

Využití technologického odpadu při vstřikování automobilových dílů

Bc. Petr Létal

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Létal**
Osobní číslo: **T12874**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití technologického odpadu při vstřikování automobilových dílů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii zabývající se zpracováním technologického odpadu do vstřikovaných interiérových dílů v automobilovém průmyslu a hodnocení povrchových vlastností plastových výrobků.
2. Provedte experimentální studii v provozním měřítku a připravte díly s různým poměrem mezi panenským polypropylenem a technologickým recyklátem, při různém zastoupení barvicích koncentrátů.
3. Vyhodnoťte základní vlastnosti vyrobených dílů pomocí standardních zkušebních metod.
4. Pokuste se navrhnout objektivní metodu pro hodnocení kvality povrchu interiérových dílů z plastů.
5. Navrhněte vhodné receptury pro výrobu polypropylenových dílů s využitím technologického odpadu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **Injection molding handbook.** Rosato, Dominick V, Donald V Rosato, Marlene G Rosato, Donald V Rosato. 3rd ed. / . Boston: Kluwer Academic Publishers ISBN 07-923-8619-1
2. **Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití.** MLEZIVA, Josef a J. ŠŤUPÁREK. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, ISBN 80-859-2072-7
3. **Další dle doporučení.**

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

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). 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 výdělků 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 výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem přídavku recyklátu na automobilové díly z polypropylénu z hlediska optometrických vlastností, odolnosti poškrábání a pachové intenzitě při tepelné zátěži. V rámci práce byly navrženy jednoduché postupy sledování jakosti výrobků, které prokazují stejné trendy jako normované zkoušky a budou využitelné pro rychlou orientaci během výrobního procesu. Na základě experimentálních měření bylo stanoveno, že až 60 % technologického odpadu lze využít při výrobě černých interiérových dílů bez negativního dopadu na sledované parametry jakosti výrobků.

Klíčová slova: Polypropylen, recyklace, povrchové vlastnosti

ABSTRACT

The work is focused on the effect of addition of recycled polypropylene on optical properties, scratch resistance and high-temperature odour of automotive parts. Simple testing methods were successfully correlated with standard testing methods. In next step, these alternative methods will be incorporated into the processing as a simple on-site evaluation of quality of plastics parts. It was approved that up to 60 % of recycled polypropylene can be re-processed into black automotive parts without the negative impact on quality parameters under study.

Keywords: Polypropylene, recycling, surface properties

Děkuji panu doc. Ing. Romanovi Čermákovi, Ph.D. a Ing. Radku Víceníkovi za vedení a podporu při vypracování diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	6
I TEORETICKÁ ČÁST	7
1 POLYMERY	8
1.1 DĚLENÍ POLYMERŮ	8
2 POLYPROPYLEN	10
2.1 DRUHY A VÝROBA POLYPROPYLENU (PP)	10
2.2 VLASTNOSTI PP.....	11
2.3 ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ PP	13
2.4 PŘÍSADY A PLNIVA	15
2.4.1 Zpracovatelské přísady.....	15
2.4.2 Antidegradanty	17
2.4.3 Přísady ovlivňující vlastnosti polypropylenu.....	18
2.5 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL.....	21
3 ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO ODPADU U VSTŘIKOVÁNÍ	23
3.1 ZPŮSOBY RECYKLACE PLASTŮ	23
3.2 PŘÍPRAVA RECYKLÁTU PRO TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ	25
3.3 ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO ODPADU U TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	26
3.3.1 Drtiče a mlýny.....	26
3.3.2 Granulovací stroje	28
4 ZKOUŠKY POVRCHOVÝCH VLASTNOSTÍ PLASTŮ	30
4.1 KOLORIMETRICKÉ ZHODNOCENÍ.....	30
4.2 REFLEKTOMETRIE POSOUZENÍ LESKU	31
4.3 ZKOUŠKA OSVITEM	33
4.4 PACHOVÁ ZKOUŠKA	34
4.5 STRÍDAVÉ KLIMA.....	36
4.6 ODOLNOST PROTI POŠKRÁBÁNÍ (TESTING OF SCRATCH RESISTENCE).....	38
4.7 ZBĚLENÍ POD NAPĚTÍM – (DROP BALL TEST)	41
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	45
5.1 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	45
6 POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ	46
6.1 STROJ	46
6.2 NÁSTROJ	47
6.3 ZAŘÍZENÍ.....	48
6.4 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	51
6.5 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ A POMŮCKY PRO ALTERNATIVNÍ ZKOUŠKY	52
6.5.1 Alternativní zkouška odolnosti proti poškrábání	52
6.5.2 Alternativní pachová zkouška	54
7 VÝROBA VZORKŮ A MĚŘENÍ	55

7.1	POUŽITÉ MATERIÁLY	55
7.2	PŘÍPRAVA A VÝROBA VZORKŮ.....	55
7.3	MĚŘENÍ.....	56
7.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ BAREVNOSTI A ZPRACOVÁNÍ DAT.....	57
7.4.1	Zpracované výsledky parametru L*	57
7.4.2	Výsledky parametru a*	58
7.4.3	Výsledky parametru b*	58
7.4.4	Výsledky lesku	59
7.5	ALTERNATIVNÍ METODY ZKOUŠEK A HODNOCENÍ	60
7.5.1	Zkouška odolnosti proti poškrábání	60
7.5.1.1	Výsledky testu odolnosti proti poškrábání.....	60
7.5.2	Alternativní pachová zkouška	62
7.5.2.1	Srovnání podmínek pachové zkoušky	63
7.5.2.2	Výsledky pachové zkoušky	63
8	DISKUZE	64
8.1	DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ BAREVNOSTI A LESKU	64
8.2	DISKUZE K VÝSLEDKŮM ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI POŠKRÁBATELNOSTI	65
8.3	DISKUZE K VÝSLEDKŮM PACHOVÉ ZKOUŠKY	66
8.4	NÁVRH VHODNÉ RECEPTURY A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	66
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM GRAFŮ	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

V současnosti dochází k nárůstu využívání plastů člověkem ve všech oblastech jeho činnosti. Automobilový průmysl je jedním z typických odvětví, v němž jsou využívány produkty z plastu. Množství plastu využívaného pro automobily se rapidně zvyšuje a v budoucnosti se předpokládá jeho rozsáhlejšího využití.

Diplomová práce se zabývá výrobou a recyklací polypropylenových produktů využívaných v interiéru automobilů. Cílem práce je zjistit optimální a maximální využití technologického odpadu polypropylenových výrobků.

Práce se skládá ze dvou částí, a to teoretické a praktické. Teoretická část se zabývá obecně polymery, v nichž poukazuje na zařazení polypropylenu, a dále samotným polypropylenem. Jsou nastíněny charakteristické vlastnosti polypropylenu, přísady polypropylenu a jejich vliv na jeho vlastnosti. V práci je kladen důraz na technologii zpracování polypropylenu, a to konkrétně vstřikování. V teoretické části jsou popsány standardizované zkoušky povrchových vlastností polypropylenových produktů dané zákazníkem. Tyto zkoušky jsou využívány pro vyhodnocování sériově vyráběných dílů. Dále je pojednáno o recyklaci plastů zaměřenou zejména na primární recyklaci probíhající přímo při výrobě.

V praktické části je popsáno prostředí výroby automobilových interiérových produktů z polypropylenu. Jsou charakterizovány pracovní stroje, přidružené zařízení a podmínky pro výrobu a recyklaci interiérových dílů. V rámci praktické části jsou vyrobeny polypropylenové díly s různým obsahem recyklátu. Tyto výrobky jsou poté podrobeny standardním zkouškám běžné sériové produkce. Následně dochází k vyhodnocení těchto zkoušek a posouzení vlivu recyklátu na jednotlivé vlastnosti vyrobených vzorků. Na základě vyhodnocených vzorků dojde k nalezení optimálního využití recyklátu z hlediska ekonomiky výroby a splnění kvalitativních požadavků zákazníka.

Pro zpracování práce je využita primární literatura zabývající se polymery, zejména polypropylenem, a dále interní zdroje firmy IACG s.r.o., které jsou nezbytné pro vyhodnocení vyrobených vzorků podle standardů zákazníka dané firmy. Vzhledem k tomuto faktu nejsou v práci uváděny jiné standardizované normy (např. ISO, atd.).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymer je definován IUPAC¹ jako látka, která se skládá z molekul typických opakováním jednoho a více druhů atomů navzájem spojených v tak velkém počtu, že existuje řada vlastností, které se zřetelně nezmění přidáním nebo odstraněním jedné či několika konstitučních jednotek². [1]

Rozšíření polymerů do výroby proběhlo ve 20. století, a to na základě jejich vlastností a snadné dostupnosti. Meziroční růst světové produkce plastů je přibližně 3 %, například v roce 2012 vzrostl objem produkce z 280 mil. tun na 288 mil. tun. Polymery představují pevné látky, které při zpracovávání mění své skupenství na kapalné a v dalších stádiích výroby se z nich zpětně stávají pevné látky v požadovaném tvaru. [2], [11]

1.1 Dělení polymerů

Základní dělení polymerních materiálů je na plasty a elastomery.

Elastomery

Elastomery jsou polymery. Jejichž předností je schopnost rychlého obnovení na původní tvar z deformace způsobené nízkým napětím. Elastomery jsou dále rozlišovány na: [2]

- přírodní kaučuky,
- syntetické kaučuky,
- výsledný produkt, kterým je pryž. [2]

Plasty

Plasty představují skupiny polymerních materiálů, které jsou při běžných podmínkách tvrdé. Jejich přechod do plastického stavu, jež je vhodný pro jejich tvarování, je způsoben zvýšenou teplotou. Na základě opakovatelnosti změny dochází k dělení plastů na reaktoplasty, u nichž je změna nevratná, a na termoplasty, pro které je typická změna opakova-

¹Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii.

² Konstituční jednotka představuje druh atomu nebo skupinu atomů přítomných v řetězci molekuly polymeru.

telná. Reaktoplasty jsou dále děleny na fenoplasty a pryskyřice. Termoplasty jsou rozdělovány na tyto skupiny:

- polyolefiny: polyethylen, polypropylen (PP)
- fluoroplasty: polytetrafluorethylen
- vinylové polymery: polyvinylchlorid, polyvinylalkohol
- styrenové a akrylové polymery: polystyren
- polyestery a polyethery: polykarbonát
- polyamidy a polyuretany: polyamid, polyurethan [2], [3]

Tato práce se bude zabývat polypropylenem, který je podle výše uvedeného rozdělení termoplastem.

2 POLYPROPYLEN

Mezi nejvýznamnější skupinu polyolefinů patří polypropylen, který je na trhu velmi rozšířen, a to zvláště v automobilovém průmyslu. Hlavním důvodem jeho rozšíření je cena tohoto druhu polymeru, která je nízká díky snadné a levné výrobě. Často se používá v kombinaci s plnivý, jako jsou například skelná vlákna, s nimiž získává polypropylen velmi dobré vlastnosti z hlediska pevnosti konstrukce výrobků. A minerálními plnivý jako například talk (mastek), který spíše zlevňuje produkt, ale do jisté míry i vylepšuje mechanické a fyzikální vlastnosti výrobku.

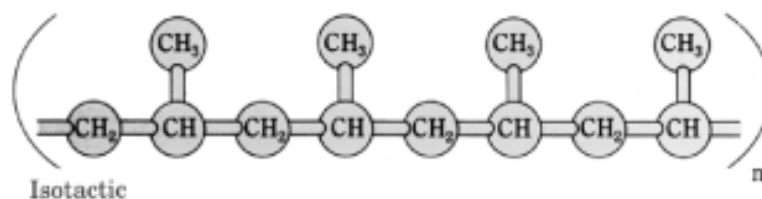
Z historie měl významnou zásluhu na vznik polypropylenu v roce 1954 italský chemik Julio Natta, kdy s použitím katalyzátorů Zieglerova typu se mu podařilo vytvořit vysoce molekulární a vysoce krystalický *izotaktický polypropylen*. [2]

2.1 Druhy a výroba polypropylenu (PP)

Z hlediska molekulární architektury lze polypropylen studovat v několika úrovních, od atomárních, molekulových i nadmolekulárních uspořádání zahrnující krystaly a sférolity až k struktuře směsí a kompozitů. [4]

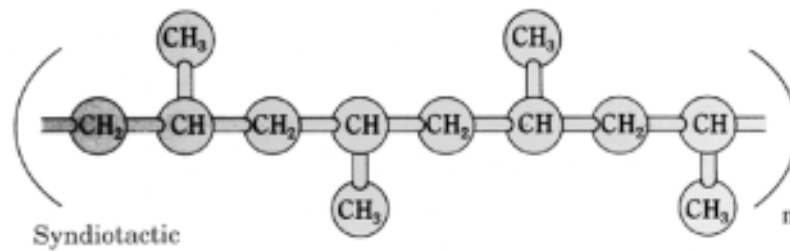
Řetězec polypropylenové makromolekuly je složen z nesymetrických monomerních jednotek, prostorové uspořádání jednotky je dáno valenčními úhly atomů uhlíku. Dle celkového uspořádání rozlišujeme typy polypropylenu: [4]

- Izotaktický typ, u kterého jsou methylové skupiny uspořádány pouze na jedné straně hlavního polymerního řetězce a vzájemně pootočený o 120 stupňů, čímž vytvářejí tvar šroubovice. Jeden závit je tvořen třemi monomerními jednotkami takzvaně ternární symetrická šroubovice. Šroubovice se skládají do krystalických oblastí.



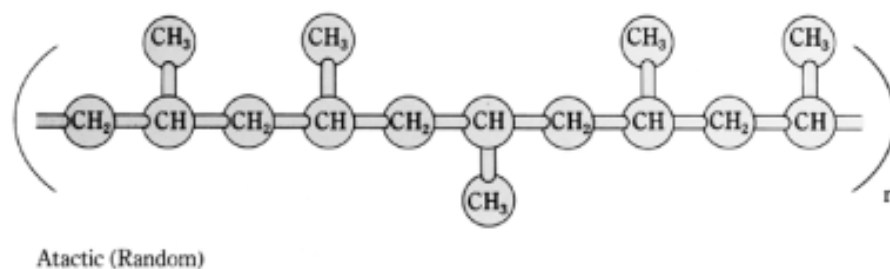
Obrázek 1 Schéma uspořádání monomerních jednotek izotaktického typu. [5]

- Syndiotaktický typ má uspořádány methylové skupiny střídavě a pravidelně po stranách řetězce.



Obrázek 2 Schéma uspořádání monomerních jednotek syndiotaktického typu. [5]

- Ataktický typ je tvořen methylovými skupinami střídavě a nepravidelně po stranách řetězce. [4]



Obrázek 3 Schéma uspořádání monomerních jednotek ataktického typu. [5]

Výroba polypropylenu se provádí kationtovou nebo radikálovou polymerací, z níž se získává nízkomolekulární produkt. Při použití určitých katalyzátorů Zieglerova typu je schopen polypropylen polymerovat na vysokomolekulární polymery s pravidelnou strukturou, vysokým bodem tání a dobrými mechanickými vlastnostmi pro mnohostranné využití. [2]

2.2 Vlastnosti PP

Polypropylen je krystalický³ polymer o stupni krystalinity 60 – 75 %, která způsobuje jeho neprůhlednost. Polypropylen se za běžných podmínek vyznačuje dobrou pevností a uspokojivou houževnatostí. Pro polypropylen je typický vysoký bod tání v hodnotě 170°C a vysoká teplota použití, která může dosahovat až 135 °C. Pro svou nepolaritu má výborné

³ někdy je v literatuře nazýván i semikrystalický, protože 100% krystalický polymer neexistuje

elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí. Polypropylen dobře odolává vroucí vodě a sterilizaci vodní párou. Tepelná použitelnost je krátkodobě do 135 °C a dlouhodobě do 100 °C. Při záporných teplotách je typický svou křehkostí, proto je vhodná aplikace až při teplotě nad 10 °C. [2], [4]

Jednotlivé druhy polypropylenu se vyznačují rozdílnými vlastnostmi, jak je vidět v následující tabulce

Vlastnost	Izotaktický PP	Syndiotaktický PP	Ataktický PP
Hustota, kg/m ³	920 - 940	890 - 910	850 - 900
Teplota tání, °C	165	135	-
Mez kluzu	vysoká	střední	velmi nízká
Rozpustnost v uhlovodících při 20°C	žádná	střední	vysoká

Tabulka 1 Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů polypropylenu; zdroj. [4]

V současnosti je v praxi nejvíce využíván izotaktický polypropylen, jehož makroskopické vlastnosti jsou dány molekulární a krystalickou strukturou determinovanou teplotou, časem a vlivy vnějšího prostředí. Izotaktický polypropylen je typickou významnou proměnlivostí a možností značné modifikace. Mechanickou a chemickou odolnost lze zlepšit při použití aditiv. [4]

Krystalická struktura polypropylenu je ovlivnitelná při zpracování. Především rychlým ochlazením taveniny můžeme získat transparentní tenkostěnné výrobky ve formě fólií. Náhlým ochlazením krystalizují sférolity o malých průměrech a rozdíl indexu lomu krystalické a amorfní fáze je nízký. S rostoucím průměrem sférolitů se snižuje rázová houževnatost a zvyšuje tuhost. Vyšší houževnatosti a flexibility můžeme dosáhnout snížením stupně krystalinity. [2]

Krystalinita je také ovlivňována heterogenní nukleací, která je podmíněna přítomností cizích povrchů. Například nečistoty, vlákna, plniva, zbytky katalyzátorů, jiné polymery nebo nukleační činidla. Právě nukleační činidla mohou výrazně ovlivnit morfologii semikrystalických polymerů a jejich vlastnosti. [4]

Polypropylen mění vlastnosti v čase působením vnějšího prostředí, ale také dochází ke spontánním změnám. Tyto změny jsou degradace a stárnutí. Fyzikální stárnutí představuje

spontánní změny v podobě růstu hustoty, tuhosti a meze kluzu a poklesu tažnosti a houževnatosti. Tyto změny probíhají vlivem dokrystalizace a zmenšováním volného objemu. Degradace je dvojího typu. První degradace nastává při zpracovávání taveniny, kdy je polymer vystaven vysoké teplotě a smykovému namáhání za omezeného přístupu kyslíku. Tato degradace je časově krátká, ale intenzivní. Způsobuje například snížení molekulové hmotnosti. Druhotná degradace vzniká v pevném polypropylenu. Tato degradace může být oxidačního, fotooxidačního, termického, radiačního, chemického či mikrobiologického charakteru. Při opakovaném zpracování a recyklaci je vhodné polymer chránit před degradací vhodnými stabilizačními přísadami. Dosáhnout původních hodnot panenského polymeru u recyklátu jako, je index toku taveniny a mechanických vlastností, nelze zatím docílit z dosud dostupných stabilizačních přísad. Přesto degradaci polypropylenu lze dostatečně zabránit přidáním stabilizátorů. [4]

