

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

PROBLEMATIKA RECYKLACE PET LAHVÍ: SOUČASNÝ STAV A
PERSPEKTIVY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

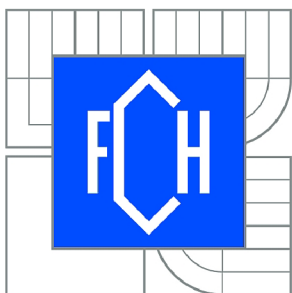
MICHAELA DULIKOVÁ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

PROBLEMATIKA RECYKLACE PET LAHVÍ: SOUČASNÝ STAV A PERSPEKTIVY

QUESTION OF PET BOTTLES RECYCLATION: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAELA DULIKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ČÁSLAVSKÝ, CSc.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce: **FCH-BAK0569/2010** Akademický rok: **2010/2011**
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Student(ka): **Michaela Duliková**
Studijní program: Chemie a chemické technologie (B2801)
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002)
Vedoucí práce **doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.**
Konzultanti:

Název bakalářské práce:

Problematika recyklace PET lahví: současný stav a perspektivy

Zadání bakalářské práce:

1. Zhodnocení současné situace v recyklaci PET lahví a ve využívání recyklátu
2. Návrh možných zlepšení na základě rozboru současné situace

Termín odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Michaela Duliková
Student(ka)

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2011

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá procesem recyklace PET lahví, a to od třídění odpadu až po využití recyklátu, tzv. „PET flakes“. Hlavním objektem zájmu je proces fyzikální recyklace. Porovnává se suchý recyklační postup s mokrým z pohledu využitých technologií a kvality s důrazem na jakost výsledného produktu (PET flakes) z mokrého recyklačního postupu. V rámci ovlivnění jeho jakosti je diskutována přítomnost blokátorů a polyvinylchloridu, které při recyklaci činí největší potíže. V rámci dalšího využití recyklátu jsou popsány technologie i s požadavky na jakost při zvlákňování, výrobě PET pásek, recyklace formou „bottle to bottle“ (B2B) a další možnosti využití recyklátu.

ABSTRACT

This thesis is deals with the process of recycling of PET bottles from the sorting of waste up to the using of recycled material, so-called “PET flakes“. The attention is paid mainly to the process of the physical recycling. The dry recycling process is compared with the wet recycling process from the point of view of applied technology and quality with focus on the final product (PET flakes) from the wet recycling process. As the quality is concerned, presence of blockers and polyvinyl chloride, which causes the most serious problems during recycling, is discussed. Employed technologies as well as quality requirements for spinning, producing PET strapping band, recycling by the bottle to bottle form (B2B) and other possibilities of the usage of recycled materials are also described.

KLÍČOVÁ SLOVA

PET láhve, recyklace, PET flakes, jakost, zvlákňování, B2B

KEYWORDS

Keywords: PET bottles, recycling, PET flakes, quality, spinning, B2B

DULIKOVÁ, M. *Problematika recyklace PET lahví: současný stav a perspektivy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje byly správně a úplně citovány. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis diplomanta

OBSAH

1	Úvod	9
2	PET láhve a recyklace	10
	2.1 Co je polyethylentereftalát	10
	2.2 Jak identifikovat PET.....	11
	2.3 Třídění odpadů	12
	2.4 Recyklace plastů	13
	2.4.1 Materiálová recyklace	13
	2.4.2 Surovinová recyklace	13
	2.4.3 Energetická recyklace	14
3	Fyzikální recyklace	14
	3.1 Technologie suchých recyklačních postupů	14
	3.2 Technologie mokrých recyklačních postupů	15
	3.2.1.1 Výstup z technologie (zařízení) je :	16
	3.2.1.2 Kapacita provozu	16
	3.3 Porovnání suchého a mokrého recyklačního postupu	16
4	Jakost PET flakes	17
	4.1 Barva před a po expozici	17
	4.1.1 Způsob stanovení.....	18
	4.2 Vlhkost.....	18
	4.2.1 Způsob stanovení.....	19
	4.3 Prachové podíly	19
	4.3.1 Způsob stanovení.....	20
	4.4 Sypná hmotnost	20
	4.4.1 Způsob stanovení.....	20
	4.5 Podíl jinobarevných částic, opaků	21
	4.5.1 Způsob stanovení.....	21
	4.6 Podíl blokátorů, polyamidu, částic s lepidlem.....	21

4.6.1	Způsob stanovení.....	22
4.7	PVC, polyolefiny, nečistoty.....	22
4.7.1	Způsob stanovení.....	24
5	Blokátory a polyvinylchlorid	24
5.1	PVC	25
5.1.1	Jak problém s PVC řešit?.....	26
5.2	Blokátory	27
5.2.1	Příklady blokátorů.....	27
5.2.1.1	<i>Nanokompozity MXD6 (Imperm®)</i>	28
5.2.1.2	<i>Aplikace Imperm v pivních láhvích</i>	28
5.2.1.3	<i>Aktivní/pasivní kombinované systémy</i>	28
6	Vývoj cen PET lahví a PET flakes na trhu	29
7	Využití PET flakes	30
7.1	Zvláknování.....	30
7.1.1	Požadavky na jakost PET flakes	30
7.1.2	Technologický postup.....	31
7.1.2.1	<i>Kompaktní linky</i>	31
7.1.2.2	<i>Dvoustupňové recyklační linky</i>	32
7.2	Výroba PET pásky	33
7.2.1	Požadavky na jakost PET flakes	33
7.2.2	Technologický postup.....	33
7.3	Bottle to bottle	34
7.3.1	Požadavky na jakost.....	34
7.3.2	Technologický postup:.....	35
7.3.2.1	<i>Recyklační linka B2B „Erema RM TE - VSV“</i>	35
8	Závěr	37

1 ÚVOD

Polyethylentereftalátové (PET) láhve jsou ve světě stále oblíbenějším obalovým materiálem. Je to pro jejich výborné vlastnosti. Důkazem toho je výroba polyethylentereftalátu pro obalové materiály; zatímco v roce 1995 se ve světě vyrábělo cca 3 miliony tun PET ročně, v roce 2010 výroba vzrostla na necelých 18 milionů tun za rok.

Není to zase tak dlouhá doba, co spotřebitelé kupovali nápoje ve skleněných lahvích. Dnes se s nápoji ve skle setkáme málokde. Zkratka PET vytlačuje z trhu ostatní obalové materiály, jako jsou zmíněné sklo, kartony či plechovky.

Spotřebitelé tedy dávají přednost PET lahvím, jelikož jsou lehké, nerozbitné a snadno uzavíratelné. Ale ví, co s takovou PET lahví po spotřebování jejího obsahu? Je s podivem, kolik lidí v dnešní době stále neví co se s PET láhvemi poté děje. Netuší, jak je tento materiál užitečný v mnoha oblastech a bohužel se k tomu i tak staví. Je pravdou, že v oblasti třídění odpadů se neustále zlepšujeme, dokonce Česká republika patří mezi nejlepší ve střední Evropě. Obecně lze říci, že nejproduktivnější v oblasti třídění odpadů jsou severské země, zde se vytrídí cca 80 % odpadu. U nás se tato hodnota pohybuje okolo 60 %, na západě 40 % a na východě 10 %.

Zbytek odpadů, tedy i PET láhve, které se nevytrídí, končí na skládkách či ve spalovnách. Technologie se neustále zlepšují a počet společností na trhu, které ať už PET láhve, či PET flakes (produkt recyklace PET lahví) zpracovávají, neustále roste. Z tohoto vyplývá, že materiálu není stále dost a výrazně roste poptávka, proto jakékoliv procento, o které třídění vzroste, je dobré. Bylo by vhodné se na toto více zaměřit a spotřebitelům dát na vědomí, jak se s odpady zachází, jelikož mnohdy za osud druhotných surovin v komunálním odpadu může právě nevědomost.

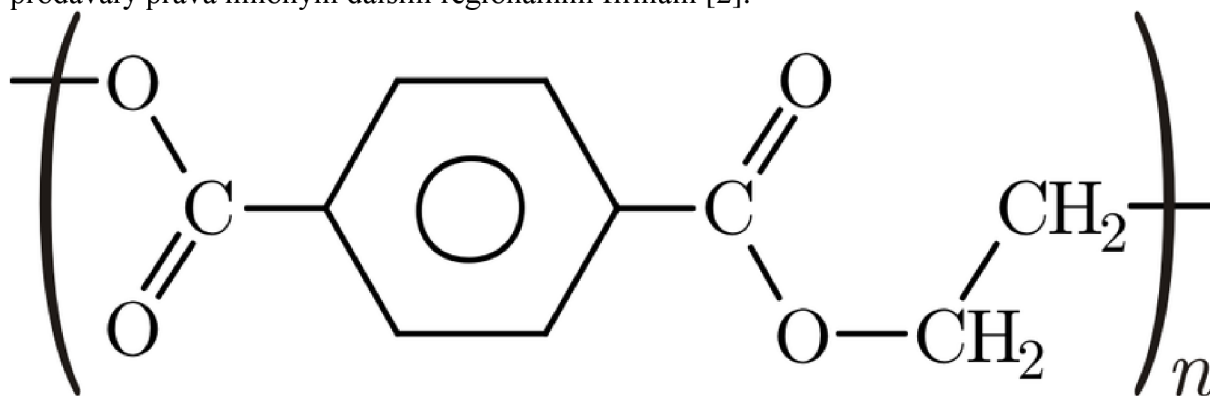
2 PET LÁHVE A RECYKLACE

2.1 Co je polyethylentereftalát

PET (polyethylentereftalát) je pevný, ale lehký čirý polyester. Je používán na výrobu nádob pro nealkoholické nápoje, džusy, alkoholické nápoje, vodu, jedlé oleje, čisticí prostředky a jiné potraviny a nepotravinářské aplikace.

Molekuly polymeru polyethylentereftalátu jsou složeny z dlouhých řetězců opakujících se jednotek, které obsahují organické prvky jako uhlík (C), kyslík (O) a vodík (H) [1].

PET byl nejprve vyvinut pro použití na syntetická vlákna firmou Britý Calico Printers v roce 1941. Patentová práva byla následně prodána firmám DuPont a ICI, které podle pořadí prodávaly práva mnohým dalším regionálním firmám [2].



Obr. 1 Struktura polyethylentereftalátu

Láhve dnes představují nejvýznamnější použití formování PET pryskyřic. Výroba PET lahví začíná surovými materiály: ethylenem a p-xylenem. Deriváty těchto dvou látek (ethylenglykol a kyselina tereftalová) byly použity k získání PET pryskyřic. Pryskyřice ve tvaru malého válce zvané pelety se roztaví a vstříknou do formy, aby byl získán tvar preformy. Polotovar (preforma), velikosti zkumavky, je kratší než PET láhve a má silnější stěny. Vytvaruje se vyfouknutím. Během tvarovací fáze je vysoce stlačený vzduch vháněn do polotovaru a tak mu umožní přijmout přesný tvar formy, do které je zasazen. Konečný výrobek je transparentní, pevná a lehká láhev.

Jedná se o pevnost materiálu, která přispívá k tomu, aby výroba PET lahví byla úspěšná. Opravdu, sycené nealkoholické nápoje vytvářejí tlak uvnitř láhve dosahující až do 600 kPa. Takový vysoký tlak, díky uspořádání makromolekul (krystalizace) probíhající jak v průběhu procesu předání pryskyřice, tak formovacího procesu, není láhev schopný deformovat, ani láhev nemůže explodovat.

Během let, kdy se průmysl pro výrobu PET zabývá environmentálními hledisky, se výrazně snížilo množství surového materiálu potřebného pro výrobu lahví. V dnešní době je 1,5 litrový PET obal vyroben z pouhých 35 gramů suroviny!

Další pozoruhodnou vlastností PET z ekologické stránky je to, že je plně recyklovatelný. V roce 1977 byla první PET láhev recyklována a přeměněna v jinou. Nicméně brzy odvětví pro výrobu vláken objevilo tento materiál, a začalo jej používat pro výrobu textilu, rohoží

a netkaných textilií. Dnes, i když recyklace B2B se zvyšuje, trh s vlákny je stále významným odbytištěm pro obnovení (recyklaci) PET.

Výhoda tohoto materiálu spočívá v jeho fyzikálních vlastnostech, které umožňují velkou svobodu při navrhování [1].

