu využívána pouze u technologie vstřikování, a to u výrobků z polymeru ABS, bez zvýšených požadavků na jakost povrchu. Při výrobě dílů vstřikováním vzniká jednodruhový čistý odpad ve formě vtoků nebo neshodných dílů (nedostříknutý díl, apod.). Tento odpad je částečně zpracováván interně na drť mlecími mlýny dle dovolujících kapacit. Zbývající část odpadu je zpracovávána externí firmou na regranulát. Recyklát je používán u nepohledových výrobků, které obsahují 20 % recyklátu, dále u výrobků z kopolymeru styren-maleinanhydrid (SMA). Firma používá regranulát v množství 10 %, který nakupuje. Výrobky z materiálu SMA jsou konstrukčního charakteru.

6.2 Stanovení cílů praktické části

Cílem praktické části této práce je zjistit limity použitelnosti množství recyklátu u konkrétních výrobků. Výrobky mají z hlediska kvality vysoké požadavky na vizuální jakost povrchu a optometrické vlastnosti z hlediska barevnosti a lesku. Jednotlivé díly jsou vyráběny z materiálu ABS s určeným obsahem barviva.

V této části se budu zabývat výrobou jednoho z těchto dílů, s rozdílným množstvím recyklátu o obsahích (0 %, 10 %, 30 %, 50 %, 100 %) a počtu 1-5 krát opětovného zpracování (z recyklování). Vyrobené vzorky budu vyhodnocovat pomocí interních norem a měřit standardními přístroji používanými ve firmě IACG s.r.o. Zpracování zjištěných dat provedu pomocí programů Microsoft Word a Microsoft Excel do podoby tabulek a grafů.

7 POUŽITÉ STROJE, ZAŘÍZENÍ

V této kapitole popisuji jednotlivé stroje a zařízení, pomocí nichž jsem vyráběl a měřil vzorky, které jsem použil pro vypracování praktické části bakalářské práce. Tyto stroje a zařízení jsou běžně využívány ve firmách, jež se zabývají výrobou vstřikováním.

7.1 Stroj

Pro výrobu jednotlivých dílů jsem použil vstřikovací stroj Engel Victory 500/150 TECH (obr. 8), který je vybaven tříosým robotem pro odebrání výrobků z formy, což umožňuje plnou automatizaci výroby. Tento stroj je dále vybaven řídicím systémem CC220 s dotykovou obrazovkou pro snadné zobrazení, programování a nastavování procesů.



Obrázek 8 Engel Victory 500/150 TECH

7.1.1 Nástroj

Forma výrobku „DVD Deckel“ použita v praktické části práce pro výrobu vzorků. (obr. 9).



Obrázek 9 Nástroj - vstřikovací forma výrobku

7.2 Zařízení

Pro kompletní zabezpečení výroby bylo potřeba využít periferních zařízení, která nejsou součástí vstřikovacího stroje. Tato zařízení jsou:

- Gravimetrická jednotka (obr. 10) pro přesné dávkování vstupujícího materiálu do plastifikační jednotky.



Obrázek 10 Gravimetrická jednotka - Motan GC 60 M-O-Z

- Mlecí mlýn (obr. 10) určený pro zpracování vtoků vznikajících při výrobě, nebo pro výrobky menších rozměrů.



Obrázek 11 Mlecí mlýn - Piovan RSP15/23

- Sušicí a dopravní zařízení (obr. 12) pro jednotlivé druhy polymerních materiálů ve formě granulí. Zde se suší jednotlivé polymerní materiály na požadovanou teplotu a dále se dopravují ke gravimetrickým jednotkám.



Obrázek 12 Sušicí a dopravní zařízení - Motan MDX 1200

7.3 Měřicí přístroje

Pro zjištění výsledků jsem využil následující měřicí zařízení:

- Přístroj pro měření barevnosti (obr. 13) Konica Minolta Spektrofotometr CM 2500c, který vyhodnocuje parametry $L^*a^*b^*$



Obrázek 13 Spektrofotometr CM2500c

- Měřicí přístroj pro měření lesku BYK (obr. 14)



Obrázek 14 Leskoměr - Microgloss 60°

8 VÝROBA VZORKŮ

Výroba vzorků proběhla pomocí nástrojů a zařízení, které jsem popsal výše.

Postup výroby

Nejprve jsem zkontroloval stroje a zařízení, poté došlo ke kontrole sušení materiálu na požadovanou teplotu při minimální délce doby sušení doporučenou výrobcem. Na stroj byl nasazen nástroj (forma), který byl připojen k zařízením zabezpečujícím požadovanou provozní teplotu. Poté proběhla temperace stroje s nástrojem. Následně byla kalibrována gravimetrická jednotka pro daný materiál.

Průběh samotné výroby

Nejdříve jsem vyrobil standardní díly bez recyklátu, určené pro rozemletí na recyklát pro série vzorků s recyklátem. Následovala výroba jednotlivých sérií o počtu minimálně 52 kusů v tomto pořadí. Díly o obsahu 0 % recyklátu, 10 % recyklátu (s opakováním 1-5 krát recyklované), dále 30, 50 a 100 % obsahu recyklátu, taktéž s 1 až 5 krát recyklované. Jednotlivé série byly označeny třemi informacemi a odděleny symbolem podtržítka “_”, a to následovně: množství obsahu recyklátu v % _, pořadí měřeného vzorku v sérii _, počet opětovného zpracování, například: 10%rec_(21)_3x.

Výroba vzorků probíhala při standardním nastavení výroby, tzn. výroby určené pro zákazníka. Po celou dobu výroby byla zaznamenávána data procesu všech výrobních cyklů pro další zpracování a vyhodnocení. V průběhu výroby nebylo třeba zasahovat do nastavení parametrů.

8.1 Měření

Měření jsem provedl dle standardních interních postupů. Z každé vyrobené série byly měřeny vzorky o počtu 5 kusů a ve stejném pořadí (11., 21., 31., 41., 51.). Měřicí přístroje byly certifikované dle normy požadované zákazníkem a s platnými kalibracemi. Přístroj pro měření barevnosti vyhodnocoval data z aritmetického průměru pěti měření, u přístroje měřícího lesk byl vypočten aritmetický průměr ze tří měření.

8.2 Výsledky měřených a zpracovaných dat

Všechna data měření byla zaznamenávána do tabulkového editoru Microsoft Excel. Pomocí funkcí editoru jsem data zpracoval do grafů.

Při první analýze výsledků měření byly prokázány změny hodnot barevnosti vlivem zvýšení obsahu recyklátu. Pro ověření, zda tuto změnu způsobuje samotné barvivo nebo polymer, jsem se rozhodl provést experiment výroby a měření stejné série bez přídavku barviva. Kvůli časové náročnosti jsem vyrobil 2 sady sérií, a to série s 0% obsahem recyklátu a série s největší změnou měřených hodnot, a to u obsahu 100 % recyklátu.

V tabulce 3 jsou zobrazeny nominální hodnoty a jednotlivé tolerance zadáné zákazníkem. Pokud se hodnoty pohybují v toleranci IO a b,IO, pak jsou tyto hodnoty vyhovující, hodnoty pohybující se v intervalech NIO jsou nevyhovující.