2.3 Způsoby zpracování PP

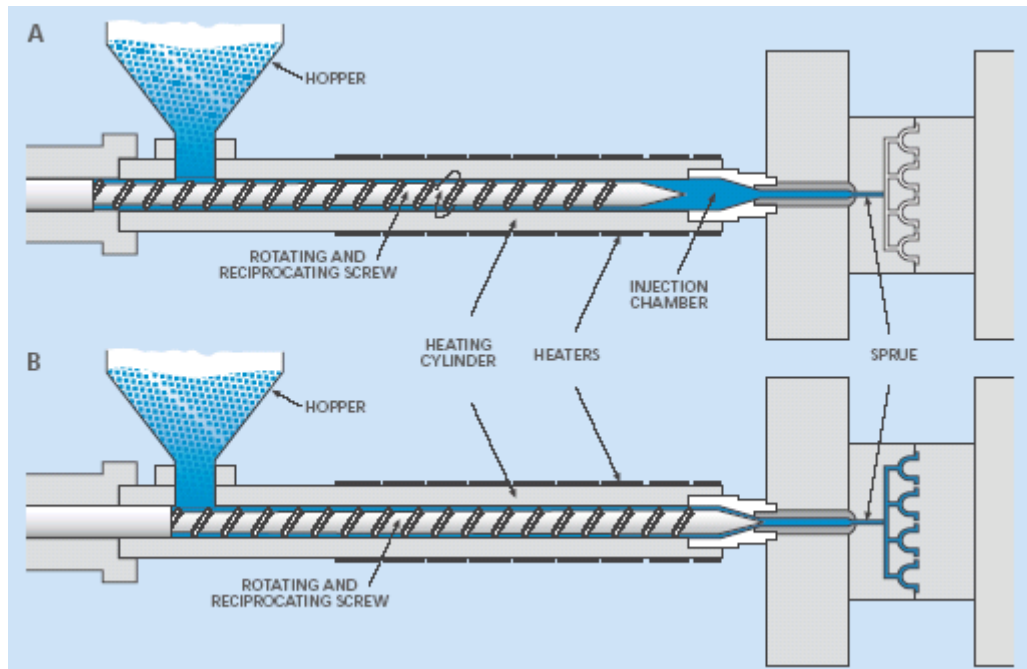
Vzhledem k faktu, že polypropylen je snadno zpracovatelným termoplastem s výbornými vlastnostmi, je hlavně využíván v aplikacích zvlákněním pro výrobu vláken v textilním průmyslu. Další způsoby tváření jsou technologie vyfukování, lisování, vytlačování apod. výsledné produkty jsou například fólie, obalové výrobky, potřeby pro domácnosti, elektro-technika. Zastoupení polypropylenu v automobilovém průmyslu, stále narůstá, hlavně využitím technologií vstřikování. V této části bude pojednáno pouze o technologii vstřikování termoplastů. [2]

Vstřikování jako způsob zpracování PP

Proces vstřikování pro zpracování plastů se začal používat koncem 19. století. Vstřikování je v současnosti významnou metodou zpracování termoplastů. Vstřikování umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a rozměrově dostatečně přesné výrobky, kdy během relativně krátké procedury dochází k přeměně polymerního materiálu ve formě granulí, na finální výrobek mnohdy složitých tvarů a rozměrů. [3]

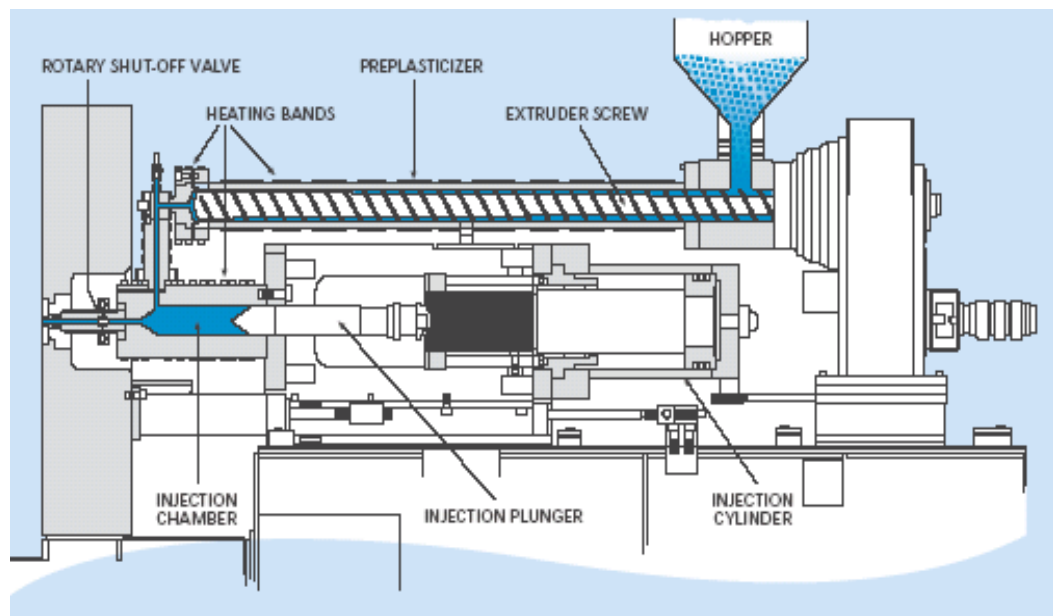
Významným prvkem vstřikování je přesná forma, která snižuje další opracování vystříknutého výrobku. Vstřikovacího stroje, se skládají ze vstřikovací a uzavírací jednotky. Vstřikovací stroje jsou děleny na základě konstrukce vstřikovací jednotky:

- Stroje bez předplastikace: materiál je plastifikován v tavné komoře a je vstříknut do formy pístem, anebo je materiál jak plastifikován, tak vstřikován šnekem. [3]



Obrázek 4 Vstřikovací stroj bez předplastikace A plastikace, B vstřik do formy [5]

- Stroje s předplastikací: jsou typické oddělením vstřikovací a plastikační jednotky. Plastikace polymerního materiálu je prováděna v odděleném tavném válci nebo ve šnekovém vytlačovacím stroji. [3]



Obrázek 5 Vstřikovací stroj s předplastikací [5]

Během vstřikovacího cyklu dochází ke vstříknutí taveniny⁴ vstřikovacím strojem do formy, která je chlazená. Po ztuhnutí plastu je forma otevřena a je z ní vyjmut výstřik. Jedná se o cyklický proces, kdy po vyjmutí výstřiku z formy navazuje další uzavření formy a vstřikování polymerního materiálu. Pracovní cyklus je závislý na nastavených parametrech procesu, rychlosti funkce vstřikovacího a uzavíracího mechanismu a dobou uzavření a otevření formy. [3]

2.4 Přísady a plniva

Kladené nároky a požadavky na výrobky jsou různého charakteru, proto nelze uvažovat o užívání pouze čistých plastů. Vlastnosti plastu lze upravovat vhodnými přísadami a tvoří polymerní směsi. Převážně jsou vyjádřeny ve hmotnostních dílech přísady na 100 hmotnostních dílů polymeru. [3]

2.4.1 Zpracovatelské přísady

Hlavní funkcí zpracovatelských přísad je usnadnit a v některých případech umožnit přípravu a zpracování polymerních směsí. Zpracovatelské přísady mohou ovlivnit i vlastnosti následného výrobku ať již více, méně, nebo pozitivně či negativně. [3]

- **Maziva:** jako přísady usnadňující zpracovatelský proces mají pozitivní vliv na vlastnosti výrobků. Například vzhled povrchu, odolnost povětrnostním vlivům, světelnou a tepelnou stabilitu. Maziva dělíme dle jejich účinků na dvě skupiny.

Maziva s vnějším účinkem, jsou látky málo rozpustné v polymeru a při zpracování vystupují na jeho povrch vytvářející vrstvu.

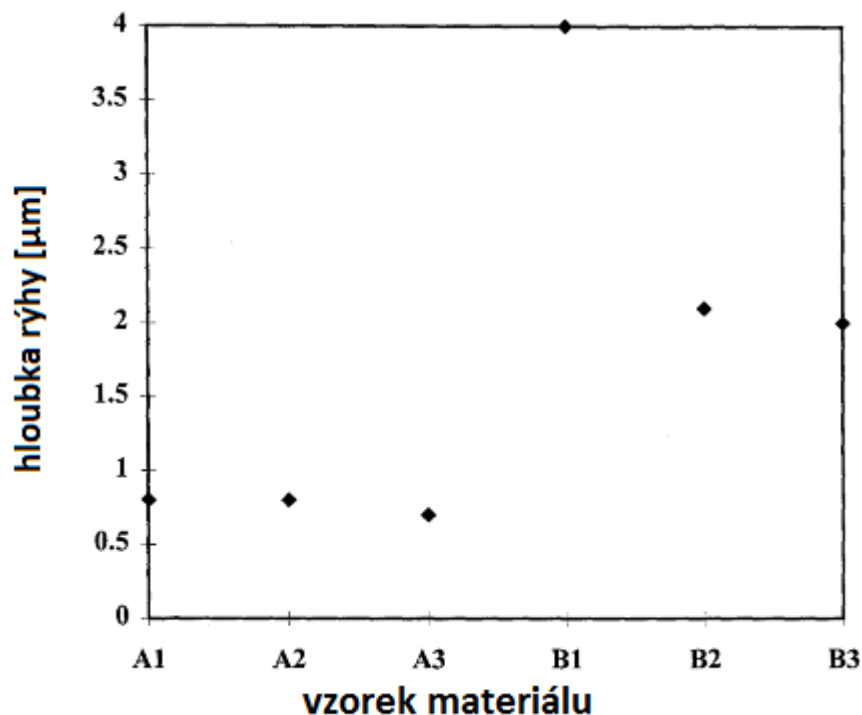
Maziva s vnitřním účinkem, jsou dobře rozpustná v polymeru, snižují viskozitu taveniny a snižují množství tepla vznikající třením při zpracování. [3]

Určité druhy maziv a nukleační činidla mají příznivý vliv na odolnost proti poškrábání, kdy ovlivňují hloubku a tvar rýhy, zvláště u talkem plněných polypropylenových materiálů, viz tabulka níže s grafem výsledků hloubky rýhy jednotlivých vzorků.[18]

⁴ Respektive plastu

kód vzorku	vysvětlivka obsahu materiálu
A1	Neplněný PP kopolymer
A2	PP kopolymer s 0.5 % hmot. obsahu nukleačních činidel
A3	PP kopolymer s 5 % hmot. obsahu maziv
B1	PP kopolymer s 25 % hmot. obsahu Talku
B2	PP kopolymer s 25 % hmot. obsahu Talku, 0.5 % nukleačních činidel
B3	PP kopolymer s 25 % hmot. obsahu Talku, 5 % maziv

Tabulka 2 Tabulka vzorků s obsahy přísad materiálů.[18]



Graf 1 Velikost hloubky rýhy u jednotlivých vzorků.[18]

Maziva neboli také lubrikanty používající při zpracování k snížení viskozity. Vnitřní maziva usnadňují polymerním řetězcům k vzájemnému pohybu a tím poskytující snadnější průtok taveniny, taktéž zabraňují přilnavosti plastu ke kovovým povrchům. Polyolefiny jsou snadno zpracovatelné s porovnáním s ostatními plasty a obecně nevyžadují maziva. [6]

- **Separáčn**í činidla: usnadňují vyjímání výrobků z forem a v některých případech zvyšovat produktivitu výroby. Nejen vnější maziva se jako separáčn

2.4.2 Antidegradanty

Antidegradanty jsou přísady, které mají za úkol dlouhodobě chránit výrobky po dobu jejich životnosti, to znamená, že prodlužují životnost z hlediska vnějších vlivů, kterými jsou účinky slunečního záření, tepelné energie, atmosférického kyslíku a ozonu. Tepelné stabilizátory převážně patří k zpracovatelským přísadám, protože chrání polymer při zpracování, při němž dochází ke krátkodobému, ale intenzivnímu tepelnému namáhání. Zatím nejsou k dispozici takové přísady, které by dokázali chránit výrobky před tepelnou degradací tak, jak jsou polymery chráněny pomocí světelných stabilizátorů, před slunečním zářením, antioxidanty vlivům kyslíku nebo antiozonanty vlivu ozonu. [3]

- **Světelné stabilizátory** se používají jako absorbéry světelného spektra, zvláště ultrafialového záření neboli elektromagnetického záření o vlnové délce 300 až 400 nm, jehož energie je dostačující pro degradaci polymeru. Přísady tohoto charakteru nesmí propustit ultrafialové záření, ale absorbovat a přeměnit jej na energeticky nižší hodnotu, než je potřebná k degradaci polymeru, taktéž by neměla nastat žádná chemická reakce, která by mohla způsobit i změnu barvy. [3]
- **Antioxidanty** zabraňují degradaci způsobovanou kyslíkem. Můžeme hovořit o tzv. *oxidačním stárnutí* za běžných teplot a vzdušného prostředí, kterému je výrobek z plastu vystaven po dlouhou dobu působení nad 10 a více let. Druhá forma degradace je velmi intenzivní v porovnání s běžným oxidačním stárnutím. Její intenzita je způsobena zvýšenou teplotou, například při zpracování polymeru za přítomnosti kyslíku takzvané *tepelně oxidační stárnutí*. Zpomalení tepelně-oxidačního stárnutí polymeru je umožněno *antioxidanty*. Jako *stabilizátory* tyto látky označujeme, pokud jsou použity k ochraně polymeru v závěrečných fázích jejich výroby, např. při sušení a skladování. Antioxidanty dělíme na základě jejich chemického účinku na dvě skupiny, a to sice na látky přerušující řetězovou autooxidační reakci a na látky zabraňující iniciaci řetězové autooxidační reakce. Antioxidanty mohou být barvicího, nebarvicího nebo zbarvujícího typu. Nebarvicí antioxidanty neovlivňují barvu produktu. Barvicí antioxidanty zbarvují daný polymer, ale nezbarvují další předměty, s nimiž je polymerní výrobek v přímém kontaktu. Zbarvující antioxidanty zbarvují jak polymerní výrobek, tak i jiné předměty, které jsou v kontaktu s výrobkem. [3]

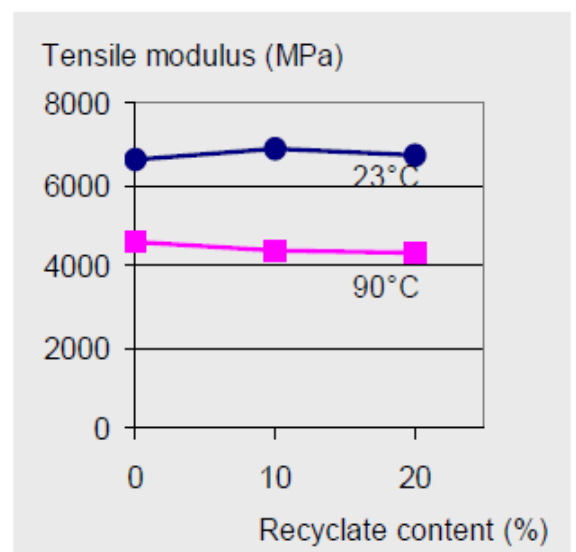
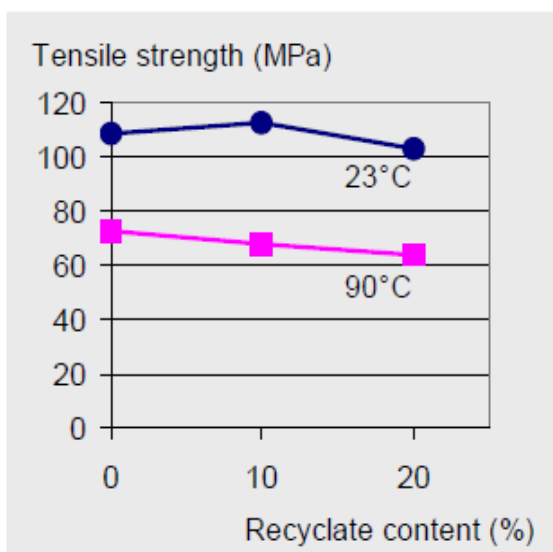
2.4.3 Přísady ovlivňující vlastnosti polypropylenu

Vlastnosti plastů, respektive polypropylenu jsou ovlivnitelné pomocí přísad. Přísady jsou rozličných povah. Hlavním přínosem těchto přísad je ovlivnění vlastností finálních výrobků. [3]

Plniva

Plniva představují přísady ovlivňující vlastnosti směsí i výrobků. Jedná se o tuhé látky v podobě prášku, krátkých vláken či granulátu. Dávkování plniv je v rozmezí jednotek až stovek hmotnostních dílů (dsp nebo dsk). Plniva slouží ke zlepšení mechanických vlastností materiálu, odolnosti vůči teple, ohni, korozi a stárnutí. Dále mají vliv na vzhled výrobku a jeho cenu. [3]

Polypropylenové materiály plněné dlouhými (10 – 12 mm) skelnými vlákny mohou být recyklovány (zpracovány na drť) a použity jako přísady k panenskému materiálu. U drceného materiálu s malými částicemi budou mít vliv na zkrácení délky vláken. Samozřejmě příliš velké částice drceného materiálu mohou způsobovat problém se sypkostí drtě nebo tvoření tzv. „mostů“ v násypkách. Z testů vyplývá, že pokud je k panenskému materiálu přidán recyklovaný materiál obsahující vlákna o délce 2 až 5 mm o hmotnostním objemu 10 %, nedochází k pozorování odlišných změn vlastností ve srovnání s panenským materiálem. Oproti tomu použití 20 % hmotnostního objemu recyklátu se projevilo snížením rázové houževnatosti (impact strenght) a u modulu pružnosti (tensile modulus) došlo k výrazným změnám, viz grafy níže.[17]



Graf 2 Vlevo graf rázové houževnatosti, vpravo graf modulu pružnosti v závislosti na hmot. obsahu recyklátu obsahující skelné vlákna.[17]

Vyztužovadla

Funkcí vyztužovadel je zpevňovat polymerní výrobky. Toto zpevňování se děje na základě jejich tvaru a struktury. Vyztužovadla představují vláknité a textilní materiály. Pro vyztužování termoplastů se často používají skleněná vlákna. Takto vyztužené výrobky mají vynikající mechanické vlastnosti. Pro zvýšení adheze skleněných vláken k polymerům je vyztužovadlo opatřováno vrstvou látky, která vytváří vazby mezi ním a vyztužovaným polymerem. Jedná se o tzv. apretační činidla. [3]

Nadouvadla

Nadouvadla jsou používána pro zpracování plastů na lehčené hmoty. Tyto přísady se rozkládají za vzniku plyných produktů. Plyná složka při jejich rozkladu je nejčastěji dusík nebo oxid uhličitý. Při použití nadouvadel jsou ve výrobku utvořeny uzavřené nebo otevřené póry. [3]

Pigmenty, barviva

Pigmenty představují barevné prášky, které jsou nerozpustné v polymerech. Používají se pro dosažení požadovaného odstínu a kryvosti polymeru. Dle svého původu jsou děleny na anorganické, organické a bronzy ve formě prášků. Výhodou použití anorganických pigmentů je jejich cena, ale i dobrá snášenlivost podmínek při zpracovávání polymerních směsí. Nevýhodou použití anorganických pigmentů je nedostatečná sytost odstínu u výrobku. Pro použití organických pigmentů je nezbytný bílý podklad. Pro tyto účely je používána titanová běloba při koncentraci až 10 dsp, i přestože pro vybarvení směsi na bílo je dostačující její poloviční dávkování. Optimální koncentrace barevného pigmentu je v rozmezí od 0,5 do 2 dílů na 100 hmotnostních dílů polymeru. Barevné koncentráty se skládají z nosiče, který může obsahovat 20 až 100 krát více barviv nebo pigmentů než původní granulát. U barvicích granulátů jsou používány převážně polyethylenové vosky, ale přece jen je lepší mít nosič stejného druhu plastu. Výrobci barvicích materiálů nabízí výrobu svých produktů dle potřeb zákazníka nebo podle vzorníků například RAL, Pantone, atd. Požadavky na barvicí koncentráty jsou tepelná stálost, odolnost při zpracování i opětovném zpracování recyklátu. Dalšími požadavky jsou zdravotní nezávadnost, světelná stálost, odolnost povětrnostním podmínkám a UV záření. Tepelně stabilnější pigmenty jsou anor-

ganické nežli organické, které mají zpravidla pigmenty žluté a červené barvy nižší tepelnou stálost. [3] [15]

Opticky zjasňující látky

Jedná se o látky pohlcující část ultrafialového světla vlnové délky v rozmezí 340 nm-400 nm. Pohlcenou energii vyzařují při osvětlování jako fluorescenci⁵. Tyto látky jsou uplatňovány pro vybarvování plastů, zejména při odstraňování nažloutlosti polymerů, a také při vybarvování do modrých, fialových a růžových odstínů. Přidávají se při zpracovávání plastů, do surového polymeru, do monomeru před polymerací, a to ve velmi malých koncentracích (rozsah tisíce až setiny dsp). Jejich použití je obtížné v polymerních směsích obsahujících světelné stabilizátory nebo pigmenty pohlcující ultrafialové záření. Tyto látky snižují nebo ruší účinek opticky zjasňujících látek. Opticky zjasňující přísady se používají pro lepší vzhled bílých a světlých polymerů a pohlcené záření reemitují do oblasti modrého světla, a tím pro lidský zrak připadají jako bělejší. [3], [15]

Antistatické prostředky

Tyto látky představují zvláštní přísady, jelikož díky nim nabývají polymerní materiály speciálních vlastností. Většina polymerů není elektricky vodivá. Elektrostatické nabití způsobuje nežádoucí jevy, jako jsou lnutí polymerních materiálů ke zpracovatelským strojům, špinění, elektrické šoky, proskakování jisker a další. Velikost elektrostatického náboje je dána hodnotou povrchového odporu daného polymerního materiálu. V případě, že je tato hodnota vyšší než $10^{10} \Omega$ dochází k elektrickému nabíjení materiálu. Zabránění elektrostatickému nabíjení je možné prostřednictvím zvýšení vodivosti polymerních materiálů, což umožňují právě antistatika přidávaná do polymerní směsi. Antistatika jsou více uplatňována u plastů, než u pryže⁶. Antistatika jsou látky silně hydrofilní nebo látky s elektricky vodivou strukturou. [3]

⁵ Tj. záření o větších vlnových délkách, v rozmezí 430-460 nm.