2.2 Jak identifikovat PET

Provozovatelé třídíren nejsou jediní, kteří musí být schopni rozpoznat PET. Díky svým mnoha vlastnostem, mezi nimiž jsou nejvýznamnější nerozbitnost, lehkost a recyklovatelnost, je PET velmi ceněn spotřebiteli. Je spravedlivé, aby lidé byly také schopni rozpoznat výrobek, který upřednostňují. Pro ilustraci využitelnosti obalů americká společnost plastikářského průmyslu vyvinula design, který se nyní stal standardní - tři šipky se vzájemně následují. Tento symbol, spojený s číslovacím systémem, který určuje druh materiálu, umožňuje správné určení PET.

Systém číslování v oblasti plastů se spojuje s čísly 1 až 19. PET je v tomto systému označován číslicí 1.



Obr. 2 Mezinárodní symboly obalových plastů

PET je také identifikovatelný díky svým charakteristickým rysům: vstříkovací formy jsou na spodní straně všech PET nádob stejné. Tato „obchodní známka“ přísluší výrobě polotovarů. Tečka odpovídá přesnému místu, kde je pryskyřice vstříknuta do formy. Logo a systém číslování jsou často potiskem na láhvi samotné, ale mohou se také objevit na etiketě obalu.

Současný Evropský parlament a Rada ve Směrnici o obalech a obalových odpadech (2004/12/ES) požaduje, aby obal byl identifikován pomocí označení a uvedením, že je opakovaně použitelný nebo využitelný materiál a musí mít identifikační číslo. Na základě této směrnice, rozhodnutí Komise 97/129/ES stanovuje číslování a zkratky, na nichž je identifikační systém založen a které označují charakter použitého obalového materiálu a určují, na které materiály se tento identifikační systém vztahuje.



Evropské označení, někdy pod trojúhelníkem ještě PET



Způsob používaný hlavně v USA

Obr. 3 Mezinárodní značení PET

Vzhledem k povaze rozhodnutí Evropské komise využití navrhovaného systému identifikace zůstává dobrovolné na evropské úrovni.

Na vnitrostátní úrovni některé členské země požadují určité povinné značení. V Itálii například PET nádoba musí být zřetelně označena v souladu s právními italskými symboly: zkratka PET se vkládá do kruhu nebo šestiúhelníku [3].

2.3 Třídění odpadů

Svoz odpadů probíhá ze sběrných nádob různého typu (obsahu) rozmístěných po obcích a městech. Svozové dny jsou navrženy tak, aby se nemíchal plastový odpad s odpadem papírovým. Tento surový materiál se sváží na třídící linku, kde se poté separuje.

Standardní třídící linka se skládá z dopravníků přijímacích a třídících. Podávací dopravníky vedou k třídící lince, pod kterou jsou umístěny boxy na již vytríděný materiál.

Tříděné komodity ze sběrového papíru jsou: 1.05 kartonový papír, 1.02 smíšený papír, deiking (časopisy, letáky), bílý nebo barevný ořez.

Tříděné komodity z plastů jsou čiré PET láhve, barevné PET láhve, mix plast (kelímky od jogurtů + veškeré úlomky různých plastů jako HDPE), barevná a čirá fólie, čirá a barevná chemie (láhve od saponátů, šampónů, aviváží, mýdel apod.), čiré a barevné potahované láhve (láhve s PVC od nápojů), neprůhledné láhve (např. bílé láhve od mléka, Coca Coly), stříbrné PET láhve (sezónní láhve pro minerální vody), tetrapack (krabice potahované hliníkem od vína, džusů či mléka), PET blistry (krabičky na různé zboží), polystyren.

Dále se třídí zvláště dřevo, které se následně drtí, z drti se vyrábí např. dřevotříska, sklo, které se dělí opět na čiré a barevné, a kovy [4].



Obr. 4 Třídírna odpadu, van Gansewinkel, a.s.

2.4 Recyklace plastů

Recyklace (z anglického slova recycling = vrácení zpět do výrobního procesu) znamená opětovné využití odpadů, látek a energií jako zdrojů druhotných surovin v původní či pozměněné formě. Recyklace odpadů tedy vede k úspoře materiálů a energií a tím zároveň i k ochraně životního prostředí.

Polymerní odpad lze v zásadě recyklovat třemi způsoby, a sice materiálově, surovinově nebo energeticky [5].

2.4.1 Materiálová recyklace

Jedná se o transformaci odpadu na nový výrobek, aniž by došlo ke změně jeho chemické struktury. Existuje několik forem provedení, z nichž nejběžnější jsou úprava a zpracování polymerního odpadu na druhově jednotný recyklát, přetavení odpadu na tvarované dílce nebo polotovary a využití jako aditiva do stavebnin. Zejména při zpracování na druhotně jednotný recyklát bývá problémem obvykle nedefinovaná barevnost odpadu. Z hygienických důvodů bývá použití druhově jednotného recyklu omezeno výhradně na nepotravinářské účely.

Rovněž při přetavení odpadu na hotové výrobky nebo polotovary (např. univerzální stavební prvky, palety, desky pro nábytkářský průmysl apod.) je vzhledem k vzájemné nesnášenlivosti některých řad plastů nezbytné zajistit často jednotné složení odpadu nebo alespoň významný podíl polyethylenu ve směsi, a to minimálně 60 %. Cílem je zabezpečit výrobu prodejných výrobků při omezení třídících a čistících operací a vynechání regranulace, čímž lze podstatně redukovat náklady procesu. Ze zpracovatelských technologií dominuje jednoznačně intruze, tj. vytlačování do formy. Lze ovšem také aplikovat lisování nebo vstřikování, nikoliv však vyfukování.

Efektivním řešením znovupoužití plastů popsaným způsobem je výroba panelů pro protihlukové bariéry dopravních komunikací. Panely totiž obsahují více než 80 % směšného plastu a jsou tedy schopny dostatečně nahradit klasické dřevěné prvky s aktivní hmotou na bázi minerálních vláken, která pohlcování zvuku zabezpečuje [6].

2.4.2 Surovinová recyklace

Surovinové využití polymerního odpadu představují procesy, jejichž charakteristickým znakem je hluboký rozklad vysokomolekulárních látek, zejména jejich směsí, a následné dělení a čištění finálních sloučenin rozkladu. Jako produkty vystupují nízkomolekulární sloučeniny, které lze zpětně využít k syntéze jiných výrobků chemického průmyslu. Jejich kvalitativní a kvantitativní zastoupení ve vzniklé směsi je závislé zejména na reakčních podmínkách a složení zpracovávaného polymerního odpadu. Používanými metodami jsou redukční, pyrolytické i oxidační metody, nejčastěji se však používá pyrolýza, kdy se využívá tepelného rozkladu plastů za nepřítomnosti zplyňovacích médií. Produkty jsou různé těkavé látky (vodík, CO, CO₂, CH₄), kapalné uhlovodíky s vlastnostmi blízkými petroleji, oleje a koks, které lze po další úpravě využít jako palivo či suroviny chemického průmyslu.

Co se týká nákladů na surovinový recykl, lze říct, že dosahují přibližně polovičních hodnot ve srovnání s recyklací materiálovou v podobě druhotně jednotného recyklátu.

Speciálním procesem surovinového využití je depolymerizace na monomer, již lze realizovat termicky nebo chemicky, nejčastěji s využitím hydrolýzy. Proces ale vyžaduje téměř absolutní čistotu zpracovávané suroviny a většinou je ne hospodárný. V praxi se nejvíce provádí depolymerizace polyamidů, zejména vláknářských typů polyamidu 6 (koberce) [6].

2.4.3 Energetická recyklace

Energetická recyklace lze chápat jako environmentálně akceptovatelné spalování s využitím energetického potenciálu. Lze jej doporučit obzvláště pro odpad získaný ze směšného komunálního odpadu, ve kterém jsou sice plasty zastoupeny jen v množství okolo 10%, ale vzhledem ke své výhřevnosti dodají při procesu spalování až 50 % energie. Náklady na spalování polymerního odpadu spolu s ostatním netříděným komunálním odpadem jsou relativně výhodné a pohybují se v rozmezí 7 – 15 Kč.kg⁻¹ odpadu v závislosti na zvolené technologii.

Lze tedy říci, že energetický recykl je pro většinu směšných polymerních odpadů lukrativní ve srovnání s ostatními způsoby využití, mj. i v relaci k vysoké výhřevnosti plastů, která činí u některých druhů téměř 4,5.10⁷ J.kg⁻¹. Vidíme tedy, že recyklačních technologií máme k dispozici celou řadu. Problematika obalových plastových odpadů není zdaleka jen věcí technickou, ale spíše společenskou a legislativní (organizace sběru odpadů a dalšího nakládání s nimi) i ekonomickou, která ovšem zase musí být řešena legislativní cestou [6].

3 FYZIKÁLNÍ RECYKLACE

Fyzikální recyklace je v podstatě část celkového recyklačního pochodu PET lahví až ke konečnému produktu. Výstupem fyzikální recyklace jsou nasekané omyté PET vločky zbavené nečistot, tzv. PET flakes. Od jejich jakosti se dále odvíjí další zpracování. Každá technologie pro výrobu produktů z PET flakes má odlišné požadavky, avšak platí pravidlo „čím čistší, tím lepší“.

3.1 Technologie suchých recyklačních postupů

Recyklace plastů spočívá ve zpracování vyseparovaného a druhově vytríděného plastu pomocí drcení do formy drtě o určité frakci, která závisí na přáních a možnostech odběratelů.

Popis recyklačního procesu:

- materiál určený k recyklaci je pomocí nahrnovacího pásu dopraven na pás dotřídovací a zde druhově dotříděn na jednotlivé typy a druhy materiálů (HDPE, LDPE, PET, PP, PS ...)
- tyto materiály jsou poté v přepravních obalech předány buďto k drtícímu zařízení, na kterém dojde k jejich rozdrčení a přípravě k dalšímu zpracování, nebo jsou slisovány do balíků, které jsou poté předány k dalšímu využití.

Činnost drtícího zařízení: pomocí vynášecího pásu jsou v našem případě vyseparované, použité PET láhve dopraveny do násypky „drtiče“, kde dochází k jejich postupnému propadávání do komory nožového mlýna, v němž jsou na rotoru i statoru umístěny ostré nože,

pomocí kterých dochází k rozemletí těchto PET lahví a propadnutí přes síto o dané velikosti děr na dno komory. Poté je rozemletý PET materiál pomocí ventilátoru dopraven do připravených velkoobjemových vaků umístěných na kovové konstrukci, která je součástí zařízení a připraven k dalšímu zpracování. Každý vak je umístěn na paletu, označen názvem společnosti a je na něm uvedena hmotnost a datum zpracování.

Výkon nožového mlýna je 800 kg/h [7].



Obr. 5 Technologie „suchého procesu“

3.2 Technologie mokrých recyklačních postupů

Plastové odpady k recyklaci jsou přebírány převážně od separačních zařízení jednotlivých odpadových společností jako vytríděné. Vzhledem k nárokům na kvalitu výstupního výrobku je nutné dotřídění těchto odpadů před vstupem do technologie drcení a praní. V první etapě jsou balíky rozdruženy a plasty v balících mechanicky odděleny od sebe vzájemně.

Následně jsou transportovány prvním vynášecím dopravníkem na horizontální dotřídovací pás. Na třídícím pásu probíhá dotřídění a separace příměsí, které mohou zhoršit kvalitu výrobků na výstupu. Na konci pásu je osazen magnetický válec pro separaci magnetických materiálů. Z tohoto dopravníku jsou dalším vynášecím pásem dopraveny do násypky dvou mokrých mlýnů (drtičů). V drtiči se odpad drtí za skrápění vodou na požadovanou velikost výstupní frakce dle velikosti děr síta, a to v rozmezí 10 – 14 mm.

Po rozdrcení je směs vody a plastů transportována čerpadly do sekce preflotace, kde dochází k oddělení PET a polyolefinů. Polyolefiny (etikety a víčka) jsou vynášecím zařízením dopravovány do velkoobjemového vaku (big bagu) jako jeden z produktů recyklace. Další součástí je frikční pračka, kde dochází k vlastnímu procesu teplého praní a mechanického čištění drti PET (flakes). Vypraná drť je dopravována dále do dopírací sekce pro zajištění maximální čistoty produktu. Následuje proces odstředění zbytkové vody z drti a horkovzdušné sušení elektricky vytápěnou sušičkou.