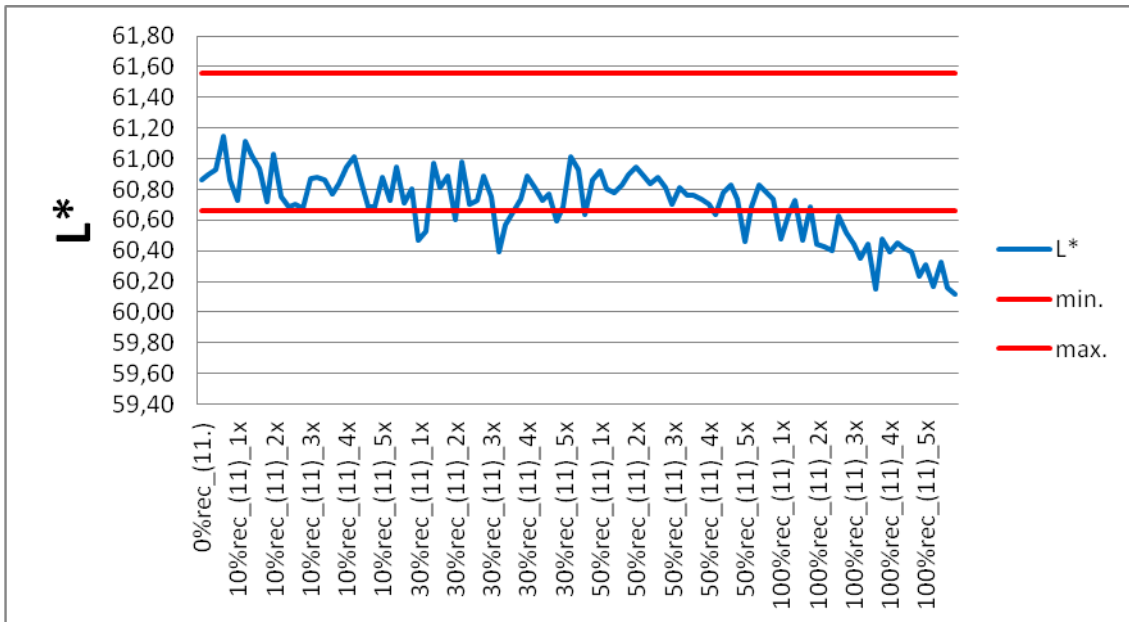
Muster/ vzor		D65			lesk
		L*	a*	b*	
STD Hell Beige 32/1792/02 K31 (nominal)		61,11	4,62	14,76	2,8
Tolerance barva		dL*	da*	db*	
	IO	$0 \pm 0,35$	$0 \pm 0,25$	$0 \pm 0,25$	
	b.IO	$0 \pm 0,45$	$0 \pm 0,35$	$0 \pm 0,35$	
	NIO	$> \pm 0,45$	$> \pm 0,35$	$> \pm 0,35$	
Tolerance lesk	IO				$\pm 0,3$
	NIO				$> \pm 0,3$

Tabulka 3 Nominální hodnoty a tolerance

8.2.1 Výsledky měření parametru L*

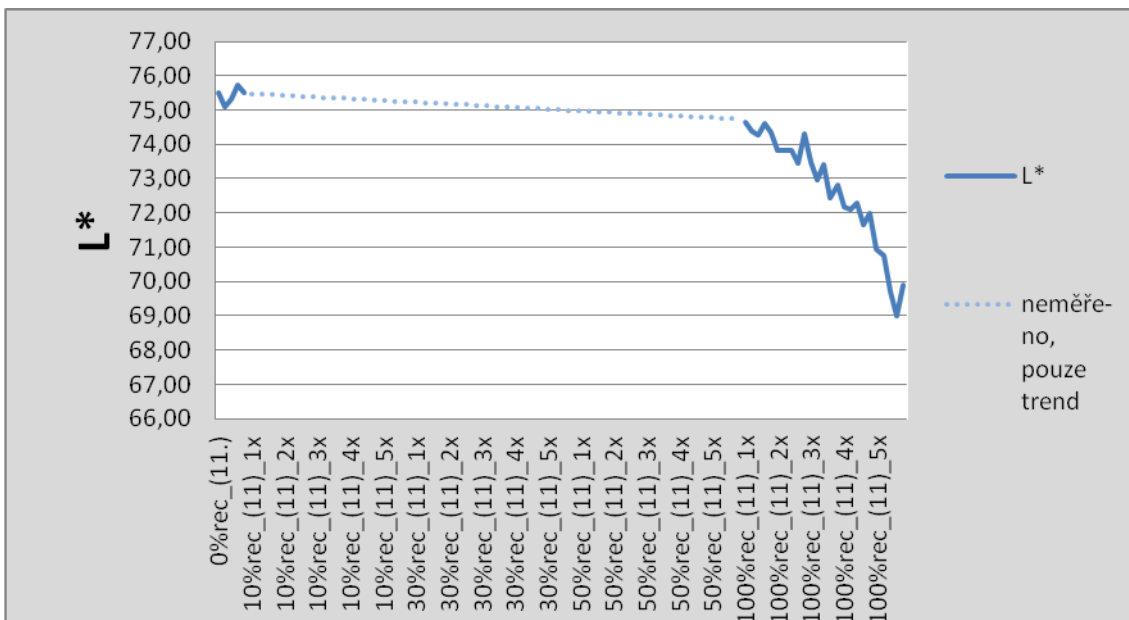
Výsledky měření parametru L* jsou zobrazeny ve třech grafických znázorněních.

Na obrázku 15 je zobrazen graf změn parametru L*, tzv. celkový jas, v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty parametru L* s klesajícím trendem. Červenými vodorovnými křivkami jsou znázorněny minimální a maximální dovolené hodnoty (tolerance).



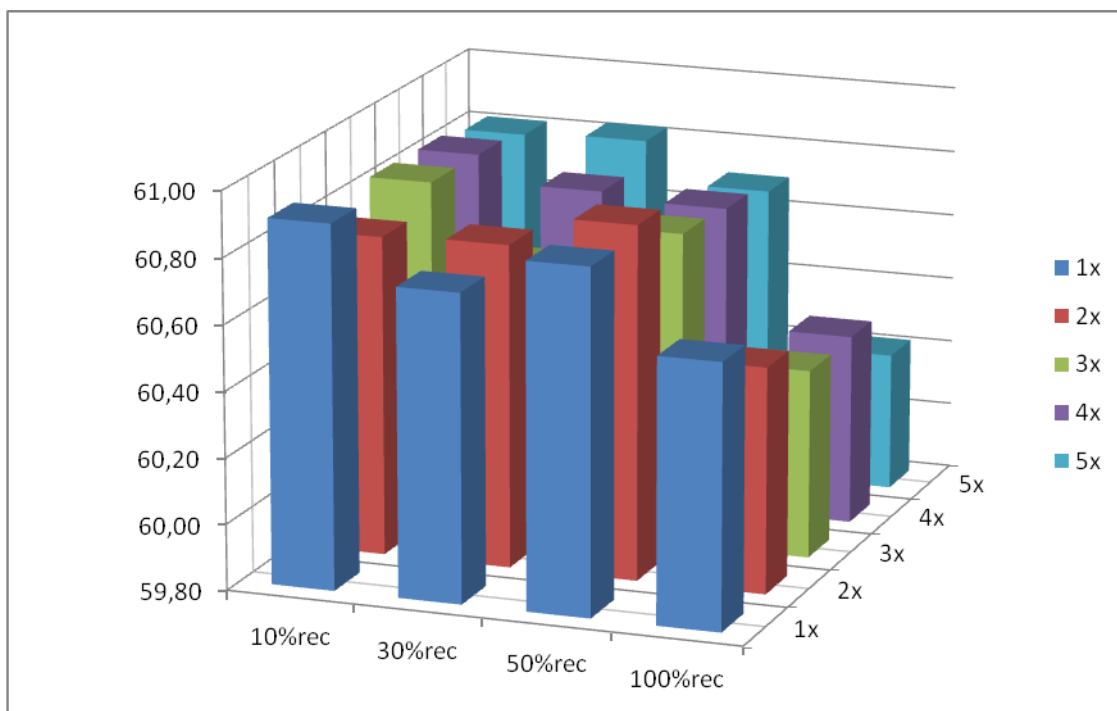
Obrázek 15 Graf parametru L* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.