⁶ To je dáno tím, že pryž obsahuje většinou saze, které jsou vodivé.

2.5 Automobilový průmysl

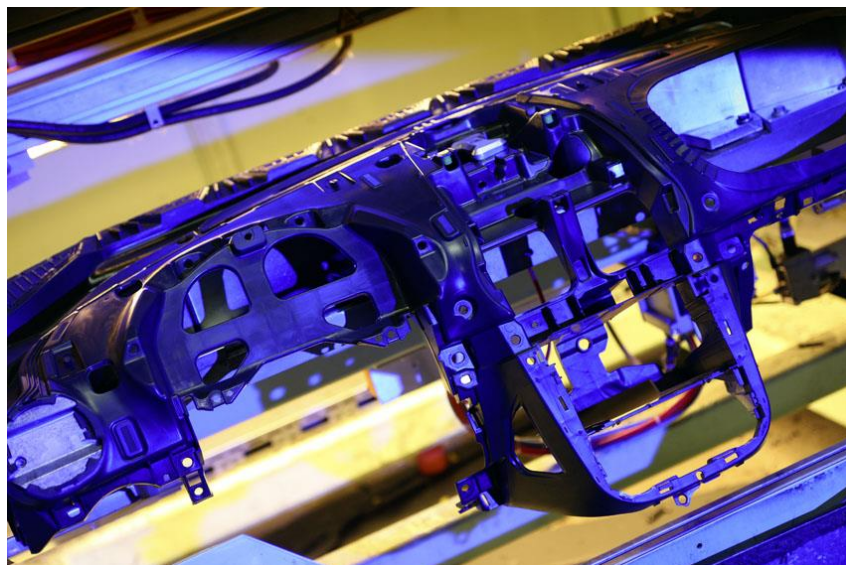
Polypropylenové výrobky nacházejí uplatnění ve všech částech dnešních automobilů, a to v oblasti interiéru i exteriéru.

V interiérové části se mohou nacházet například výrobky z polypropylenu s minerálním plnivem (Talkem) které tvoří součásti dveří, zavazadlového prostoru nebo přístrojové desky.



Obrázek 6 Dveřní výplň s díly z polypropylenu [7]

Dále konstrukční součásti přístrojových desek nebo airbagových komponent mohou být vyráběny z kompozitu polypropylenu obsahující 20 % skelných vláken.



Obrázek 7 Přístrojový panel z polypropylenu s obsahem skelných vláken [7]

Současní výrobci plastů se především zaměřují na rozvoj a inovace polypropylenu zaměřených do oblasti automobilového průmyslu. Inovace materiálů přináší pro výrobce plastových produktů výhody v podobě snížení energetických vstupů a zkrácení doby cyklů. Příkladem je nahrazení konstrukčního plastu (polyamidu) materiálem PP s 30 % krátkými skelnými vlákny, které může mít výhody ve formě snížení hmotnosti až o 15 %, ceny o 10 %, dále není nutno sušit materiál a kondiciovat výrobek a nemusí docházet k úpravám stávajícího nástroje (formy). [16]



Obrázek 8 Výrobek z polyamidu nahrazen materiálem PP s krátkými skelnými vlákny. [16]

3 ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO ODPADU U VSTŘIKOVÁNÍ

Za posledních pár let se stala recyklace součástí plastikářského průmyslu. Na recyklaci plastového odpadu je kladen důraz zejména z hlediska ekologie. Recyklační technologie a inovace pro hůře recyklovatelné druhy plastů je základ pro budoucí vývoj v této oblasti. Se zvýšenou produkcí roste i množství plastového odpadu. Mezi nejrozšířenější typy plastů jsou polyolefiny (PP, PE, atd.) a elastomery, které tvoří téměř 56 % celkové produkce. Ve vyspělých zemích (EU) se shromažďuje až 99 % plastového odpadu, z nějž se recykluje 26 až 36 % a zbytek je využíván spalováním na energii. Proto má recyklace stále vysoký potenciál. [14]

Se stoupajícím trendem využití plastů místo tradičních materiálů, jako je kov, sklo, papír, narůstá objem plastového odpadu, který tvoří z celkového objemu 10 až 20 %. Příčinou tohoto navýšení je krátký životní cyklus a nízká degradovatelnost plastových výrobků. [2]

Velká část plastů podléhá rychlému rozkladu vlivy, jako je teplo, světlo, působení chemikálií a prostředí. Z tohoto důvodu jsou produkty z plastů stabilizovány pro dlouhodobé použití. Stabilizace probíhá za použití vhodných stabilizátorů. Většina plastového odpadu končí na skládkách, kde je spalována. [6]

Z pohledu energetické spotřeby k vyrobení produktů stejného účelu mají plasty nižší energetickou náročnost až o 80 procent vzhledem k tradičním materiálům, jako je sklo a kovy. Míra znečištění ovzduší a vod výrobou plastových produktů je také nižší, než u produktů z tradičních materiálů. Nezanedbatelná je i hmotnost výrobků, která ovlivňuje spotřebu paliva při přepravě. [2]

Jednou z možností, jak ovlivnit množství plastového odpadu, je vývoj degradovatelných polymerů a biopolymerů. Tato možnost je použitelná pouze pro část produkovaných plastů. Další možností snížení plastového odpadu je jeho recyklace, která představuje přeměnu plastového odpadu na další výrobky. [2]

3.1 Způsoby recyklace plastů

Recyklaci plastů můžeme dělit na čtyři základní druhy, které se liší jak použitými technologiemi, tak výchozím produktem. [2]

- **Primární recyklace** je využití plastového odpadu jediného typu, který není nijak kontaminován. Tento druh recyklace patří k nejjednodušší a následně nejlevnější. Nejvhodnější je takový odpad zpracovávat přímo ve výrobní továrně. Recyklovaný odpad je používán jako příměs k originálnímu materiálu za podmínek zachování požadované kvality výrobků nebo je využitý jako druhořadý materiál pro výrobky s nižšími nároky na kvalitu. I přes jednoduchost tohoto typu recyklace je nutno brát ohled na možnost nepříznivých vlivů chemických reakcí, tepelného zatížení, foto-oxidační degradaci, které mohou mít vliv na fyzikální vlastnosti. Degradaci opětovně zpracovávaných materiálů, lze předejít použitím vhodných přísad a stabilizátorů. [2]
- **Sekundární recyklace** využívá odpad několika druhů plastů a kontaminace, výsledné produkty jsou převážně druhořadé materiály, které se dají modifikovat například neplastovými komponenty, jako jsou, vlákna, piliny, písek, nebo kovová plniva, čímž získají přijatelné vlastnosti, vhodné pro určité aplikace. [2]
- **Terciární recyklace** neboli chemická, je přeměna polymerního odpadu na nízkomolekulární látky, které mohou být využity k opětovné polymeraci, k výrobě paliv nebo chemikálií. K vybraným procesům patří depolymerace, pyrolýza, zplyňování a další. Příkladem vhodnosti terciární recyklace může být firma Plastoil AG ze Švýcarska která zpracovává zplyňováním odpadovou směs (PET lahve, sáčky, fólie neobsahující PVC) na finální produkt topný olej, z něhož lze rafinací vyrobit benzín. Z jednoho kilogramu plastového odpadu je firma schopna vyprodukovat 1 litr oleje s náklady 27 švýcarských centů na 1 litr oleje, který dále prodávají za 70 centů. [2], [12]
- **Kvartérní recyklace**, jejímž principem je přeměna plastového odpadu na energii ve formě tepla spalováním. Tento způsob recyklace je nevhodný vůči ekologii, zejména ovzduší. Pokud dochází k čistému energetickému spalování a čištění spalin, lze tento druh recyklace považovat za přijatelný. To potvrzuje i fakt, kdy některé vyspělé země tímto druhem zpracovávají až 80 % komunálního odpadu. [2]

Materiál (převážně ve formě granulí) vstupující do plastikářské výroby od producenta, jenž nebyl doposud zpracován na výrobek, se většinou nazývá panenský materiál. Z tohoto již jednou zpracovaného materiálu můžeme získat recyklát. [13]

Tato práce se bude zabývat praktickým využitím technologického odpadu (polypropylenu), který vznikl při výrobě technologií vstřikování. Dále se již budeme věnovat pouze primární recyklaci.

Při výrobě tvářením vzniká technologický odpad ve formě vtoků, odřezků nebo vadných výrobků, které mohou být zpracovány na recyklát a přidány k panenskému materiálu. U polypropylénové recykláže je potřeba brát v úvahu možnosti případných změn, například zvýšeného toku taveniny, změny barvy (žlutosti) a mírně nižší mechanické vlastnosti jako je tuhost, pevnost v tahu a tažnost. Dále je třeba zvážit možné kontaminace při přípravě a manipulaci recyklátu. Jako výchozí bod je doporučeno výrobcem⁷ použít přibližně 20 % recykláže. Nicméně experimentálně lze přijít k optimálnímu poměru směsi, s ohledem na přijatelnou kvalitu a vzhled. [8]

3.2 Příprava recyklátu pro technologii vstřikování

Technologický odpad bez kontaminace a jednoho typu plastu je nutné přetvořit na přibližnou velikost panenského materiálu z hlediska umožnění zpracování technologií vstřikování a jejím přidružených procesů, jako jsou dopravy recyklátu, dávkování, mísení nebo k úspornějšímu skladování. Výchozím produktem technologického odpadu může být drť nebo granulát.

Největší množství technologického odpadu jsou zpravidla vtokové zbytky (záleží na konstrukčním řešení formy výrobku), kdy je výrobek na konci výrobního cyklu vyhozen z formy. Jedna z možností je, že gravitací spadne na pásový dopravník, kterým je dopraven do skluzu drtičky nebo sběrné místo. Další možností je odebrání vtoků robotem a dopravení přímo do skluzu drtičky kde jsou vtoky případně vadné výrobky podrceny na drť. Následně může být drť dopravena (nejčastěji podtlakovou dopravou) do dávkovacího neboli směšovacího zařízení, kde se mísí s panenským materiálem, aditivy a barvivy. Mezi drticím procesem a dávkovacím zařízením mohou být přidružené zařízení, jako jsou odprašovač, separátor kovů, sušička materiálu nebo regenerační linka na výrobu granulátu.

⁷ Výrobce polymerů LyondellBasell

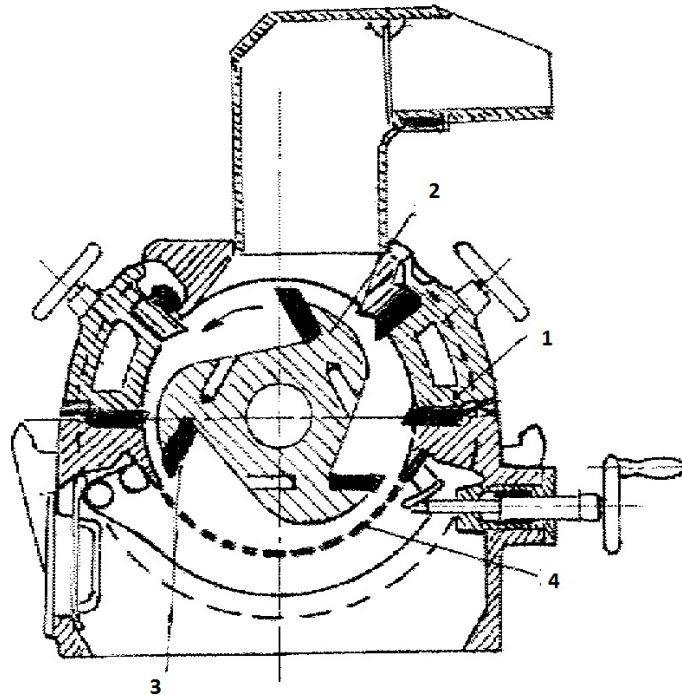
3.3 Zařízení pro zpracování technologického odpadu u technologie vstřikování

Technologický odpad vznikající jako přebytek vyráběných dílů lze dále zpracovat pomocí přidružených zařízení. Zařízení pro zpracování technologického odpadu jsou drtiče, mlýny, separátory kovů, dopravníky, zásobníky sušičky apod.

3.3.1 Drtiče a mlýny

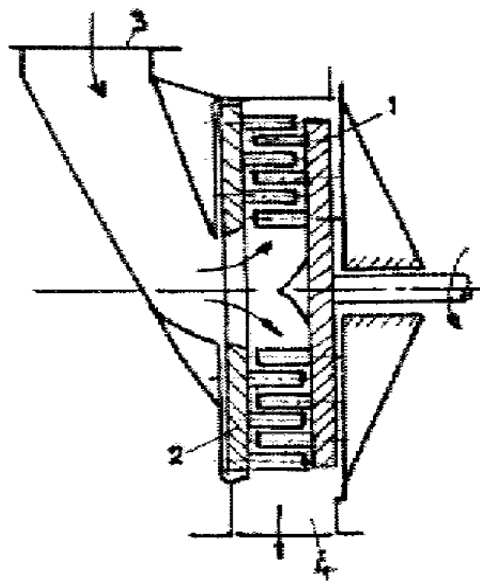
Drtiče a mlýny se používají k rozmělnění kusových nebo sypkých materiálů. Velikost částic drtě je nahodilá a vyjadřuje se distribuční křivkou. Rozměr části lze ovlivnit působícím tlakem, řezem, třením, případně jejich kombinacemi. Na trhu jsou dostupné různé typy drtičů a mlýnů s odlišnými účinky sil, které mohou být klidové či nárazové. [9]

- **Nožové mlýny** rozmělnují materiál řezným účinkem nástrojů. Jsou vhodné pro houževnaté materiály. Mlýny mohou být řešeny v různých variantách. Při vertikálním uspořádání je vhodně využita gravitace. Materiál vstupující násypkou dolů do mlecí komory (stator) s rotorem osazeným několika noži tak, aby byl záběr rovnoměrný. Pod rotorem se nachází síto se sběrným prostorem drtě. Geometrie řezných nožů se mění podle druhu zpracovávaného materiálu. [9]



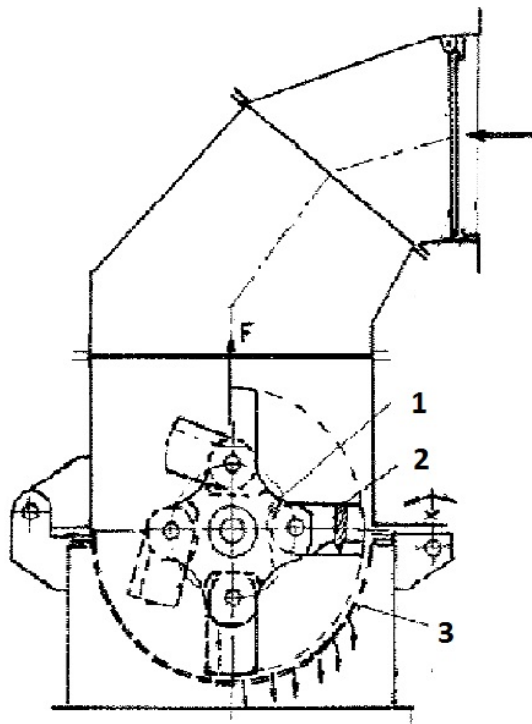
Obrázek 9 Nožový mlýn (1 – stator, 2 – rotor, 3 – nůž, 4 - síto) [9]

- **Tlukadlové (kolíčkové) mlýny** dosahují mlecího účinku úderu mletého materiálu v soustavě krátkých čepů. Rotor i stator je osazen kolíčky v soustředěných kružnicích, s rostoucím průměrem kružnic se obvodová rozteč čepů zmenšuje. Materiál vstupuje násypkou, dále prochází mlecím prostorem a účinkem nárazů a odstředivých sil a odchází výstupem. [9]



Obrázek 10 Tlukadlový mlýn (1 – rotor, 2 – stator, 3 – vstup materiálu, 4 – výstup drtě) [9]

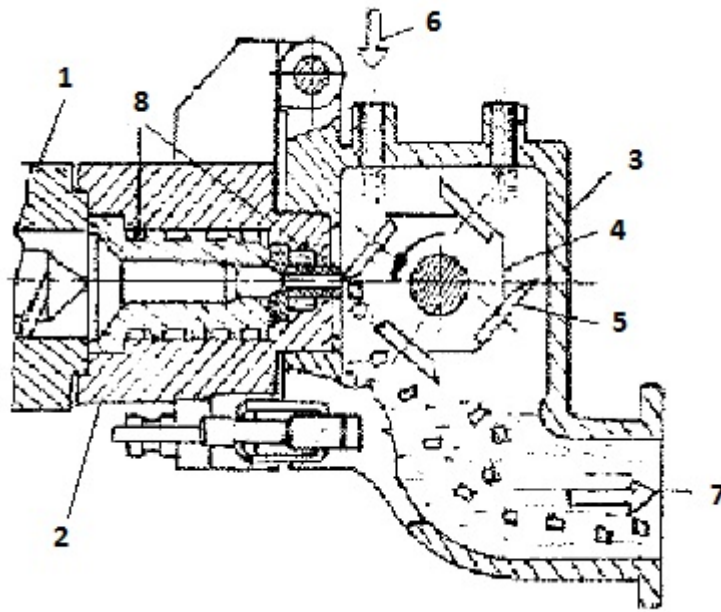
- **Kladivové mlýny** (drtiče) u těchto mlýnů je dosažen mlecí účinek úderem kladiv. Tyto kladiva jsou volně zavěšena na rotoru. Při otáčivém pohybu se kladiva natočí do radiálního směru vlivem odstředivé síly. K mletí dochází v prostoru mezi statorem a rotujícími kladivy. Ve spodní části je síto, které určuje největší velikost mletého materiálu. Na obrázku je zobrazen rotor s kladivy v klidu (levá část rotoru) a rotor s kladivy v pohybu (pravá část rotoru). Kladivové mlýny jsou vhodné pro křehké a méně houževnaté materiály. Provoz těchto mlýnů je příliš hlučný, a tím vyžadují oddělené (izolované) prostory. [9]



Obrázek 11 Kladivový mlýn (1 – rotor, 2 – kladivo, 3 – síto) [9]

3.3.2 Granulovací stroje

Granulovací stroje slouží k výrobě granulátu ve formě pravidelných tvarů (válečků, krychliček, čoček). Základním principem granulovacího stroje je roztavení plastové drtě ve vytlačovacím stroji. Následně přes vytlačovací hlavu s topnými tělesy vystupují takzvané struny, které jsou odřezávány rotorem osazeným noži na granulát. Granulát po odřezání je nezbytné ochladit pro zachování tvaru a zamezení spojení s ostatními granulami. Existuje několik konstrukčních řešení pro zchlazení granulátu. [9]



Obrázek 12granulace pod vodou

(1 – vytlačovací stroj, 2 granulovací hlava, 3 – chladicí skříň, 4 rotor, 5 – nůž, 6 – přívod chladící vody, 7 – odvod chladící vody s granulemi, 8 – topné tělesa) [9]

4 ZKOUŠKY POVRCHOVÝCH VLASTNOSTÍ PLASTŮ

Povrchové vlastnosti plastů lze testovat mnoha zkouškami. Pro tuto práci byly zvoleny zkoušky na základě interních materiálů firmy. Zkoušky popsané níže vyžaduje zákazník u dílů, které jsou pro něj firmou vyráběny. Na ostatní standardizované zkoušky tedy není brán zřetel. Zkoušky jsou popsány s ohledem na podmínky stanovené zákazníkem.

