

RECYCLATION OF PLASTIC WASTES FROM PRODUCTION OF PVC ROOFING SHEETS

Špaček I.¹, Kotovicová J.²

¹Department of Environment, Fatra, T. Bati 1541, Napajedla, Czech Republic

²Department of Applied and Landscape Ecology, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, 613 00, Brno, Czech Republic

E-mail: ivospacek@seznam.cz

ABSTRACT

Our goal in the experimental part is describing of project of material recycling of heterogeneous (composite) plastics. Especially it is a production waste from isolation roofing sheets made from soft PVC and textile. From the point of LCA this production waste can be identify such as pre-consumer waste. Production waste has advantages for recycling and next using in production. Production waste is defined of quality, purity and known properties. Recycling plastic from production waste can be easily return back to production.

This project describes production line for mechanical recycling. It works on the principle of mechanical shredding (grinding) and separating of PVC roofing sheets. Crushed material contains PVC and textile PES fibers. PVC and textile PES fibers such as “synthetic wool” - “PES wadding” are pneumatically separated from crushed material. Process of mechanical shredding and separating is multistage process. Target this process is granulate of PVC with defined quality as purity and dimension. Product of recycling can be used back to the some product – roofing sheets. Project of recycling is environmental friendly method for recovery PVC composite waste PVC with textile. Project can decrease mass of disposal waste.

Key words: PVC, recycling of composite plastic waste, mechanical shredding, roofing sheets, cleaner production, waste generation

ÚVOD

Plasty se pro svoje užité vlastnosti staly nepostradatelnou součástí výrobků uplatňovaných na dnešních trzích. Podíl plastů ve výrobcích se neustále zvyšuje a současně se zvyšuje i diverzita (různorodost) plastů v různých aplikacích. V některých případech je použití plastů nezastupitelné pro svoje specifické užité vlastnosti.

Použití plastů přináší své environmentální aspekty v průběhu jejich života. Aspekty souvisí s fází výroby, užití a nakonec s fází konce života výrobku. Jedním z aspektů provázející všechny fáze je vznik odpadů. Uplatňováním prevenčních metodik (např. metodiky CP) lze hlavně ve výrobní fázi redukovat vznik odpadů. Přes všechna uplatňovaná opatření odpady vznikají a je nutno environmentálně šetrným způsobem s odpady nakládat. Z hlediska trvale udržitelného rozvoje je v první řadě žádoucí odpady využívat materiálově. Odpady využitě jako druhotné suroviny umožní částečně nahradit primární suroviny.

Nedílnou roli mezi plasty zaujímá PVC – polyvinylchlorid, jak ve formě tvrdého PVC, tak ve formě měkčeného PVC. Podle uskutečněných socio – ekonomických průzkumů bylo v roce 2000 ve státech EU celkem 6 mil. tun výrobků na bázi PVC a odvětví průmyslu zaměstnávalo 530 tis. zaměstnanců^[1]. Širokou škálu aplikací PVC v různých oborech lidských činností včetně materiálů konkurujících PVC v daných oblastech uvádí tabulka č. 1.

V současné době existují četné tlaky “zelených iniciativ” i veřejnosti k omezení či až k zákazu používání PVC. Faktem však zůstává, že PVC se stalo plastem s prakticky nejširší uplatnitelností pro svoje vhodné fyzikálně-mechanické vlastnosti, chemickou odolnost a v neposlední řadě i pro výhodnou cenu. Samostatnou kapitolou z hlediska vlivu na zdraví je použití plastifikačních přísad (změkčovadel) nutných pro výrobu měkčeného PVC. V současné době je nejvíce diskutovanou problematikou použití změkčovadel na bázi ftalátů. Některé typy ftalátů, jako DEHP a DBP jsou dokonce dle nařízení REACH^[2] zařazeny jako kandidáti na přílohu XIV („látky vzbuzující zvlášť velké obavy“). Tyto látky bude možno používat pouze pro vybrané aplikace. V některých druzích výrobků jsou dokonce zakázány jakékoliv typy ftalátů. Typickým příkladem jsou výrobky pro děti. V těchto případech je nutno používat změkčovadla např. na bázi esterů kyseliny adipové (adipáty).