Na obrázku 16 je graf parametru L*.V tomto případě proběhlo zpracování bez barviva. Modrou křivkou je znázorněna naměřené hodnoty L* vztahující se k vzorkům s konkrétním množstvím obsahu recyklátu s počtem zpracování. Křivka modře tečkovaná vyjadřuje trend neměřených vzorků.



Obrázek 16 Graf parametru L* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování bez barviva.

Na obrázku 17 je zobrazen tříosý prostorový graf parametru L^* nejen v závislosti na množství obsahu recyklátu, ale i na počtu opětovného zpracování. Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu pěti měřených vzorků příslušné série vyplývající z grafu jednotlivých os.

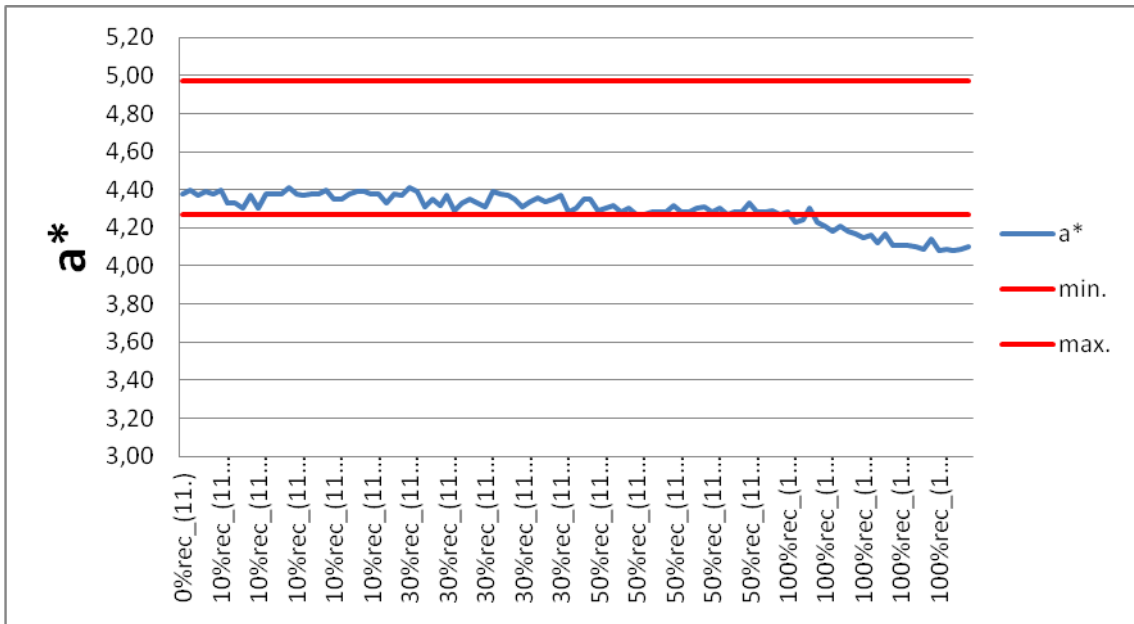


Obrázek 17 Graf parametru L^* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.

8.2.2 Výsledek měření parametru a^*

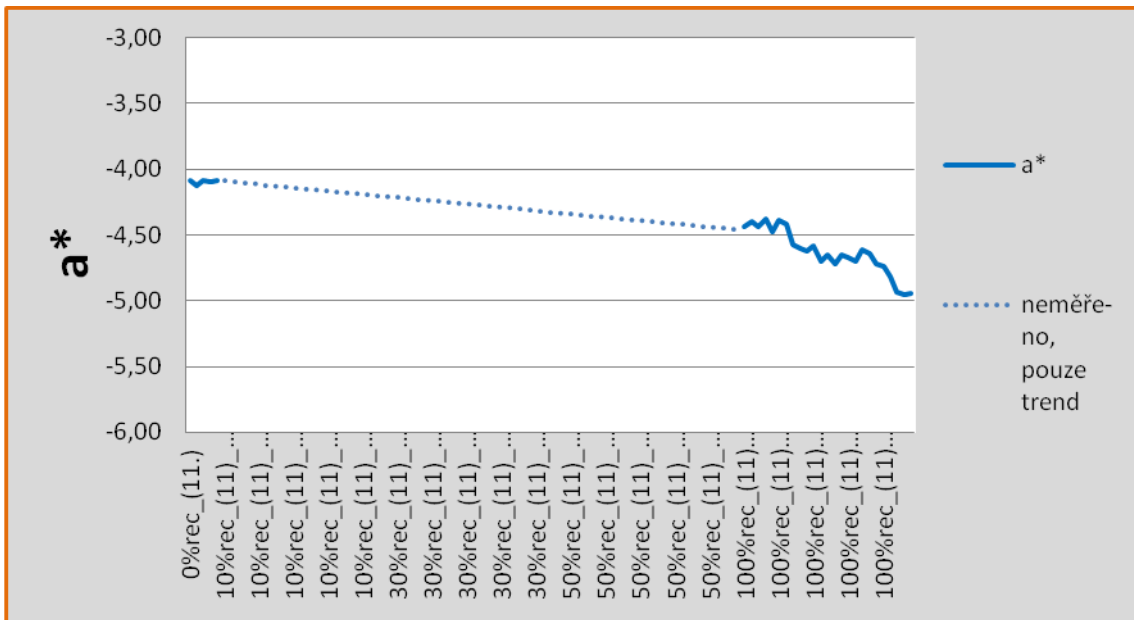
Výsledky měření parametru a^* jsou zobrazeny ve třech grafických znázorněních.

Na obrázku 18 je zobrazen graf změn parametru a^* , vyjadřující červený odstín, v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty parametru a^* s klesajícím trendem, a to zvláště u sérií s množstvím 100 % recyklátu. Červenými vodorovnými křivkami jsou znázorněny minimální a maximální dovolené hodnoty (tolerance).