Po vysušení je drť (flakes) dopravována pneumaticky do výstupní sekce plnění do polypropylenových velkoobjemových vaků (big bagů). Část teplého praní je doplněna zařízením pro vstup neprané drti. Výstupní sekce a sekce separace polyolefinů jsou osazeny

setřásacími segmenty. Po naplnění big bagů jsou výstupní výrobky skladovány ve skladových halách a následně expedovány klientům jako přímý vstup do výrobních technologií [8].

3.2.1.1 Výstup z technologie (zařízení) je:

- výrobek (recyklát) = PET flakes, PET frakce do 1mm a polyolefiny = polyethyleny + polypropyleny (uzávěry a etikety PET lahví),
- odpady separované z přijímaných odpadů (palivo dodávané klientům dle jejich požadavků ke spoluspalování) [8].

3.2.1.2 Kapacita provozu

Prací a recyklační linka vyrobí cca 700 – 800 kg flakes/hod.

Čistá produkce PET flakes za jeden měsíc cca 500 – 600 t

Čistá produkce PET flakes za jeden rok cca 6400 – 6600 t

Produkce polyolefinů (etikety, uzávěry) za jeden rok cca 240 t

Množství PET lahví:

Zařízení zpracuje za jeden měsíc cca 650 – 750 t

Zařízení zpracuje za jeden rok cca 8400 – 8600 [8].



Obr. 6 Technologie „mokrého procesu“



Obr. 7 PET flakes, čirá, zelená, mix, modrá

3.3 Porovnání suchého a mokrého recyklačního postupu

Na obrázku 8 je zřetelné, že produkty suchého a mokrého recyklačního postupu jsou zcela rozdílné. Zatímco z mokrého recyklačního postupu jsou produktem čisté PET flakes, zbavené nečistot, ze suchého recyklačního postupu PET flakes obsahují velké množství příměsí. Na první pohled nás zaujme barva, jelikož v suchém procesu, jak už nám název napovídá, nedochází k praní, láhve jsou špinavé a obsahují veškerá lepidla. Protože nadrcené PET flakes nepřijdou do styku s vodou, nedojde k flotaci etiket a vršků z produktu flakes. Takový materiál v žádném případě nelze použít jako vstupní surovinu pro vláknařství, PET pásy a další zpracování, pro které je důležité, aby PET flakes byly čisté a zbavené příměsí.

Osud PET flakes ze suchého recyklačního procesu je mokré praní. Z takového materiálu se zkrátka nedá nic vyrobit. Jelikož i suché procesy recyklace obsahují třídící systém, kde se odebírají láhve s PVC, je možné (a nutné) tento materiál zpracovat mokrým procesem, kde dojde k jeho vyčištění.



Obr. 8 Porovnání PET flakes z mokrého a suchého procesu

4 JAKOST PET FLAKES

Jak již bylo zmíněno, jakost recyklátu je nejdůležitější sledovaný parametr. Zpravidla se stanovují následující ukazatele: barva před a po expozici, vlhkost, prachové podíly, sypná hmotnost, procentuelní podíly jinobarevných částic, opaků, částic s lepidlem, blokátorů, polyamidů a podíly v jednotkách ppm polyvinylchloridu, polyolefinů a nečistot.

Zpracovatelé PET flakes obvykle provádí i jiné laboratorní rozbory, které vyžadují ke svému zpracování; tyto rozbory bývají obvykle orientační a na jakost produktu PET flakes nemají vliv.

Tabulka s limitními ukazateli jakosti je uvedena v příloze.

4.1 Barva před a po expozici

První vlastností PET flakes, kterou je možné ihned po samotné fyzikální recyklaci vidět, je barva.

V případě výroby čirých PET flakes má být barva před expozicí čistě bílá (jakost A), průsvitná, v žádném případě nesmí být nažloutlá (jakost B), ani nazelenalá (jakost C). V poslední době se setkáváme s barvou našedlou. Tuto barvu nelze ovlivnit praním, jelikož ji vytváří PET láhve, které jsou vyrobeny již z recyklovaného materiálu. Jakmile je polyethylentereftalát vícekrát recyklován, ztrácí svoji specifickou bělost a šedne. Materiál může být mnohdy až 5krát recyklován. S tímto se setkáváme nejčastěji u materiálu ze země, kde je třídění odpadů a recyklace materiálů (chápejme recyklaci PET lahvi bottle to bottle) zavedeno po delší dobu, například 7 a více let. Jestliže barva před expozicí odpovídá stanoveným normám, může nastat změna barvy po tepelné expozici. Barva po tepelné expozici má být opět čistě bílá. Převážná část vzorku není průsvitná, jako před expozicí. To je způsobeno krystalizací materiálu, která probíhá při 90 – 130 °C. V případě, že dojde ke změně barvy na žlutou až nazelenalou, materiál není vhodný k dalšímu použití. Nekvalitní materiál se opět musí podrobit procesu praní.

U výroby mixů a jednotlivých barev (modrá, zelená, fialová) je nekvalita v rámci barvy před expozicí i po expozici ojedinělá. Barevné PET flakes bývají tmavší oproti bílým a proto změnu barvy obvykle lze postřehnout jen v krajních situacích, kdy byl výrazně nedodržen postup recyklace.

Změna barvy je způsobena špatným pracím procesem, zejména nevhodným dávkováním chemikálií do frikční pračky, které bývá stanoveno v technologických postupech a odvíjí se od druhu recyklační linky, množství produkce PET flakes a konkrétních chemikálií. Aby tato situace nenastala, je vhodné pravidelně kontrolovat bazicitu vody ve frikční pračce, jelikož praní se provádí ve zředěném NaOH.

4.1.1 Způsob stanovení

Barva PET drtě je posuzována vizuálně před a po expozici a je zařazena do příslušné skupiny podle etalonu. Etalony jsou uloženy v laboratoři a zároveň na provozu [9].

4.2 Vlhkost

Produkt recyklace nesmí být vlhký a v žádném případě mokrá. Zpravidla bývá přípustná hodnota vlhkosti 0,00 – 1,00 % v jakosti A, 1,01 – 1,25 % v jakosti B a 1,25 – 1,50 % v jakosti C. Pro většinu aplikací (následné zpracování PET flakes) je požadována jakost A, vyšší podíl vlhkosti je brán za nevyhovující.

V případě zvýšené vlhkosti PET flakes se materiál opět podrobí pracímu procesu a následnému vysušení. Jestliže vlhkost není příliš vysoká, hraničí s jakostí C, lze produkt ponechat pár dní proschnout (aniž by se expedoval) a provádět stanovení vlhkosti v časových intervalech do doby, než samovolně uschne. Tento způsob je ekonomičtější v případě nákladů na recyklaci, ovšem většina společností se snaží uspokojit své zákazníky, jelikož materiálu je málo, proto jej raději podrobí opětovnému praní, což je podstatně rychlejší.

Vlhkost je způsobena nekvalitním sušicím procesem, a to dvěma způsoby. V prvním sušicím stádiu se provádí proces odstředění zbytkové vlhkosti PET flakes v odstředivce. Pokud není dodržena správná obsluha recyklační linky, může nastat ucpání odstředivky materiálem, tím se stane odstředivka nefunkční. Druhý problém nastává v elektricky vytápěné

sušičce. Jestliže není plně funkční odstředivka, sušička není schopna pojmout takové množství vlhkosti, aniž by se rapidně nesnížil výkon produkce PET flakes. Dále v procesu sušení může nastat jakákoliv elektronická závada. Pravděpodobnější bývá selhání odstředivky. Předcházet zvýšené vlhkosti lze pravidelným čištěním odstředivky a důkladnou kontrolou sušícího systému technologické linky.

4.2.1 Způsob stanovení

Vlhkost se stanoví jako procentuální podíl mezi hmotností navážky před a po tepelné expozici. Do tří hliníkových misek se naváží 100 g PET drtě s přesností 0,01g. Misky se vloží do sušárny vyhřáté na 200 °C na dobu 30–40 minut. Po vychladnutí (20 minut) se misky opět zváží. Obsah vlhkosti se vypočítá podle vzorce:

$$Vlhkost(\%) = \frac{(c - d) \cdot 100}{c} \quad (1)$$

kde:

c je hmotnost vzorku před sušením

d je hmotnost vzorku po sušení [9]

4.3 Prachové podíly

Materiál PET flakes by neměl být prašný. Obvyklé hodnocení jakosti A 0,00 – 0,20 % je požadováno odběrateli pro další využití recyklátu. V dřívějších dobách byla tato hranice na 1,00 %. S novými technologiemi, které recyklační linky instalují do provozu, se tato hodnota významně snížila. Na jakost B a C je upozorňováno. Nekvalitní materiál, s obsahem prachových podílů vyšších než 0,50 %, bývá reklamován.

Prachové podíly vznikají v drtiči. Za drtičem je umístěno síto podle požadované frakce 10 – 14 mm. Nože melou materiál do doby, než je rozemletý na požadovanou velikost a projde sítem. Vznikají zde menší úlomky, které do doby, než projdou sítem, mohou být i několikrát pomlety až do velikosti prachu. Prach je definován jako částice, která projde sítem o velikosti ok 1 mm.

K odprašení dochází na více místech v průběhu recyklace. V pracím procesu probíhá odplavení nečistot včetně prachu. V sušící části, konkrétně v odstředivce, je umístěné síto s velikostí ok 1 – 2 mm, kde PET prach je odstředěn společně se zbytkovou vodou. Protože v odstředivce jsou PET flakes stále vlhké, obsah vlhkosti drží i částčky PET prachu. V sušičce je materiál zbaven vlhkosti, ovšem prachu ne. Proto převážná většina technologií má na výstupu materiálu odsávací zařízení. Funkce tohoto zařízení spočívá v tom, že ve výstupním potrubí je umístěno do stěny potrubí síto (velikost ok obvykle 1 mm), přes které se odsává zbylý prach. Prach je samostatná frakce, která je dále použitelná.

Pro zabránění prašnosti produktu je stejné opatření jako v případě vlhkosti, a to kontrola a čištění odstředivky. Dále je nutné kontrolovat a regulovat odsávání na výstupu a v případě naplnění polyethylenového pytle prachem jej vyměnit.

4.3.1 Způsob stanovení

Obsah prachových podílů se stanovuje před tepelnou expozicí PET drtě. Prachový podíl se stanoví jako procentuální podíl hmotností navážky před a po sítové analýze. Z dodaného vzorku se odeberou a naváží dva 100 g vzorky s přesností na 0,01 g a u nich je stanovován obsah prachových částic menších než 1,0 mm. Po sítové analýze se zváží zbylý obsah ve vzorku a obsah prachového podílu se vypočítá podle vzorce:

$$\text{prachové podíly}(\%) = \frac{(a - b) \cdot 100}{a} \quad (2)$$

kde:

a je hmotnost vzorku před sítovou analýzou

b je hmotnost vzorku po sítové analýze [9]

4.4 Sypná hmotnost

Hodnota sypné hmotnosti v jakosti A je obvykle 275 – 450 kg/m³. Ovšem pro další zpracování PET flakes mohou mít odběratelé specifické požadavky. Obvykle se provádí technologické zkoušky v následném provozu, kde se materiál zpracovává a odvodí se nejvhodnější velikost frakce. Např. pro materiál, který bude expedován pro obor zvlákňování, je vyhovující frakce 13 – 14 mm, pro materiál, ze kterého se budou následně vyrábět PET pryskyřice, je naopak vyhovující frakce 12 mm. Na odchylky od jakosti A se upozorňuje. V případě, že se nejedná o dlouhodobé překračování hodnot, se materiál nereklamuje.

Jak již bylo uvedeno, v procesu drcení je umístěno síto. Jeho velikost je úměrná sypné hmotnosti výsledného produktu. S tím je navíc spojen i stav drticích nožů. Pokud jsou nože nově nainstalovány, pak drcení je rychlé, snadnější a čistší (bez rýh). Jakmile jsou nože otupené a na konci své životnosti, mletí je pomalejší a materiál se v drtiči drží déle, v podstatě je přes síto materiál vytlačen, proto se přes síto dostanou PET flakes se šířkou velikosti ok síta, ovšem mohou být dlouhé až několik cm.

Opatření pro dosažení požadované sypné hmotnosti mohou být jak kontrola síta, tak stav nožů v drtiči. Ovšem z ekonomického hlediska je žádoucí, aby nože vydržely co nejdéle. Navíc výměna nožů znamená časové ztráty.