Z hlediska užití je PVC nejvíce zastoupeno v aplikacích uplatněných ve stavebnictví – viz tabulka 2^[1]. Dle tohoto zdroje je ve stavebnictví použito 57 % PVC. Významný podíl užití PVC tvoří izolační folie využívané pro

- spodní izolace staveb jako ochrana proti průsakům spodní vody do stavebních konstrukcí,
- izolace proti průniku látek nebezpečných vodám do půdy a vod,
- střešní hydroizolační foliové systémy.

Tab. 1 Aplikace PVC [1]

Sector	PVC Application	principale competing materials	share of used PVC mass	market share of PVC
building and construction:				
profiles and sheets (rigid)	window frames	wood, aluminium, steel, PUR, polyolefins	0%	major
	cladding	aluminium, steel, fibre cement, wood		
	sheets	acrylics, glas, PS (non transparent), PC (transparent)	0%	major
	conduits, shutter, rails, skirts	ABS, PS, SB, PP, PMMA, PC, wood, metals		
sheets and foils (flexible)	flooring (incl. Sport)	carpet, wooden flooring, laminate, linoleum (soft), polyolefins, tiles (hard), natural stone, rubber, cork	8%	major (soft) medium (total)
	roofing sheets	bituminous sheets, PIB, EPDM, PE, EVA	1%	major
	membranes	polyolefins, polyester (coated)/ glassfiber (coated)/ PA (coated)	1%	major
	wallpaper	paper, mineral plaster, acrylics	2%	medium
pipes and fittings	waste-/rain-water	polyolefins, cast iron, concrete, stoneware/clay, Cu, Al, Zn	12%	major
	drinking water	(stainless) steel, copper, polyolefins, PB, ABS	4,5%	medium
	gas pipes	polyolefins	< 0,5%	small
	irigation and draining pipes	polyolefins	2,5%	major
toys/sports goods:				
	dolls, bath ducks, snorkle	polyolefins, wood	< 0,1%	small
	inflatable beach toys, balls, padding pools	rubber, polyolefins	3%	major
	rubber boats, rafts	composites, PUR, rubber		
	building blocks, play figures	polystyrene, polyolefins	negl.	negl.
	camping/tents	rubber, TPE	< 0,5%	medium
	luggage	lether, cotton, polyester, ABS, PUR	1%	medium
consumer goods:				
furniture	edge protection, furniture profiles	wood, ABS	1,5%	medium
	coating	melamine paper, veneer, varnish (eoxoy, acryl, alcyd, PUR)	0,5%	major
	garden hoses		1,5%	major
	garden furniture	wood, steel, aluminium, polyolefins, PA	negl.	negl.
clothing	wellingtons, ski boots	leather, PA, EVA, rubber		
	soles/bottoms	leather, PUR	2%	medium
	rain covers	cotton, PUR, polyester, PA (all coated)	< 0,5%	small
	fashion ware	wool, polyester, cotton, PA, silk, latex		
office equipment	transparancies, trays, folders	polyolefins, PS, cardboard	2%	medium
	credit cards	PET, ABS	< 0,5%	major
household goods	shower curtains	cotton, polyester	< 0,5%	major
	packaging-/electrical tapes	PET, PI, PP	1%	major
	sealants	silicoons, PUR, TPE	< 0,5%	medium
packaging:				
container	bottles	PET, glass, polyolefins, ceramics	1,5%	small
	food packs	PET, aluminium, paper, polystyrene, polyolefine, PA		medium
	shrink foils	polyolefins,	6,5%	small
	blister packs	COC, PP/COC/PP, PE/PVDC, paper		medium
transport:				
cars and trucks	plastisol (sealing, underbody protection)	polymer bitumen, PB rubber, SMA, Zn	2,5%	major
	parts	PP-GF, PP/EPDM, PP, PB, PBT, PC/ABS, SMC, PC, PA	1%	small
	tarpaulins	acrylics, PUR (all coated)	0,5%	major
	dashboard	PP, PP/EPDM, leather, PUR		medium
	artificial leather	PUR, leather, cotton, wool, polyester	1,5%	major
	cable harness	PE-X, TPU	1%	major
yachting	foams, fenders, ...	wood, PUR	< 0,5%	major
trains	seat covering	PUR, polyester	< 0,5%	small
electric- and electronic equipment:				
	cables	PE, PEX, rubber, TPE, PP	11%	major
	casings	ABS, PC, PS, polyolefine (all with FR), metals		small
	cable ducts	polyolefins	0,5%	major
medical applications:				
	blood and infusion bags and medical devices	multilayer polyolefins, glass		
	gloves	rubber, PU	0,5%	major
agriculture:				
	green houses sheets	polyethylene, glass, PMMA	negl.	negl.
	foils	polyolefins	< 0,5%	small
others				
	undefined		~ 7,5%	
sum			100%	