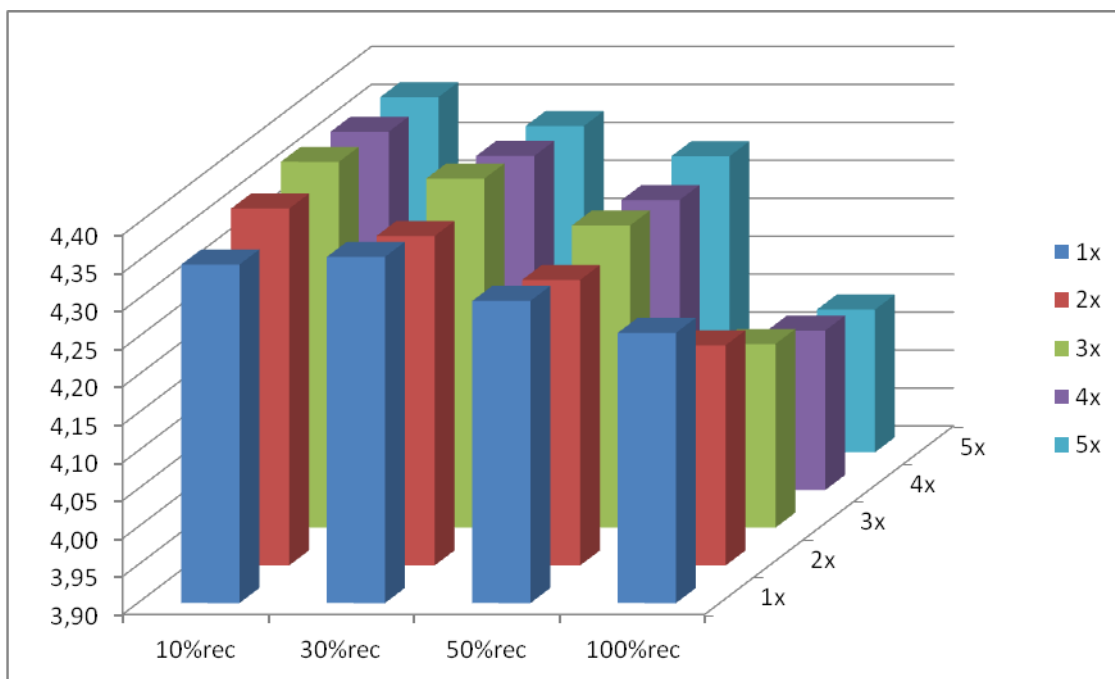
Obrázek 18 Graf parametru a^* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování,

Na obrázku 19 je graf parametru a^* . V tomto případě proběhlo zpracování bez barviva. Modrou křivkou je znázorněny naměřené hodnoty a^* vztahující se k vzorkům s konkrétním množstvím obsahu recyklátu s počtem zpracování. Křivka modře tečkovaná vyjadřuje trend neměřených vzorků.



Obrázek 19 Graf parametru a^* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování **bez barviva**.

Na obrázku 20 je zobrazen tříosý prostorový graf parametru a^* nejen v závislosti na množství obsahu recyklátu, ale i na počtu opětovného zpracování. Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu pěti měřených vzorků příslušné série vyplývající z grafu jednotlivých os.

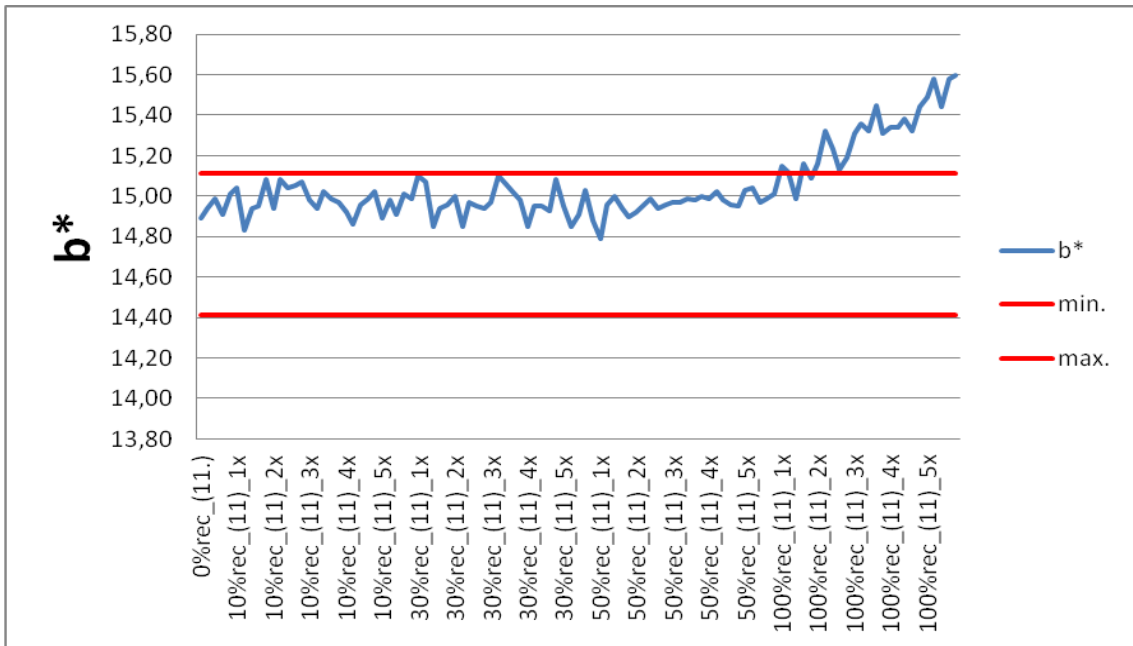


Obrázek 20 Graf parametru a^* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.

8.2.3 Výsledek měření parametru b^*

Výsledky měření parametru b^* jsou zobrazeny ve třech grafických znázorněních.

Na obrázku 21 je zobrazen graf změn parametru b^* , vyjadřující žlutý odstín, v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty parametru b^* s výrazně rostoucím trendem. Zvláště v oblasti u sérií s množstvím 100 % recyklátu. Červenými vodorovnými křivkami jsou znázorněny minimální a maximální dovolené hodnoty (tolerance).



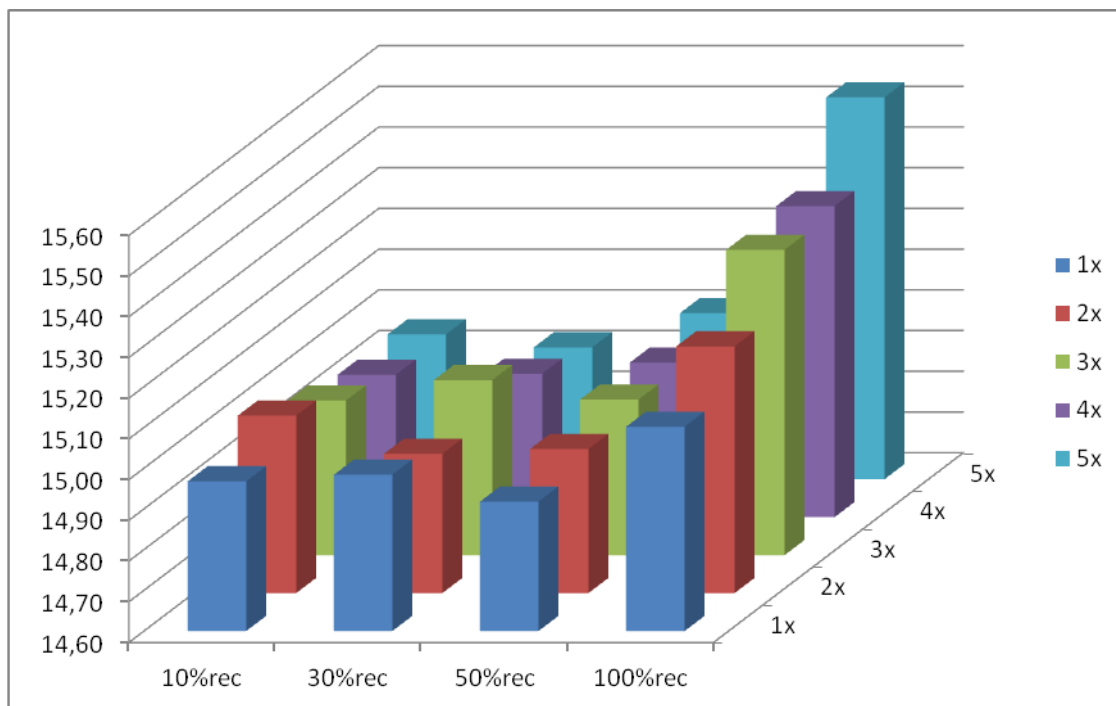
Obrázek 21 Graf parametru b^* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.