4.4.1 Způsob stanovení

Sypná hmotnost PET drtě se stanovuje vážením materiálu sypaného přes nálevku do odměrného válce stanoveného objemu. Sypná hmotnost PET drtě se udává v kg/m³.

Do předem odváženého odměrného válce se pomalu sype PET drť. Válec se naplní po rysku 500 ml. Přebytké množství se opatrně odebere a plný válec se zváží. Sypná hmotnost se vypočítá podle vzorce:

$$\text{sypná hmotnost}(\text{kg} / \text{m}^3) = (m_1 - m) \cdot 2 \quad (3)$$

kde:

m₁ je hmotnost odměrného válce s volně sypanou drtí

m je hmotnost odměrného válce [9]

4.5 Podíl jinobarevných částic a opaků

Hranice jakosti pro různé barvy jsou taktéž různé.

Jinobarevné částice jsou PET flakes, které mají odlišnou barvu. V případě čirých a jednobarevných (modré, zelené, fialové) PET flakes jsou stanovovány veškeré jinobarevné částičky. PET flakes mix obsahují veškeré barvy, takže toto kritérium nelze použít. Někteří zpracovatelé materiálu mohou mít specifické požadavky na barevnost, např. modrá + zelená nebo veškeré barvy mimo hnědou. V tomto případě se i u mixů stanovují nežádoucí barvy.

Opaky jsou PET flakes, které pocházejí z neprůhledných materiálů (např. láhev od mléka). Ty se stanovují v každé barvě PET flakes, pro většinu následných technologií jsou nepřipustné (výroba PET pásek, pryskyřic). Pro některé jsou přípustné v jakosti A do 1 % a jakosti B do 4 % (zvlákňování).

Rozhodující krok pro řízení jakosti v oblasti podílů jinobarevných částic a opaků je na vstupním třídícím dopravníku a je závislý na lidském faktoru. Slisované balíky PET lahví jsou zde rozbíjeny a vnášeny na dopravní pás, kde pracovníci vybírají PET láhve, které způsobují nekvalitní produkci. Zde je jediné místo prevence. Podíl jinobarevných částic obvykle nebývá problém, ovšem u opaků, které se na trhu vyskytují stále častěji, už je situace horší.

Důležitý je výběr vstupního materiálu; jestliže jde o produkci jednobarevných PET flakes, vybírá se vstupní materiál pouze určité barvy. Jestliže jde o kombinaci barev, pak opět volíme materiál určitých barev. V případě, že vstupní materiál obsahuje opaky, přimíchává se k ostatnímu, aby výsledná jakost byla v požadovaných mezích. Jak již bylo uvedeno, kde je požadovaná jakost 0 %, nelze tento materiál zpracovávat. V případě jakosti až do 4 % lze jej zpracovávat postupně.

4.5.1 Způsob stanovení

Do hliníkové misky se naváží 100 g PET drtě s přesností 0,01g. Misky se vloží do sušárny vyhřáté na 200 °C na dobu 30 – 40 minut a nechají se zchladnout po dobu 20 minut. Z této navážky se vybere jinobarevná drť (zvláště podle barvy) a zváží se. Obsah jinobarevné drtě se stanoví podle vzorce:

$$\text{Jinobarvná drť, opak}(\%) = \frac{h \cdot 100}{100} \quad (4)$$

kde:

h je hmotnost jinobarevné drtě, opaku [9]

4.6 Podíl blokátorů, polyamidu, částic s lepidlem

Polyamid je druh plastu, který se může objevovat ve vstupním materiálu, a to samostatně nebo ve formě tzv. blokátorů. Jako blokátor se objevuje zejména u pivních lahví. Jakost polyamidů samostatně je A do 0,05 %, B do 0,06 %, C do 0,10 %. Jakost blokátorů je dána A do 0,50 %, B do 1,00 % a C do 1,50 %. Blokátorům bude věnována pozornost v jiné kapitole.

Částice s lepidlem jsou PET flakes, které mají po celkovém procesu praní vrstvu lepidla. Původ je především z lahví s papírovou etiketou. Většina recyklačních linek má s částicemi

s lepidly velké obtíže, obzvláště v Indii, kde velká část PET lahví je opatřena právě papírovými etiketami.

K odstranění lepidel dochází ve frikční pračce, kde je voda o teplotě 90 °C obsahující NaOH a saponát. Frikční pračka má v sobě zabudované lopatky, které pohybem materiál promíchávají, navíc PET flakes se třou o sebe navzájem. Tímto způsobem se ve vhodném prostředí (teplo, NaOH, saponát) lepidlo odstraní. Materiál zbavený lepidel se posouvá do oplachovací vany, kam padají i zbytky etiket a papíru, ovšem už nejsou nalepené na PET flakes. Voda z frikční pračky je odváděna do křemelinového bubnového filtru, lepidlo se zachytí na křemelině a očištěná voda se odvádí přes tank zpět do předpírací vany. Křemelina s lepidlem je pro svoji účinnost postupně ořezávána a odřezky padají do záchytné vany.

Pro požadovanou jakost produkce v rámci částic s lepidlem je důležité sledovat teplotu vody ve frikční pračce a dávkování. Opět se zde měří bazicita vody.

4.6.1 Způsob stanovení

Do hliníkové misky se naváží 100g PET drtě s přesností 0,01g. Misky se vloží do sušárny vyhřáté na 200 °C na dobu 30 – 40 minut a nechají se zchladnout po dobu 20 minut. Z této navážky se vyberou zvlášť blokátory, PAD, částice s lepidlem a zváží se. Obsah příměsí se stanoví podle vzorce:

$$PAD, \text{ blokátory, částice s lepidlem}(\%) = \frac{i \cdot 100}{100} \quad (5)$$

kde:

i je hmotnost blokátorů, PAD, částic s lepidlem [9]

4.7 PVC, polyolefiny, nečistoty

PVC neboli polyvinylchlorid je druh plastu, který se stanovuje odděleně od polyolefinů. Polyvinylchloridu bude věnována vyšší pozornost stejně jako v případě blokátorů. Jakost PVC v PET flakes je stanovena obecně na jakost A do 100 ppm, jakost B do 200 ppm a jakost C do 300 ppm.

Polyolefiny jsou polyethyleny a polypropyleny. Z polyethylenů se vyrábí především etikety na PET láhve a z polypropylenů víčka. Jakost v oblasti polyolefinů je stanovena stejnými kritérii, jaké má PVC. I přesto, že se technologie dokáží s tímto vypořádat, jsou ve výstupních PET flakes polyolefiny stále obsaženy. Mohou mít i jiný původ než jen z víček a etiket, což závisí na procesu třídění v třídírnách odpadu. Pokud materiál není důkladně vytříděn, objeví se ve vstupním materiálu. Může se jednat o fólie, obalové materiály jiné než PET láhve, ale lze se setkat např. i s polypropylenovými hračkami. Jiné plasty obsažené v PET flakes než je polyvinylchlorid, polyethylen a polypropylen jsou vzácné.

Dělení plastových příměsí probíhá na principu jejich specifických hmotností. Polyethylen (LDPE = 0,93 – 0,95 g/cm³, HDPE = 0,95 – 0,98 g/cm³) a polypropylen (PP = 0,90 – 0,93 g/cm³) mají nižší specifickou hmotnost než má voda. Proto ve vodě plavou a tímto způsobem je technologická linka separuje. Odplavení polyolefinů probíhá v předpírací vaně za drtičem. Zbytky etiket, které jsou ještě přilepeny k PET flakes, se separují po odstranění lepidla v oplachovací vaně. Polyethylentereftalát (PET = 1,34 – 1,40 g/cm³) má vyšší

specifickou hmotnost než voda, proto ve vanách s vodou klesá ke dnu. Polyvinylchlorid ($PVC = 1,30 - 1,45 \text{ g/cm}^3$) má také vyšší specifickou hmotnost než má voda, proto se neodplaví a prochází celým procesem recyklace zároveň s PET flakes.

Separace polyolefinů je stejně jako u jinobarevných částic závislá na lidském faktoru a dále na výkonu technologické linky. Na třídícím pásu se ručně oddělují od PET lahví ostatní plasty v jiné podobě, než jsou víčka a etikety. Jak bylo uvedeno, můžou se zde objevit i jiné plasty než jsou polyolefiny, které mohou mít vyšší specifickou hmotnost než má voda. Potom se takový plast chová naprosto stejně jako PVC. Technologické procesy recyklace mají určitou kapacitu průtoku materiálu. V případě, že se překračují maximální hodnoty stanovené výrobci technologických linek, může se stát, že technologie proces „nestíhá“, což je v dnešní době velice častý jev, jelikož po PET flakes je vysoká poptávka a pro společnosti zabývající se recyklací PET lahví by bylo ekonomicky nevýhodné nevyužívat technologickou linku na 100 %. Polyolefiny jsou sváděny do big bagů a jsou používány pro další technologie.

Mezi nečistoty řadíme jakékoliv „neplastové“ příměsi. Setkáváme se s kovy, obzvláště hliníkem, textiliemi, dřevem, gumou, papírem, křemelinou. Jakost je obecně stanovena jako jakost A do 40 ppm, jakost B do 60 ppm, jakost C do 80 ppm.

S výjimkou křemeliny mají veškeré nečistoty původ ze vstupního materiálu. V něm se mohou objevovat kovy ve formě šroubů, plátů, drátů a v jiných podobách. Nejčastěji se setkáváme s hliníkem, který má původ z plechovek. V případě, že se kovy dostanou přes třídící pás do technologické linky, jsou v ní umístěny magnetické separátory, které mohou kovy od PET flakes oddělit i v procesu recyklace. Používají se permanentní magnety, které zachytí železné kovy. Aby byla zajištěna účinnost, musí se tyto magnety pravidelně čistit (odstranit kovový materiál a uvolnit magnetickou plochu pro nový), to se provádí cca jednou za 2 dny, opět závisle na výkonu technologické linky a zejména na znečištění vstupního materiálu. Dále jsou používány magnetické separátory, které jsou schopny separovat neželezné kovy (Al, Cu...). PET flakes propadáva potrubím, ve kterém je umístěno čidlo. Jakmile čidlo zachytí kov, otevře se vzduchem ovládaná klapka, kterou propadne kov do sběrného pytle. Nevýhodou je, že zároveň s kovem klapkou propadnou i PET flakes, ve kterých je kov obsažen. Zde je potřeba podle potřeby měnit sběrný pytel a provádět kontrolu funkčnosti separátoru. Technologické linky mohou mít těchto separátorů hned několik, zpravidla se dávají již na vstup materiálu za třídící pás ještě před drtič, kde zachytí velké kusy kovů, které tupí nože v drtiči. Dále se instalují na konec technologického procesu, kde odstraňují zbylé kousky kovů obsažené v PET flakes.

Textilie, dřevo a guma pocházejí pouze ze znečištěného vstupního materiálu. Guma může mít v některých technologiích původ i z dopravních pásů, kde se mohou kousky odírat a ulamovat, což se stává v případě stárnutí materiálu. Tyto nečistoty lze odstranit pouze na vstupním třídícím pásu. Křemelina se do technologie dostává v procesu čištění vody od lepidel. Toto znečištění bývá ojedinělé. Papír je obsažen na PET lahvích s papírovou etiketou, pokud se nejedná o papír ve vstupním materiálu jako takový. Papíru se technologie zbavují v odplachovací vaně, kdy jsou flakes zbaveny lepidla a papír je od flakes oddělen. Stejně jako v případě polyolefinů zde záleží na kapacitách technologické linky a výkonu produkce recyklátu.

4.7.1 Způsob stanovení

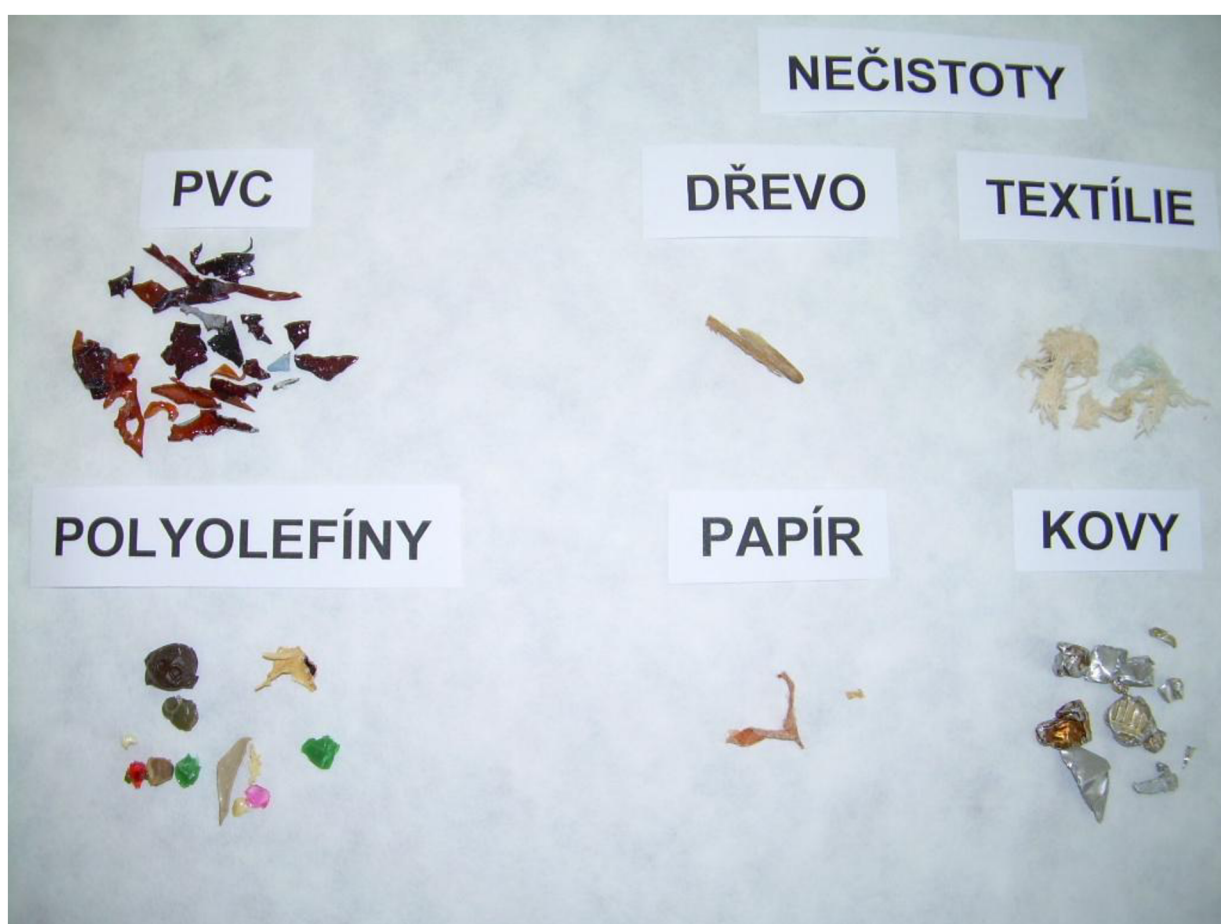
Do tří hliníkových misek se naváží 100 g PET drtě s přesností 0,01g. Misky se vloží do sušárny vyhřáté na 200 °C na dobu 30 – 40 minut a nechají se zchladnout po dobu 20 minut. Po stanovení vlhkosti se ze vzorku vyberou zvlášť černé kousky (PVC), jiné polymery, papír, hliník a jiné nečistoty. Vybrané nečistoty se zváží a stanoví se jejich obsah v PET drti podle vzorce:

$$PVC, \text{ polyolefiny, nečistoty (ppm)} = \frac{f \cdot 10^6}{\frac{e}{3}} \quad (6)$$

kde:

e je navážka vzorku

f je hmotnost nečistot [9]



Obr. 9 Ukázka příměsí

5 BLOKÁTORY A POLYVINYLCHLORID

Polyvinylchlorid a blokátory jsou největším problémem v rámci fyzikální recyklace PET flakes. Z toho důvodu je jim věnována větší pozornost oproti jiným kritériím jakosti, se kterými se lze snadno vypořádat během technologického procesu.

5.1 PVC

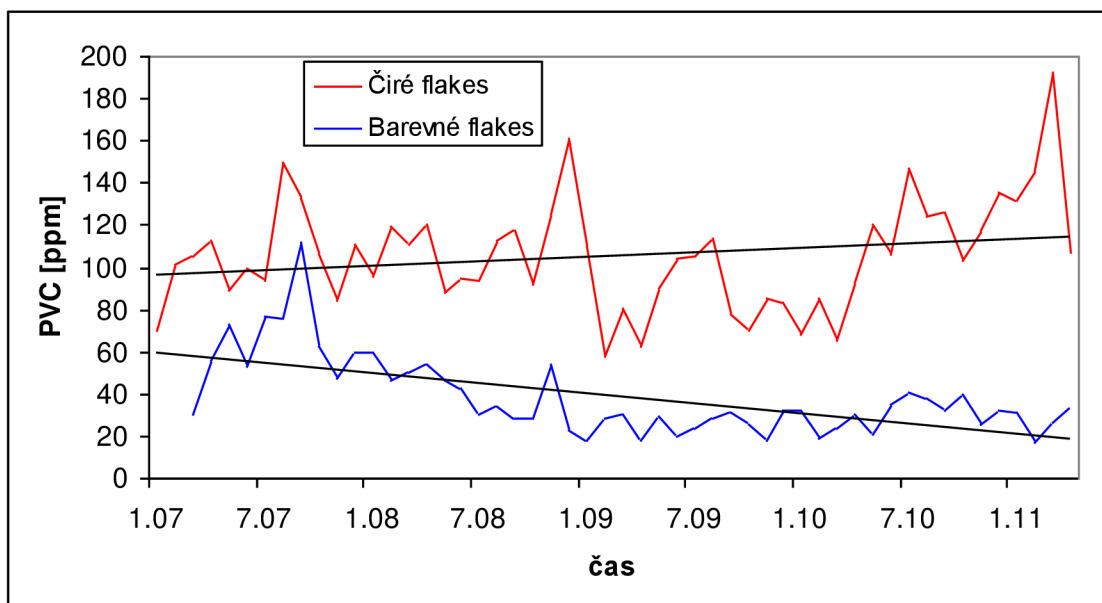
S polyvinylchloridem se setkáváme od samotného počátku recyklace. PVC pochází z etiket, většinou se jedná o láhve celopotahované (využívají smrštění etikety z PVC na tvar láhve, což u polyethylenových etiket není snadné), tím jsou snadněji odlišitelné od polyethylenových etiket. Ovšem najdou se i láhve, kde výrobce používá PVC na klasické etikety.

Celopotahované láhve jsou čím dál více rozšířené. Vděčíme tomu především designu lahví a v neposlední řadě i ceně materiálu. Na etiketách zpravidla nebývá značení jako na samotných lahvích, proto je horší jejich identifikace. Představte si, kolik výrobců nápojů je na trhu, nejedná se o zrovna malé číslo. Každý výrobce má svůj design PET láhve, tedy přesněji řečeno, PET láhve jsou odlišné pouze tvarem, rozhodující je právě etiketa, která „prodává“. A zaujme malé dítě spíše obyčejný proužek etikety s ne moc výrazným potiskem? Nebo naopak láhev plná barev a obrázků tak, že pokrývá celou láhev a není vidět ani její obsah? Pravděpodobnější je druhá varianta a právě na velice přitažlivý design výrobci sází a jejich počet vzrůstá.

Většina třídících linek pro separaci odpadů se tomuto trendu přizpůsobila a jejich snahou je z vytríděných PET lahví PVC odstranit. Na vstupu do recyklační linky se láhve opět třídí na páse. Pracovníci mají láhve s PVC již vytipované a ví, které nesmí do recyklační linky přijít. První problém nastává v množství nevhodných lahví. Třídící linky a třídící pásy mají omezené kapacity pracovníků a ve vstupním materiálu se objevuje čím dál větší množství těchto lahví, které už pracovníci nejsou schopni vytrdit. Druhý problém nastává, jestliže se na trhu objeví nová láhev, která není vytipovaná. Mnohdy se na to přijde, jakmile se v PET flakes objeví vysoké hodnoty PVC. Poté se vybírá ze vstupního materiálu každá podezřelá láhev a provádí se identifikace. Opět se rozšíří okruh lahví, které do technologie nesmí přijít. Tímto způsobem to jde stále dokola. Některé etikety jsou sezónní a často je výrobce obnovuje.

Výskyt PVC v PET flakes stále roste. Nejvíce ohrožené jsou čiré láhve, jelikož nemá smysl potahovat již barevnou láhev. U barevných lahví se PVC objevuje spíše jako obyčejná etiketa ve tvaru proužku. Výkyvy jakosti z hlediska PVC jsou dány vstupním materiálem do technologické linky.

V grafu 1 můžeme sledovat vývoj PVC v PET flakes za posledních 5 let. K danému měsíci v roce je přiřazena průměrná hodnota PVC. Průměrná hodnota u barevných lahví činí 38,5 ppm. Jelikož jakost A je určena hranicí 100 ppm, je tento výsledek vcelku příznivý. Opačná situace však nastává v případě čirých PET flakes, průměrná hodnota spadá do jakosti B a činí 105,5 ppm. Navíc trend výskytu PVC v PET flakes stoupá! Logicky si můžeme odvodit, že na 50 % produkce PET flakes s 0 ppm PVC, spadá 50 % produkce PET flakes s o více než 200 ppm PVC! Toto hraničí s naprosto nekvalitní produkcí a tato čísla jsou opravdu alarmující! Hodnoty se zpravidla pohybují právě od 0 ppm až do 1000 ppm, přičemž ve většině případů jde o jakost A (0 – 100 ppm) či jakost B (100 – 200 ppm), ovšem horší jakost není nijak zvlášť ojedinělá.



Graf 1 Výskyt PVC v PET flakes v čase

5.1.1 Jak problém s PVC řešit?

Způsob, jakým bychom PVC z lahví opravdu odstranili, je změna legislativy.

UNESDA, sdružení Evropských asociací výrobců nealkoholických nápojů, společně s EFBW, Evropskou federací výrobců balených vod, doporučily svým členům dodržovat, specifickým způsobem navržená, kritéria pro PET láhve, s cílem zlepšení jejich recyklovatelnosti.

Nekompatibilní materiály mohou nepříznivě ovlivnit proces recyklace PET lahví. Složky obalového designu PET lahví, jako jsou bariéry, aditiva, ochranné pokryvy hrdla nebo i celého těla láhve a zmatnění její barvy, jsou původci nejvýraznějšího zhoršení kvality recyklovaného polyethylentereftalátu. To pak má v konečném důsledku negativní vliv na výrobu nových lahví z recyklátu.

Proto, aby se zlepšila kvalita, ekonomický přínos a životaschopnost recyklace PET lahví, doporučily organizace UNESDA a EFBW svým členům uvést v život „návrh pokynů pro recyklaci“. Jedná se o řadu specifických kritérií vypracovaných EPBP, Evropskou platformou PET lahví.

Výsledkem bude splnění závazku ekologického chování na trvale udržitelném principu.

EFBW a UNESDA doufají, že jejich členové docílí shody s uvedenými pravidly EPBP do konce roku 2012. Povzbuzují výrobce, aby se seznámili s návrhem pravidel pro recyklaci, což je pozitivním krokem kupředu, nejen pro budoucnost recyklace „bottle to bottle“, ale také z hlediska optimálního využití surovin [10].

Dále se nabízí technologické řešení. Jednou z možností je umístění optického separátoru na výstupu PET flakes z technologické linky. Toto řešení ovšem vyžaduje zahřátí PET flakes na 200°C, kdy PVC změní barvu. Tento proces by byl velice zdoluhavý a finančně náročný, navíc zároveň s PVC se by se odstranila i část kvalitního materiálu. Tedy množství odpadu by bylo podstatně vyšší, než skutečné množství odebraného PVC.

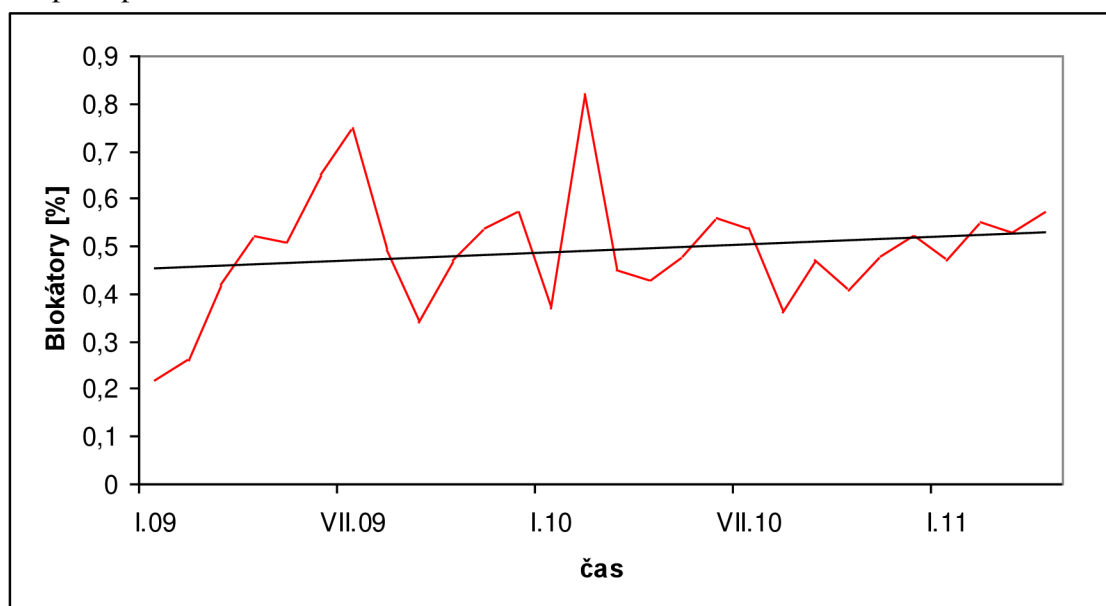
Dalším řešením je proces suchého drcení a následném profoukání vzduchem. Jelikož etikety jsou lehčí než láhve, daly by se tímto způsobem vyseparovat. Jak již bylo uvedeno, PVC pochází z etiket. Bohužel jsou i výrobci, kteří z PVC vyrábí samotné láhve. Ty se tímto technologickým procesem vyseparovat nedají.

5.2 Blokátory

Blokátory se v láhvích objevily nedávno. Tento trend se k nám dostal asi před třemi lety. PET flakes s blokátory po tepelné expozici žloutnou, což při dalším zpracování působí potíže. Tyto láhve, pokud nejsou vrstvené, nelze poznat, proto je ani není možné na vstupu do technologické linky vytřídit.

Zde by opět zapůsobila změna legislativy. Domnívám se, že v tomto odvětví (na rozdíl od PVC) to nebude tak snadné. Zatímco PVC je v podstatě pro design, různé formy blokátorů ovlivňují celou láhev a její obsah. Účelem je především, aby se z láhve neuvolňoval oxid uhličitý nebo naopak, aby se do láhve nedostával kyslík. Tedy jde o zachování trvanlivosti a kvality nápoje.

Z technologického hlediska snad nelze najít jediné řešení. Láhev je naprosto shodná s ostatními. Po expozici zežloutne, toho by se dalo opět využít v případě optického separátoru, který by ale musel být velice citlivý. Navíc tu opět zmiňuji množství odpadu tohoto postupu.



Graf 2 Výskyt blokátorů v PET flakes v čase

5.2.1 Příklady blokátorů

Společnosti Nycoa, Bayer, Honeywell a Nanocor používají silikáty ve formě nanočástic do nylonu 6. Po smísení se silikátové vrstvy rovnoměrně distribuují v celém polyamidu. Extrudováním se vrstvy orientují paralelně s povrchem, což zvyšuje bariérové vlastnosti. Fólie a láhve, k jejichž výrobě byl použit nylon 6 s přidávkem Nanomers® (povrchově modifikovaných montmorilonitových minerálů) vykazují lepší vlastnosti, např. bariérové

vlastnosti vůči kyslíku, oxidu uhličitému a vodní páře, UV záření, dále mají lepší čírost, tvrdost a tepelnou stabilitu [11].

5.2.1.1 Nanokompozity MXD6 (Imperm®)

MXD6 je obchodní název pro polyamid (meta-xylylene adipamide), který patří k plastům s vysokými bariérovými vlastnostmi. Přídavkem nanojílů se jeho bariérové vlastnosti ještě zvýší, a to vůči kyslíku pětinasobně, čímž se dosáhne lepších bariérových vlastností než má EVOH (etylvinylalkohol), zvláště při vysoké relativní vlhkosti a při vysokých teplotách okolí. Přenos vodní páry klesá na polovinu, prostupnost pro arómata je velmi nízká. Bariérové vlastnosti vůči oxidu uhličitému jsou nejvyšší ze všech komerčních pryskyřic, které jsou na trhu k dispozici [11].

5.2.1.2 Aplikace Imperm v pivních láhvích

Schopnost plastu zadržovat oxid uhličitý má vliv na jeho využití pro výrobu pivních láhví a v menší míře i lahví pro sycené nealkoholické nápoje (CSD, carbonated soft drinks). Použití PET pro výrobu pivních láhví je poměrně nové, u CSD lahví se PET používá desetiletí. Nápoje v jednovrstvém PET však mají krátkou údržnost (8 týdnů). Použitím vícevrstvého PET ve spojení s Imperm (PET/Imperm/PET) se údržnost zvýší trojnásobně.

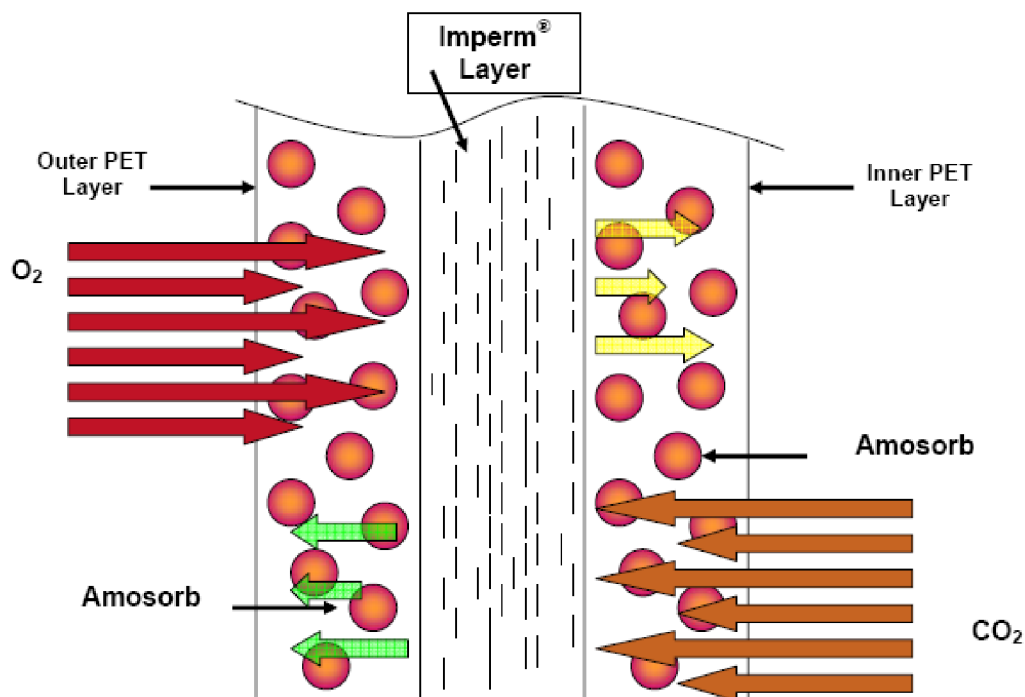
Požadavek evropských výrobců pivních láhví byl: 330 ml láhev na ležák s údržností 5 měsíců. Během tohoto období smí přívod kyslíku dosahovat 2 ppm (ppm = 10^{-6}) a ztráta oxidu uhličitého 10 %.

Plastové pivní láhve o objemu 500 ml a nižším vyžadují značnou ochranu vůči přístupu kyslíku a ztrátám oxidu uhličitého. Z tohoto hlediska mají obaly pro pivo snad největší požadavky na zlepšení bariérových vlastností. Řešením je láhev o hmotnosti 30 g tvořená PET/Imperm/PET, přičemž na Imperm připadá z celé konstrukce 5 %. Nejsou zapotřebí žádná pojiva, láhev vykazuje asi 3% zakalení. Studie recyklace ukázaly, že 93 % bariérové vrstvy lze odstranit použitím standardního postupu recyklace. Cena láhve je asi o 10 % vyšší než cena plechovky [11].

5.2.1.3 Aktivní/pasivní kombinované systémy

Evropští výrobci piva tlačí na limity technologie bariér určených pro obaly, neboť požadují údržnost prémiových piv minimálně šest měsíců. Tato piva jsou zvláště citlivá na kyslík, ztráta oxidu uhličitého nesmí přesáhnout 10 %. Cena tohoto obalu nesmí být vyšší než cena plechovky o více než 15 %.

Uvedená kritéria splňuje systém více bariér využívající Amosorb™ DFC jako lapač kyslíku a to ke zvýšení bariérových účinků Imperm vůči kyslíku (bariérový synergismus). Do PET vrstev (vnější a vnitřní) se přidává 1 % Amosorb, středovou vrstvou tvoří 5 % Imperm.



Obr. 10 Amosorb^{IM} DFC

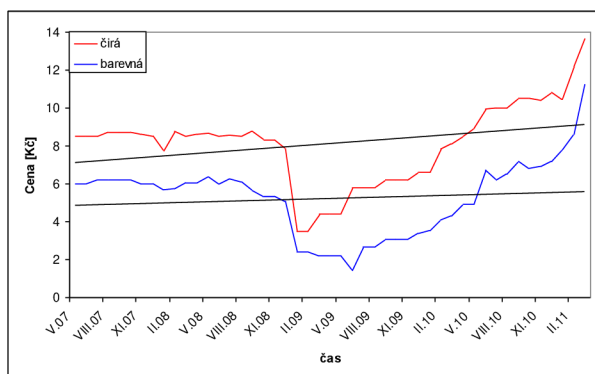
Většinu kyslíku obklopujícího obal zachytává Amosorb (aktivní bariéra) ve vnější vrstvě PET, zatímco Imperm jakožto pasivní bariéra chrání lapač kyslíku umístěný ve vnitřní vrstvě PET. V důsledku tohoto lapač ve vnitřní vrstvě PET zajišťuje ochranu kyslíku v prostoru nad hladinou a rozpuštěného v pivu. Imperm mezitím také zajišťuje únik oxidu uhličitého.

Použitím kombinovaného systému se sníží přívod kyslíku během šesti měsíců na méně než 1 ppm, což samotný Imperm nedokáže a dále ztráta oxidu uhličitého z nápoje do ovzduší, kterou samotný Amosorb není schopen zajistit.

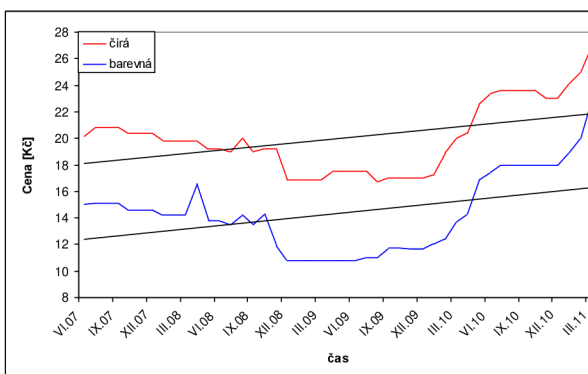
Komerční výroba nanojílů ve firmě Nanocor byla zahájena v roce 1998. Firma dnes nabízí řadu výrobků pod obchodním názvem Nanomer® [11].

6 VÝVOJ CEN PET LAHVÍ A PET FLAKES NA TRHU

Podle cen PET lahví a PET flakes lze jasně říci, že hodnota těchto materiálů stoupá. V letošním roce byl vzrůst výrazný. V prosinci 2008 začala tzv. celosvětová krize. V oblasti výkupu PET lahví a PET flakes se výrazně projevila na cenách.



Graf 3 Ceny PET lahví od 05/2007



Graf 4 Ceny PET flakes od 06/2007

7 VYUŽITÍ PET FLAKES

Oblast využití PET flakes je široká. Největší podíl má výroba vláken. Dále lze materiál využít v oblasti výroby PET pásek, výroby nových lahví (B2B), ale také fólií (pro obalové materiály, filmové podložky, magnetické záznamové materiály), PET pryskyřic, podložek pod kolečková křesla až po stavební materiály.

7.1 Zvlákňování

Nejširším využitím PET flakes je obor zvlákňování. Většina výroby netkaných textilií směřuje do automobilového průmyslu, kde jsou použity jako:

- vyložení kapoty motoru a izolace vnější stěny karosérie
- izolace prostoru pro cestující
- podlahový systém
- izolace podlahového systému
- naddveřní obklad
- čalounění opěr sedadel
- odkládací police
- zavazadlový prostor - obložení
- vložka podběhu kola

Další oblast pro využití vláken jsou hygienické potřeby, obzvláště ve zdravotnické péči. Ostatní vyrobené netkané textilie se využívají např. jako technické geotextilie, čalounění a povlaky, vycpávky a oblečení, podlahové krytiny, utěrky a další výrobky [12].

7.1.1 Požadavky na jakost PET flakes

Vákna jsou vyráběna z čirých, modrých, zelených a barevných PET flakes.

Jakost PET flakes se zcela shoduje s jakostí třídy A nebo jakostí třídy B. Parametry nesmí přesáhnout jakost třídy B.

Speciální požadavky jsou v případě čirých PET flakes, kde je povoleno překročit limit u světle modrých PET flakes až na 15 %, jelikož je při výrobě vláken, díky podílu světle modré, dosaženo lepší bělosti.

V případě překročení parametrů mohou v technologii nastat potíže ve formě ucpání trysek či filtrů, nebo při tavení materiálu (např. PET prach se ve větším množství hůře taví).

7.1.2 Technologický postup

7.1.2.1 Kompaktní linky

Do násypky se sypou PET flakes míchané z různých šarží pro dosažení optimální jakosti a eliminaci nekvality. Vsypaný materiál je vysušen a krystalizován ve vakuu, aby v extrudéru neprobíhala hydrolytická reakce (teplota 90 – 160 °C), materiál díky krystalizaci zmléční. Materiál putuje do tavného šneku (extrudéru), kde probíhá jeho tavení. Zde se dávkuje koncentrát titanové běloby TiO_2 (díky TiO_2 probíhá zmatnění materiálu, mimo černé barvy, obsah ve vláknech dle přání zákazníka, většinou cca 0,03; 0,10; 0,21 %, přídavkem se snižuje lesk, zlepšuje se proces dlužení, zlepšuje se i odolnost vůči UV záření, opravuje se barevný odstín). V extrudéru též probíhá barvení hmoty přes malý tavný šnek a zubové čerpadlo do potrubí taveniny. Barevný koncentrát není nutné sušit. Kompaktní linky jsou bez dopolykondenzačního reaktoru. V tomto případě je tepelná degradace polymeru nižší (kratší doba setrvání v roztaveném stavu), vlákno např. méně žlutne (v případě čirých vláken). Následuje filtrace taveniny. V případě, že barvení taveniny neproběhlo v extrudéru, hmota se barví po filtraci. V tomto kroku je možné i nanášení aviváže. Aviváž má antistatické účinky a nanáší se také, aby vlákno drželo pohromadě.

Následuje proces nízkorychlostního zvlákňování. Odtahová rychlost je cca 40 – 60 m/min (zvlákňování a dlužení probíhá v jednom technologickém celku), dále nanášení aviváže (pokud tak nebylo učiněno ihned po filtraci), jednostupňové dlužení buď v parním prostoru, nebo v avivážním roztoku (dloužení = orientace makromolekul do směru osy vlákna, zvyšuje se pevnost vláken, snižuje se jejich tažnost), obloučkování vláken, sušení a fixace vláken, řezání vláken, lisování a balení.

Výstupem jsou střížová vlákna o jemnosti 3,3 – 17 dtex (váha v gramech pro 10 kilometrů vláken). Kompaktní linky zatím znemožňují výrobu vláken pod 3,3 dtex. Střížová vlákna z těchto linek mají vyšší tažnost a nižší pevnost oproti vláknům z dvoustupňových recyklačních linek. Objevuje se zde i vyšší podíl zvlákňovacích defektů oproti druhé technologii, jako jsou trhání vláken, tvorba kapek, přerušování či nepravidelnost ve tvorbě vláken [13].



Obr. 11 Kompaktní linka Silon, a.s.



Obr. 12 Nedloužené čiré vlákno, dloužené čiré vlákno, nedloužené černé vlákno, dloužené černé vlákno

7.1.2.2 Dvoustupňové recyklační linky

Do násypek se sype PET flakes míchaný z různých šarží pro dosažení optimální jakosti a eliminaci nekvality. PET flakes nejsou sušeny a nejsou krystalizovány, extrudér má ale předsoušecí šnek. V extrudéru dochází k tavení materiálu a dávkování titanové běloby TiO_2 . Následuje filtrace taveniny. Tavenina je podrobena dopolykondenzaci v míchaném a evakuovaném reaktoru, kde dochází i k odtažení olejů sloužících někdy jako nosné médium pro barviva a k tepelné degradaci některých příměsí. Následuje barvení ve hmotě přes malý tavný šnek a zubové čerpadlo do potrubí taveniny před zvlákňováním. Barevný koncentrát je nutné sušit.

Posléze probíhá zvlákňování taveniny. Oproti kompaktním linkám je zde vyšší odtahová rychlost cca 600 – 1000 m/min. Nedloužené vlákno je ukládáno do tzv. konví a převezeno na dloužení. Poté se vloží do máčecí vany, za kterou jsou umístěné brzdicí válečky. Následují 2 stupně dloužení v horké vodě a dále nanášení aviváže. Po vydloužení jdou vlákna na kalandr, kde dochází k obloučkování a k tepelné fixaci vláken pod stálým napětím. Čím je teplota fixace vyšší, tím je vyšší i pevnost materiálu. Tepelná fixace vydloužených vláken snižuje smrštění vláken při opětovné tepelné expozici, např. vyrobená látka se praním nesráží.

Výstupem jsou střížová vlákna 1,3 – 17 dtex kruhového průřezu. Jde o výrobu „nekonečných“ vláken (tzv. kabelů) pro zpracování na řezacích konvertorech (dříve i na trhacích konvertorech). Vlákna mohou být profilová (trojúhelníkový průřez), dutá (kulatý průřez plný nebo s dírou) nebo 3D obloučkováná (vlnitá) [13].



Obr. 13 Dvoustupňová recyklační linka Silon, a.s.



Obr. 14 Barevná provedení vlákna, šedé, modré, zelené, melirované

7.2 Výroba PET pásky

Další z možných využití PET flakes je výroba vázací PET pásky, která byla speciálně navržena k poskytnutí extrémně tuhé a silné alternativy k ocelové pásce a přirozeně se tak stává jejím nástupcem. Je ideální pro středně a vysoce náročné provozy požadující vysokou ochranu zapáskovaných předmětů, jako jsou např. vlnité plechy, dřevěné trámy, textilie, betonové výrobky, kartony plechovek či lahví, tiskoviny, dlažba.

Výhody PET pásky:

- poskytuje široké možnosti aplikace od jednoduchého řešení pomocí spon, po kapacitní páskování svárem
- udržuje dlouhodobé konstantní napětí úvazku a zajišťuje tak bezpečnost zboží zejména při transportu.
- je odolná proti korozi, UV záření a proti teplotním změnám
- je vysoce odolná a poskytuje řešení pro veškerý průmysl, stavebnictví, zemědělství
- je v porovnání s ocelovým páskem výrazně levnější
- bezpečná manipulace a aplikace
- jedinečná kombinace síly a elasticity
- umožňuje absorbovat otřesy během manipulace nebo přepravy
- je plně recyklovatelná

Výhoda PET pásky spočívá v elasticitě úvazku, která umožňuje odolávat nestálému obvodu páskovaného zboží. Jedinečná kombinace síly a elasticity umožňuje absorbovat otřesy během manipulace nebo přepravy. Páska odolává o 50 % vyššímu zatížení než standardní PP pásky stejné šíře. PET páska pevně fixuje náklad, zamezuje jeho pohybu a minimalizuje možnost poškození zboží při přepravě. Páska je o 80 % lehčí oproti ocelovému pásku, snižuje tak náklady spojené s dopravou. Délkový návin pásky je více než 4 x delší oproti ocelovému pásku, eliminuje tak technologické prostoje na minimum, zvyšuje efektivitu a snižuje nároky na manipulaci.

PET páska v porovnání s ocelovou nezanechává stopy v důsledku koroze a maximálně snižuje možnost mechanického poškození zboží napětím úvazku. Páska je odolná vůči UV záření a vlhkosti. Jedinečné použití je u zboží, které je skladováno v nechráněném prostředí a je vystaveno povětrnostním vlivům, jako je déšť a vysoké teploty. Páska je vyrobena z netečného materiálu, bezpečně jej lze spálit, a při hoření uvolňuje pouze 0,03 % zplodin z vlastní váhy. Jako čistý, neutrální produkt je vhodný k recyklaci [14].

7.2.1 Požadavky na jakost PET flakes

PET flakes jsou požadovány jako mix, s převahou zelené, bez hnědé (důvod je barva PET pásky, která je právě zelená). Je požadována jakost třídy A s výjimkami, které jsou:

- obsah polyamidu = 0 %
- obsah gumy = 0 ppm

7.2.2 Technologický postup

Materiál se vsype do násypky. Z násypky putuje do krystalizéru, kde dochází ke krystalizaci materiálu při teplotě cca 165 °C. Za krystalizérem je umístěn magnetický

separátor, který odstraní z materiálu kovy. Vykrystalizované PET flakes se suší v sušárně pro odstranění zbytkové vlhkosti. Za sušárnou následuje odprášecí filtr. Vykrystalizované, vysušené PET flakes zbavené prachu a kovů putují do extrudéru, ve kterém je umístěn šnekový dopravník. Zde dochází k tavení PET flakes a přidavku aditiv pro zlepšení pevnosti pásky a dodržení předepsaného odstínu pásky. Tavenina je vytlačována do trysek, kde jsou umístěny drátěné filtry pro odstranění zbylých nečistot. Tavenina teče do vodní lázně (výška od výstupu taveniny po vodní lázeň určuje šířku pásky). Po lázni se páska suší a vysušená prochází přes stabilizační válce. Následuje proces dloužení v dloužící peci, ve které je teplota cca 115 °C. Páska se táhne přes dloužící válce, přičemž se střídají studené a teplé válce a každý následující válec má vyšší rychlost otáčení než předchozí. Následuje tzv. embossing (vyrazení vzoru na pásce). Páska prochází stabilizační pecí (teplota cca 85 °C), zde dochází ke zchlazení pásky a stabilizaci jejích vlastností. Za stabilizační pecí následuje další proces chlazení pásky a to na studených válcích a poté ve vodní lázni. Nakonec je páska vysušena a přes další studené válce je vedena na navíječku, kde je navíjena na cívku [15].



Obr. 15 Technologie výroby PET pásky Svitap J.H.J., s.r.o.



Obr. 16 Vázací PET páska hladká, vázací PET páska se vzorem, porovnání hladké a vzorované PET pásky

7.3 Bottle to bottle

Metodou bottle to bottle (B2B) se rozumí úplná recyklace starých lahví na nové v uzavřeném cyklu [5].

7.3.1 Požadavky na jakost

Je velice žádoucí, aby surovina byla druhově jednotná, tedy pouze PET bez příměsí dalších druhů obalových plastů. Získávání PET ze směsných plastů manuálním tříděním nebo třídícími opto-elektrickými automatickými zařízeními nemusí zajistit kvalitativně dostatečnou účinnost. Navíc se podstatně zvyšují náklady na pracovní sílu a také náklady investiční.

Dalším důležitým požadavkem je i minimalizace mechanického znečištění (cizí komponenty, prach). Znečištění by mělo být co nejnižší s ohledem na opotřebení technologických linek. Rovněž neplastová příměs (etiketa) by měla být co nejvíce minimalizována, protože její vyšší podíl snižuje podíl PET suroviny. Použité potiskové barvy na etiketách nesmí být v průběhu úpravnického postupu rozpustné.

Surovina určená k recyklaci metodou B2B musí být rozříděná podle barev, posekaná a praním zbavená nečistot. Takto upravená surovina se nazývá *clean PET flakes*. K jejímu zajištění (jedná se v podstatě o meziprodukt) je tedy třeba běžná linka pro mokrý způsob úpravy, která není součástí dodávky B2B linky [5].

7.3.2 Technologický postup:

Na základě mnohých zkušeností k dosažení efektivity recyklace B2B zejména ze zahraničí je třeba uvažovat s kapacitou recyklační jednotky cca kolem 1000 kg/hod a více, s využitím třísměnného provozu a s dostatkem zásoby použitelné druhotné suroviny pro kontinuální bezproblémový provoz [5].

7.3.2.1 Recyklační linka B2B „Erema RM TE - VSV“

Erema je rakouská firma zabývající se produkcí zařízení pro recyklaci plastů. Tato firma vyvinula speciální technologii pro recyklaci s názvem VacuRema. Touto technologií úpravy lze upravovat nejrůznější PET materiály, jako podrcené PET láhve, rentgenové a obalové fólie nebo vlákna, a to na vysoce kvalitní regranulát. Nově vyvinutá úpravnická technologie umožňuje realizovat koncepci *bottle to bottle*. Kombinací polyesterového extruderu Erema s krystalizační sušárnou této firmy je již dnes možné získat z drti PET lahví regranulát nejvyšší kvality, vhodný i pro potravinářské účely.

Výroba potravinářských lahví z recyklátu vyžaduje zvýšení viskozity materiálu ze sběru, tj. index viskozity (IV) od 0,80 do 0,82. Erema vyřešila tento problém použitím speciálně vyvinutého kontinuálního krystalizátoru, umístěného ihned za vlastní prací proces Vacurema. V krystalizátoru se materiál předeheje, suší a překrystalizuje v jediném pochodu. Vločky z lahví pak jdou přes vakuový uzávěr do reaktoru.

Při vysokém vakuu s využitím rotační energie a dostatečně dlouhé prodlevy při vysoké teplotě v kontinuálním pochodu se nejen minimalizuje zbytková vlhkost, ale materiál se účinně zbaví kontaminantů a současně dojde ke zvýšení viskozity.

Oblastí dodávek lahví v balících (třídění, drcení, praní a sušení) se zabývá dceřiná firma. Erema společně s touto dceřinou firmou dodává kompletní recyklační technologii, od znečištěných lahví až po regranulát vhodný k výrobě nových lahví. Nejmenší kompletní jednotka (prací linka s úpravnou vody a systémem VacuRema) má kapacitu 500 kg/hod, což odpovídá 3000 t/rok.

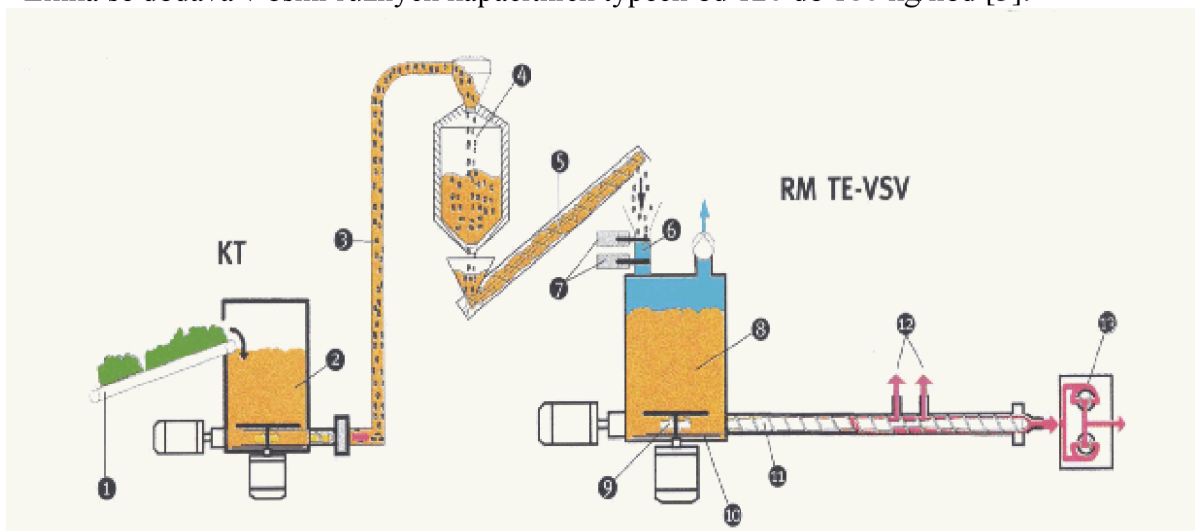
Patentovaný recyklační proces pro PET láhve je schopen zpracovávaný PET účinně zbavit všech chemických nečistot. Senzory zabudované v lince měří v průběhu úpravnického procesu průběžně (on-line) aktuální čistotu vyráběného regranulátu, což umožňuje účinnou kontrolu kvality. Vhodnost PET regranulátu pro potravinářské účely byla prokázána

ve Fraunhoferově ústavu ve Freisingu (odpovídá evropským dokumentům ILSI z března 1998).

Zvýšení indexu viskozity (např. IV 0,76 na 0,80) procesem VacuRema – tedy naplnění požadavku, aby vyrobený regranulát svým indexem viskozity odpovídal novému zboží - je při tomto procesu dosaženo díky technickým novinkám metody: krystalizačnímu sušení, kombinovanému s modifikovanou vakuovou regranulací. Touto kombinací lze dosáhnout zvýšení viskozity bez přísady chemických aditiv a bez nákladných reaktorů. Použití vhodných měřících přístrojů rovněž umožňuje v průběhu procesu úpravy průběžnou kontrolu, resp. monitorování a nastavení hodnoty IV vyráběného PET.

Granulace s kontinuální krystalizací - zařízení může být vybaveno "in-line" krystalizací zpracovávaného regranulátu. Při této operaci je využívána tepelná energie, dodávaná v průběhu extruze, na krystalizaci pásma granulátu (patentováno). Takto vyrobený a částečně krystalizovaný regranulát lze přímo použít na obvyklých linkách na výrobu předlísků, nebo jej míchat s novým materiálem.

Linka se dodává v osmi různých kapacitních typech od 120 do 180 kg/hod [5].



1 - dopravní pás

2 - krystalizační sušička KT

3 - transport materiálu

4 - meziskladování

5 - dopravní šnek

6 - vakuový uzávěr

7 - vakuové šoupě

8 - vakuová řezačka/sušárna

9 – přívod do extruderu

10 – míchadlo

11 – upravený šnekový extruder

12 – vícestupňová degazace

13 – jemný filtr taveniny

Obr. 17 Schéma linky B2B Rema RM-TE VSV

8 ZÁVĚR

Cílem práce je přiblížit problematiku recyklace PET lahví a uvést příklady využití recyklátu.

Nelze pominout třídění odpadu, které je velice důležité pro jakost recyklátu. Zde se provádí první třídění PET lahví, obvykle podle barev, a dochází k odstranění nežádoucích materiálů. V recyklačních technologiích je proces třídění zaveden také. Děje se tak, protože příměsí v PET lahvích je stále více. Navíc společnosti, zabývající se recyklací, se v žádném případě nemohou spoléhat na externí dotřídňovací segmenty. Ty mají své postupy třídění a například v rámci PVC mnohdy ani neví, že tento materiál nesmí do recyklační technologie vstoupit, nebo nemají vytipované láhve, které jej obsahují.

Zabývala jsem se konkrétně fyzikální recyklací. Zde jsem uvedla suchý a mokrý proces recyklace. V kvalitě výsledného produktu jsou značné rozdíly. Nakonec se PET flakes ze suchého drcení stejně musí podrobit praní. Dle mého názoru je tento postup drcení zcela zbytečný, neboť jakmile je materiál nadrcen, už nelze vidět jeho původní podobu. Proto je nutné před vstupem do technologie provést laboratorní zkoušky, kde se zjistí alespoň obsah PVC. Je-li tato hodnota vysoká, recyklační společnosti tento materiál nemusí přijmout a zpracovat.

Jakost PET flakes, produktu recyklace, se stanovuje jednoduchými laboratorními postupy. To je nedílnou součástí celého recyklačního procesu. Díky zjištěné jakosti lze určit, na jaký postup zpracování jsou PET flakes vhodné. Zabývala jsem se především otázkou PVC a blokátorů, se kterými si technologie neumí poradit. Nejvhodnější by bylo tyto materiály přestat používat při výrobě lahví. Do té doby by bylo vhodné láhve s těmito příměsí alespoň řádně označit.

Na konci práce jsou uvedena možná zpracování PET flakes. Jsou zde popsány technologie a požadavky právě na jakost PET flakes.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Petcore* [online]. 2010 [cit. 2011-04-28]. What is PET?. Dostupné z WWW: <<http://www.petcore.com/content/what-is-pet>>.
2. Neumann, E H.: *Thermoplastic polyesters in Encyclopaedia of Packaging Technology*, ed Bakker M. John Wiley. New York, 1986
3. *Petcore* [online]. 2010 [cit. 2011-04-28]. How to Indentify PET. Dostupné z WWW: <<http://www.petcore.com/content/how-indentify-pet>>.
4. Šuhájek, P., osobní sdělení, Modřice 27.4.2011
5. KAŇOVÁ, Dana. *Recyklační technologie v odpadovém hospodářství*. Brno, 2008. 56 s. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta.
6. BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z. *Recyklace*. 1. vyd. Vyškov: 2003
7. *Technologie drcení PET lahví*. Brno (CZ): Brnometal s.r.o., 2011
8. *Dokumentace k územnímu řízení*. Modřice (CZ): PETKA CZ, a.s., 2010
9. *Postupy stanovení PET flakes*. Modřice (CZ): PETKA CZ, a.s., 2007
10. Criteria for PET recycling. *Soft Drinks International*. 2011, č. 3, s. 63. ISSN 13678302.
11. KVASNIČKOVÁ, Alexandra. *Plasty s lepšími bariérovými vlastnostmi: Využití plastů s obsahem nanojílů nejen pro výrobu pivních lahví. ÚZEI : agronavigátor* [online]. 20.10.2007, Článek: 64724, [cit. 2011-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.agronavigátor.cz/default.asp?ids=154&ch=13&typ=1&val=64724>>.
12. *Silon* [online]. c2011 [cit. 2011-04-28]. PES vlákna. Dostupné z WWW: <<http://www.silon.cz/cz/index.php?menu=6&submenu=6a&jazyk=CZ&rozbal=6>>.
13. Hák, K., osobní sdělení, Planá nad Lužnicí 5.4.2011
14. *Svitap* [online]. c2010 [cit. 2011-04-28]. Vázací PET pásek Svitapet. Dostupné z WWW: <<http://www.svitap.cz/produkty/i53-vazaci-pet-pasek-svitapet>>.
15. Reichelt, T., osobní sdělení, Svitavy 7.4.2011

SEZNAM PŘÍLOH

1. Kritéria pro jakost PET flakes

LIMITNÍ UKAZATELE JAKOSTI

PARAMETR		HODNOTA			
		A	B	C	
Barva podle etalonu před expozicí		vizuálně			
Barva podle etalonu po expozici					
Prachový podíl [%]		< 0,2	< 0,3	< 0,5	
Vlhkost [%]		< 1,0	< 1,2	< 1,5	
Obsah nečistot [ppm]	PVC	< 100	< 200	< 300	
	PE a PP	< 100	< 200	< 300	
	dřevo	< 40	< 60	< 80	
	minerály, sklo	< 40	< 60	< 80	
	papír	< 40	< 60	< 80	
	kovy	< 40	< 60	< 80	
	hliník	< 40	< 60	< 80	
Obsah barevné PET drtě v bílé max. [%]	světlé	1.0	1.5	4.0	
	tmavé	modrá	modrá	modrá	
		0.1	0.1	5.0	
		ostatní	ostatní	ostatní	
		0.01	0.03	1.0	
Obsah jinobarevné PET drtě v barevné max. [%]	světlé	modrá	modrá	modrá	
		5.0	5.0	10.0	
		zelená	zelená	zelená	
		5.0	5.0	10.0	
		hnědá	hnědá	hnědá	
		10.0	20.0	40.0	
	tmavé	modrá	modrá	modrá	
		0.5	1.0	5.0	
		zelená	zelená	zelená	
		0.5	1.0	5.0	
		hnědá	hnědá	hnědá	
		2.0	5.0	20.0	
			tolerovány tmavé odstíny shodné barvy		
	Sypná hmotnost		275 - 500	500 <	<250