4.1 Kolorimetrické zhodnocení

Interní norma⁸ zákazníka stanovuje požadavky na barevnost, měření a hodnocení pro interiérové komponenty vozidla. Platí pro vzory a sériově vyráběné díly. Jako jsou plastové výrobky, lakované povrchy nebo členitý povrch s jemnou strukturou či imitací kůže. [10]

Vzorek vydaný oddělením designu je základem pro originální vzory a standardní vzorky s příslušnou barvou, leskem, texturou ve formě vzorových tabulí. Standardní vzorky se používají pro vizuální zkoušky a pro kolorimetrické referenční srovnání. Vzorky se uchovávají v suchém, chladném a temném místě v ochranném krytu. [10]



Obrázek 13 Vzorníková tabule [7]

⁸ interní norma zákazníka VW 501 90

Směrnice pro tolerance slouží jako cílové hodnoty. Mohou nastat i výjimky, kdy zákazník může určit odlišné tolerance a hodnoty, které uvede do příslušných technických specifikací pro dodávky, na výkres nebo na standardní vzorek. Nejsou-li dohodnuty jiné toleranční hodnoty, platí tolerance dané normy. Součástí zkoušky i přes zhodnocení na základě měření je „OK“ je také zkouška optického vjemu, jako je jednobarevnost povrchu, tedy vizuální dojem jednotného odstínu. Vizuální zkouška se provádí v poloze, ve které bude díl osazen. [10]

Požadované tolerance se rozlišují tři třídy odchylek:

- Note 1 (OK) – znamená vyhovující neboli schváleno
- Note 3 (Cond. OK) – znamená mezní hodnota kontroly, kdy lze podmíněčně použít s odchylkovým povolením
- Note 6 (Not OK) – znamená nevyhovující neboli zamítnuto

"OK" Třída (1)	"Cond. OK" třída (2)	"Not OK" třída (6)
$ dL^* < 0,35$	$0,45 \leq dL^* \leq 0,45$	$ dL^* > 0,45$
$ da^* < 0,25$	$0,25 \leq da^* \leq 0,35$	$ da^* > 0,35$
$ db^* < 0,25$	$0,25 \leq db^* \leq 0,35$	$ db^* > 0,35$

Tabulka 3 Tolerance pro zkoušky netextilních komponentů interiérových barev.

[10]

4.2 Reflektometrie posouzení lesku⁹

Opticky charakteristická veličina pro povrch zkušební vzorku týkající se lesku povrchu je hodnota reflektometru K. Lesk není pouze fyzikální veličinou, ale je podmíněn fyziologicky i psychologicky. Je možné změřit lesklost, což znamená, že měříme reflexní vlastnosti povrchu, které přispívají ke vzniku dojmu lesku. Hodnota reflektometru je za jistých podmínek použita jako míra pro lesklost. [10]

Hodnota reflektometru je ovlivněna do jisté míry také druhem barvy a jasem zkušební vzorku. Pro svou submitivitu není tento vliv při vyhodnocování zohledňován. Je nutné jej

⁹ převzato z normy DIN 67 530 odpovídající také normě ISO 2813-1978

ale brát v potaz pro porovnatelnost různých vzorků, jelikož je potřeba srovnávat vzorky, které se neliší použitým druhem barvy a jase. [10]

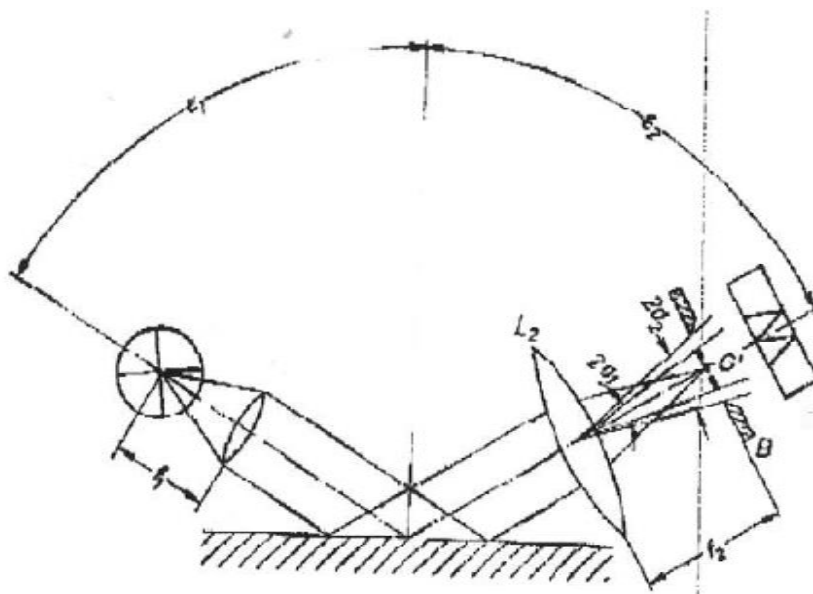
Reflektometr je dán těmito parametry:

- ε_1 představuje úhel dopadu
- ε_2 představuje úhel odrazu
- σ_1 je aperturní úhel obrazu neboli aperturní úhel osvětlení
- σ_2 je aperturní úhel clony [10]

Pro systém reflektometru jsou dány úhly dopadu 20° , 60° a 85° , pro něž jsou přiřazeny určité hodnoty pro aperturní úhly. Úhel odrazu by se měl rovnat úhlu dopadu, případně je povolena odchylka o velikosti $\pm 0,1^\circ$. Pro zkušební vzorky s vysokým leskem se používá geometrie 20° s povolenou odchylkou $\pm 1^\circ$. Pro vzorky se středním leskem se používá geometrie 60° s odchylkou $\pm 0,5^\circ$. Geometrie 85° s povolenou odchylkou $0,1^\circ$ se používá pro matné zkušební vzorky. [10]

ε_1	2 σ_2 k rovině ozáření	
	rovnoběžně	kolmo
20°	$1,8^\circ \pm 0,05^\circ$	$3,6^\circ \pm 0,1^\circ$
60°	$4,4^\circ \pm 0,1^\circ$	$11,7^\circ \pm 0,2^\circ$
85°	$4,0^\circ \pm 0,3^\circ$	$6,0^\circ \pm 0,3^\circ$

Tabulka 4 Tabulka úhlů dopadu clony 2 σ_2 [10]



Obrázek 14 Reflektometr – schéma [10]

Úhly ε_1 a ε_2 leží v jedné rovině, která je nazývána jako rovina dopadu neboli ozáření. Lampa reflektometru musí vydávat záření podle normovaného druhu světla A^{10} a fotoelektronický přijímač musí vyhodnocovat záření zkušebním vzorkem s ohledem na jeho spektrální složení jako normální pozorovatel¹¹. [10]

Jako stupnice měřicího přístroje je zvolena lineární s rozsahem od 0 do 100. Musí být zajištěna souvislost mezi indikací a světelným tokem. [10]

Reflektometry jsou kalibrovány za pomoci standardů. Tyto standardy slouží ke kontrole přístroje. Standardy musí mít známé konstantní hodnoty reflektometru. Hodnoty jsou platné pouze pro úhel dopadu, který je vyznačen na daném standardu. Primárním standardem je plochá leštěná černá skleněná deska¹². Pracovními standardy jsou libovolné rovné povrchy, které se vztahují k primárnímu standardu při daném měření. [10]

Po provedení kalibrace reflektometru dochází k samotnému měření zkušebního vzorku, a to takovým způsobem, že reflektometr je v kontaktu s povrchem daného vzorku. Měření je nezbytné provádět na minimálně třech místech povrchu zkušebního vzorku. Při rozdílu nejvyšší a nejnižší hodnoty z těchto tří měření větším než 5 dílků stupnice je potřeba provést měření na nejméně dvou dalších místech povrchu. Měření reflektometru je možné pouze u rovného povrchu, tzn. při vizuálním pozorování, nesmí být zřetelné žádné nerovnosti. Místně ohraničené malé nerovnosti povrchu mohou vést k chybám při měření. Strukturovaný povrch lze měřit pouze v případě, že struktura má malé rozměry oproti velikosti osvětleného měřicího pole na povrchu vzorku. [10]

4.3 Zkouška osvitem¹³

Cílem zkoušky osvitu je posouzení barevné stálosti a odolnosti produktu proti světlu a teple. Zkouška osvitem se provádí u textilních plošných obrazců, dílů z umělých hmot, elas-

¹⁰ Dle normy DIN 5033 díl 7.

¹¹ viz DIN 5031 díl 3.

¹² Musí být známa 3 desetinná čísla indexu lomu při vlnové délce 588nm. Index lomu primárního standardu je určován skrze mezní úhel celkového odrazu.

¹³ Interní norma zákazníka PV 1303

tomerových dílů, laku, dřevěných dekorativních dílů, textilních konstrukčních dílů, kaširovaných fólií vnitřního vybavení vozidel. [10]

Zkouška je prováděna souběžně, což znamená, že zkušební tělesa a měřítka stálosti na světle jsou neustále pod světelným zdrojem. Tato zkouška probíhá pouze za sucha, to je bez zkrápění zkušební tělesa vodou. Při zkoušce je zohledňováno vysoké tepelné zatížení materiálu vybavení vnitřního prostoru vozidla, tzv. osvětlení za tepla. Pro posuzování světelné stálosti materiálu lze provádět dodatečné zkoušky při mezi kontrolách i po ukončení osvětlení. [10]

Pro zkoušku osvitem se používají ozařovací přístroje splňující požadavky normy DIN 75 202. Například jde o přístroje Xenotest 1200, Fade-Ometer Ci 3000, atd. Zkušební přístroj by měl být umístěn v temperované místnosti. Pokud tomu tak není, je nutné použít chladicí agregát. [10]

Nejmenší velikost zkušební vzorku je závislá na postupu vyhodnocování zkoušky stálobarevnosti. Pokud jsou zkušební vzorky menších rozměrů, než je plocha nosiče vzorku, je nezbytné upnutí bílého kartonu po stranách. Nosiče vzorku musí být vybaveny celoplošnými nerezavějícími nosnými plechy v šíři 0,7-1,1 mm. [10]

Vyhodnocení testovaného vzorku se provádí s ohledem na kontrasty ve změně barvy proti neozářenému zkušebnímu vzorku vizuálně anebo kolorimetricky. [10]

- Vizualní vyhodnocování: ozářené zkušební vzorky jsou posouzeny pomocí stupnice šedi pro vyhodnocení změny barev (EN 20105-A02), při vhodném osvětlení a nejméně dvěma zaškolenými osobami. [10]
- Kolorimetrické vyhodnocování: se používá k zamezení velkým odchylkám mezi jednotlivými vyhodnoceními a opakováním vyhodnocení. [10]

4.4 Pachová zkouška¹⁴

Zkušební metoda představuje možnost stanovit pachové charakteristiky výrobků použitých ve vnitřním prostoru vozidla, a které mohou přijít do styku se vzduchem přiváděným při

¹⁴ Interní norma zákazníka PV 3900

působení teploty. Pod pachovými charakteristikami se rozumí sklon materiálů při tepelném zatížení po stanovenou dobu uvolňovat těkavé látky, které mají vnímatelný pach. [10]

Zkušební přístroje

- Horkovzdušná sušárna s cirkulací vzduchu.
- Skleněné nádoby o objemu 1 litru s pachově neutrálním těsněním a víčkem. Pro opakované použití lze použít nádoby o objemu 3 litru. Zkušební nádoby je nutné před každou zkouškou vyčistit (např. laboratorní myčkou) a musí být pachově neutrální. [10]

Zkušební tělesa a provedení

Množství zkoušeného materiálu je uvedeno v tabulce

Varianta	Příklady pro případy použití	Množství zkušební vzorku pro	
		nádobu 1 l	nádobu 3 l
A	sponky, zátky, průchodky a jiné malé díly	(10 ± 1) g	(30 ± 3) g
B	opěrky, popelníky, madla, rukojeť řadící páky, sluneční clony a jiné středně velké díly	(20 ± 2) g	(60 ± 6) g
C	izolační materiály, fólie, kůže, standardní látky, pěnové hmoty, koberce a jiné, velkoplošně použité materiály	(50 ± 5) cm ³	(150 ± 15) cm ³

Tabulka 5 Tabulka pro určení množství vzorku [10]

Určení výše teploty a doby nahřívání se volí dle následující tabulky ze tří variant, která je uvedena ve specifikaci daného výrobku. [10]

Varianta	Teplota	Doba uložení	Pokyny ke zkoušce
1	(23 ± 2) °C	(24 ± 1) h	a, b, c, d, f
2	(40 ± 2) °C	(24 ± 1) h	a, b, c, d, f
3	(80 ± 2) °C	2 h ± 10 min	a, c, e, f

Tabulka 6 Varianty nahřívání [10]

Pokyny ke zkoušce dle výše uvedené tabulky:

a) U variant 1 a 2 se do zkušební nádoby 1 l naplní 50 ml deionizované vody a do zkušební nádoby 3 l 150 ml. U varianty 3 se voda nedává.

- b) Zkušební těleso se do nádoby vloží tak, aby se zabránilo přímému styku s vodou.
- c) Zkušební nádoba se pevně uzavřená vloží do předehřáté horkovzdušné sušárny.
- d) U varianty 1 a 2 se provádí vyhodnocení ihned po vyjmutí zkušební nádoby z horkovzdušné sušárny.
- e) U varianty 3 je nutno před provedením vyhodnocení nádobu nechat ochladit na zkušební teplotu $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$. Po vyhodnocení třemi zkoušejícími se nádoba vrátí na 30 minut, opět na teplotu $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ než se provede vyhodnocení dalšími zkoušejícími.
- f) Vyhodnocení je nutno provést nejméně třemi zkoušejícími, jestliže se známkování liší o více než 2 body, je nutné opakovat měření nejméně 5 zkoušejícími. [10]

Vyhodnocení

Posouzení pachu pro všechny varianty se provádí na základě vyhodnocovací stupnice, viz tabulka se známkami 1 až 6. Pachové charakteristiky se udávají jako aritmetická střední hodnota jednotlivých známkování. [10]

Známka	Hodnocení
1	není vnímatelný
2	vnímatelný, nerušivý
3	výrazně vnímatelný, ale ještě nerušivý
4	Rušivý
5	silně rušivý
6	Nesnesitelný

Tabulka 7 Tabulka s hodnocením pachové zkoušky [10]

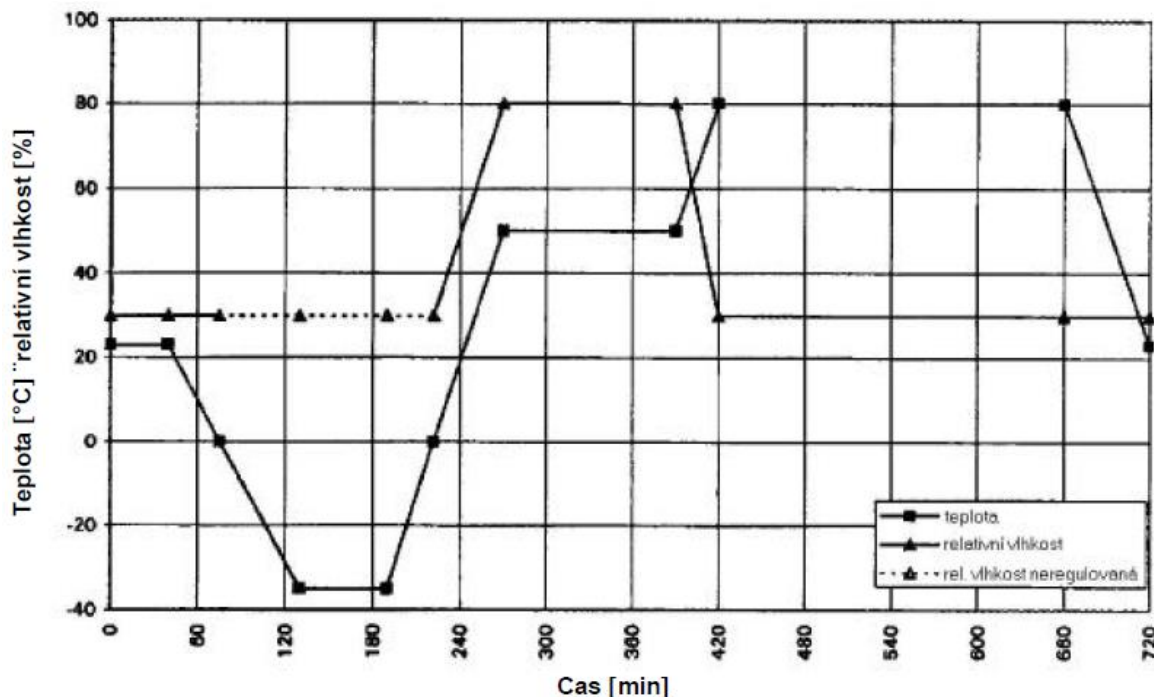
4.5 Střídavé klima¹⁵

Klimatická zkouška je prováděna pro zjištění jakosti dílu vozidla a spojených součástí. Při zkoušce dochází k cyklickým změnám klimatu. Zkouška je rozdělena do dvou variant, na jednotlivé díly a sestavy (A) nebo celé vozidlo (B). Provádí se v připravené klimatizační komoře, ve které probíhají cykly se změnami teploty a relativní vlhkosti. [10]

¹⁵ Interní norma zákazníka PV 2005, alternativní zkouška klimatu, je též Kalahary test dle normy PV 3929

Varianta A (jednotlivé díly)