Na obrázku 22 je graf parametru b^* . V tomto případě proběhlo zpracování bez barviva. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty b^* vztahující se k vzorkům s konkrétním množstvím obsahu recyklátu s počtem zpracování. Křivka modře tečkovaná vyjadřuje trend neměřených vzorků.



Obrázek 22 Graf parametru b^* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování **bez barviva**.

Na obrázku 23 je zobrazen tříosý prostorový graf parametru b^* nejen v závislosti na množství obsahu recyklátu, ale i na počtu opětovného zpracování. Jednotlivé sloupce vyjadřují průměrnou hodnotu pěti měřených vzorků příslušné série vyplývající z grafu jednotlivých os. Z grafu lze vyčíst výrazné zvýšení hodnot žlutého odstínu v závislosti na počtu opětovného zpracování u sérií s obsahem 100 % recyklátu.

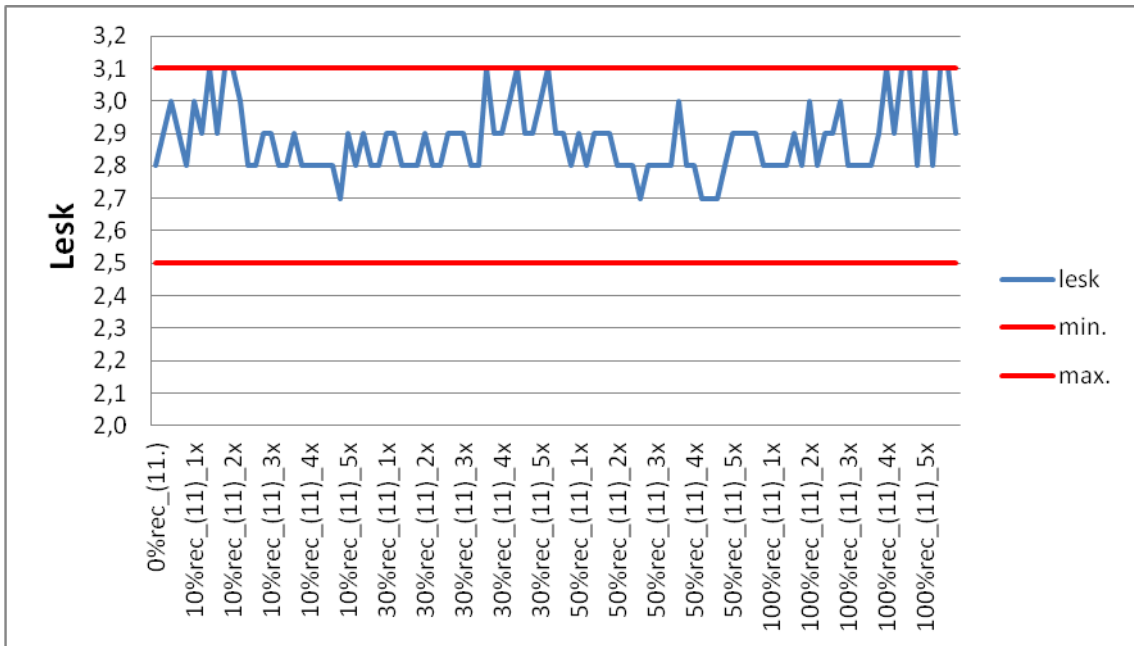


Obrázek 23 Graf parametru b^* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.

8.2.4 Výsledek měření lesku

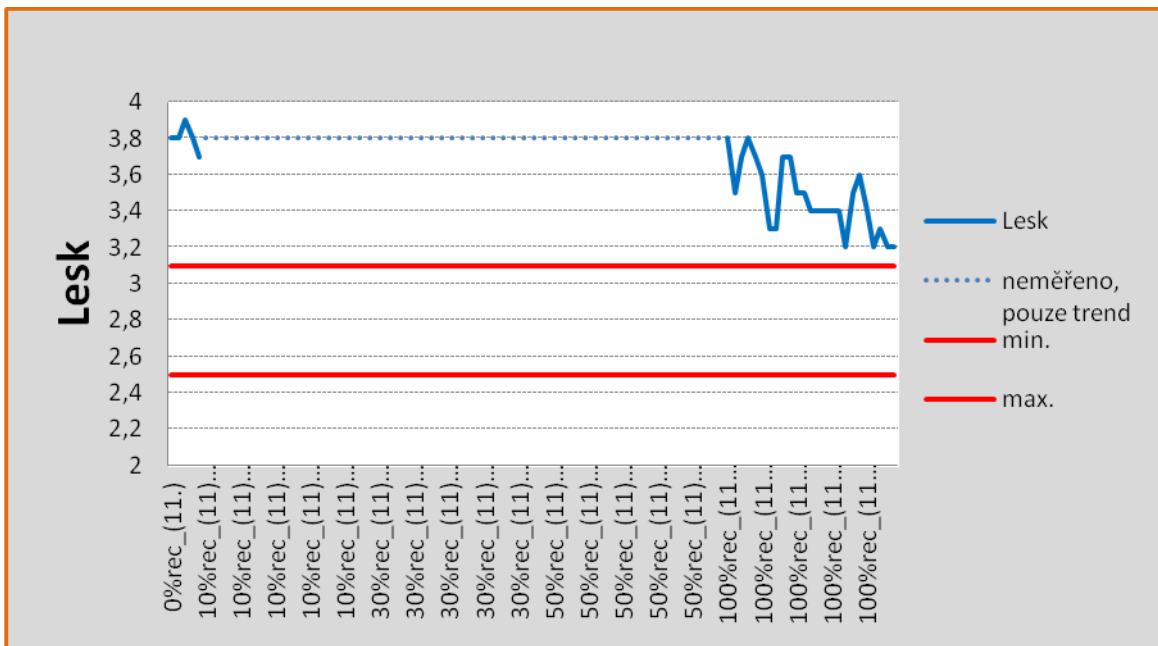
Výsledky měření parametru lesku jsou zobrazeny ve dvou grafických znázorněních.

Na obrázku 24 je zobrazen graf změn parametru lesku v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty parametru lesku udržující se v tolerancích, které jsou vyznačeny červenými křivkami.



Obrázek 24 Graf parametru lesk v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.

Na obrázku 25 je graf parametru lesku. V tomto případě proběhlo zpracování bez barviva. Modrou křivkou jsou znázorněny naměřené hodnoty lesku vztahující se k vzorkům s konkrétním množstvím obsahu recyklátu s počtem zpracování. Křivka modře tečkovaná vyjadřuje trend neměřených vzorků. Červenými křivkami jsou zobrazeny tolerance.



Obrázek 25 Graf parametru lesku v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování **bez barviva**.