Tab. 2 Procentuelní zastoupení PVC v aplikacích a průměrná doba životnosti ^[1]

Use / Application	Percentage	Average life-time (years)
Building	57	10 to 50
Packaging	9	1
Furniture	1	17
Other household appliances ¹⁰	18	11
Electric/Electronic	7	21
Automotive	7	12
Others	1	2 to 10

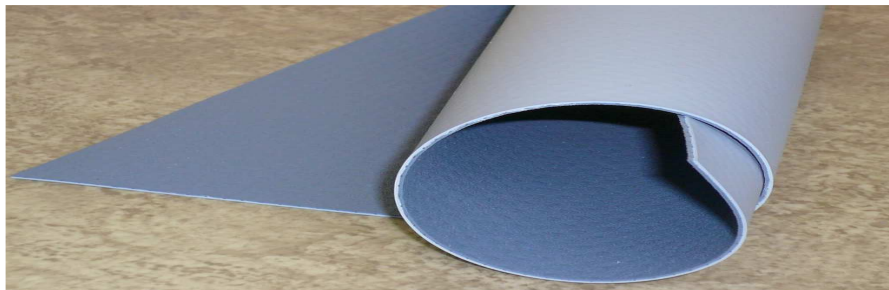
Výše popsanou problematiku řeším v rámci své doktorské práce s názvem „Prevence vzniku odpadů plastů a výzkum možnosti jejich využití“. Jako člen řešitelského týmu jsem se v rámci projektu podílel na řešení koncepcce zpracování výrobních odpadů z výroby PVC střešních hydroizolačních fólií. Řešil jsem environmentální dopady výrobního zařízení na životní prostředí s cílem jejich minimalizace včetně problematiky povolování zařízení orgány státní správy. Podílel jsem se na výběru vhodného výrobního zařízení, na zkouškách výrobního zařízení v rámci zkušebního provozu a na systému vyhodnocování výstupů ze zařízení (vznikajících recyklátů). Cílem projektu uvedeného v tomto příspěvku bylo vyřešit problematiku zpracování heterogenních plastových PVC odpadů vznikajících ve výrobním procesu výroby střešních hydroizolačních fólií na bázi PVC s textilní polyesterovou výztuží.

Dále popisovaná linka je součástí koncepcce zpracování odpadů plastů ve společnosti Fatra, a. s.. její realizace úzce navazuje na zvýšení kapacity střešních hydroizolačních fólií. Koncepcce linky a její realizace je prací řešitelského týmu složeného ze zaměstnanců Fatry, projekčních organizací a zástupců dodavatelů technologických uzlů.

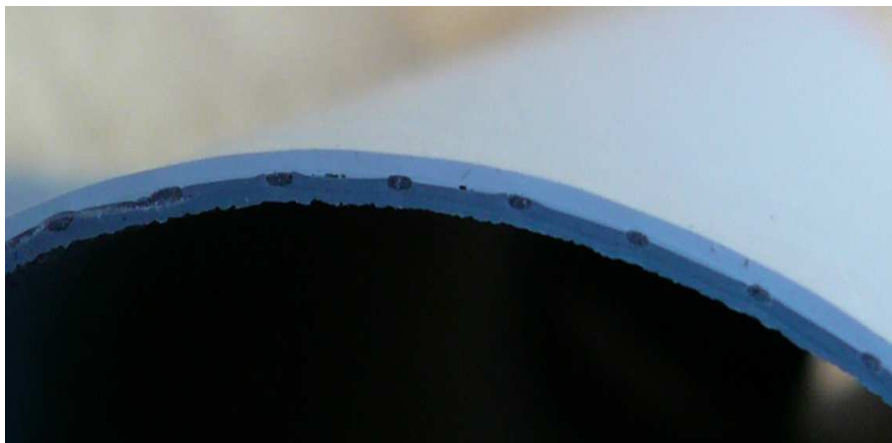
MATERIÁL A METODIKA

V tomto příspěvku je popisován projekt zpracování odpadů ze střešních izolačních fólií. Jedná se o problematiku, mající svá specifika a omezení z hlediska konstrukce fólie a potom následně i pracovatelnosti odpadů. Pro zvýšení pevnosti a rozměrové stálosti se u tohoto druhu izolačních fólií používá jako výztužný prvek textilní výztuž ve formě řídké textilie (textilní mřížka), případně netkané textilie. Jako materiál jsou používána skleněná vlákna, či častěji vlákna na bázi polyesteru (PES). V popisovaném případě je výztužný materiál na bázi PES ve formě mřížky – viz obr. 1, 2 a 3.

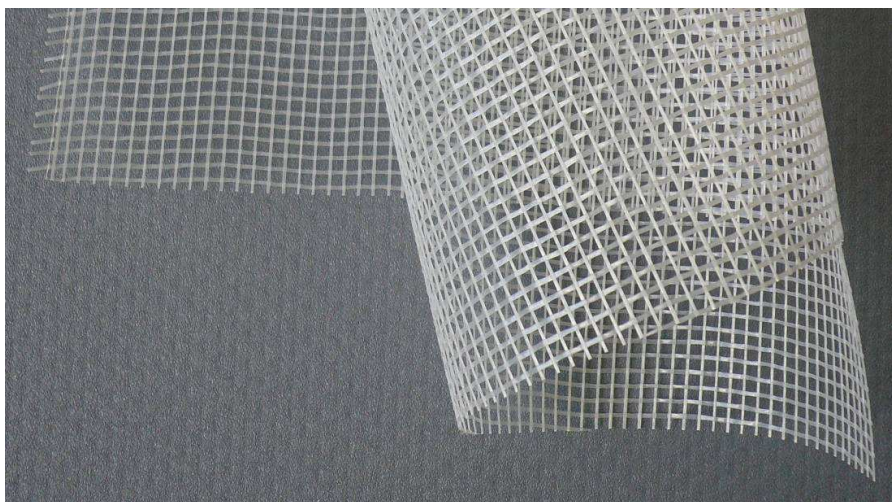
Obr. 1 – střešní hydroizolační folie s výztužným materiálem PES



Obr. 2 – detail zabudované PES mřížky na řezu fólie



Obr. 3 – výztužný materiál – textilní mřížka PES



Výhodou termoplastů, do kterých patří i PVC, je možnost jejich recyklovatelnosti zpět do daného výrobku, případně do výrobku s nižšími užitnými vlastnostmi (z hlediska barevnosti, mechanických vlastností). Recyklace naráží na některá úskalí a limitující faktory:

- čistota vstupního odpadu,
- definovatelnost složení odpadu,
- heterogenita odpadu, to znamená kombinace s jinými materiály.

Právě v popisovaném případě není možné přímé zpracování odpadu zpět do výrobku vzhledem k obsahu výztužného PES textilu.

Z hlediska **životního cyklu výrobku (LCA)** zde popisovaný případ řeší problematiku zpracování odpadů z fáze výroby – pre-consumer waste. Výhodou zpracování odpadů z výrobní fáze je:

- definovatelné složení odpadů,
- zaručená čistota daná technologií a technologickou kázní zaměstnanců.

Čistší produkce (CP) pohlíží na odpad jako na surovinu, energii, atd. nepřeměněné na žádaný produkt^[3]. Na odpad je ve smyslu CP nutno pohlížet jako na ztrátu, která v sobě zahrnuje:

- náklady na suroviny obsažené v odpadu
- náklady na energie nutné pro uskutečnění výroby (elektrická energie, tepelná energie, paliva ...)
- mzdy zaměstnanců,
- opotřebení zařízení, náklady na údržbu
- náklady na odstranění odpadu, či na recyklaci odpadu.

Z tohoto pohledu i následné recyklování s materiálovým využitím odpadu vnáší další náklady a přináší environmentální dopady. Princip materiálového využití je v souladu s požadavky zákona o odpadech, který rovněž zavádí prvky prevence vzniku odpadu a preferuje materiálové využití vzniklých odpadů před energetickým využitím, termickým odstraněním či uložením na skládku.

Za současného stavu znalostí techniky a technologií je nereálné dosahovat bezodpadové technologie. Pro snížení environmentálních dopadů jsou ve výrobě střešních izolačních PVC fólií uplatňována preventivní opatření CP, minimalizující vznik odpadů, zejména:

- technologické odladění výrobního procesu, umožňující rychlé nastavení požadovaných parametrů výrobku při spouštění výrobní linky, to znamená minimalizace odpadů při najíždění linky,
- technologická kázeň obsluhy – snižování množství neshodných výrobků,
- kontrola vstupních surovin – snižování množství neshodných výrobků,
- optimalizace vstupních výztužných materiálů dle daného výrobku – minimalizace nutných ořezů okrajů fólie,
- optimalizace tloušťkového profilu folie – minimalizace ořezů okrajů,
- používání velkonábalů a následné převíjení do spotřebitelského balení – minimalizace odpadů ze spojů jednotlivých balíčků, minimalizace odpadů při navíjení,

Odpady z výroby střešních izolačních PVC fólií tvoří:

- technologicky nutné ořezy fólií na požadovanou šířku,

- odpady ze zajiždění linky a odstavování linky,
- spoje balíků výztužného PES textilu,
- neshodné výrobky,
- odpady vznikající při poruchách výrobního zařízení

Z hlediska zařazení odpadu ve smyslu zákona o odpadech ^[4] a vyhlášky MŽP č. 381/2001 Sb. Katalog odpadů ^[5], se jedná o odpad kategorie „O“ – ostatní, katalogové číslo 04 02 09 odpady kompozitních tkanin.

Možnosti nakládání z hlediska zákona o odpadech:

Způsob nakládání	Výhody	Nevýhody
Materiálové využití	PVC obsažené v odpadu je využitelné do dalších výrobků.	- Značná investiční náročnost zařízení.
Energetické využití	---	- Vzhledem o obsahu PVC nelze odpad spalovat v běžných spalovacích zařízeních. - Malá výhřevnost
Termické odstranění	Za dodržení podmínek spalování odpad po odstranění dále nezatežuje životní prostředí.	- Ztratí se využitelný materiál jednou provždy. - Vyžaduje odpovídající spalovnu odpadů. - Finanční náročnost – cena za spalování.
Uložení na skládku - skládkování	V současné době nejnížší finanční náročnost.	- Hromadění odpadů na skládkách. - Prozatím nerealnost dalšího využití uloženého odpadu.

Společně s řešitelským týmem jsme vzali v úvahu všechny možnosti nakládání s odpadem. Přesto, že jako nejjednodušší a nejlevnější řešení se na první pohled jeví skládkování, rozhodli jsme v řešitelském týmu využít odpad materiálově. Tato varianta je sice investičně nejnáročnější, zato je však z environmentálních a nakonec i materiálových důvodů nevyhodnější.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Koncepce materiálového využití

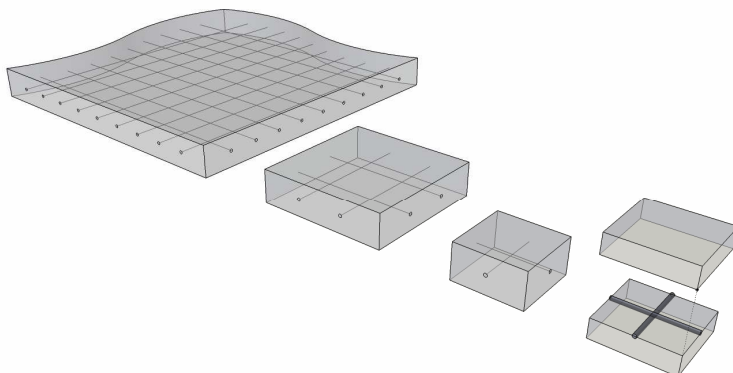
Materiálové využití (recyklace) heterogenních odpadů PVC/PES textil přináší s sebou nutnost oddělit od sebe PVC a textil. V podobě, v jaké se nachází odpady z výroby, je zpětné zpracování do výrobků nerealné.

Při separaci musí být vzaty v úvahu následující vstupní parametry a požadované výstupy:

- odpady z fólií mají v sobě zabudovanou PES textilní mřížku s rozměry mřížky řádově stejnými jako je tloušťka folie. Poměr kolísá mezi cca 1 : 5 do 2 : 5 (tloušťka : rozměry mřížky),
- odpad tvoří výše jmenované útvary,
- tvrdost a ostatní fyzikálně-mechanické vlastnosti se mění s teplotou,
- je specifikována velikost částic recyklátu (drtě) vzhledem k požadavkům dalších zpracovatelských technologií,
- zbytkový textil v recyklátu nesmí zhoršovat možnost dalšího zpracování,
- textilní vlákna v recykláži nesmí zhoršovat fyzikálně-mechanické vlastnosti a vzhled (povrch) finálního výrobku.

Popisovaná problematika materiálového využití heterogenních odpadů z PVC hydroizolačních fólií je v současné době realizována ve společnosti Fatra, a.s. Napajedla. Na základě předchozích zkušeností byla zvolena technologie drcení a separace od dodavatele Hosokawa Alpine. Princip recyklace je znázorněn na obr. 4. Postupným drcením a mletím dochází ke zmenšování částic za současného mechanicko-pneumatického odlučování PES vláken.

Obr. 4 – schematické znázornění průběhu mechanické recyklace



Odpad fólie je ve dvou stupních drcení postupně zmenšen na rozměry částice řádově stejné jako původní tloušťka folie. Důležitým momentem je schopnost zařízení převážně ve 3. stupni docílit

smykovými silami rozdělení částice v rovině zakotvené mřížky a obnažení vláken. Tím je umožněno dokončit uvolnění vláken ze struktury materiálu.

Pro názornost obr. 5 představuje vrstvu folie s nanesenou mřížkou PES před nanášením druhé vrstvy PVC. Je zřetelná úroveň zpracování mřížky do folie.

Obr. 5 - jednostranný nános PVC na PES mřížce



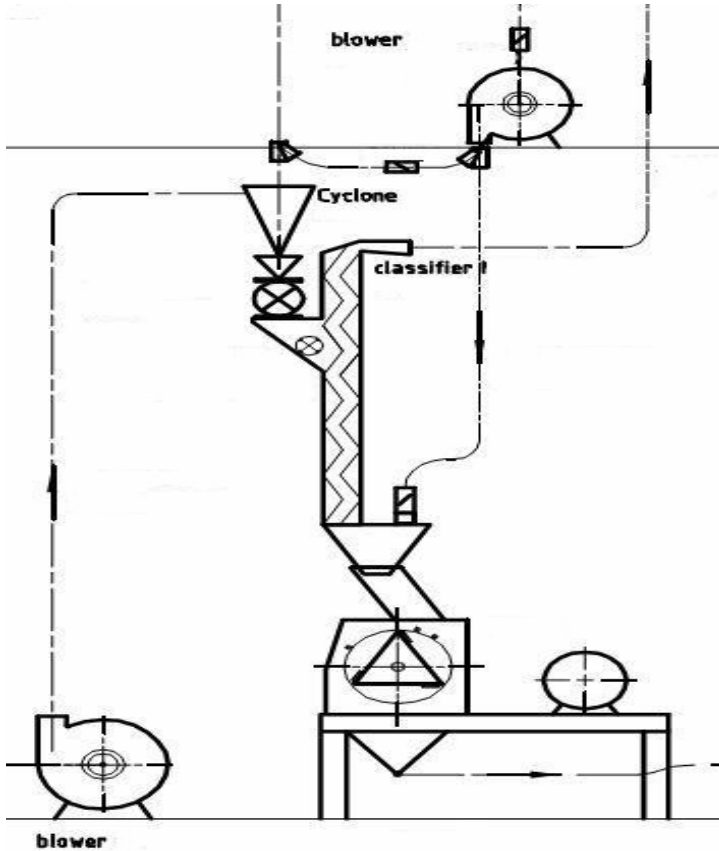
Kromě drtě PVC se v jednotlivých stupních tvoří shluky uvolněných PES vláken ve formě „vaty“ či dle jiné terminologie je vznikající hmota nazývána jako „cupanina“. Úkolem linky je kromě nadrcení odpadu separovat PVC drť od PES vláken. Princip odlučování vláken spočívá v rozdílném odporu částic vůči proudícímu vzduchu. Lépe vznosná část PES vláken je unášena přes separátor vzduchotechnikou k odlučovacímu filtru, kdežto drť PVC s odlišným odporem vůči vzduchu odchází spodní částí separátoru k dalšímu stupni zpracování.

Schéma separátoru představuje obr. 6. Materiál (drť z předchozího stupně) vstupuje do separátoru přes turniket, který:

- dávkuje do separátoru nastavený tok drtě,
- pneumaticky odděluje separátor od předcházející pseudopravy

Separátor tvoří lomená komora, která nutí procházející dělený materiál měnit směr a rychlost. Separátorem je materiál unášen regulovatelným proudem vzduchu. Množství vzduchu a tím i současně rychlost pohybu je rozhodující pro správné dělení. Průtok vzduchu je v jednotlivých stupních individuálně nastavován s ohledem na stupeň drcení (velikost částic) a množství uvolněných vláken.

Obr. 6 – schéma separátoru s drtičem



Linka umožňuje vytvářet dva druhy kvality drtě podle stupně rozdrčení a separace PES vláken. Kvalita „B“ vzniká po dvou stupních drcení a separace PES vláken. Velikost částic je řádově v mm a obsahuje zvýšené množství zbytkových vláken v drcených částicích. Drť kvality „A“ vzniká po průchodu posledním stupněm s upraveným drtičem, kde vlivem smykových sil dochází k účinnému rozrušování drtě z předchozího stupně v rovině PES výztuže a tím i ke snadnějšímu uvolnění vláken tak, jak bylo popsáno předešle. Stupeň drcení musí být zvolen tak, aby nedocházelo ke ztrátám příliš jemné drtě odloučením v třídíči.

V současné době je linka odladována z hlediska kvality drtě a stupně výtěžnosti. Cílovým stavem je výroba pouze drtě s nejvyšším stupněm odloučení vláken vznikající po průchodu celou linkou. Podle dosavadních výsledků získaných při ověřovacích zkouškách lze dosáhnout cca 80%-ní výtěžnosti kvality „A“.

Obrázky 7 a 8 ukazují výsledný produkt – drť PVC vhodnou k dalšímu zpracování zpět do původního výrobku a odpadní „cupaninu“ tvořenou PES vlákny a neodloučeným PVC. Tento zbytkový materiál v současné době nemá uplatnění a bude po zahájení trvalé výroby předáván k uložení na skládce. V dalším stupni vývoje koncepce zpracování heterogenních materiálů je uvažována i možnost vývoje výrobku umožňujícího využití i odpadní PES vlákna.

Obr. 7 – výsledný produkt linky - drť PVC



Obr. 8 – odpad PES vláken



ZÁVĚR

Popisovaná linka pro recyklaci odpadu z výroby střešních PVC hydroizolačních fólií byla realizována pro možnost materiálového využití vznikajících technologických odpadů. Ověřovacími zkouškami byla prokázána funkčnost sestavy a možnost z heterogenního odpadu s poměrně dokonale zabudovanou strukturou mřížky z PES vláken získat zpětně materiál použitelný do původního výrobku, nahrazující primární suroviny. Linka umožňuje nastavit takový stupeň rozrušení původního fóliového materiálu do formy drtě, který umožní separaci PVC od PES vláken. Bylo prokázáno, že zbytková vlákna po zpracování plní funkci plniva, které má příznivý vliv na zvýšení pevnosti následně vyráběných produktů. Z procesu vzniká odpad PES vláken s podílem neodloučeného PVC, prozatím bez dalšího využití s nutností odstranit jako odpad. Linka umožňuje zpětně zhodnotit cca 80% vstupujícího odpadu do formy použitelné pro další zpracování. Vzhledem k tomu, že odladění linky není v konečném stádiu, lze očekávat zvýšení efektivity procesu. Rovněž se naskytuje možnost rozšíření sortimentu zpracovávaných odpadů. Poznatky a výstupy uvedené v tomto příspěvku budou součástí řešení, která budu zpracovávat v rámci závěrečné doktorské práce.

LITERATURA

- [1] Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials Commissioned by the European Commission, July 2004 Project Coordination - PE Europe GmbH Dr. Martin Baitz, Mr. Johannes Kreißig, Ms. Eloise Byrne
- [2] Nařízení Evropského parlamentu a Rady(ES) č.1907/2006 - REACH
- [3] Kotovicová, J. a kol.: Čistší produkce. MZLU v Brně 2003, ISBN 80-7157-675-1
- [4] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů
- [5] Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb. Katalog odpadů, ve znění pozdějších předpisů