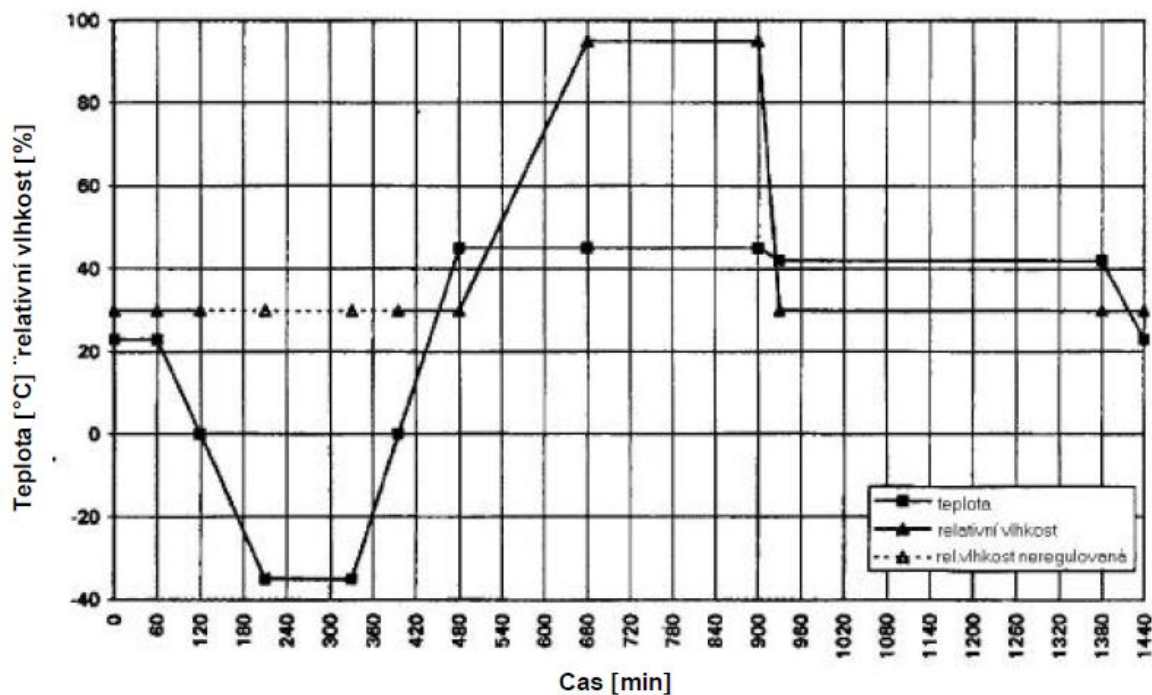
Počet zatěžujících cyklů je 100, pokud není uvedeno jinak v dokumentaci pro daný díl nebo sestavu. Hodnocení probíhá dle specifikace dílů (například „bez trhlin“). Klimatické podmínky jednoho cyklu varianty A jsou uvedeny v grafu níže. [10]



Graf 3 Graf klimatické zátěže pro variantu A [10]

Varianta B (celé vozidlo s podporou infračerveného ozařování)

Počet zatěžujících cyklů je 50, pokud není uvedeno jinak v dokumentaci. Hodnocení probíhá dle specifikace dílů (například „bez deformací“). Klimatické podmínky jednoho cyklu varianty B jsou uvedeny v grafu níže. U této zkoušky je navíc ve fázi ohřevu (+42 °C a 30% relativní vlhkosti) nutno ozařovat středněvlnovými infračervenými zářiči (bez ultrafialové oblasti $\leq 400 \text{ nm}$), tak aby střecha, horní části dveří dosáhla 90 °C. Vnitřní části vozidla (prostor hlavy, horní část dveřní výplně, přístrojový panel, zadní kry kufru) musí dosáhnout maximálních teplot o velikosti 45 °C. [10]



Graf 4 Graf klimatické zátěže pro variantu B [10]

4.6 Odolnost proti poškrábání (testing of scratch resistance)

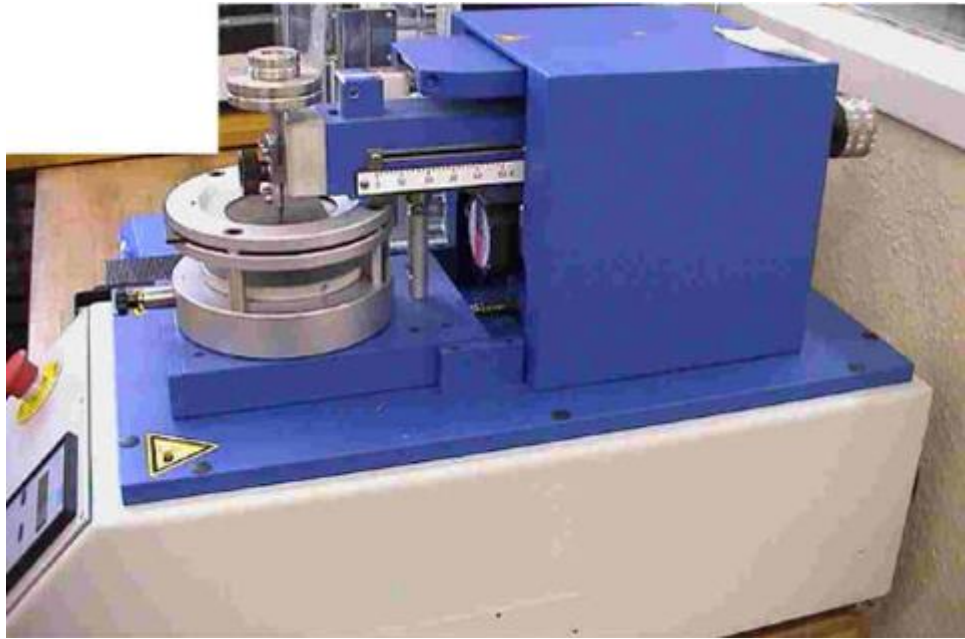
Odolnost proti poškrábání plastu je dle normy¹⁶ definovaná jako odpor materiálu mechanickým namáháním, například škrábavým pohybem ostrou hranou nebo zaobleným tvarem. Požadavky a odchylky zkušebního postupu jsou uvedeny v technické specifikaci. [10]

Přístroj na škrábavost narýhuje mřížku s roztečí 2 mm na lakovaný nebo nelakovaný povrch. Každý škrábanec musí být vykonán jedním směrem a pohybem. Přístroj na měření barevnosti slouží pro zjištění odlišnosti od nepoškrábaného povrchu. [10]

Testovací přístroje a zařízení:

- rýhovací přístroj (například od firmy Erichsen, model 430)

¹⁶ Interní norma zákazníka PV 3952



Obrázek 15 Rýhovací stroj model Erichsen 430 [10]

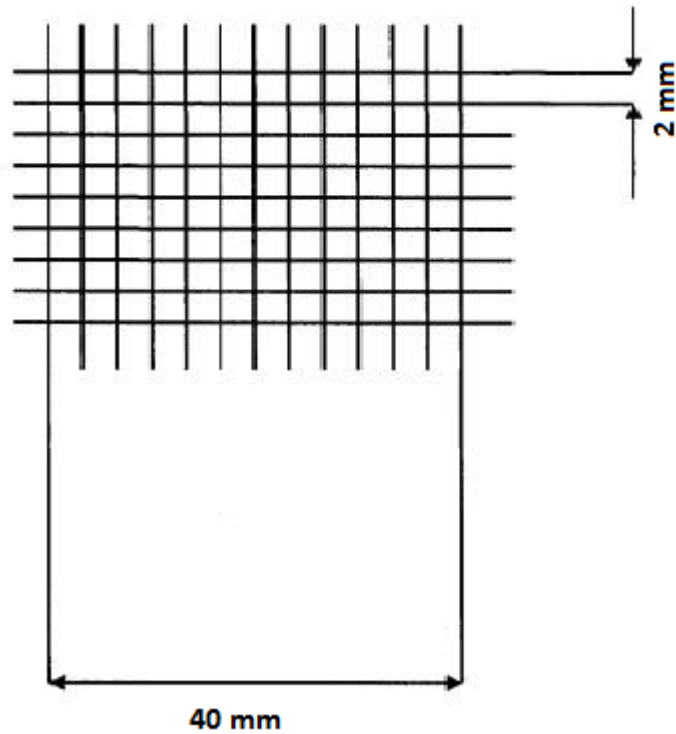
- rýhovací hrot (z oceli o průměru 1 mm, k měření tvrdosti typ 318 dostupný od firmy Erichsen)
- přístroj k měření barevnosti odpovídající normě¹⁷. [10]

Ze vzorků musí být odstraněny ty části, které by překážely k upnutí nebo samotnému měření spektrometrem. Povrch vzorků musí být homogenní a bez znečištění. [10]

Specifikace provedení:

- Teplota pro testování $(23 \pm 5)^\circ \text{C}$
- Rýhovaná plocha (40 x 40) mm

¹⁷ DIN 5033-4



Obrázek 16 Schéma rýhované plochy [10]

- kontaktní síla $F = 5$ a 10 N (pro díly bez nátěru) dle specifikací konkrétních dílů, $F = 10$ N (pro barvené nebo lakované díly),
- rýhovací rychlost $v = 1000$ mm/min,
- rozteč rýh 2 mm,
- rýhovací hrot o průměru 1 mm. [10]

Podmínky hodnocení

Naměřené hodnoty dL^* , da^* , db^* nepoškrábané oblasti a poškrábané oblasti jsou stanoveny jako střední hodnota pěti měření. Měřicí metoda podle normy DIN 5033-4 a změna barvnosti podle normy DIN 6174. Geometrie měření $D65/10^\circ$. [10]

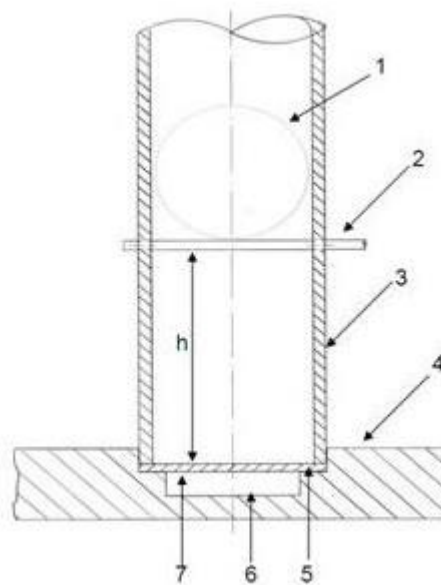
4.7 Zbělení pod napětím – (drop ball test)¹⁸

Tato zkouška popisuje postup pro stanovení tzv. “zbělení“ dílů z polypropylenu, vlivem napětí způsobeného nárazem. Požadavky a odchylky zkušební metody jsou uvedeny ve specifikaci konkrétního dílu. [10]

Zkušební a pomocná zařízení používána při této zkoušce:

- vysekávací nástroje pro vzorky o rozměrech (60 mm x 60 mm s tolerancí $\pm 0,1$ mm),
- zkušební stojan (viz obrázek níže) Zkušební zařízení musí umožnit test následující výšky (200mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, 500 mm, tolerance 0,5 mm,
- nucená teplovzdušná trouba,
- šablona pro upevnění vzorku 60mm x 60 mm, tolerance + 0,3 mm. [10]

Přístroj na měření barevnosti dílů odpovídající normě DIN 5033-4S a měřící geometrie dle normy DIN 5033-7 (ideálně 45° kruhový).

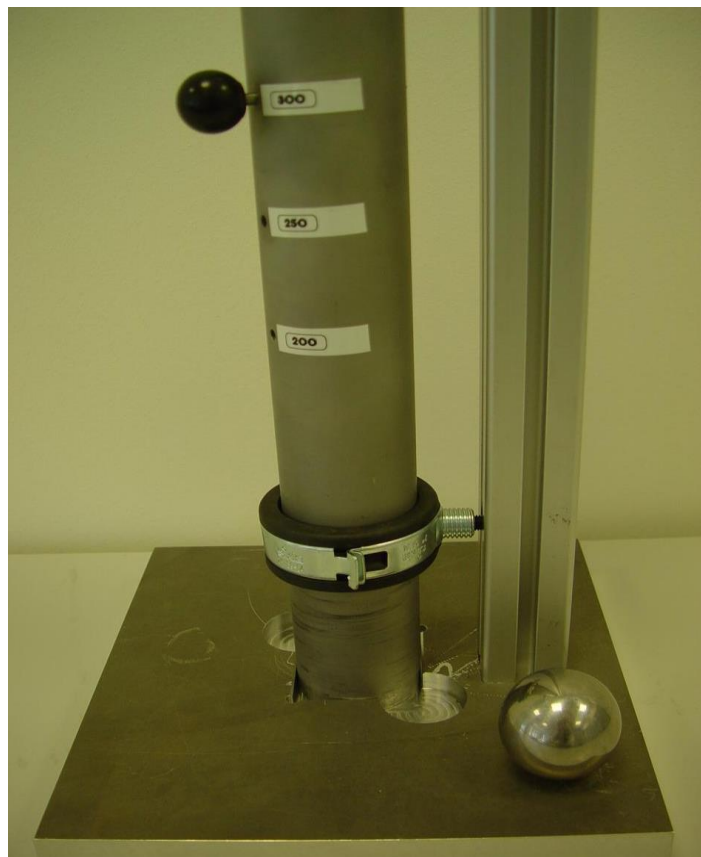


Obrázek 17 schéma zařízení

¹⁸ Interní norma zákazníka PV 3966

Popis schématu zkoušejícího zařízení:

- 1 – kovová koule průměr $50 \pm 0,03$ mm, 500 ± 5 gramů
- 2 – uvolňovací zarážka fixující kouli
- 3 – hliníková roura 600 ± 1 mm vysoká, s vnitřním průměrem $51 \pm 0,2$ mm, s vnějším průměrem $60 \pm 0,1$ mm, s otvory pro zarážku
- 4 – Hliníková podložka o tloušťce 30 ± 1 mm
- 5 – Roura je zasunuta do vybrání v základové desce o hloubce $10 \pm 0,5$ mm
- 6 – výřez pod vzorkem o hloubce $10 \pm 0,5$ mm o průměru $50 \pm 0,5$ mm se zaoblenou hranou $r = 1$ mm
- 7 – vzorek o rozměrech $60 \times 60 \pm 0,1$ mm
- 8 – výška spouštění koule 200mm 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, 500 mm, tolerance 0,5 mm. [10]



Obrázek 18 Zařízení pro test zblednutí

Vzorek nesmí být znečištěn. Povrch musí být rovný a rovnoběžný s povrchem podpory šablony a musí obsahovat identifikační značku. Nahřívání probíhá minimálně 48 hod podle normy ISO 554 - 23/50. Vzorek musí být upevněn pohledovou stranou dolů. Koule se umístí do roury se zářkou ve výšce 300 mm, pokud není specifikováno jinak. Zářka je otevřena pomocí magnetu. Koule musí dopadnout na zadní část vzorku. [10]

První test se provádí při standardním klimatu podle normy ISO 554 - 23/50. Po první testu následuje 72h stabilizace, po které následuje druhý test. Druhý test může probíhat až po 24h nahřívání vzorku v sušárně s nuceným oběhem při teplotě 90° C a po 1 hodině chlazení ve standardním prostředí. Měření probíhá ve středové oblasti dopadu a také na nezasažené oblasti vzorku. Na vzorek připadá trojí měření. Jsou vyhodnocovány odvozené kolorimetrické hodnoty měření mezi zasaženou a nezasaženou oblastí vzhledové strany vzorku. Metoda měření je zvolena dle DIN 5033-4 a barevný rozdíl je vyhodnocen dle DIN 6174. [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V současnosti je technologický odpad ve firmě IACG s.r.o. využíván pouze u technologie vstřikování termoplastů. Vstřikování je v podniku první článek výrobní linky, kde vzniká jednodruhový odpad, který lze snadno využít k recyklaci. U následujících procesů se jedná již o vícedruhový odpad, který je finančně náročný na recyklaci. Vícedruhový odpad je odebírán externí firmou zabývající se sběrem a zpracováním průmyslového odpadu. Technologický odpad u technologie vstřikování ve formě vtoků, vadných výstřiků je zpracováván na drť neboli recyklát.

V podniku IACG s.r.o. technologií vstřikování jsou zpracovávány materiály, mezi nimiž má nejvyšší zastoupení polypropylen, který je předmětem zkoumání této diplomové práce. Další z materiálů, který je podnikem využíván k recyklaci je akrylonitrilbudadienstyren (ABS). Recyklát z tohoto materiálu je využíván v hmotnostním poměru k panenskému následovně. Díly černé a tmavě hnědé barvy určené k lakování 100% recyklátu. Díly charakteru výplně, bez vzhledových požadavků na jakost povrchu 20 až 50 % obsahu recyklátu. Při nedostatku interního recyklátu ABS je řešeno nákupem recyklátu ve formě drtě stejného typu materiálu. Výrobky z kopolymeru styrenmaleinahydrid (SMA) je využíván regranulát v množství 10 %, který firma zajišťuje nákupem.

5.1 Stanovení cílů praktické části

Cílem praktické části práce je zjistit limity použitelnosti množství recyklátu u konkrétních výrobců nacházejících se v interiérové části vozidla. Na výrobky jsou z hlediska kvality kladeny vysoké požadavky na vizuální jakost povrchu, optometrických vlastností z hlediska barevnosti a lesku, odolnosti proti poškrábání a pachu při tepelné zátěži. Díly jsou vyráběny z materiálu PP s určeným obsahem barviva.

V následující části práce se budu zabývat výrobou dílu zavazadlového prostoru vozidla, s rozdílným množstvím recyklátu o obsazích 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %, dále díly s obsahem dvou druhů aditiv s 0 % a 100 % recyklátu a sérii vzorků od jiného výrobce materiálu PP s 0 % recyklátu. Vyrobené vzorky budu měřit a vyhodnocovat dle interních norem a postupů běžně používané v sériové výrobě pro zákazníka firmy IACG s.r.o. Pokuším se vytvořit alternativní metodu testu odolnosti proti poškrábání a pachové zkoušky. Navrhnou vhodnou recepturu s využitím technologického odpadu.

6 POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ

V následující kapitole jsou popsány stroje a zařízení pro výrobu a měření vzorků. Uvedené stroje a zařízení jsou běžnou součástí podniků zabývajících se výrobou vstřikováním.

6.1 Stroj

K výrobě vzorků pro praktickou část práce byl použit stroj značky Kraus Maffei 350-1900, viz obrázek níže. Periferiemi stroje jsou tříosý robot umožňující automatizaci výroby vstřikovaných dílů, pásový dopravník výrobků odložených robotem a temperační zařízení pro zajištění provoní teploty nástroje a zařízení pro temperaci horkých vtoků nástroje.

Vybrané základní parametry stroje:

- uzavírací síla 3500 kN
- rozměry upínacích desek 1060 x 1095
- vstřikovací tlak 1778 bar
- vstřikovací rychlost 527 cm³/s
- váha dávky (PS) 953 g
- objem dávky 1047 cm³



Obrázek 19 Vstřikovací stroj

Další periferní součástí je gravimetrická jednotka sloužící k přesnému dávkování vstupujících materiálů jako je panenský materiál, recyklát, barvivo, případně aditivum. Ve směšovací komoře se namíchá směs vstupující do plastikační jednotky vstřikovacího stroje.



Obrázek 20 Gravimetrická jednotka vstřikovacího stroje

Princip navažování jednotlivých materiálů:

Nejprve je navažován recyklát (v případě nedostatku) jednotka pokračuje bez navažování recyklátu. Dále je dovážen panenský materiál dle nastaveného obsahu k recyklátu. Nakonec je dováženo barvivo a aditivum dle nastaveného obsahu pouze k panenskému materiálu.

6.2 Nástroj

Nástrojem je vstřikovací forma výrobku „SBBR Deckel“, který tvoří součást dveří zavazadlového prostoru. Forma je dvouotisková, tzn. na jeden výrobní cyklus jsou vystříknuty dva díly, v tomto případě se jedná o levostranný a pravostranný díl označený šipkami na obrázku níže. Forma je tvořena horkou a částečně studenou vtokovou soustavou. Při výrobě těchto dílů vzniká technologický odpad ve formě vtoků využitelných k recyklaci. Díly mají tvar mírně prohnuté obdélníkové krytky s dezénovým vzorem na povrchu vzhledové části.



Obrázek 21 Díly součásti dveří zavazadlového prostoru

6.3 Zařízení

Nedílnou součástí výroby vstřikováním je propracovaný systém dopravy materiálů, jejich uskladnění, sušení, či recyklačních zařízení zvláště u podniků se spotřebou materiálů v řádech desítek tun měsíčně.

Nejběžnější dodávky materiálů v nižších objemech, zejména barviv a aditiv jsou dodávány v plastových pytlích o hmotnosti 25 kg. Dále materiály se středními objemy v tzv. „oktabínech“ o hmotnosti 1000 kg. U velkoobjemové výroby jsou materiály dodávány v cisternách nákladních automobilů a skladovány v silech o kapacitě v řádech desítek tun, viz obrázek níže.



Obrázek 22 Sila pro uskladnění materiálů na levé straně obrázku a generátorem podtlaku dopravy materiálu na pravé straně obrázku

Doprava materiálů v podniku je zajištěna pneumatickou dopravou. Převážující médium je tlakový spád vyvozen přetlakem nebo podtlakem. V případě firmy IACG s.r.o. se jedná o podtlak vyvíjený generátorem, viz na obrázku výše.

Převážnou část polymerních materiálů je doporučeno sušit, a to z důvodu schopnosti polymerů na sebe vázat vodu. Vlhkost z materiálu je nejčastěji odstraňována sušičkami, viz na obrázku níže. Sušení probíhá v zásobnících s materiálem, kterým prochází proud horkého vzduchu.



Obrázek 23 Sušící zařízení Motan MD 1200

Samotná doprava mezi zásobníky a jednotlivými zařízeními je zajištěna potrubím a rozvodny, které slouží pro kombinaci různých typů materiálů k jednotlivým strojům, viz níže.



Obrázek 24 Rozvodný systém dopravy materiálů

Recyklační pracoviště slouží ke zpracování technologického odpadu na drť, která může být opětovně využita ve výrobě. Drť je přidávána k panenskému materiálu.



Obrázek 25 Recyklační pracoviště (1 – mlecí mlýn, 2 – odprašovací cyklón, 3 – separátor kovů, 4 – nádoby pro drť)

6.4 Měřicí zařízení

Spektrometr Konica Minolta CM2500c je měřicí přístroj používaný k měření barevnosti parametrů L^* , a^* , b^* .



Obrázek 26 Spektrometr Konica Minolta CM2500c

Jako přístroj pro měření lesku povrchu lze použít leskoměr BYK Mikroglos 60°.



Obrázek 27 Leskoměr BYK Mikroglos 60°

6.5 Měřicí zařízení a pomůcky pro alternativní zkoušky

Tato kapitola se bude zabývat použitým zařízením a dalšími pomůckami, které byly zvoleny jako alternativní způsob hodnocení určitých povrchových vlastností.

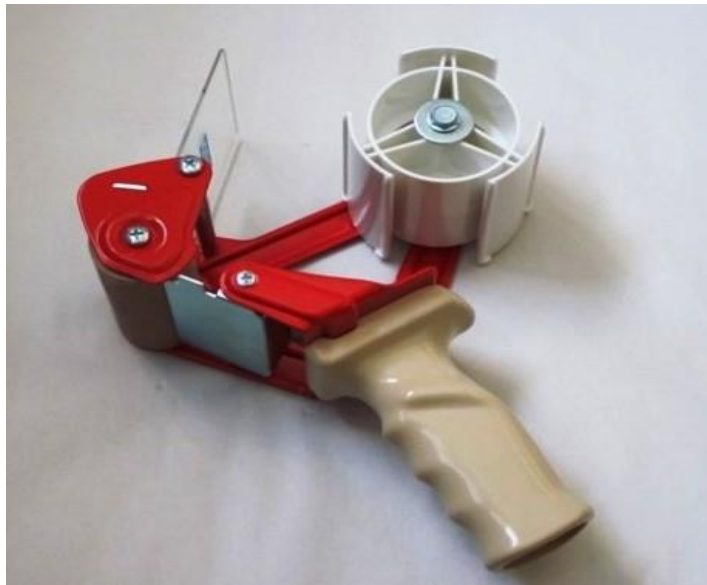
6.5.1 Alternativní zkouška odolnosti proti poškrábání

Pro zkoušku škrabatelnosti bylo použito následující posuvné měřidlo, pomocí něhož byly určeny přesné rozměry o velikosti 2 mm pro následné škrábání povrchu výrobku.



Obrázek 28 Posuvné měřidlo Mitutoyo 500-773 Solar

Následně došlo k úpravě zavírače kartonů na samolepící pásku tohoto typu, viz obrázek.



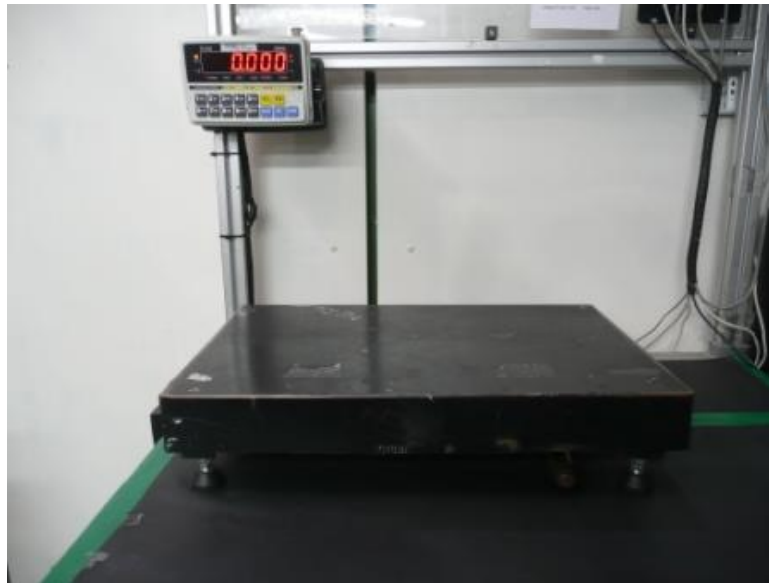
Obrázek 29 Zavírač kartonů na samolepící pásku

Zavírač byl upraven na zařízení určené k narýsování rýhované mřížky na povrch výrobných vzorků. Na zavírač bylo připevněno závaží a hrot. Zařízení po těchto úpravách má hmotnost 1 kg. Hrot představuje zakončení imbusového klíče průměru 2 mm. Jako závaží bylo využito certifikované závaží určené ke kalibraci vah. Pro dovážení byly použity podložky pod šrouby.



Obrázek 30 Upravený zavírač spolu s trojúhelníkovým pravítkem a vzorkem s označenými osami budoucí mřížky

Po výrobě tohoto zařízení došlo k jeho převážení na stolní váze běžně používané ve výrobě firmy IACG.



Obrázek 31 Váha CAS CI200A

6.5.2 Alternativní pachová zkouška

Pro pachovou zkoušku byla použita mobilní horkovzdušná sušička, která je určena pro sušení polymerních materiálů, typ SZI 120 vyráběné firmou AM

Dále byly využity skleněné nádoby o objemu 5 l. Tyto nádoby byly využity k umístění jednotlivých vzorků, které byly následně umístěny do horkovzdušné sušičky.



Obrázek 32 Skleněné nádoby s umístěným vzorkem

7 VÝROBA VZORKŮ A MĚŘENÍ

7.1 Použité materiály

- „**Basell**“ materiál s obchodním názvem Hostacom EKC 330N, od výrobce Lyondellbasell. Tento polypropylenový materiál obsahuje 16 % minerálních plniv a je navržen pro interiérové aplikace s excelentní odolností proti poškrábání povrchu výrobků. (současný dodavatel IACG s.r.o.) [19]
- „**Borealis**“ je materiál s obchodním názvem Daplen EE189HP od výrobce Borealis. Tento polypropylenový materiál obsahuje 15 % minerálních plniv, navržen speciálně pro interiérové aplikace s vysokou odolností povrchu proti poškrábání. (konkurenční dodavatel) [20]
- **Barvivo-** TitanSchwarz (černé barvy) výrobce Uniform color company [10]
- **Aditiva** (zvyšující odolnost proti poškrábání) s obchodními názvy Crodamide a Multibase [10]

V následující tabulce jsou zobrazeny vybrané charakteristiky materiálu Basell a Borealis

Charakteristika	metoda testu	"Basell"	"Borealis"	jednotky
Density	ISO 1183	1.2	1	g/cm ³
Melt flow rate	ISO 1133	17	13	g/10 min
Tensile stress at yield	ISO 527-1, -2	21.1	21	MPa
Charpy unnotched impact strength	ISO 179	No Break	No Break	kJ/m ²
Heat deflection temperature	ISO 75A-1, -2	56	52	°C
Vicat softening temperature	ISO 306	132	128	°C

Tabulka 8 Charakteristiky materiálů Basell a Borealis [19], [20]

7.2 Příprava a výroba vzorků

Příprava výroby byla následovná, nejprve byla provedena kontrola sušení panenského materiálu a drtě určené k testu. Dle doporučení výrobce bylo provedeno sušení o minimální délce sušení dvou hodin, při teplotě 80°C. Dále byl na stroj nasazen nástroj, a zapojen k periferiím stroje zabezpečující požadovanou provozní teplotu nástroje. V průběhu vyhří-

vání stroje s nástrojem, byla provedena kontrola a nastavení gravimetrické jednotky pro testované materiály.

Výroba vzorků proběhla použitím stejného stroje, nástroje, periferních zařízení a nastavení parametrů procesu, jako jsou používány při standardní výrobě. Průběh samotné výroby vzorků byl bezproblémový a nebylo třeba upravovat parametry nastaveného procesu. Změny probíhaly pouze v nastavení odlišných poměrů panenského materiálu¹⁹, recyklátu²⁰, barviva²¹ a aditiva²² na gravimetrickém zařízení dle určených sérií uvedených v tabulce níže.

označení série vzorků	Obsah vyjádřený v procentech			
	panenský (základní)	recyklát (interní drť)	barvivo	aditivum
100nat/0rec/2b	100	0	2	0
80nat/20rec/2b	80	20	2	0
60nat/40rec/2b	60	40	2	0
40nat/60rec/2b	40	60	2	0
20nat/80rec/2b	20	80	2	0
0nat/100rec/0b	0	100	0	0
0nat/100rec/1b	0	100	1	0
100natadd1	100	0	2	2
100nat/add2	100	0	2	2
100rec/add1	0	100	0	2
100rec/add2	0	100	0	2
borealis/2b	100	0	2	0

Tabulka 9 Označení sérií vzorků

7.3 Měření

Měření bylo provedeno s pomocí přístrojů a interních postupů jako při běžné výrobě pro zákazníka. Z každé série (o minimálním počtu 20ks) byly změřeny vzorky o počtu 4 kusů.

¹⁹ Panenský materiál firmy Basell a firmy Borealis.

²⁰ Recyklát je uvažován pouze pro panenský materiál firmy Basell.

²¹ Barvivo přimíchané do panenského materiálu nebo recyklátu je černé barvivo „TitanSchwarz“.

²² Jako aditivum 1 (add1) bylo použito aditivum s obchodním názvem CRODAMIDE a jako aditivum 2 (add2) bylo použito aditivum MULTIBASE.

Hodnoty u měření barevnosti byly vyhodnoceny přístrojem, jako aritmetický průměr z pěti jednotlivých měření. Přístroj měřící lesk vyhodnocoval hodnotu lesku jako aritmetický průměr tří měření. Všechny měřicí přístroje použity k měření, odpovídají požadavkům zákazníka, certifikace a platné kalibrace jsou součástí přílohy této práce.

7.4 Výsledky měření barevnosti a zpracování dat

Z každé vyrobené série byly změřeny vzorky o počtu 4 kusů a zadány do tabulky k následnému zpracování do grafů. Hodnoty naměřené přístrojem k měření barevnosti jsou aritmetickými průměry pěti měření.

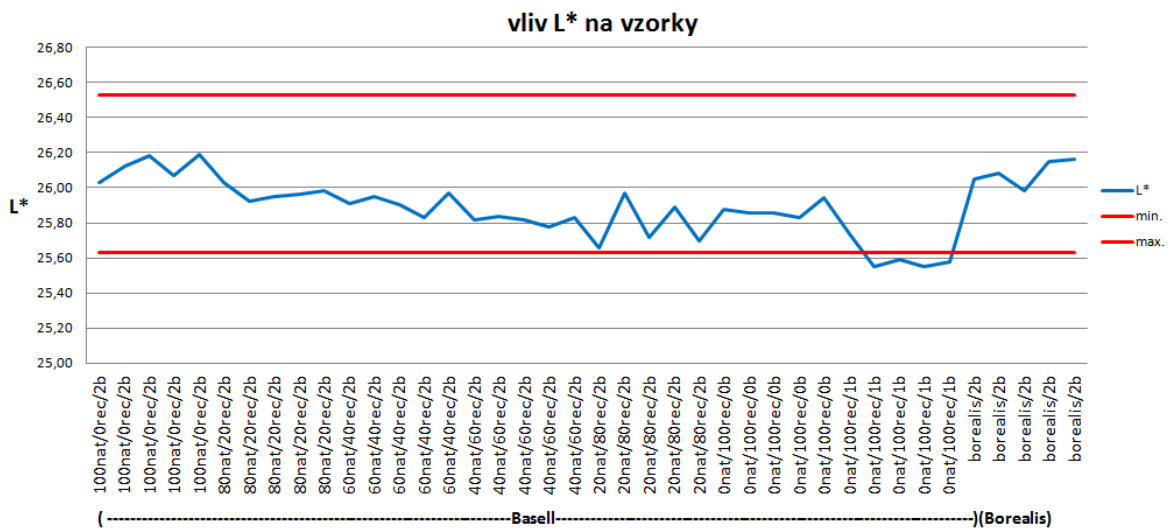
V tabulce níže jsou zobrazeny nominální hodnoty s tolerancemi zadané zákazníkem. Hodnoty pohybující se v tolerancích „IO“ jsou vyhovující, nad „IO“ do tolerance „b.IO“ možné použití podmíněné odchylkovým povolením, hodnoty nad „NIO“ jsou nevyhovující.

Tolerance		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	$> 0,45$	$> 0,35$	$> 0,35$

Tabulka 10 Tolerance hodnot pro měření barevnosti

7.4.1 Zpracované výsledky parametru L*

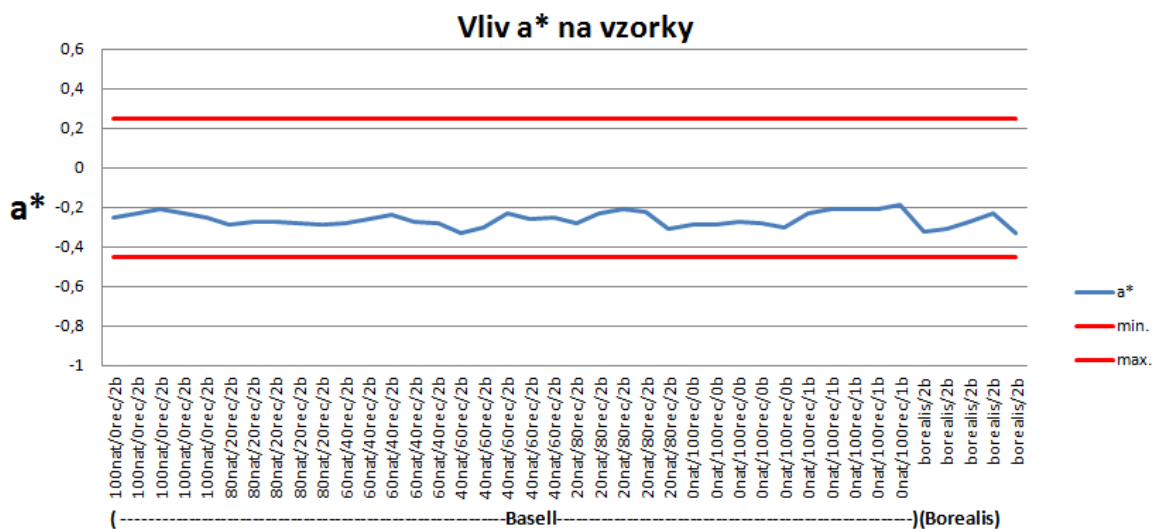
Výsledky měření parametru L* vyjadřující dle CIELAB tzv. celkový jas v závislosti na konkrétní sérii jsou zobrazeny v grafu níže, kdy červené přímky zobrazují maximální tolerance odpovídající požadavkům zákazníka. Modrá křivka zobrazuje naměřenou hodnotu L*. Hodnota L* přesahuje spodní toleranci u série vzorků s označením „0nat/100rec/1b“ představují pouze drť s jedním procentem barviva. U série vzorků s označením „20nat/80rec/2b“ představující 80 % obsahu drtě s 20 % základního materiálu obarvený dvěma procenty barviva jsou naměřené hodnoty nestabilního charakteru spodní tolerance. Tato nestabilita byla způsobena technickými problémy s gravimetrickým zařízením, které nebylo schopno dovážet 2 % barviva v řádech gramů, k nízké dávce základního materiálu.



Graf 5 Hodnoty parametru L* v závislosti na jednotlivých vzorcích

7.4.2 Výsledky parametru a*

Výsledky parametru a* zobrazeny v grafu níže, které představují „zastoupení“ zelené a červené barvy dle CIELAB. Hodnoty parametru a* znázorněné modrou křivkou jsou u všech vzorků v tolerancích, které jsou znázorněné červenými vodorovnými přímkami.

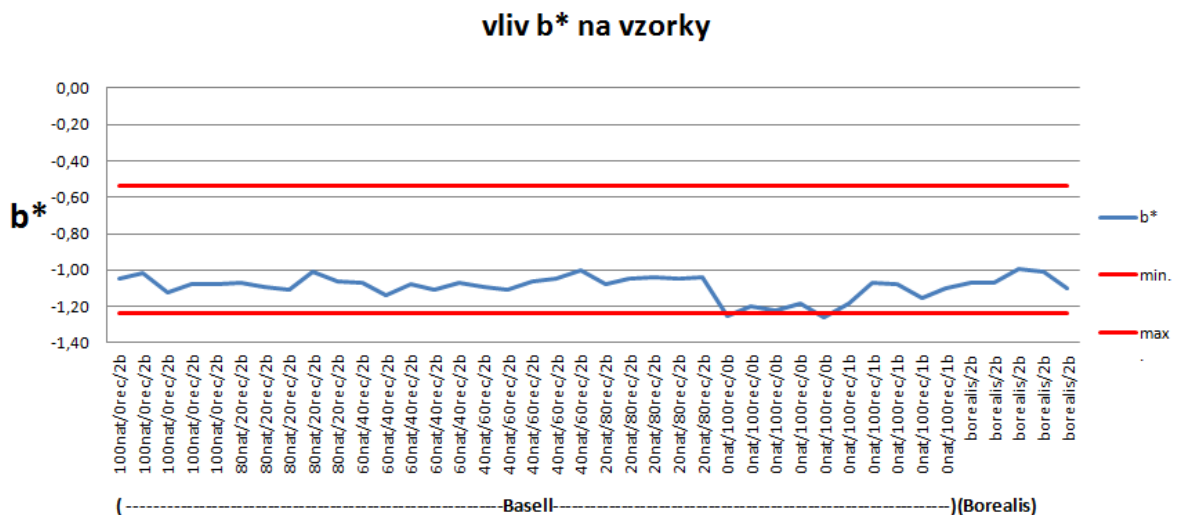


Graf 6 Hodnoty parametru a* v závislosti na jednotlivých vzorcích

7.4.3 Výsledky parametru b*

Výsledky parametru b* zobrazeny v grafu níže, představují „zastoupení“ modré a žluté barvy dle CIELAB. Hodnoty parametru b* znázorněné modrou křivkou jsou v tolerancích

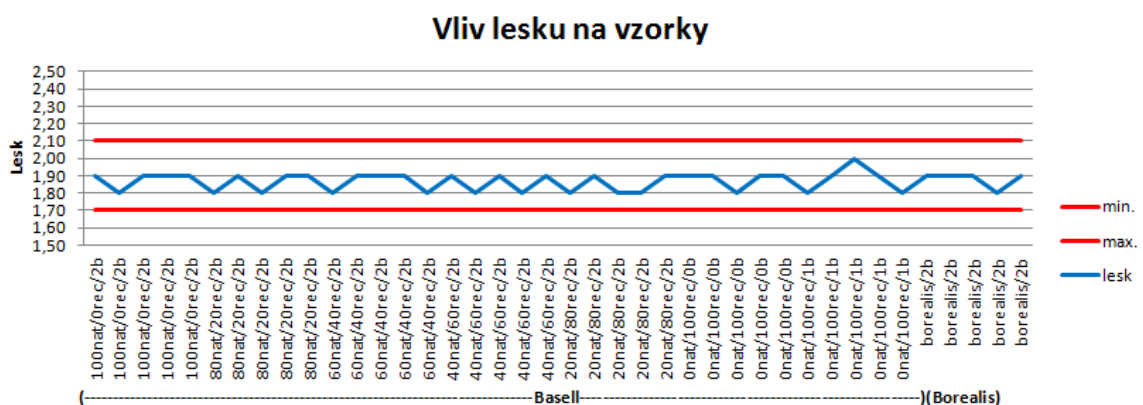
kromě vzorku „0nat/100rec/0b“ představující pouze drť bez přítomnosti barviva. Tato série přesáhla dolní toleranci parametru b^* , toto snížení jsem se pokusil kompenzovat přidáním barviva o obsahu 1 % v následující sérii označené jako 0nat/100rec/1b.



Graf 7 Hodnoty parametru b^* v závislosti na jednotlivých vzorcích

7.4.4 Výsledky lesku

Výsledky měření lesku zobrazené v grafu níže modrou křivkou byli v tolerancích, které jsou v grafu ohraničené červenými křivkami. Z tohoto grafu vyplývá, že vyrobené vzorky neměli podstatný vliv na lesk.



Graf 8 Hodnoty parametru lesku v závislosti na jednotlivých vzorcích

7.5 Alternativní metody zkoušek a hodnocení

V této kapitole jsou rozebrány zkoušky, které se liší od standardních zkoušek požadovaných zákazníkem. Je popsán postup těchto zkoušek a dále jsou uvedeny jejich výsledky.

7.5.1 Zkouška odolnosti proti poškrábání

Měření bylo provedeno na 3 vzorcích ze stejných sérií použitých pro hodnocení barevnosti. Pro tuto zkoušku byla potřeba vyrobit speciální nástroj, který přibližuje podmínky normy.

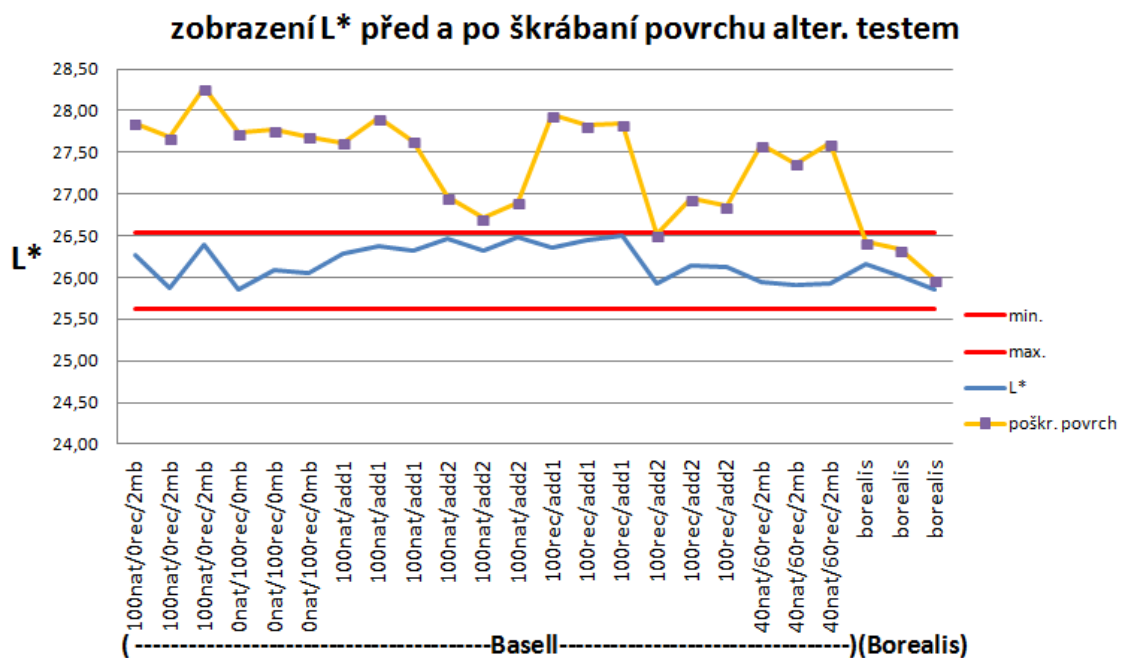
Na vzorku byl nejprve změřen parametr L^* dle standardního postupu pro měření barevnosti. Poté byly na vzorku narýsovány pomocné osy pro vytvoření rýhované mřížky. Na pomocných osách byly za použití posuvného měřidla vyznačeny pomocné rýhy se vzdáleností 2 mm. Pomocí trojúhelníkového pravítka s ryskou a speciálně vyrobeného rýhovacího nástroje byla narýhována mřížka na povrchu vzorku. Následně došlo k novému měření parametru L^* na testovaném vzorku.



Obrázek 33 Rýhování mřížky

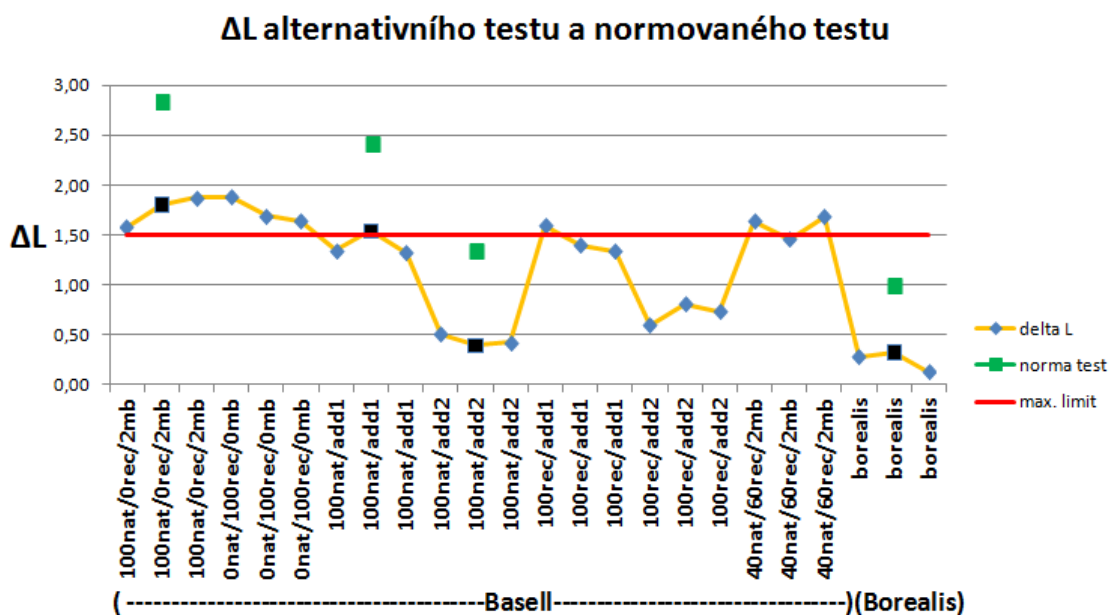
7.5.1.1 Výsledky testu odolnosti proti poškrábání

Výsledky jsou znázorněny ve dvou grafech. V prvním grafu jsou zobrazeny hodnoty parametru L^* modrou křivkou, které jsou změřeny před poškrábáním. Žlutá křivka znázorňuje hodnoty parametru L^* po poškrábání.



Graf 9 Hodnoty parametru L* před a po poškrábání povrchu v závislosti na jednotlivých vzorcích

V druhém grafu je žlutou křivkou zobrazen parametr ΔL - změna neboli rozdíl naměřených hodnot mezi poškrábaným povrchem a povrchem změřeným před poškrábáním. Zelené body označují výsledky konkrétních sérií provedené dle normy zákazníka PV 3952 externí firmou.



Graf 10 Hodnoty parametru ΔL^* alternativního a testu dle normy v závislosti na jednotlivých vzorcích

7.5.2 Alternativní pachová zkouška

Pachová zkouška byla provedena vložением vyrobených vzorků do skleněných nádob, které byly následně vzduchotěsně uzavřeny. Nádoby obsahující vzorky byly vloženy do předehřáté horkovzdušné sušičky. Teplota byla udržována konstantní o velikosti 80 °C po dobu 2 hodin. Po této lhůtě byly nádoby vytaženy ze sušičky. Vzorky byly postupně testovány na intenzitu pachu 3 nezávislými hodnotiteli.

Hodnocení probíhalo dle tabulky, která obsahuje známkování a jeho vysvětlení při posuzování intenzity pachu.

Hodnocení	Známka
není vnímatelný	1
vnímatelný, nerušivý	2
výrazně vnímatelný, ale ještě nerušivý	3
rušivý	4
silně rušivý	5
nesnesitelný	6

Tabulka 11 Tabulka pro hodnocení intenzity pachu

Byly hodnoceny vzorky obsahující různé množství panenského materiálu, aditiv a barviv a recyklátu.

označení série vzorků	Obsah vyjádřený v procentech			
	panenský (základní)	recyklát (interní drť)	barvivo	aditivum
100% natural (Basell)	100	0	2	0
100% natural + add1	100	0	2	2
100% natural + add2	100	0	2	2
100% recyklát + add1	0	100	0	2
100% recyklát + add2	0	100	0	2
100% natural (Borealis)	100	0	2	0

Tabulka 12 Složení jednotlivých vzorků

7.5.2.1 Srovnání podmínek pachové zkoušky

Pro tuto práci byla vytvořena alternativní pachová zkouška. Zákazník má svou vlastní standardizovanou zkoušku intenzity pachu.

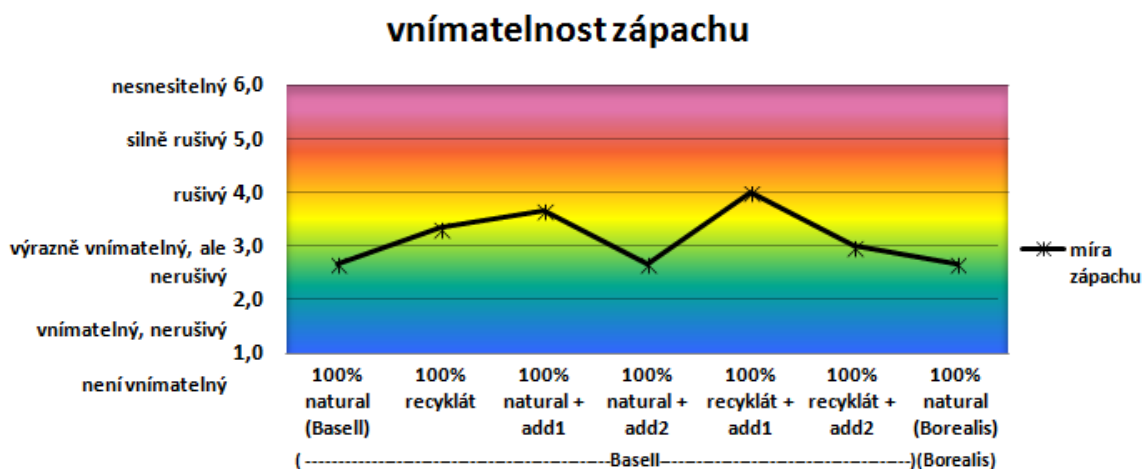
srovnání parametrů pachových zkoušek		
	interní norma zá- kazníka	alternativní zkouška
váha vzorku	(60 ± 6) g	(60 ± 6) g
velikost nádoby	3 litrů	5 litrů
teplota	(80 ± 2) °C	(80 ± 2) °C
doba nahřívání	2 h \pm 10 min.	2 h \pm 10 min.
počet hodnotitelů	3	3

Tabulka 13 Srovnání podmínek pachové zkoušky

Rozdíl mezi alternativní a standardizovanou zkouškou lze postřehnout pouze ve velikosti nádoby, do níž byl vzorek umístěn. Ostatní podmínky zkoušky byly zachovány.

7.5.2.2 Výsledky pachové zkoušky

Výsledky alternativní pachové zkoušky jsou zobrazeny v grafu černou křivkou. Na svislé ose se nachází míra vnímavosti a intenzity pachu v závislosti na jednotlivých vzorcích vodorovné osy. Pach vzorků obsahující aditivum č. 1 byl vyhodnocen jako rušivý, přičemž kombinace panenského materiálu a aditiva č. 1 byla méně rušivá, nežli kombinace recyklátu a tohoto aditiva. Ostatní vzorky byly vyhodnoceny jako relativně nerušivé. Nejméně rušivými byly vyhodnoceny vzorky bez použití recyklátu a aditiv, to znamená vzorek obsahující panenský materiál firmy Basell a panenský materiál firmy Borealis.



Graf 11 Hodnocení vnímavosti pachu v závislosti na jednotlivých vzorcích

8 DISKUZE

V této kapitole je věnována pozornost jednotlivým zkouškám, při nichž byly testovány vzorky obsahující různé množství panenského materiálu, recyklátu, aditiv a barviva. Budou uvedeny možnosti využití technologického odpadu při další výrobě v závislosti na výsledcích provedených zkoušek.

8.1 Diskuze výsledků měření barevnosti a lesku

Výsledky měření parametru L^*

Výsledky měření parametru L^* vycházely u různého množství použitého recyklátu relativně dobře, ale pouze u 100 % recyklátu s použitím barviva o hodnotě 1 % nabýval parametr L^* hodnoty nižší, nežli je povolený dolní limit. Tento vzorek se jeví jako tmavší, což je způsobeno přidáním dalšího barviva. Vzorky, které obsahovaly 80 % recyklátu a pouze 20 % dobarvovaného panenského materiálu, vykazovaly nestabilní hodnoty parametru L^* . Nestabilita parametru L^* u těchto vzorků byla způsobena technickými problémy při dovažování gravimetrické jednotky. Jednalo se o problémy způsobené příliš malým množstvím barviva k panenskému materiálu. Na základě uskutečněné analýzy je možno doporučit použití recyklátu **méně než 80 % hmotnostního obsahu**.

Z hlediska parametru L^* pro srovnání panenského materiálu dvou odlišných výrobců, a to firmy Basell a firmy Borealis²³, je výsledný produkt **stejně vyhovující**.

Výsledky měření parametru a^*

Výsledky měření parametru a^* jsou v mezích tolerancí daných zákazníkem pro různý hmotnostní obsah recyklátu ve vzorku. Z hlediska parametru a^* by bylo možné využít **až 100 % recyklátu**.

Při srovnání výsledků panenského materiálu firmy Basell a firmy Borealis nejsou patrné, žádné signifikantní odchylky v hodnotách parametru a^* mezi oběma materiály.

²³ tzn. panenský materiál těchto firem s obsahem 2 % barviva – černá barva.

Výsledky měření parametru b^*

Výsledky měření parametru b^* se pohybují **mezi nominální a dolní hranicí do obsahu 80 % recyklátu**. Pouze u série s obsahem 100 % recyklátu přesáhla hodnota parametru b^* dolní hranici. Z tohoto důvodu byl zařazen do testu další vzorek, na kterém byly provedeny všechny ostatní měření, včetně měření parametru b^* . Vzorek obsahoval **100 % recyklát obarvený 1% barviva**. Při použití této receptury se u daného vzorku hodnota parametru b^* zlepšila na **průměrné hodnoty ostatních vzorků**, nicméně hodnota parametru L^* spadla pod povolené dolní limity.

Z hlediska výrobců panenského materiálu se po porovnání naměřeného parametru b^* neprokázali výrazné odlišnosti.

Výsledky měření lesku

Byla provedena také hodnocení lesku vyrobených vzorků. Vliv obsahu recyklátu na lesk daného vzorku nebyl potvrzen.

Celkové doporučení na základě vyhodnocení zkoušek optometrických vlastností z hlediska barevnosti a lesku je použití recyklátu o hmotnostním obsahu nižším než 80 %. Panenský materiál lze odebírat od firmy Basell i od firmy Borealis, jelikož nebyla zjištěna přílišná odlišnost při hodnocení barvy a lesku.

8.2 Diskuze k výsledkům zkoušky odolnosti proti poškrábavosti

Ukazatel odolnosti povrchu proti škrábavosti je rozsah změny parametru L^* mezi poškrábaným a nepoškrábaným povrchem. Velikost změny nesmí přesáhnout hodnotu $1,5 \Delta L$.

Z výsledků grafu 8 je jasně patrná odchylka alternativní metody použité k testu škrábavosti a metody použité zákazníkem (měření dle normy). Z pohledu výsledků je takové náhradní měření zcela nepoužitelné, protože nedává přesné (shodné s normou) výsledky.

Je ale vidět, že odchylka od správných výsledků je do určité míry "konstantní" a tak lze říci, že je možné takovou metodu použít pro rychlý přehled chování materiálu při testech, ale s nutným ověřením finálních výsledků měřením podle norem zákazníka.

Jelikož IACG nakupuje službu měření je možné alternativní metodou "odfiltrovat" okamžiky, kdy není potřeba měřit díl, což znamená úsporu při nákupu služeb.

Na základě porovnání výsledků testů vzorků testovaných dle normy, lze doporučit použití aditiva č. 2 v kombinaci s materiálem firmy Basell anebo použití panenského materiálu firmy Borealis bez nutnosti přidání aditiv.

8.3 Diskuze k výsledkům pachové zkoušky

Výsledky měření intenzity pachu poukázali na **nevhodnost použití aditiva 1**, a to jak u panenského materiálu, tak u 100 % recyklátu. Intenzita pachu byla v těchto případech vyhodnocena jako rušivá. Kombinace 100 % recyklátu a aditiva 1 byla více rušivá, nežli kombinace panenského materiálu a daného aditiva.

Ostatní vzorky byly z hlediska intenzity pachu hodnoceny jako **vnímatelné až výrazně vnímatelné, ale nerušivé**.

Z hlediska výrobců panenského materiálu nejsou zřejmé výrazné rozdíly. Vzorky obsahující pouze **panenský materiál** firmy Basell nebo firmy Borealis byly hodnoceny jako **nejméně rušivé** ze všech hodnocených vzorků.

Vzhledem k výsledkům testu intenzity pachu se nedoporučuje používat aditivum 1.

8.4 Návrh vhodné receptury a ekonomické zhodnocení

Vzhledem k vyhodnocení jednotlivých zkoušek je možné stanovit více vhodných receptur pro výrobu požadovaného dílu.

Z hlediska kvality barevnosti finálního produktu je vhodné využití recyklátu do výše 60% hmotnostního obsahu. Protože se v průběhu zkoušek 80 % recyklát choval nestabilně, je možné tvrdit, že vyhovující hranice obsahu recyklátu leží mezi 60 % až 80 %, což je možné stanovit a upřesnit na základě dalších zkoušek a testů.

Z hlediska kvality odolnosti proti škrábání je tedy vhodné využít aditivum č. 2, čímž ale dochází ke zvýšení nákladů na materiál. Toto aditivum je nutné přidávat do receptur s materiálem Basell, jinak výsledný produkt nesplňuje požadavek zákazníka na odolnost proti poškrábání. Aditivum č. 2 je také doporučeno na základě pachové zkoušky, protože aditivum č. 1 bylo vyloučeno pro nadměrný zápach.

Pokud by byla využita nabídka firmy Borealis, která nabízí panenský materiál za stejnou cenu jako firma Basell, bylo by možné dosahovat stejné kvality u produktů při současné úspoře nákladů na aditivum. Materiál firmy Borealis má lepší výsledky u zkoušky na odolnost proti škrábavosti, a tudíž by nebylo potřeba dodávat materiálu aditivum. Vzhledem k

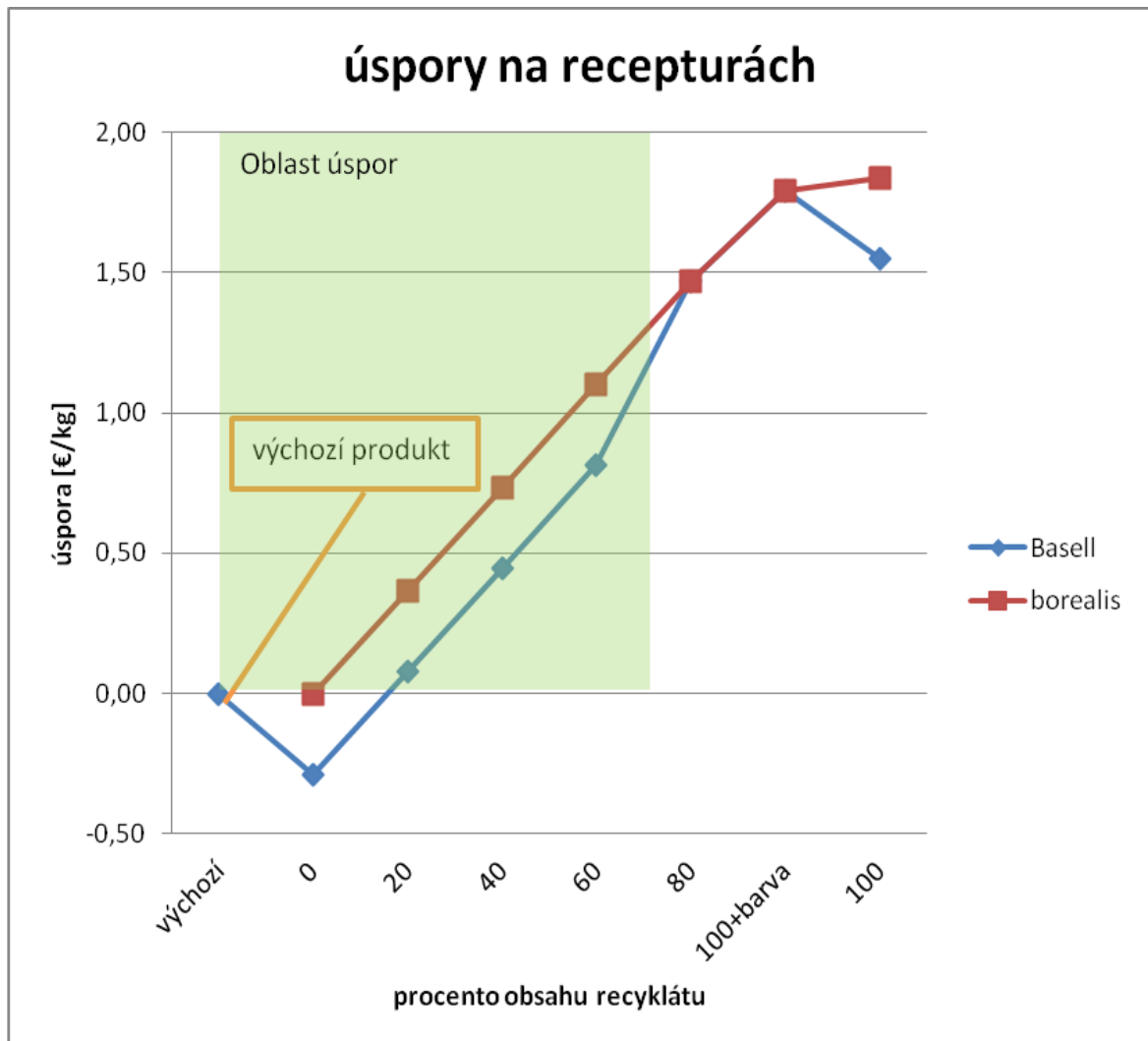
srovnatelným výsledkům materiálu firmy Borealis a firmy Basell u ostatních testů, lze v případě výroby dílů z materiálu firmy Borealis předpokládat podobné výsledky i při použití recyklátu.

V následující tabulce provedeme srovnání nákladů, případně dosažených úspor, pro jednotlivé receptury a to jak v případě použití materiálu firmy Basell s přimíchaným aditivem, tak v případě použití materiálu firmy Borealis bez nutnosti přidávaného aditiva.

verze receptury materiálů	cena(€/kg)					
	1,74	0	4,97	14,44		
	NATural	RECYklát	Barvivo	Aditivum	celkem náklady	úspora
(Basell)100nat/0rec/2b	1,74	0,00	0,10	0,00	1,84	0,00
(Basell)100nat/0rec/2b/2ADD	1,74	0,00	0,10	0,29	2,13	-0,29
(Basell)80nat/20rec/2b/2ADD	1,39	0,00	0,08	0,29	1,76	0,08
(Basell)60nat/40rec/2b/2ADD	1,04	0,00	0,06	0,29	1,39	0,45
(Basell)40nat/60rec/2b/2ADD	0,70	0,00	0,04	0,29	1,02	0,81
(Basell)20nat/80rec/2b/2ADD	0,35	0,00	0,02	0,29	0,37	1,47
(Basell)0nat/100rec/1b/2ADD	0,00	0,00	0,05	0,29	0,05	1,79
(Basell)0nat/100rec/0b/2ADD	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	1,55
(Borealis)100nat/0rec/2b	1,74	0,00	0,10	0,00	1,84	0,00
(Borealis)80nat/20rec/2b	1,39	0,00	0,08	0,00	1,47	0,37
(Borealis)60nat/40rec/2b	1,04	0,00	0,06	0,00	1,10	0,74
(Borealis)40nat/60rec/2b	0,70	0,00	0,04	0,00	0,74	1,10
(Borealis)20nat/80rec/2b	0,35	0,00	0,02	0,00	0,37	1,47
(Borealis)0nat/100rec/1b	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	1,79
(Borealis)0nat/100rec/0b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84

Tabulka 14 Přehled přepočtených nákladů a úspor pro jednotlivé receptury

Jak lze vidět z tabulky, potvrzuje se logické očekávání větší úspory s rostoucím procentem recyklátu v receptuře. Předpokládáme nulovou cenu recyklátu, který firma pořizuje z vlastního technologického odpadu. V případě jeho nákupu bude úspora nižší o patřičnou částku.



Graf 12 Úspora na jednotlivých recepturách

Vlivem technologických a kvalitativních omezení, které byly diskutovány výše, je oblast úspor z jedné strany omezena maximálním obsahem použitého recyklátu do max. 80 % a na druhé straně nesmí vzniknout ztráty. Vše je vztaheno k původnímu produktu, jehož receptura obsahovala pouze čistý PP Basell a barvivo, ale tento produkt nesplňoval požadavek zákazníka na odolnost proti poškrábání. Z grafu je patrné, že pouze přidání aditiva způsobí ztrátu (v hodnotě aditiva), která by měla být kompenzována. Přidáváním recyklátu se přibližně při 18 % hmotnostní obsahu recyklátu cena 1 kg zpracovávaného materiálu vyrovná původní ceně.

Při záměně materiálu z Basell na Borealis, který nemusí být dopován aditivem, aby splnil požadované vlastnosti, při stejném přibližně hmot. obsahu 18 % recyklátu, dosáhneme jakýmkoliv přidáním recyklátu úsporu. Dále je patrné, že přechod na Borealis je ekonomicky jednoznačně výhodnější i vzhledem k tomu, že se nemusí nakupovat a logisticky zajišťovat

aditivum. V případě použití nejvhodnější receptury Borealis s použitím 60 % recyklátu a 2 % barviv, bez aditiva je teoretická úspora v podniku IACG, po přepočtu na roční objem výroby pouze u dílu SBBR Deckel 4480 €/rok.

ZÁVĚR

Diplomová práce je složena z teoretické a praktické části. V teoretické části jsou rozebrány základní pojmy týkající se polymerů. Následně je zařazeno rozdělení polymerů, respektive jde o zařazení polypropylenu do systému polymerů. Jsou popsány vlastnosti čistého polypropylenu a vlastnosti polypropylenu s obsahem přísad a plniv. V rámci teoretické části jsou uvedeny zkoušky povrchových vlastností zejména interiérových výrobků automobilu. Teoreticky je zpracována také recyklace technologického odpadu vznikajícího při výrobě plastových výrobků. Důraz je kladen na primární recyklaci, která probíhá přímo při výrobě. Vzniklý technologický odpad je zpracován na recyklát.

Praktická část práce se zabývá popisem konkrétních zařízení pro výrobu vzorků, specifikací samotných vzorků. Důraz je kladen na nástroje, přístroje a pomůcky pro provedení jednotlivých zkoušek u vzorků, přičemž je sestrojen alternativní nástroj pro zkoušku odolnosti povrchu vzorku proti škrábavosti. U pachové zkoušky došlo k alternativnímu využití skleněných nádob, kdy v normovaných zkouškách je využíváno menších skleněných nádob, nežli u zkoušky prováděné v této diplomové práci. Pro praktickou část byly vyrobeny série vzorků obsahující různé množství recyklátu (20 %, 40 %, 60 %, 80 % a 100% hmotnostního obsahu), ale také rozdílné aditiva. Vzorky byly vyhodnoceny pomocí alternativních metod měření, přičemž tyto výsledky byly srovnány s výsledky ze standardních zkoušek. Na základě všech provedených zkoušek byla formulována doporučení pro nejvhodnější recepturu. Testované vzorky byly vyrobeny z recyklátu a panenského materiálu firmy Basell, který je schválen zákazníkem, ale také byly vyrobeny vzorky z panenského materiálu konkurenční firmy Borealis. Výsledky poukázali na vhodnost využití tohoto materiálu, a je zde předpoklad kladných výsledků i u dalších výrobků z recyklátu tohoto materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] IUPAC, Basic Definitions of terms relating to polymers. London: Butter Worths, 1974. Dostupné z: <<http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/1974/pdf/4003x0477.pdf>>.
- [2] MLEZIVA, J., ŠŇUPÁREK, J., *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [3] DUCHÁČEK, V., *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>.
- [4] LAPČÍK, L., RAAB, M., *Nauka o materiálech II*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2004.
- [5] Materiály výrobce polymerů Equistar.
- [6] Maier, C., Calafut, T., *Polypropylene – The Definitive User's Guide and Databook*, William Andrew Publishing/Plastics Design Library, 1998. ISBN 978-1-884207-58-7
- [7] Interní materiály firmy IACG.
- [8] Materiály výrobce polymerů firmy LyondellBasell.
- [9] MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS, D., *Výrobní stroje a zařízení: the definitive user's guide and databook*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
- [10] Interní materiály firmy IACG poskytnuté zákazníkem.
- [11] *European plastics news*. Surrey: Crain Communications Ltd., 2013, roč. 2013, č. 11. ISSN 0306-3534.
- [12] *Technik: měsíčník Hospodářských novin*. Economia, a. s.: Praha, roč. 2014, č. 4. ISSN 1210616x.
- [13] SLOBODIAN, P., *Nakládání s odpady*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 192 s. ISBN 978-80-7454-252-7.
- [14] *Plasty a kaučuk*. Zlín: Poleng, roč. 2014, 3-4. ISSN 0322-7340.
- [15] ZEMAN, L., *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [16] Materiály výrobce polymerů firmy Borealis
- [17] Materiály výrobce polymerů firmy Sabic

- [18] CHU, J., et al. Scratch Resistance of Mineral-Filled Polypropylene Materials.
Polymer Engineering and Science. 2000, 4, s. 944-955. [článek]
- [19] Technický list materiálu Hostacom EKC 330N
- [20] Technický list materiálu Daplen EE189HP

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a*	Parametr odstínu dle CIELAB
b*	Parametr odstínu dle CIELAB
CIELAB	Souřadnicový systém barevnosti, navržen Mezinárodní komisí pro osvětlení
DIN	Deutsche Industrie-Norm
dsp	Jednotka používaná k označování koncentrace přísady v polymerní směsi; Počet hmotnostních dílů přísady připadající na 100 hmotnostních dílů polymeru.
dsk	Jednotka analogická dsp; používaná pro označování koncentrace přísad v kaučukové směsi; počet hmotnostních dílů přísady připadající na 100 hmotnostních dílů kaučuku
ISO	Označení pro normy International Organization for Standardization
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
L*	Parametr jasu dle CIELAB
PET	Polyethylentereftalát
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
Δ	Delta rozdíl hodnot
°C	Stupeň Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma uspořádání monomerních jednotek izotaktického typu. [5]	10
Obrázek 2 Schéma uspořádání monomerních jednotek syndiotaktického typu. [5].....	11
Obrázek 3 Schéma uspořádání monomerních jednotek ataktického typu. [5]	11
Obrázek 4 Vstřikovací stroj bez předplastikace A plastikace, B vstřik do formy [5]	14
Obrázek 5 Vstřikovací stroj s předplastikací [5]	14
Obrázek 6 Dveřní výplň s díly z polypropylenu [7]	21
Obrázek 7 Přístrojový panel z polypropylenu s obsahem skelných vláken [7].....	22
Obrázek 8 Výrobek z polyamidu nahrazen materiálem PP s krátkými skelnými vlákny. [16]	22
Obrázek 9 Nožový mlýn (1 – stator, 2 – rotor, 3 – nůž, 4 - síto) [9]	27
Obrázek 10 Tlukadlový mlýn (1 – rotor, 2 – stator, 3 – vstup materiálu, 4 – výstup drtě) [9].....	27
Obrázek 11 Kladivový mlýn (1 – rotor, 2 – kladivo, 3 – síto) [9].....	28
Obrázek 12 granule pod vodou	29
Obrázek 13 Vzorníková tabule [7].....	30
Obrázek 14 Reflektometr – schéma [10]	32
Obrázek 15 Rýhovací stroj model Erichsen 430 [10].....	39
Obrázek 16 Schéma rýhované plochy [10].....	40
Obrázek 17 schéma zařízení	41
Obrázek 18 Zařízení pro test zbělení	42
Obrázek 19 Vstřikovací stroj	46
Obrázek 20 Gravimetrická jednotka vstřikovacího stroje	47
Obrázek 21 Díly součásti dveří zavazadlového prostoru.....	48
Obrázek 22 Sila pro uskladnění materiálů na levé straně obrázku a generátorem podtlaku dopravy materiálu na pravé straně obrázku.....	49
Obrázek 23 Sušící zařízení Motan MD 1200.....	50
Obrázek 24 Rozvodný systém dopravy materiálů	50
Obrázek 25 Recyklační pracoviště (1 – mlecí mlýn, 2 – odprašovací cyklón, 3 – separátor kovů, 4 – nádoby pro drť).....	51
Obrázek 26 Spektrometr Konica Minolta CM2500c	51
Obrázek 27 Leskoměr BYK Mikroglos 60°	52
Obrázek 28 Posuvné měřidlo Mitutoyo 500-773 Solar	52

Obrázek 29 Zavírač kartonů na samolepící pásku	53
Obrázek 30 Upravený zavírač spolu s trojúhelníkovým pravítkem a vzorkem s naznačenými osami budoucí mřížky	53
Obrázek 31 Váha CAS CI200A.....	54
Obrázek 32 Skleněné nádoby s umístěným vzorkem	54
Obrázek 33 Rýhování mřížky	60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů polypropylenu; zdroj. [4]	12
Tabulka 2 Tabulka vzorků s obsahy přísad materiálů.[18].....	16
Tabulka 3 Tolerance pro zkoušky netextilních komponentů interiérových barev. [10].....	31
Tabulka 4 Tabulka úhlů dopadu clony 2 σ_2 [10]	32
Tabulka 5 Tabulka pro určení množství vzorku [10]	35
Tabulka 6 Varianty nahřívání [10].....	35
Tabulka 7 Tabulka s hodnocením pachové zkoušky [10].....	36
Tabulka 8 Charakteristiky materiálů Basell a Borealis [19], [20]	55
Tabulka 9 Označení sérií vzorků	56
Tabulka 10 Tolerance hodnot pro měření barevnosti	57
Tabulka 11 Tabulka pro hodnocení intenzity pachu.....	62
Tabulka 12 Složení jednotlivých vzorků	62
Tabulka 13 Srovnání podmínek pachové zkoušky	63
Tabulka 14 Přehled přepočtených nákladů a úspor pro jednotlivé receptury.....	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Velikost hloubky rýhy u jednotlivých vzorků.[18]	16
Graf 2 Vlevo graf rázové houževnatosti, vpravo graf modulu pružnosti v závislostech na hmot. obsahu recyklátu obsahující skelné vlákna.[17].....	19
Graf 3 Graf klimatické zátěže pro variantu A [10]	37
Graf 4 Graf klimatické zátěže pro variantu B [10]	38
Graf 5 Hodnoty parametru L^* v závislosti na jednotlivých vzorcích.....	58
Graf 6 Hodnoty parametru a^* v závislosti na jednotlivých vzorcích	58
Graf 7 Hodnoty parametru b^* v závislosti na jednotlivých vzorcích	59
Graf 8 Hodnoty parametru lesku v závislosti na jednotlivých vzorcích.....	59
Graf 9 Hodnoty parametru L^* před a po poškrábání povrchu v závislosti na jednotlivých vzorcích	61
Graf 10 Hodnoty parametru ΔL^* alternativního a testu dle normy v závislosti na jednotlivých vzorcích	61
Graf 11 Hodnocení vnímatelnosti pachu v závislosti na jednotlivých vzorcích.....	63
Graf 12 Úspora na jednotlivých recepturách	68

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD disk obsahující dokumenty v elektronické podobě

PŘÍLOHA P I: CD DISK

- certifikace přístroje leskoměru
- certifikace posuvného měřidla
- certifikace přístroje spektrometru
- certifikace váhy
- data měření vzorků, grafy a tabulky výsledků
- parametrový list procesu vzorovaného výrobku
- technický list materiálu Daplen firmy Borealis
- technický list materiálu Hostacom firmy Basell