Na obrázku 26 je fotografie dvou barevných vzorků umístěných vedle sebe pro vizuální srovnání barevnosti. Na levé straně se nachází vzorek vyrobený s obsahem 100 % recyklátu, pětkrát zpracovaný (zrecyklovaný), a na pravé straně vzorek bez recyklátu.



Obrázek 26 Fotografie dvou vzorků s rozdílným množstvím obsahu recyklátu.

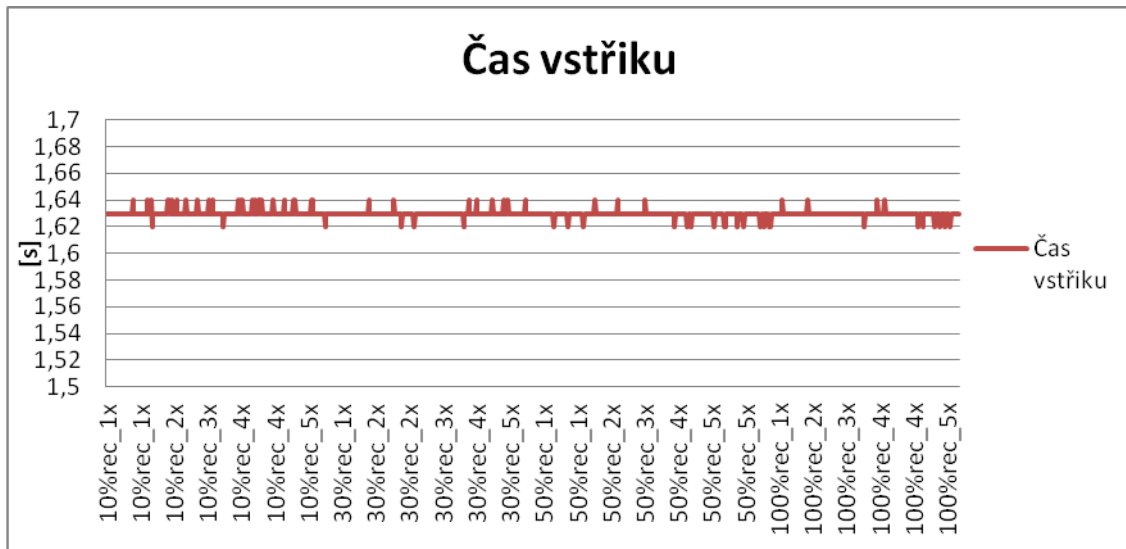
Na obrázku 27 je fotografie dvou vzorků vyrobených stejným způsobem jako na (obr. 26), ale bez použití barviva.



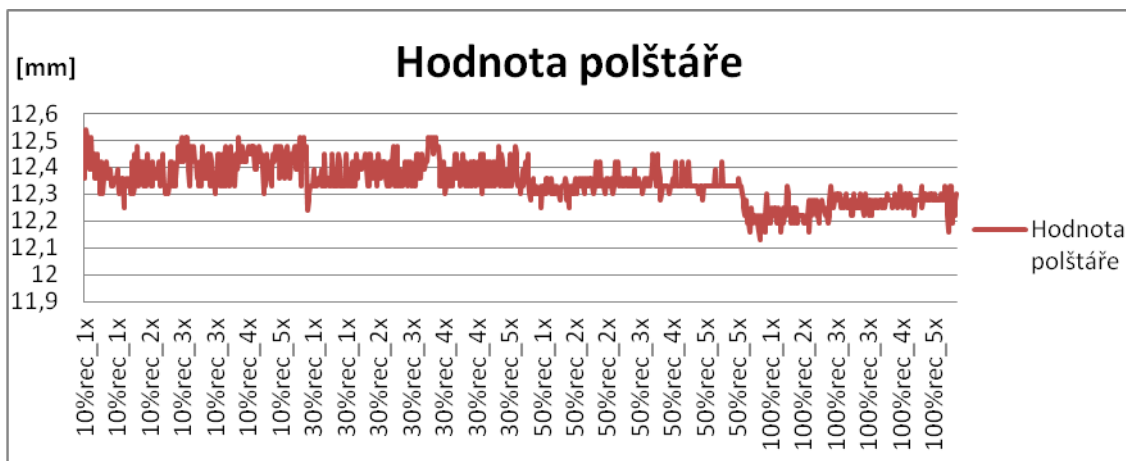
Obrázek 27 Fotografie dvou vzorků bez použití barviva a s odlišným obsahem recyklátu.

8.2.5 Výsledky vlivu obsahu recyklátu a počtu zpracování na výrobní proces

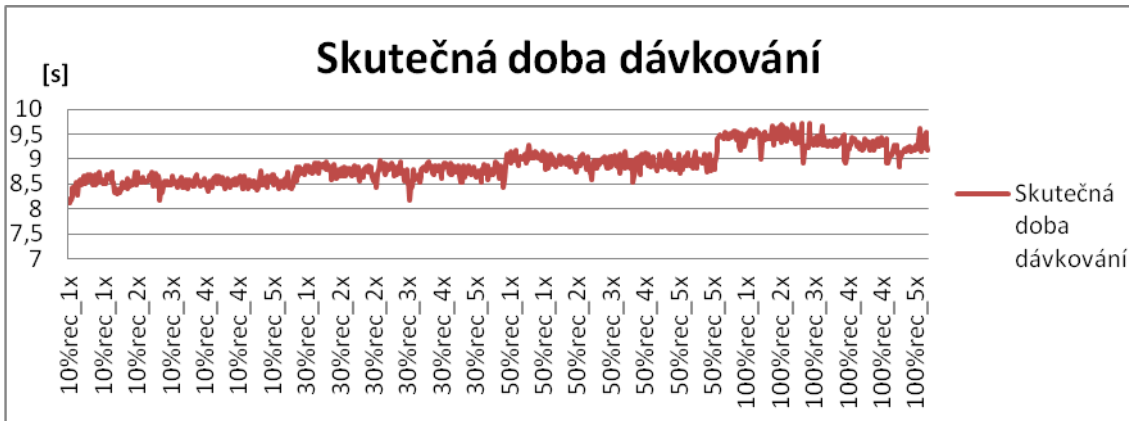
Pro obsáhlost dat jsou hodnoty zaznamenané strojem součástí přílohy. Do grafické podoby byla zpracována čtveřice vybraných parametrů a zobrazena v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.



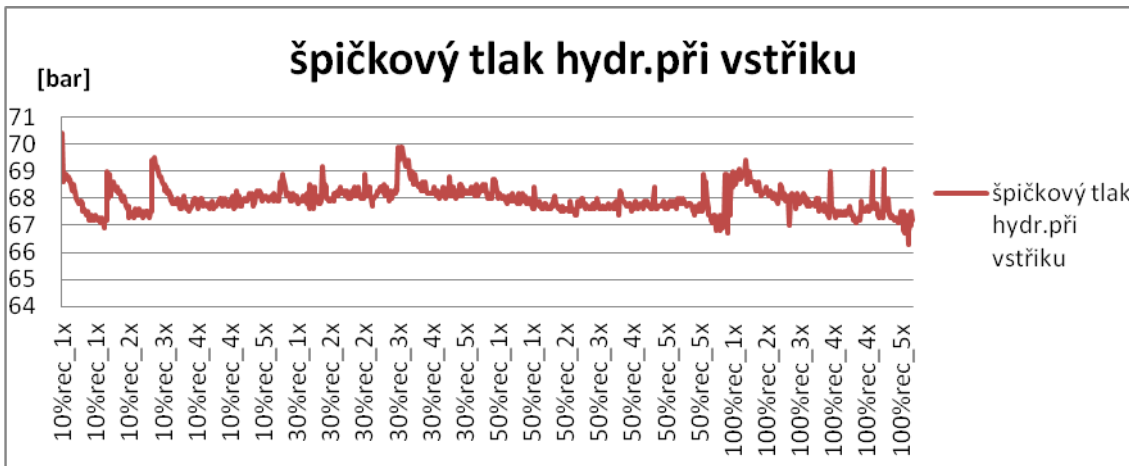
Obrázek 28 Graf hodnot parametru čas vstřiku v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.



Obrázek 29 Graf hodnot parametru velikosti polštáře v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.



Obrázek 30 Graf hodnot parametru doba plastifikace v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.



Obrázek 31 Graf hodnot parametru špičkový hydraulický tlak při vstřiku v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.

9 DISKUZE

V této kapitole jsou vyhodnocena jednotlivá měření a vliv obsahu recyklátu na optometrické vlastnosti výrobku a dále uvedeny možnosti použití recyklátu při výrobě.

9.1 Diskuze výsledků měření barevnosti

Se zvyšujícím se množstvím obsahu recyklátu a počtu zrecyklování se výsledky měřených hodnot projevovaly následovně:

- Hodnota parametru L^* , který vyjadřuje celkovou světlost, klesala a nepravidelně překračovala spodní limit dovolené tolerance již při obsahu 30 % recyklátu. Nejčtenější překročení spodní tolerance se projevovала u sérií o obsahu 100 % recyklátu. **Z hlediska parametru L^* je vyhovující využívat množství obsahu recyklátu 10%.** Protože hodnoty u 30 % byly již nevyhovující, byla by možnost dalším testováním hledat hranici mezi 10 a 30% obsahu recyklátu. Jelikož se hodnoty L^* u obsahu 10 % recyklátu pohybovaly u spodní dovolené tolerance, doporučil bych využívat maximální množství 10 % obsahu recyklátu. Z grafu zobrazeného na (obr. 17) vyplývá, že závislost mezi množstvím obsahu recyklátu a počtem opětovného zpracování je výrazná pouze u množství obsahu 100 % recyklátu.
- Hodnota parametru a^* (v kladném intervalu), vyjadřující množství červené barvy, se držela v toleranci až k sérii s obsahem 30 % recyklátu, v tomto případě se hodnoty snížily kriticky ke spodní toleranci. U obsahu 100 % recyklátu se měřené hodnoty pohybovaly trvale pod spodní tolerancí. Z hlediska výsledků hodnot **u parametru a^* by bylo možno využít maximálního množství 30 % obsahu recyklátu.** Z grafu zobrazeného na obr. 20 vyplývá, že závislost mezi množstvím obsahu recyklátu a počtem opětovného zpracování prokazuje mírný trend klesání hodnot u všech množství obsahu recyklátu, nejvyšší však u 100 % obsahu recyklátu.
- Hodnota parametru b^* (v kladném intervalu), vyjadřující množství žluté barvy, překročila horní limit dovolené tolerance u obsahu 100 % recyklátu. Z hlediska výsledků hodnot **u parametru b^* by bylo možno využít maximálně 50 % obsahu recyklátu.** Z grafu zobrazeného na (obr. 23) vyplývá, že závislost mezi

množstvím obsahu recyklátu a počtem opětovného zpracování vykazuje výraznější trend stoupaní u množství 50 %, a hlavně u 100 % obsahu recyklátu.

- **Z porovnání grafů hodnot všech měřených parametrů vzorků s barvivem a bez barvy vyplývá, že změny hodnot jsou způsobeny víceméně degradací základního materiálu a recyklátu, nikoliv barvivem.**

9.2 Diskuze měření lesku

Množství obsahu recyklátu nemělo výrazný vliv na výsledný lesk, tj., že nepřekročil tolerance určené zákazníkem. **Z hlediska výsledků hodnot lesku by bylo možno využít i množství 100% recyklátu.** Z porovnání grafů vyplynulo, že je rozdíl mezi bezbarvými a barevnými výrobky. U bezbarvých se stoupajícím obsahem recyklátu a opakovaným zpracováním se projevovalo žloutnutí materiálu vlivem degradace. Toto žloutnutí materiálu bylo rozpoznatelné i lidským zrakem. Hodnota lesku se měnila v závislosti na žloutnutí a snižování světlosti dílu (viz obr. 22 parametr b^* a obr. 16), a tak se hodnota lesku přibližovala vzorkům vyrobeným s barvivem. Barevnost má tedy nepatrný vliv na množství odraženého světla, a tím na výsledek hodnot při měření lesku.

9.3 Diskuze vlivu obsahu recyklátu na výrobní proces

Z výsledků hodnot grafu zobrazujícího čas vstříku v závislosti na množství obsahu recyklátu, neměl téměř žádný vliv na sledovaný parametr.

Z grafů zobrazujících **hodnotu polštáře (obr. 29), skutečnou dobu dávkování (obr. 30), špičkový hydraulický tlak při vstříku (obr. 31) lze pozorovat výraznější výkyvy ve stejných časových úsecích. Byly způsobeny prodlevami (15 až 30 min.) při přechodech výroby mezi sériemi.** Tyto výkyvy se vždy během několika cyklů stabilizovaly na průměrné hodnoty daných úseků.

Z výsledků grafů lze dále usoudit, že při změně (navýšení) množství obsahu recyklátu se hodnota polštáře vždy nepatrně snížila. U parametru doby dávkování se zvýšila (prodloužila). Prodloužení doby dávkování mohlo být způsobeno zpomalením (zhoršením) sypkosti materiálu z ústí násypky do plastifikačního šneku vlivem zvýšeného obsahu drti, které se viditelně projevvalo hlavně u 100 % recyklátu. Nezanedbatelný vliv může mít i očekávaný vyšší index toku materiálu s recyklátem.

ZÁVĚR

Tato práce byla rozdělena na dvě základní části, teoretickou a praktickou. Pro teoretickou část bylo potřeba nastudovat literaturu k jednotlivým kapitolám. Nejprve jsem se zabýval základním rozdělením polymerů se zaměřením na kopolymer ABS a jeho chováním při tepelné zátěži. Dále jsem se zabýval kapitolou týkající se technologií vstřikováním, výrobním procesem a speciálními druhy technologií vstřikováním, se kterými jsem se v praxi částečně setkal. Poté následovala kapitola o recyklaci. V teoretické části poslední kapitoly, jsem si rozšířil základy v oblasti optometrie. V praktické části jsem definoval současný stav recyklace ve firmě zabývající se interiéry v automobilovém průmyslu. Následně jsem stanovil cíle praktické části ve vztahu ke konkrétnímu výrobku s vysokými požadavky na optometrické vlastnosti. Rozhodl jsem se vyrobit série o počtu 52 kusů s rozdílným množstvím recyklátu o (0 %, 10 %, 30 %, 50 %, 100 %) a ty jsem 1 až 5 krát, opětovně zpracoval (zrecykloval). Vyrobené vzorky jsem vyhodnocoval interními normami a měřil standardními přístroji používanými ve firmě IACG s.r.o. Pak následovala výroba vzorků, která byla fyzicky náročnější z hlediska obsluhy celé výroby. Potom proběhlo měření vzorků. Na základě předběžné analýzy, kdy se prokázala změna měřených parametrů, jsem provedl experiment výroby stejných sérií bez přidaného barviva, abych si ověřil, zda jsou změny měřených hodnot způsobeny barvivem nebo polymerem s recyklátem. Z důvodů omezených výrobních kapacit jsem u ověřovacího experimentu vyrobil nejzásadnější série umožňující prokázání vlivu obsahu recyklátu na optometrické vlastnosti vzorků. Po zpracování dat jsem provedl analýzu výsledků, uvedenou v kapitole Diskuze výsledků.

Z diskuze výsledků byly vyvozeny následující závěry:

Použitelnost recyklátu pro pohledové výrobky z materiálu ABS s vysokými požadavky na povrch a optometrické vlastnosti je možná v množství maximálně 10 % obsahu recyklátu. Při jeho navýšení již docházelo k překročení tolerance požadovaných barevných vlastností výrobku.

Experiment byl proveden pouze pro jednu barvu (hellbeige). U tmavých barev, jako je černá, předpokládáme, že vliv degradace materiálu na výslednou barvu bude menší, což by umožnilo využití vyššího procenta obsahu recyklátu ve výrobku, a tedy i vyšší finanční úspory. Z tohoto důvodu navrhuji rozšíření experimentu i na ostatní barvy.

Použitelnost pro nepohledové výrobky bez požadavků na vizuální jakost povrchu, je možná i nad 10 % obsahu recyklátu, jelikož nepohledové díly jsou většinou konstrukčního charakteru. Bylo by ale nutné provést zkoušky mechanických vlastností výrobků. (U vyšších obsahů 30 % a víc se objevovaly vady navlhnutého materiálu. Doporučuji sušit recyklát).

Při experimentu jsem zjistil, že množství obsahu recyklátu nemělo na sledované parametry výrobního procesu (čas vstřiku, hodnota polštáře, špičkový tlak hydrauliky) zásadní vliv, pouze u parametru „skutečná doba dávkování“ se projevilo mírné zvýšení. To je ale zanedbatelné jelikož tento čas neměl vliv na celkovou dobu výrobního cyklu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MLEZIVA, Josef a J. ŠŇUPÁREK. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/012.html
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] ROSATO, Dominick V, Donald V ROSATO, Marlene G ROSATO, Donald V ROSATO. *Injection molding handbook*. 3rd ed. /. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2000, 1457 s. ISBN 07-923-8619-1.
- [5] DOLEŽEL, Břetislav. *Odolnost plastů a pryží: makromolekulární látky*. První. Ing. Eva Hugová. Jana Štěpánová. Praha: SNTL, 1981, 712 s. L16-B3-IV-41f/61864.
- [6] PIELICHOWSKI, Krzysztof a James NJUGUNA. *Thermal degradation of polymeric materials*. Shawbury: Rapra Technology, 2005, 306 s. ISBN 18-595-7498-X; 9781859574980.
- [7] LENFELD, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta: Vstřikování plastů. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [8] Iselex: Vstřikovací systémy pro plast s.r.o. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.iselex.cz/page.php?lang=1&id=70>. Obrázek ve formátu jpg.
- [9] LENFELD, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta: Speciální způsoby vstřikování. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [10] Stanovení povrchových vlastností. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: ústav anorgamické chemie* [online]. 09-Dec-2010 10:43 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/kat/download/lab2_stanoveni_povrchovych_vlastnosti.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SBR	butadienstyren (kaučuk)
EPM	ethylenpropylén (kaučuk)
CR	chloroprén (kaučuk)
ACM	akrylát (kaučuk)
FPM	fluorouhlíkový (kaučuk)
PE	polyethylén
PP	polypropylén
EVA	kopolymer etylen s vinylacetátem
PTFE	polytetrafluorethylen
PVC	polyvinylchlorid
PVAL	polyvinylalkohol
PVAC	polyvinylacetol
PS	polystyren
SAN	styrenakrilonitril
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PETP	polyethylentereftalát
PC	polykarbonát
PA	polyamid
PUR	polyuretan
UV	ultra fialové záření
PC-ABS	polykarbonát-akrilonitrilbutadienstyren
PA-ABS	polyamid-akrilonitrilbutadienstyren

PMMA-ABS polymethylmetakrilát-akrilonitrilbutadienstyren

GIT technologie vstřikování s asistencí plynu

WIT technologie vstřikování s asistencí vody

RIM technologie reaktivního vstřikování

MuCell specifická technologie vstřikování

SMA kopolymer styren-maleinanhidrid

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Strukturní vzorec ABS	14
Obrázek 2	Schéma vstříkovací jednotky [8].....	21
Obrázek 3	Schéma uzavírací jednotky s kloubovým mechanismem [8].....	22
Obrázek 4	Zobrazení barevného prostoru dle CIELAB L* a* b* [10].....	32
Obrázek 5	Schéma principu měření barevnosti[10]	33
Obrázek 6	Schéma geometrie měření (D/8°)	33
Obrázek 7	Geometrie přístrojů pro měření lesku[10].....	34
Obrázek 8	Engel Victory 500/150 TECH.....	37
Obrázek 9	Nástroj - vstříkovací forma výrobku	38
Obrázek 10	Gravimetrická jednotka - Motan GC 60 M-O-Z.....	38
Obrázek 11	Mlecí mlýn - Piovan RSP15/23.....	39
Obrázek 12	Sušicí a dopravní zařízení - Motan MDX 1200	39
Obrázek 13	Spektrofotometr CM2500c.....	40
Obrázek 14	Leskoměr - Microglos 60°	40
Obrázek 15	Graf parametru L* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.	43
Obrázek 16	Graf parametru L* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování bez barviva.	43
Obrázek 17	Graf parametru L* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.	44
Obrázek 18	Graf parametru a* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování,.....	45
Obrázek 19	Graf parametru a* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování bez barviva.	45
Obrázek 20	Graf parametru a* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.	46
Obrázek 21	Graf parametru b* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.	47
Obrázek 22	Graf parametru b* v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování bez barviva.	47
Obrázek 23	Graf parametru b* jednotlivých sérií, v závislosti na množství obsahu recyklátu a počtu zpracování.	48
Obrázek 24	Graf parametru lesk v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování.	49

Obrázek 25 Graf parametru lesku v závislosti na obsahu recyklátu s počtem zpracování bez barviva	49
Obrázek 26 Fotografie dvou vzorků s rozdílným množstvím obsahu recyklátu.	50
Obrázek 27 Fotografie dvou vzorků bez použití barviva a s odlišným obsahem recyklátu.	50
Obrázek 28 Graf hodnot parametru čas vstříku v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.	51
Obrázek 29 Graf hodnot parametru velikosti polštáře v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.	51
Obrázek 30 Graf hodnot parametru doba plastifikace v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.	52
Obrázek 31 Graf hodnot parametru špičkový hydraulický tlak při vstříku v závislosti na množství obsahu recyklátu s počtem zpracování.	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Polymery [2]	12
Tabulka 2 Vybrané vlastnosti polymeru ABS [1]	17
Tabulka 3 Nominální hodnoty a tolerance.....	42

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD disk obsahující:

- Textovou část bakalářské práce.
- Tabulky s grafy: měřených hodnot barevnosti a sledovaných parametrů výrobního procesu.

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY