

# RECYKLACE VÝROBKŮ Z PVC

Lucie Gajdušková

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství polymerů  
akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie GAJDUŠKOVÁ**  
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**  
  
Téma práce: **Recyklace výrobků z PVC**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešrši na téma Recyklace výrobků z PVC.
2. Vyhodnořte výhody a nevýhody použitých metod recyklace PVC.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Wilkes, Ch. E., Summers, J.W., Daniels, Ch.A., PVC Handbook, 2005. ISBN: 978 1569 90379 7.
2. Francesco Paolo La Mantia, Editor, Recycling of PVC and Mixed Plastic Waste [elektronický zdroj], 1996. ISBN: 978-1-59124-115-7.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jitka Zýková**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

**11. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**29. května 2009**

Ve Zlíně dne 11. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

*děkan*



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Recyklace polymerních materiálů je studována již řadu let, avšak výzkum v této oblasti je stále aktuální. Jelikož množství odpadů neustále vzrůstá, je nepostradatelné se věnovat této problematice. Hlavním cílem bakalářské práce bylo vypracování přehledu jednotlivých metod používaných pro recyklaci polyvinylchloridu (PVC) a také jeho výrobků např. plastových oken, odpadních trubek či podlahových krytin. Práce se rovněž věnuje seznámení se s výrobou a zpracováním PVC. V neposlední řadě jsou zde uvedeny výhody a nevýhody zmíněných recyklačních postupů.

Klíčová slova:

Polyvinylchlorid (PVC), výroba PVC, zpracování PVC, recyklace PVC.

## **ABSTRACT**

Recycling of the polymeric materials has been studying already a few years, but an investigation is still current in this area. Because quantity of the waste has been increasing constantly, therefore it is necessary to find optimal solution for this problem. The main aim of this bachelor thesis is studying of recycling methods, which are used for polyvinyl chloride (PVC) products, for example plastic windows, pipes or floor covering. Production and processing of PVC are mentioned in this work. The last part of the work is focused on advantages and disadvantages of these recycling methods.

Keywords:

Polyvinyl chloride (PVC), production of PVC, processing of PVC, recycling of PVC.

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí Ing. Jitce Zýkové za pomoc při vypracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně dne 26.5. 2009

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 POLYVINYLCHLORID (PVC)</b> .....	<b>9</b>
1.1 VÝROBA MONOMERU .....	9
1.2 POLYMERACE VINYLCHLORIDU .....	11
1.2.1 Emulzní polymerace.....	11
1.2.2 Suspenzní polymerace.....	12
1.2.3 Blokovaná polymerace.....	13
1.2.4 Mikrosuspenzní polymerace.....	14
1.3 VLASTNOSTI PVC .....	14
1.4 ZPRACOVÁNÍ PVC NA VÝROBKY.....	16
1.4.1 Tvrdý typ PVC .....	18
1.4.2 Měkčený typ PVC .....	19
<b>2 RECYKLACE</b> .....	<b>21</b>
2.1 MECHANICKÁ (FYZIKÁLNÍ) RECYKLACE .....	21
2.1.1 Primární mechanická recyklace.....	22
2.1.2 Sekundární mechanická recyklace .....	24
2.2 CHEMICKÁ (SUROVINOVÁ) RECYKLACE.....	26
2.3 SPALOVÁNÍ (OPĚTOVNÉ ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE) .....	28
2.4 SKLÁDKOVÁNÍ.....	30
<b>3 VÝHODY A NEVÝHODY RECYKLAČNÍCH METOD</b> .....	<b>32</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>35</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>40</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>43</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>44</b>

## ÚVOD

V dnešní době patří polymery mezi nejvíce používané materiály. A to především kvůli relativně nízké ceně výchozích surovin a také snadné zpracovatelnosti na finální produkt. Díky velkému množství druhů polymerních materiálů může být vybrán takový materiál, který bude mít ty nejlepší vlastnosti pro danou aplikaci. Avšak tyto neobyčejné materiály mohou představovat velký problém týkající se objemného polymerního odpadu tvořeného z použitých výrobků, které díky nízké biodegradabilitě syntetických látek nemají šanci se zařadit do přirozeného koloběhu látek v přírodě.

Skládky odpadů ovlivňují životní prostředí v jejich okolí, kdy do půdy, vody a ovzduší unikají nebezpečné látky např. di-2-etylhexylftalát (DEHP). [1] Proto je v dnešní době recyklace polymerních materiálů velice důležitá a vývoj recyklačních metod jde stále kupředu.

V této práci je analyzována recyklace PVC i jednotlivých PVC výrobků. Výrobky z PVC dosáhly významného podílu na trhu v 60. letech minulého století. Očekává se, že přibližně od roku 2010 dojde k významnému vzrůstu množství PVC odpadu. Příčinou je rozpětí životnosti PVC výrobků, která se pohybuje kolem 30 let i více. Je možné recyklovat jednodruhový PVC odpad např. odpadní trubky, které se rozdrtí a tato drť se přidává do nové PVC směsi na odpadní trubky. Náročnější je recyklace odpadu, který obsahuje i jiné komponenty např. kování u plastových oken, jelikož se před vlastní recyklací musí odstranit v rotačním magnetickém bubnu, aby mohl být plastový odpad recyklován. Je zřejmé, že recyklované výrobky většinou nedosáhnou takových vlastností, jaké měly prvotní výrobky. Existují však výjimky např. mřížky chladičů (převážně z ABS) u automobilů, které je možno i opakovaně vyrábět z recyklátu. Podobná situace je u nádržek ostřikovačů a chladičí kapaliny či krytů zadních světel a směrovek, které se vyrábějí z PA 66. [2, 3, 4] Dalším příkladem jsou nárazníky automobilů z polypropylenu (PP), kdy se recyklát opět použije na jejich výrobu. [5]

Vývoj nových polymerů probíhal ze zdánlivě téměř nekonečného množství monomerů. Nyní se vývoj podstatně zpomalil, jelikož nové chemické postupy jsou drahé a uvedení na trh trvá dlouho. Proto vědci začali pracovat na výzkumu míchání různých polymerů, kdy dojde obvykle k zlepšení mechanických vlastností těchto směsí. [6] Vyvíjí se i

tzv. biodegradabilní polymery, které mají tu vlastnost, že se dokáží v přírodě rozložit a nepoškodit ji.

PVC odpad lze zpracovávat dvěma základními recyklačními metodami, a to mechanickou a surovinovou recyklací. Základní princip mechanické recyklace spočívá v rozdrčení odpadu na malé části, které následně mohou být smíchány v určitém poměru s novou PVC směsí. Například kabelové systémy pro automobilový průmysl obsahují 50 % PVC recyklátu. [4] Surovinovou recyklací se rozumí rozložení odpadu na základní chemické prvky (uhlovodíkové frakce), které mohou být použity při výrobě PVC anebo jiných materiálů např. polyetylénu (PE). PVC odpad může také sloužit ke zpětnému získávání energie, a to tak, že jeho spalováním získám teplo čili energii.



## 1 POLYVINYLCHLORID (PVC)

Polyvinylchlorid poprvé připravil Baumann v roce 1872. Avšak komerční výroba PVC začala ve 20. letech minulého století v USA. V průběhu dalších dvaceti let se začal PVC vyrábět ve větším měřítku i v Evropě. [7]

V dnešní době je PVC druhým nejvíce vyráběným plastem. První pozici však zaujímá PE. PVC má široký rozsah využitelnosti v mnoha průmyslových aplikacích – používá se v automobilovém a oděvním průmyslu, obalové technice, ve stavebnictví, ale i v lékařství. [7, 8]

### 1.1 Výroba monomeru

PVC se vyrábí z monomeru vinylchlorid (VC), jehož základní vzorec je zobrazen na Obr. 1. VC byl poprvé laboratorně syntetizován Justusem von Liebigem v roce 1835. Ale teprve v roce 1912 položil Fritz Klatte základy pro jeho výrobní technologii. [9]

Vinylchlorid je hořlavý a bezbarvý plyn s nasládlým zápachem. Jeho hořením vzniká oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a kyselina chlorovodíková (HCl). VC je velmi toxická látka. Akutní inhalační expozice ovlivňuje centrální nervovou soustavu (závratě, bolesti hlavy, zvracení). Dráždí také oči a dýchací cesty. Při kontaktu s kůží dochází v důsledku rychlého odpařování kapaliny k omrzlinám. V České republice platí pro koncentrace vinylchloridu následující limity v prostředí pracovišť: PEL –  $7,5 \text{ mg/m}^3$  a NPK–P –  $15 \text{ mg/m}^3$ . [10]



Obr. 1. Vzorec vinylchloridu [11]

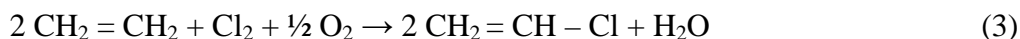
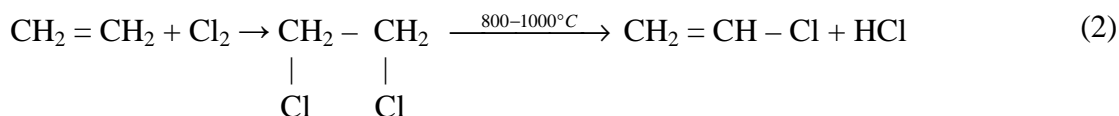
Tento monomer lze vyrobit třemi způsoby:

- reakcí acetylenu s chlorovodíkem (1),
- reakcí etylénu s chlorem (2),
- oxychlorací (3).

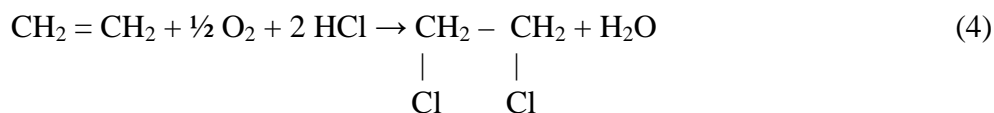
Druhý způsob je více používán při výrobě vinylchloridu než první, protože suroviny jsou na jeho výrobu dostupnější. Ovšem nejekonomičtější a v současné době nejrozšířenější je oxychlorační proces. [12]



Reakce (1) probíhá při 20–25 °C a katalyzátory jsou  $\text{CuCl}_2$  a  $\text{NH}_4\text{Cl}$  nebo může také probíhat při 150–200 °C a je katalyzována  $\text{HgCl}$ . [13]



Oxychlorace etylénu je prováděna v přítomnosti katalyzátoru na bázi  $\text{CuCl}_2$ , naneseného na alumině nebo silikagelu. Při oxychloraci reaguje etylén (v přebytku) s  $\text{HCl}$  a malým přebytkem vzduchu na katalyzátoru při teplotě 200–300 °C a tlaku 1 MPa. Rovnice oxychlorace (4) je uvedena níže. [12]



Etylén se vyrábí ze zemního plynu nebo z ropy. Dříve se však vyráběl hydrogenací acetylenu, vyrobeného z karbidu vápenatého ( $\text{CaC}_2$ ), nebo dehydratací etanolu ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). [14] Chlor se získává elektrolyzou soli  $\text{NaCl}$ . Méně jak 0,3 % ze světových

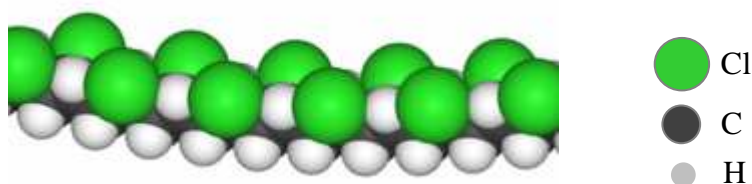
zásob zemního plynu a 35 % ze světové výroby chloru jde na výrobu PVC. Díky tomu, že NaCl je obsažena v mořské vodě, jsou zásoby chloru prakticky neomezené. [15]

## 1.2 Polymerace vinylchloridu

Polymerace je chemická reakce, kdy se z monomerů vytvoří řetězce o různých délkách – makromolekuly. PVC se může vyrábět jak polymerací radikálovou, tak i iontovou (aniontovou). Více se používá radikálový mechanismus, protože iontové polymerace jsou citlivější na nečistoty a na změny polaritu prostředí. [16, 17]

Existují čtyři postupy výroby PVC radikálovým způsobem: emulzní, suspenzní, mikrosuspenzní a polymerace v bloku. Největší zastoupení na produkci PVC ve světě má suspenzní polymerace (82 %). Za ní následují emulzní a mikrosuspenzní polymerace (11 %) a nejméně se používá bloková polymerace (7 %). [18]

Vzorec PVC je ukázán na Obr. 2.



Obr. 2. Vzorec PVC [19]

### 1.2.1 Emulzní polymerace

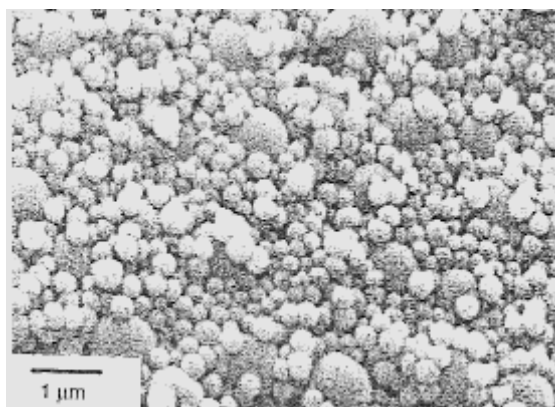
Polymerace se provádí v autoklávu s chlazením. [13]

Do vody se přidá 40 % vinylchloridu, 2–4 % emulgátoru např. alkylsulfonan, alkylarylsulfonan, sulfochlorovaný alkan, 0,2–0,5 % iniciátoru ( $\text{NaHSO}_3 + \text{Fe}^{2+}$ ) a následně se upraví pH na 4–6,5 např. fosforečnanem, uhličitanem či acetátem. Vinylchlorid je rozmíchán ve vodě do jemné micelární emulze za pomoci emulgátoru na tzv. latex. Iniciátor proniká do jemných micel, kde probíhá polymerace. Reakce začíná při 30–40 °C, pokračuje při 40–60 °C a je nutné ji chladit přes dvojitý plášť, protože je exotermní. Polymerace probíhá při tlaku 0,3–0,8 MPa po dobu 1–2 hodin. Na závěr proběhne odplynění a

oddělení polymeru nástřikem do sušárny. Výsledkem je jemný prášek PVC o velikosti zrna 0,1–1  $\mu\text{m}$ . Na Obr. 3 je mikroskopický snímek emulzního PVC. [13, 16, 18]

**PVC získaný emulzní polymerací** lze použít pro následné aplikace:

- podlahové krytiny,
- tapety,
- plachty,
- koženky,
- automobilový průmysl,
- nábytkářství,
- oděvnictví. [18]



Obr. 3. Mikroskopický obrázek emulzního PVC [9]

### 1.2.2 Suspenzní polymerace

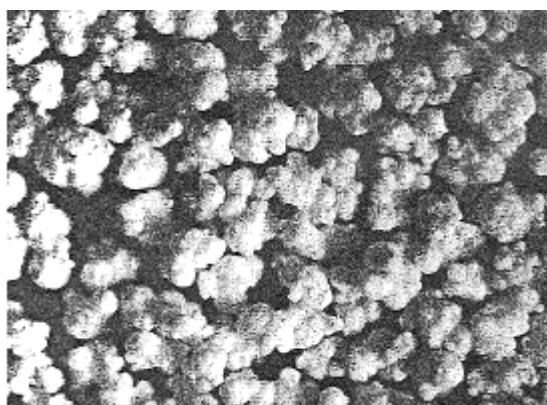
Tímto typem polymerace se dosáhne vyšší čistoty polymeru. [13]

Provádí se v reaktorech o velikosti 8–200  $\text{m}^3$ , kde monomer suspenduje ve vodě účinkem ochranného koloidu, a tím může být polyvinylalkohol (PVAL), želatina či deriváty celulózy, na jemné kapičky. Iniciátorem reakce bývají organické peroxidy, např. dibenzoylperoxid (DBP). Dále je zapotřebí také upravovat pH do alkalické oblasti pomocí  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . [20] Molární hmotnost výsledného produktu závisí na teplotě polymerace, která bývá v rozmezí 45–75  $^{\circ}\text{C}$ . Doba polymerace je 8–14 hodin. [13, 18] Na závěr se zbytky

vinylchloridu odstraňují proháněním vodní parou. [13] Vzniklý polyvinylchlorid má charakter jemného prášku, jehož zrna mají velikost 120–150  $\mu\text{m}$ . Na Obr. 4 je mikroskopický snímek suspenzního PVC při malém zvětšení.

**PVC získaný suspenzní polymerací lze použít pro následné aplikace:**

- podlahové krytiny,
- průhledné lahve. [18]



Obr. 4. Mikroskopický obrázek suspenzního PVC [9]

### 1.2.3 Bloková polymerace

Blokovou polymerací se získá polymer o nejvyšší čistotě, protože neobsahuje stabilizátor. [18]

Polymerace se provádí bez rozpouštědel a pomocných kapalin, proto jsou zde náročnější podmínky pro udržení teploty. PVC je ve svém monomeru nerozpustný, a proto při 15–20% konverzi vzniká zrnitá kaše, ve které probíhá další polymerace. [13]

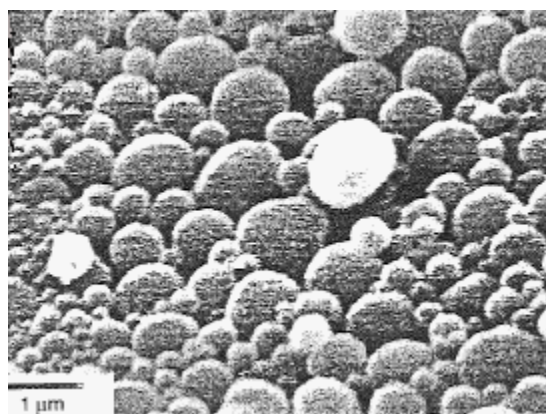
Pracuje se ve dvou stupních. V prvním kroku proběhne ve vertikálním reaktoru polymerace do 10% konverze. Ukončení se zajistí speciálním iniciátorem (tzv. polymerace do mrtvého bodu). Ještě tekutá směs se přečerpá do horizontálního autoklávu se spirálovými míchadly. Zde probíhá druhý stupeň, kdy se při  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  za přídavku nízkoteplotních iniciačních systémů polymeruje do 80–85% konverze. Demonomerizace se provádí přímo v autoklávu ohřátím a evakuací. Uvolněný prášek PVC (velikost zrn 120–150  $\mu\text{m}$ ) se již jen osévá. [13, 18]

**PVC získaný blokovou polymerací** lze použít pro následné aplikace:

- obaly na potraviny,
- krevní vaky.

#### 1.2.4 Mikrosuspenní polymerace

Tato polymerace představuje spojení suspenzní a emulzní polymerace. Přidávaný iniciátor je v monomeru rozpustný. Pomocí emulgátoru vytvoří monomer ve vodě mikrosuspenzi. Zrna výsledného prášku mají velikost 0,2–4  $\mu\text{m}$ . Tento typ se hodí pro stejné aplikace jako emulzní PVC. Na Obr. 5 je ukázán mikrosnímek mikrosuspenního PVC. [18]



Obr. 5. Mikroskopický obrázek mikrosuspenního PVC [9]

### 1.3 Vlastnosti PVC

PVC je bílý prášek, který se řadí do skupiny termoplastických polymerů, jež si uchovávají vlastnosti po zahřátí a opětovném ochlazení. [18]

Jednou z důležitých charakteristik PVC je molární hmotnost, která ovlivňuje vlastnosti tohoto polymeru např. pevnost materiálu se zvyšuje s rostoucí molární hmotností. Hodnota molární hmotnosti je ovlivněna teplotou polymerace a to tak, že při nižší teplotě polymerace ( $\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se získá polymer s vyšší molární hmotností a naopak.

Vlastnosti a zpracování PVC se dále odvíjí i od velikosti a pórozity zrn, která závisí na způsobu provedení polymerace. Zrna jsou porézní, protože se skládají z mnoha menších zrn, mezi kterými jsou dutinky. Nejvyšší pórozitu má PVC vyrobené blokovou polymerací, a tudíž je nejvhodnější pro výrobu plastisolů, jelikož snadno absorbuje změkčovadlo. [18]

V praxi je používána namísto molární hmotnosti hodnota K. K–hodnota je mírou střední molární hmotnosti a získá se měřením viskozity roztoku PVC z Fikenscherovy rovnice. Čím je K–hodnota vyšší, tím je vyšší střední molární hmotnost PVC. Pro tvrdé PVC je  $K = 55–65$  a pro měkčené je  $K = 65–80$ . [13, 18]

Variabilita vlastností PVC vyplývá z jeho chemické struktury. Díky tomu, že PVC je nerozpustný jak ve vodě, tak i ve svém monomeru, je možno provádět polymerační reakce několika způsoby (viz. 1.2) a připravit tak různé typy PVC (tj. rozdílné struktury PVC způsobené nadmolekulární strukturou polymeru) lišících se ve vlastnostech např. v pevnosti, průhlednosti, tepelné a chemické odolnosti. Chemická struktura také umožňuje mísení PVC s řadou různých látek díky přítomnosti chloru. Získáme tak charakteristické vlastnosti vhodné pro technické a komerční potřeby mnoha odvětví jako je flexibilita nebo odolnost vůči degradaci. [7, 18]

V Tab. 1 jsou uvedeny některé vlastnosti PVC.

Tab. 1. Některé vlastnosti PVC [18]

Vlastnosti	Hodnota
Hustota	1,39 g/cm <sup>3</sup>
Modul pružnosti v tahu (23 °C)	3000 MPa
Pevnost (23 °C)	50–65 MPa
Tažnost	20–50 %
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	$7–8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

PVC bez změkčovadel nebo maximálně s 5% obsahem změkčovadel se označuje jako *tvrdé PVC*. Tento PVC je materiál s vynikající odolností vůči úderu. Má malý sklon k tečení a výbornou odolnost vůči stárnutí způsobené slunečním zářením. PVC, ke kterému se přidává větší množství změkčovadel, se označuje jako *měkčené PVC*. Změkčovadlo má

schopnost pronikat mezi makromolekuly PVC a snižovat tak soudržnost mezi řetězci. PVC se tak dle obsahu změkčovadel dostává do více či méně ohebného stavu. [18]

Obsah chloru v PVC snižuje jeho hořlavost, také se obtížně zapaluje a je samozhášivý. [7] Je také odolný proti stárnutí, a proto se používá hojně na výrobu plastových oken.

Polární charakter PVC ovlivňuje tokové vlastnosti taveniny a vlastnosti roztoku PVC. [21]

PVC je snadno zpracovatelný všemi základními tvářecími technologiemi (viz. 1.4). Je chemicky odolný vůči neoxidujícím kyselinám, ale odolává i zásadám, nasyceným uhlovodíkům a alkoholům, botná v ketonech, aromatických a chlorovaných rozpouštědlech. Dobře se rozpouští v tetrahydrofuranu (THF) a cyklohexanonu. [22]

#### 1.4 Zpracování PVC na výrobky

Před samotným zpracováním PVC na výrobek, se k PVC musí přidat aditiva. Přidáním aditiv do polymerní směsi dochází ke zvýšení odolnosti např. vůči UV záření, hoření nebo degradaci, dále mohou být zlepšeny tokové vlastnosti při zpracování, mechanické vlastnosti, zbarvení polymeru a také se jimi může zlevnit směs. Aditiva přidávaná do PVC jsou tedy stabilizátory, maziva, změkčovadla, plniva a pigmenty. Od těchto přísad se vyžaduje vysoká účinnost, snášenlivost s polymerem, tepelná odolnost při zpracování, dostupnost a přijatelná cena. [23]

V Tab. 2 jsou uvedeny dva příklady složení PVC směsi. První je pro tvrdý typ PVC a druhý pro měkčený typ PVC. Obsah aditiv ve směsi se počítá na 100 dílů (100 d) PVC.



Tab. 2. Příklady složení PVC směsi [13]

	Tvrký typ	Měkčený typ
PVC	100 d	100 d
Změkčovač	5 d	10–60 d
Mazivo	0,5–2 d	0,5–2 d
Plnivo	5 d	5 d
Stabilizátor	2–4 d	0,5 d
Pigmenty	dle požadavku na sytost barvy	dle požadavku na sytost barvy

### Příprava PVC směsi

Příprava směsi se provádí mícháním, kdy se snažíme o rovnoměrné rozptýlení přísad v základním polymeru. Promíchání je nejdokonalejší, když je tuhý materiál míchán v malém objemu, a tudíž nevznikají v míchacím prostoru mrtvá místa. [22]

*Příprava granulí PVC probíhá následovně:* Nejprve se PVC smíchá se všemi přísadami v míchačce nebo hnětiči. Poté směs putuje do vytlačovacího stroje, kde se vytlačuje pásek, který je sekán (strunou, při dané rychlosti) na granule. [24]

*Příprava PVC prášku může být následující:* Prášek PVC se připravuje ve fluidních míchačkách. Dle použité teploty a koncentrace změkčovačla vznikne buď tzv. suchá směs nebo aglomerát. [22] Práškové přísady se zamíchají společně s PVC práškem před přidáním změkčovačla, které se rozstříkuje v míchačce. [25]

*Granulát* se vsype do násypky stroje (vytlačovací – jednošnekový, vstřikovací) a v plastikační jednotce se roztaví a přes tvarovací hlavu u vytlačovacího stroje nebo zaplněním formy vstřikovacího stroje se vytvaruje na požadovaný tvar výrobku.

*Prášek* se zpracovává na pastu, která se používá pro technologii máčení, odlévání nebo natírání.

Na Obr. 6 je ukázka granulátu a z něj vytlačeného výrobku.



Obr. 6. Granulát PVC a vytlačný výrobek [24]

#### 1.4.1 Tvrký typ PVC

Jak již bylo zmíněno výše (viz 1.3), tvrdý typ neobsahuje změkčovadla (nebo max. 5 %), a proto se používá ve stavebnictví např. na odpadní trubky a plastová okna, kvůli jeho pevnosti, odolnosti vůči úderu a stabilitě vůči přírodním vlivům.

Tento typ PVC se zpracovává válcováním při teplotě 160–175 °C na fólie. Dále se může vytlačovat při 180–205 °C a vzniknou tlakové nebo odpadní trubky a okenní nebo dveřní profily. Další technologií je lisování, které probíhá při teplotě 160–180 °C. Desky nebo fólie na obaly vznikají tvarováním při teplotě nad 85 °C. Také se používá na láhve, které se vyfukují. [13, 26]

Na Obr. 7 a 8 jsou ukázky výrobků z tvrdého PVC.



Obr. 7. Plastová okna a dveře z PVC [27]



Obr. 8. PVC odpadní trubky [28]

#### 1.4.2 Měkčený typ PVC

Jelikož tento druh PVC obsahuje změkčovadla, je využíván na výrobu takových produktů, u kterých je požadována vyšší či menší ohebnost.

Stejně jako tvrdý typ se měkčený typ PVC zpracovává válčováním na fólie, ale i na podlahoviny. Z tohoto typu PVC se vyrábí hadice a izolace kabelů, které se vytlačují. Další technologií pro zpracování měkčeného PVC je máčení, které je vhodné pro výrobu rukavic, koupacích čepic a obuvi nebo také hraček. Další způsob, používaný např. pro výrobu míčů, nebo přístrojové desky automobilů, se nazývá rotační odlévání. Natírání patří mezi nejrozšířenější aplikace pro zpracování měkčeného PVC respektive PVC pasty. Tato metoda je využívána např. v automobilovém i oděvním průmyslu, nábytkářství a také je vhodná pro výrobu umělé kůže. Pro technologie máčení, rotační odlévání a natírání se používají pasty PVC. [26]

Na Obr. 9 a 10 jsou ukázky výrobků z měkčeného PVC.



Obr. 9. Odlévaná PVC  
obuv [29]



Obr. 10. Máčené PVC rukavice [30]

## 2 RECYKLACE

Recyklace je proces, kdy se použité výrobky sbírají, třídí a znovu zpracovávají na další výrobky. Tím se materiál dostane do oběhu, a tudíž klesne množství odpadu, který se jinak ukládá na skládkách. Skládky mají především vliv na životní prostředí a na člověka. Produkují nebezpečné látky do podzemních vod, půdy a do ovzduší. Z PVC se uvolňují ftaláty a těžké kovy. [31] Proto byly vyvinuty různé metody recyklace. Pro PVC je to recyklace mechanická a chemická a dále se PVC využívá jako odpad ke zpětnému získávání energie. Tyto metody jsou popsány v následujících kapitolách. Je zde zmíněno i skládkování odpadů.

### 2.1 Mechanická (fyzikální) recyklace

Při této recyklaci nedochází ke změnám chemického složení recyklovaného materiálu. Provádí se tehdy, když je k dispozici dostatečně velké množství homogenních a roztříděných plastových odpadů. V tomto případě umožňuje mechanická recyklace výrobu zboží podobné kvality jako původní plast (primární mechanická recyklace). Předměty z PVC takto recyklované jsou láhve, trubky, střešní krytiny, podlahoviny a okenní profily. [7]

Recyklace směsných odpadů (sekundární mechanická recyklace) ovšem vyžaduje lepší promyšlené technologie, protože se zpracovávají kompozitní výrobky (koženky, kabely) a méně kvalitní průmyslové a technologické plastové odpady. Musí se stanovit vhodná teplota tavení, aby se všechny směsný odpad zhomogenizoval a poté se zpracovává např. intruzí (vytlačování taveniny do formy). Výrobky získané recyklací směsných plastových odpadů mají také většinou nižší užitnou hodnotu a jsou použitelné například na prvky zahradní architektury, přepravky, palety a prvky dopravních staveb. Sekundární mechanickou recyklací se zabývá např. belgická firma Julien Environmental Technology, která vyrábí z plastového netříděného odpadu kvalitní produkty (palety, lavice, patníky). [7, 32, 33]

### 2.1.1 Primární mechanická recyklace

Před samotným zpracováním odpadu je nutné ho vytřídit. Děje se to již v domácnostech – ke sběru plastového odpadu slouží žluté popelnice. Dalším krokem je třídění odpadu v třídárnách, kde pracovníci ručně třídí PET lahve, kelímky od jogurtů nebo sáčky. Tímto se zabývá např. firma Transform Lázně Bohdaneč. [34] Třídění probíhá i automaticky anebo lze kombinovat ruční a automatické třídění. Plasty se třídí i dle hustoty tzv. flotací (separace ve vodní lázni). [35]

Takto roztríděný a homogenní plastový odpad se rozdrťí nebo rozemele na malé částičky v mlýnu nebo drtičce, a ty se přidávají v určitém poměru do „panenského“ plastu vstupujícího do zpracování. [36] Také se z nich může vyrobit samostatná směs s přísadami např. s plnivem nebo nadouvadlem, která pak tvoří vnitřní prostor výrobku. [37] Příkladem primární mechanické recyklace je recyklace odpadních trubek či plastových oken.

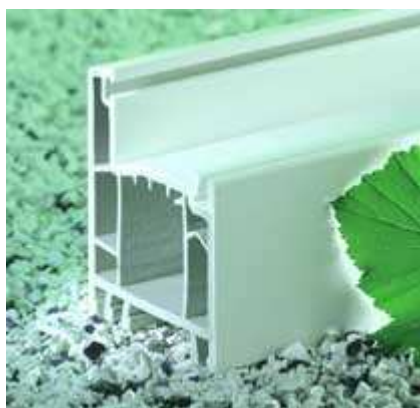
#### **Recyklace odpadních trubek**

Trubky se vytřídí a zbaví nežádoucích příměsí. Nejdříve se rozdrťí a rozřežou na kusy o velikosti 30 cm. Poté se prosévají na sítu a oddělí se tak písek. Materiál pak jede na páse, kde je ručně tříděn pryžový a jiný odpad kromě PVC. Materiál zbylý na páse se rozemele na malé částičky a opět se prosévá na sítu. Kov je odstraněn pomocí magnetického oddělovače. Materiál je pak proséván v třídícím stroji, který přijímá částičky o velikosti 1,5–15 mm. Nakonec se odstraní třesením zbytky hliníku a písku a PVC je rozemleto na částičky o velikosti  $>0,5$  mm. Takto vzniklý „prach“ je smíchán s plnivem nebo i navíc s nadouvadlem. Tento materiál (regranulát) se používá na vnitřní vrstvu trubky, přičemž vnější strany jsou tvořeny novým materiálem, a tak si trubka zachová své vlastnosti např. izolační schopnost a navíc se sníží její hmotnost a díky úsporám materiálu je levnější. [36, 37, 38] Závody na recyklaci trubek existují v Holandsku, Německu, Rakousku a Švédsku. [39]

#### **Recyklace plastových oken**

Podobným způsobem jako odpadní trubky se zpracovávají i plastová okna, ale recyklační proces je složitější, protože se zpracovávají kompletní okna i se sklem, kováním

a těsníci prvky. V drtiči (podobný typ jako pro automobily) jsou okna hrubě rozdrcena. Tato směs projde přes rotační magnetický buben, a tak jsou vytaženy kovové části. Směs zbavená kovu jde do síťového bubnu, kde se materiál separuje na 4 frakce (částičky o velikosti <4 mm, 4–15 mm, 15–45 mm a >45 mm). Zbytky pryže se odstraňují na rotačním válci, který je pokrytý pryží. Takto upravený materiál putuje do dalšího síťového bubnu, kde se částice rozdělí na 2 frakce, a to 4–8 mm a 8–15 mm. Kousky skla se oddělí od směsi na vibrační desce s otvory pomocí proudu vzduchu. Zbytky kovu se odstraňují elektrickou spirálou pro detekci kovů. Očištěné PVC částičky se rozemelou na velikost 2–8 mm v řezném mlýnu a zde se i promývají vodou. Poté se vysuší horkým vzduchem a odbarví se. Regranulát je použit na střední vrstvu okenních profilů, která je obalena novým PVC. [2, 32, 40] Obr. 11 ukazuje profil z recyklovaného PVC. Recyklaci plastových oken provádí firma Gealan nebo VEKA Umwelttechnik GmbH v Behringenu (Durynsko), která provozuje od roku 1993 nejmodernější zařízení v Evropě na recyklaci PVC oken. [41] Obr. 12 zobrazuje koloběh plastových oken.



Obr. 11. Recyklovaný profil z  
PVC [40]



Obr. 12. Koloběh plastových oken [42]

### 2.1.2 Sekundární mechanická recyklace

Ze směsného odpadu (obsah PVC do 15 %) se získají výrobky s nižší kvalitou, a tudíž se používají na jiné aplikace, než měl předchozí produkt. Jsou to zatravňovací dlaždice, palety či průmyslové podlahy. [32, 36] Ukázky těchto výrobků jsou na Obr. 13, 14 a 15.

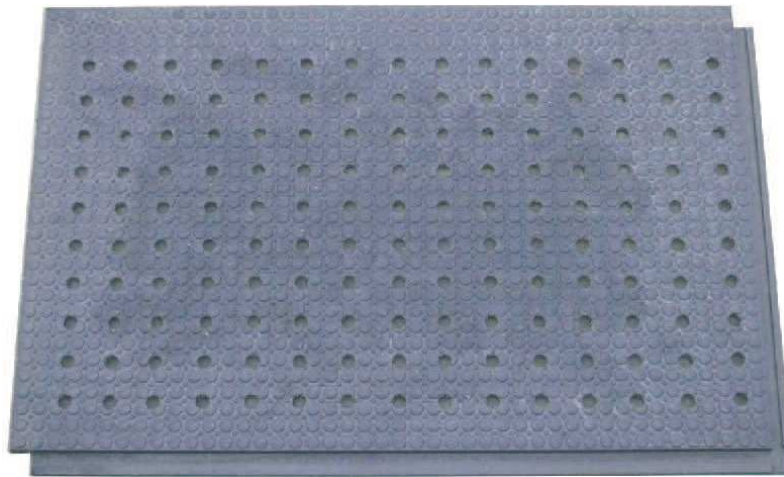


Obr. 13. Paleta z recyklovaného PVC [43]



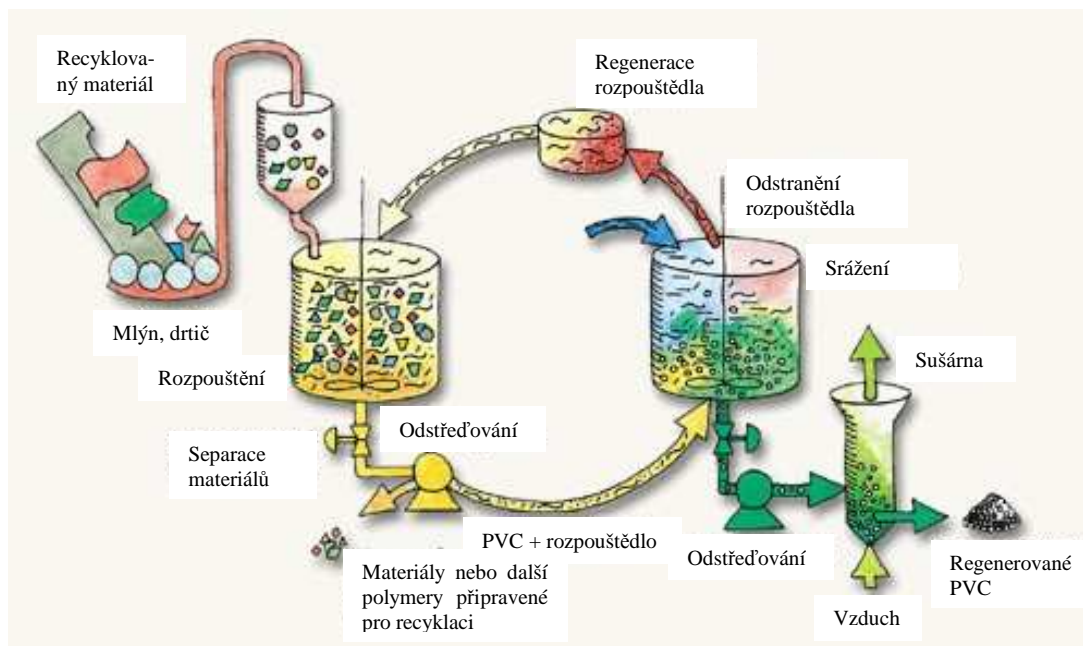


Obr. 14. Zatravňování dlaždice  
z recyklovaného PVC [44]



Obr. 15. Průmyslová podlaha z recyklovaného PVC [45]

Pokud je plastový odpad znečištěn cizorodými látkami, které jdou těžko oddělit, a nebo nedá-li se roztřídit běžnými postupy, používá se metoda využívající rozpouštědla. [36] Pro PVC byl vyvinut proces VinyLoop. Průběh tohoto procesu je na Obr. 16.



Obr. 16. Průběh recyklačního procesu VinyLoop [46]

### Recyklační proces VinyLoop

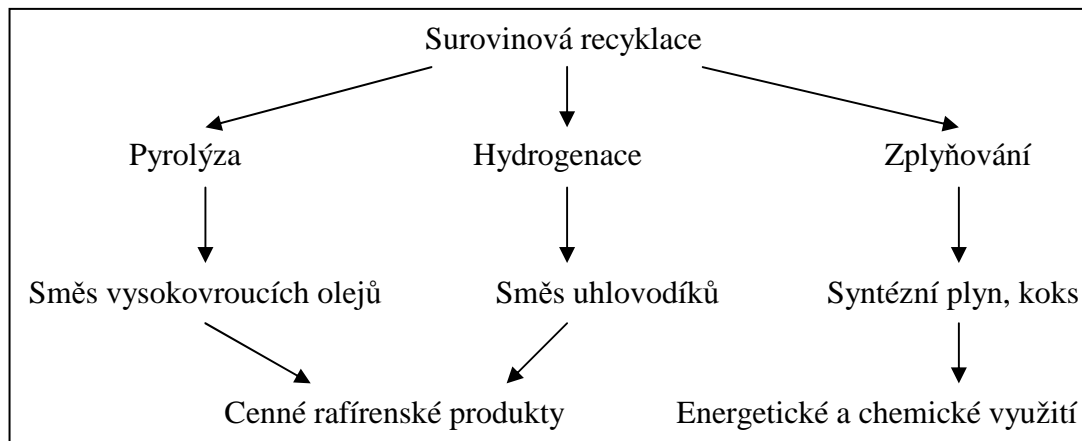
Tato metoda umožňuje recyklaci kabelů, plachet nebo podlahových krytin. [47]

Technologie byla vyvinuta firmou Solvay (Ferarry, Itálie). [48] Recyklováný materiál se rozemele nebo rozdrťí a vhodným rozpouštědlem – metyletylketonem – se PVC rozpustí, tím se izolují příměsi (např. měď, vlákna), které se z roztoku oddělí filtrací. Rozpouštění probíhá při dané teplotě za nepřístupu vzduchu. Poté se vodní parou vysráží rozpouštědlo, které se zregeneruje a opět použije. V tomto kroku mohou být přidány aditiva (např. plastifikátor). Nakonec se regenerovaný PVC vysuší vzduchem. Získaný recyklát má vyhovující tepelnou stabilitu a jeho tvrdost může být upravena dle potřeby. Recyklát je vhodný na tmavě šedé nebo černé výrobky. [32, 36, 49]

## 2.2 Chemická (surovinová) recyklace

Při tomto postupu recyklace dochází ke štěpení (krakování) molekul polymeru působením tepla, a to buď v nepřítomnosti kyslíku, případně za přídavku vodíku, nebo i v oxidačním prostředí a vznikají tak uhlovodíkové frakce podobně jako při zpracování ropy. Tyto uhlovodíkové frakce pak mohou být použity pro výrobu plastů. [7, 32]

Tepelné krakování plastového odpadu se provádí hydrogenací, pyrolýzou nebo zplyňováním. [32] Na Obr. 17 je rozdělení těchto operací.

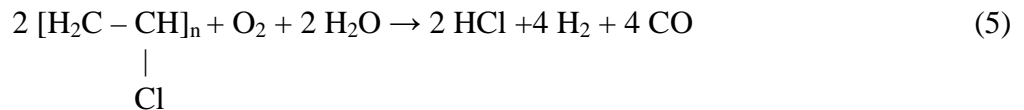


Obr. 17. Surovinová recyklace [43]

V získaných uhlovodících je třeba dodržet obsah halogenovaných sloučenin v řádu 0,1–1 %, jelikož jsou používány hlavně v petrochemickém průmyslu. Proto se sebrané směsné plastové odpady předem upravují. Tato úprava spočívá ve vytřídění a „naředění“ odpadů s vyšším obsahem chloru odpady s nízkým nebo nulovým obsahem chloru. Další možností je tepelné odstranění halogenů před vlastním zpracováním odpadu pyrolýzou v kapalně fázi nebo ve fluidním loži. Vznikající chlorovodík může být po purifikaci znovu použit nebo je neutralizován za tvorby různých produktů, které mohou být buď využity, nebo likvidovány. [3, 32, 50] Příkladem využití vznikajícího chlorovodíku je výroba vinylchloridu. [7]

Provozy chemické recyklace odpadů bohatých na PVC by se měly soustředit na ty toky, pro které není mechanická recyklace vhodně proveditelná, tj. pro druhy odpadu, které nemohou být mechanicky recyklovány, protože by vyžadovaly další separační kroky, nebo obsahují příliš mnoho problematických nečistot či kvůli dalším omezením souvisejícím s ekologickými hledisky. [3]

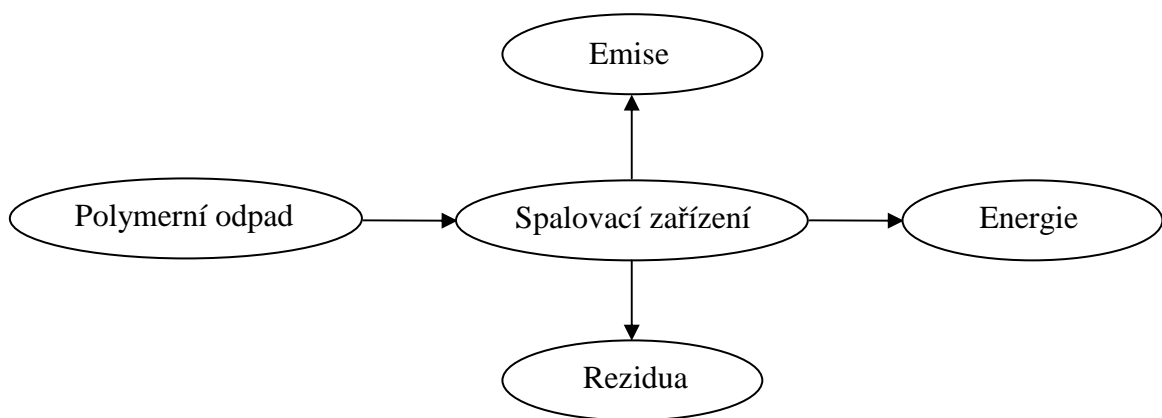
Nový postup pro chemickou recyklaci PVC je zaváděn v Tavauxu ve Francii. Proces je založen na zplyňování ve struskové koupeli vyvinutým firmou Linde AG. PVC odpad je přeměněn s kyslíkem, párou a pískem dle následující rovnice (5). [51]



### 2.3 Spalování (opětovné získávání energie)

Pokud nelze PVC odpad recyklovat metodami popsanými výše, můžeme ho spalovat a získat tak z něj energii. Plasty jsou snadno spalitelné při teplotách okolo 900 °C. PVC má podobnou výhřevnost jako dřevo, produkuje však méně oxidu uhličitého na 1 kg materiálu. Znepokojení často vzbuzuje výskyt chloru v PVC a vznik sloučenin chloru, dioxinů, fosgenů, hexachlorbenzenu (HCB), polychlorovaných bifenyliů (PCB) a furanů jako zplodin při jeho spalování. Je proto nutné kouřové plyny ze spalování čistit a odstranit kromě chlorovodíku také oxidy síry a dusíku. [36, 52, 53]

Na Obr. 18 je jednoduché schéma, jak probíhá spalování polymerního odpadu.

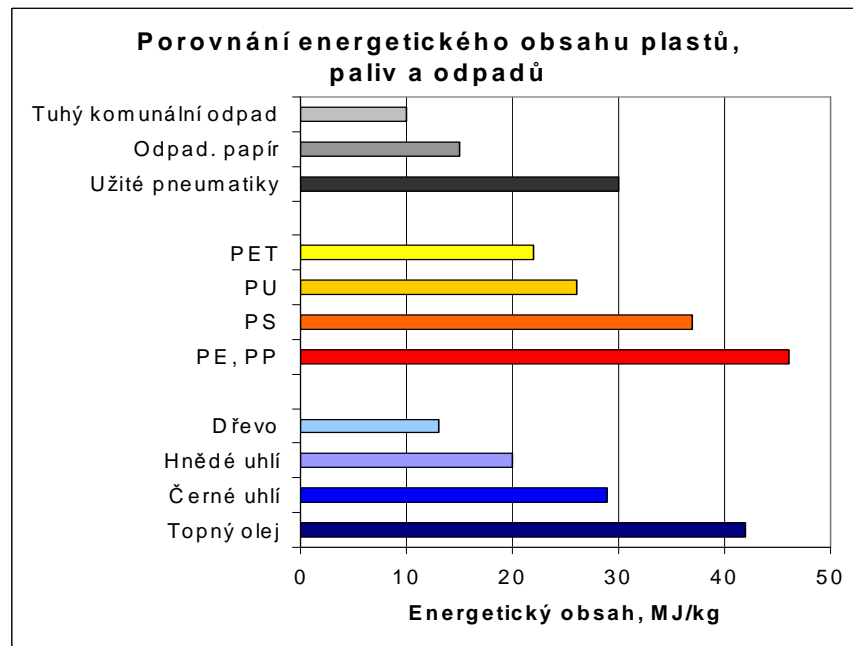


Obr. 18. Schéma spalování polymerního odpadu [43]

Moderní spalovny mají zabudovány vysokoteplotní sekce, která minimalizuje vznik dioxinů. [36]

Polyvinylchlorid má výhřevnost 16–25 MJ/kg. [36] Výhřevnost udává, jaké teplo (energie) se uvolní spálením jednoho kilogramu látky. [54]

Na Obr. 19 je uvedena výhřevnost dalších paliv. Vyplývá z něj, že PE a PP mají dokonce větší výhřevnost než topný olej. Celkově můžeme říci, že energetický obsah plastů je vysoký oproti běžným otopům.



Obr. 19. Výhřevnost různých paliv [43]

Spalování odpadu s výrobou energie je považováno za užitečné, vyrobí-li se během procesu více energie, než je během procesu přidáno. [55]

Spalování směšného plastového odpadu může probíhat v cementárnách nebo se spaluje společně komunální plastový odpad s uhlím. [43]

Likvidace emisí se provádí procesy hydrogenačními či oxidačními. [43]

Odsiřování spalin se provádí buď suchým nebo polosuchým způsobem. Suchý způsob spočívá v rozprašování mletého vápence do proudu horkých spalin. U polosuchého je do proudu horkých spalin nastříkována suspenze uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) ve vodě. [56]

K odstraňování oxidů dusíku se používá selektivní katalytická a nekatalytická redukce. Katalyzátorem jsou oxidy vanadu, molybdenu nebo wolframu na nosiči z oxidu titaničitého ( $\text{TiO}_2$ ). [56]

Na zachycení HCl vzniklého při spalování se používá roztok NaOH. Vysoká teplota a rychlé ochlazení zaručuje, že se nevytváří žádné jedovaté plyny. [57] Nebo je HCl vázán do tuhého chloridu vápenatého ( $\text{CaCl}_2$ ) pomocí mletého vápence. [58]

Dalším energetickým zhodnocením plastového odpadu je pyrolýza, při které dojde k rozštěpení makromolekul na molekuly při zachování vazby mezi uhlíkem ( $\text{C}_2$ ) a vodíkem ( $\text{H}_2$ ). Pyrolýza se provádí za nepřítomnosti kyslíku v teplotním rozmezí 400–900 °C. Produktem pyrolýzního procesu je vodík, metan, plynový a těžký olej. [59]

Jinou metodou je zplyňování, kdy je odpad převeden na plynné palivo, jež umožňuje lépe využít obsaženou energii. Zplyňování produkuje méně plynných produktů než spalování, a tudíž je nutné čistit menší množství spalin, a tím se samozřejmě sníží náklady. [59]

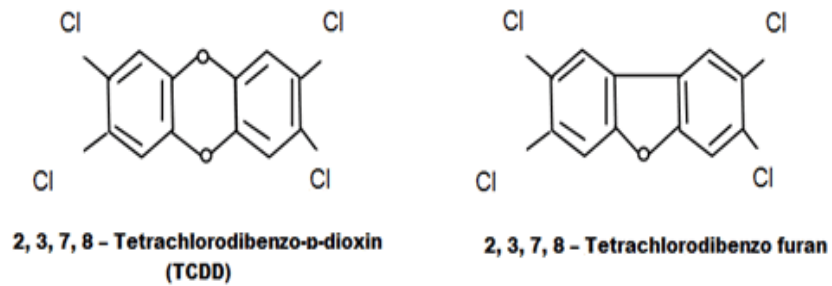
## 2.4 Skládování

Skládkování PVC odpadu je další možností, jak naložit s tímto odpadem. Na Obr. 20 můžeme shlédnout ukázkou skládky. PVC odpad se ukládá na skládku, pokud ho nelze recyklovat ani využít na opětovné získání energie např. spalováním. Jedině řízená skládka vyhovuje zásadám ochrany životního prostředí za daných technických a provozních podmínek a při průběžné kontrole jejich vlivu na životní prostředí. [3, 60]



Obr. 20. Skládka odpadu [61]

Na odpad působí přírodní vlivy jako je teplota, vlhkost, kyslík nebo i mikroorganismy a mohou se tak z něj uvolňovat nebezpečné látky (např. DEHP). Pokud dojde k požáru skládky, z PVC se uvolňují dioxiny a furany. [3] Jejich struktura je na Obr. 21.



Obr. 21. Příklad dioxinu a furanu a jejich struktura [43]

### 3 VÝHODY A NEVÝHODY RECYKLAČNÍCH METOD

Uvedené metody nakládání s odpadem mají své výhody a nevýhody. Jedná se o požadavky na technologická zařízení, o kvalitu výstupního recyklátu či o dopad na životní prostředí. Velký zřetel je brán na ekonomické aspekty.

#### **Zhodnocení mechanické recyklace**

Výhodou této metody je její nenáročnost na speciální technologická zařízení. Recyklace se může provádět na běžných strojích (mlýny).

Nevýhodou je závislost kvality recyklátu na charakteru vstupních surovin tzn. na úrovni vytrídění odpadu. Od kvality recyklátu se také odvíjí jeho aplikace.

Lze recyklovat materiál, kterého je dostatečné množství. Odpad, který je velmi znečištěn např. od oleje a barev takto recyklovat nelze, protože obsahují zbytky oleje a barev, a ty jsou označovány jako nebezpečné látky. Tyto obaly by se měly odevzdávat do sběrného dvora. Další překážkou jsou kompozitní výrobky.

Recyklace odpadu vzniklého před použitím výrobku je ekonomicky výhodná – přináší zisk. Ovšem recyklace odpadu vzniklého po použití výrobku je méně výhodná – je totiž potřeba zajistit sběr materiálu. Firma Recovynyl poskytuje finanční stimuly pro podporu sběru PVC.

#### **Zhodnocení chemické recyklace**

Kladem této recyklace je možnost ze vzniklých uhlovodíkových frakcí vyrobit i jiné polymery např. polyetylén. Abychom tohoto dosáhli, musíme směsný plastový odpad druhově vytrídít, což ovšem zvýší náklady. Technologie chemické recyklace jsou složitější a ekonomicky náročnější než postupy mechanické recyklace.

#### **Zhodnocení opětovného získávání energie z plastového odpadu**

Směsné odpady zde tvoří překážku. Společně s odpadem shoří i nečistoty např. bakterie (v odpadu z nemocnic). Nevýhodou jsou do ovzduší unikající nebezpečné látky, které je třeba likvidovat, a tím se samozřejmě zvýší náklady. Veřejnost má také odpor k provozu spaloven.

U procesu zplyňování je produkováno menší množství nebezpečných plynných produktů než u spalování, a tudíž je výhodnější a má menší požadavky na náklady.



Pyrolýza umožňuje získat nejen energii, ale je i zdrojem pro nové produkty (např. monomery). Likvidují se jí nebezpečné a problémové odpady. energii je třeba dodat jen na iniciaci procesu, který může být plně automatizovaný a pracovat kontinuálně po celý rok. Je to technologie bez negativních vlivů na okolí.

### **Zhodnocení skládkování odpadu**

Je to ten nejsnadnější způsob, jak se zbavit odpadu, ale není moc vhodný pro životní prostředí. Po ukončení aktivního provozu skládky je stále sledována její činnost, hlavně produkce skládkového plynu a průsakových vod.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo rozebrat jednotlivé postupy při zacházení s plastovými odpady. Je zde uvedena recyklace PVC výrobků a také příprava, zpracování a vlastnosti PVC.

První kapitola se zabývá polyvinylchloridem, kde je popsána jeho výroba (čtyři typy polymerace), jeho vlastnosti a nakonec jeho zpracování tvářecími procesy, kdy se získá hotový výrobek.

V druhé kapitole jsou uvedeny metody recyklace PVC a také je zde zařazeno skládání odpadů, což je prozatím nejvíce využíváno při likvidaci odpadů.

Ve třetí kapitole jsou zhodnoceny jednotlivé procesy při nakládání s odpadem. Vyplývá z ní, že nejlevnější je stále ukládání odpadů na skládky, ale bohužel je nejméně šetrné k životnímu prostředí. Dále je zmíněno opětovné získávání energie – spalování nebo pyrolýza, ze které lze vzniklý plyn využít také pro výrobu energie. Ke spalování má veřejnost odpor, jelikož při něm vznikají nebezpečné látky, které se mohou dostat do ovzduší, a proto je tento postup odstranění PVC odpadů docela nežádoucí. Avšak závody zabývající se touto metodou podnikají kroky k zachycování těchto látek. Mechanickou recyklací se zpracovávají např. plastová okna, která jsou v dnešní době velice rozšířená, a vzniklý recyklát se opět použije na jejich výrobu. Ovšem pokud máme nehomogenní materiál k recyklaci, recyklát se může použít pouze na výrobky s menším nárokem na kvalitu (palety, zatravnovací dlaždice). Chemická recyklace poskytuje uhlovodíkové frakce, ze kterých je možno vyrobit např. monomer pro polyetylen (PE), avšak má velmi vysoké požadavky na kvalitu zpracovávaného odpadu.

Dospěla jsem k závěru, že recyklace plastů je velmi důležitá, protože se množství odpadů neustále zvyšuje a recyklací plastových odpadů dosáhneme koloběhu materiálu v procesu výroby a používání, a tím docílíme toho, že se nebudou vytvářet odpady v tak velkém kvantu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Budoucnost bez jedů – Di(2-ethylhexyl)ftalát, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://bezjedu.arnika.org/chemicka-latka.shtml?x=633020> >
- [2] Uhlen, H., Recycling of Complete PVC Windows, v: F. P. La Mantia, Recycling of PVC and Mixed Plastic Waste, ChemTec Publishing, Kanada, ISBN 1-895198-11-9, 1996
- [3] Zelená kniha: Environmentální problémy s PVC, dostupné z [2008-11-13]  
< <http://arnika.org/pvc/studie.shtml> >
- [4] Škoda, J., Recyklace autovraků v ČR, dostupné z [2009-05-05]  
< [www.envi.upce.cz/pisprace/ks\\_pce.html](http://www.envi.upce.cz/pisprace/ks_pce.html) >
- [5] Stříbrná, E., Recyklace starých automobilů, Zpravodaj MŽP, 1999, roč. 9, č. 2, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.env.cz/ris/vis-edice.nsf/5262baa1b2012f9cc125723b003a63ed/5cdb4a84f72b7f91c1257419002c2641?OpenDocument&ExpandSection=4> >
- [6] Svoboda, P., Směsi polymerů, [přednášky], 2008-2009, Zlín
- [7] PVC – jaké vlastně je, dostupné z [2008-11-13]  
< <http://www.argona.cz/text/cs/ke-stazeni.aspx> >
- [8] Použití PVC, dostupné z [2008-11-13]  
< <http://www.pvcforum.org/pvcokolo.php> >
- [9] Confer, J. A., Vinyl Chloride Monomer, v: Wilkes, CH. E., Summers, J. W., Daniels, Ch. A., PVC Handbook, Hanser Gardner, USA, ISBN 978-1569-90379-7, 2005
- [10] Vinylchlorid, dostupné z [2009-05-02]  
< [www.irz.cz/latky/vinylchlorid](http://www.irz.cz/latky/vinylchlorid) >
- [11] Budoucnost bez jedů – Vinylchlorid, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://bezjedu.arnika.org/chemicka-latka.shtml?x=1919659> >
- [12] Oxychlorační proces, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.petroleum.cz/vyroby/dichlorethan-vinylchlorid.aspx> >
- [13] Stoklasa, K., Makromolekulární chemie II, [přednášky], 2008-2009, Zlín
- [14] Etylén, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://www.jergym.hiedu.cz/%7Ecanovm/barva/r/hy.html> >

- [15] Summers, J. W., Introduction, v: Wilkes, CH. E., Summers, J. W., Daniels, Ch. A., PVC Handbook, Hanser Gardner, USA, ISBN 978-1569-90379-7, 2005
- [16] Polyvinylchlorid, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=4772> >
- [17] Stoklasa, K., Makromolekulární chemie I., [skriptum], Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, 2005
- [18] Sova, M., Krebs, J., Termoplasty v praxi, Verlag Dashöfer, Praha, ISBN 80-86229-15-7, 2000
- [19] Polvinylchlorid – Řetězec PVC, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=483> >
- [20] Způsob výroby suspenzního PVC, dostupné z [2009-05-04]  
< <http://aleph.vkol.cz/pub/svk06/00029/06/000290650.htm> >
- [21] Daniels, C. A., Physical properties and characterization of PVC, v: Wilkes, CH. E., Summers, J. W., Daniels, Ch. A., PVC Handbook, Hanser Gardner, USA, ISBN 978-1569-90379-7, 2005
- [22] Ducháček, V., Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, ISBN 80-7080-617-6, 2006
- [23] Tichavský, V., [ústní sdělení], SPŠ Kožařská, nám. T.G. Masaryka 2734, Zlín, 19.2.2004
- [24] PVC granulát, dostupné z [2009-05-04]  
< <http://www.fatra.cz/index.php?typ=FAA&showid=364> >
- [25] Způsob přípravy bíle pigmentovaných měkčených směsí PVC, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/207/207930.pdf> >
- [26] Měřínská, D., Zpracovatelské inženýrství polymerů, [přednášky], 2008-2009, Zlín
- [27] PVC products, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://www.indiamart.com/cactusprofiles/pvc-products.html> >
- [28] Trubka PVC odpadní, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://shop.heckl.cz/index.php?id=QV81000101> >
- [29] Additives soft PVC products, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://www.pvc.org/PVC.org/How-is-PVC-Used/PVC-for-Leisure-products/Additives-soft-PVC-products> >

- [30] PVC rukavice, dostupné z [2009-05-02]  
< <http://www.molnarkesztyu.hu/sk/macane-plasticke-rukavice/pvc-rukavice-6035-27.html> >
- [31] Čím PVC škodí?, dostupné z [2009-05-05]  
< [http://pvc.arnika.org/PVC\\_skodi.shtml](http://pvc.arnika.org/PVC_skodi.shtml) >
- [32] Nachtigal, M., Recyklace plastů – je PVC výjimkou?, CHEMagazín, 2002, roč. 12, č. 2, dostupné z [2009-05-03]  
< [http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXII\\_2\\_cl5.pdf](http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXII_2_cl5.pdf) >
- [33] Julien Environmental technology, dostupné z [2009-05-18]  
< <http://www.jet-norsemen.com/html/english.html> >
- [34] Plastový odpad musíme dovážet, dostupné z [2009-05-13]  
< [http://hradecky.denik.cz/zpravy\\_region/odpad20071005.html](http://hradecky.denik.cz/zpravy_region/odpad20071005.html) >
- [35] Technologie zpracování elektroodpadu, dostupné z [2009-05-18]  
< <http://www.waste.cz/pdf/12-03/TecElVseobec.pdf> >
- [36] Recyklace PVC, dostupné z [2009-03-22]  
< <http://www.janslehta.net/odpadari/?p=productsMore&iProduct=39&sName=Recyklace-PVC> >
- [37] Je PVC materiál s budoucností?, dostupné z [2009-05-03]  
< <http://www.adpp.cz/index.php?page=clanky&idc=20> >
- [38] Voituron, G., Recycling PVC Bottles and Pipes by Coextrusion, v: F. P. La Mantia, Recycling of PVC and Mixed Plastic Waste, ChemTec Publishing, Kanada, ISBN 1-895198-11-9, 1996
- [39] Nachtigal, M., Recyklace plastů – je PVC výjimkou?, CHEMagazín, 2001, roč. 11, č. 5, dostupné z [2009-05-13]  
< [http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXI\\_5\\_cl4.pdf](http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXI_5_cl4.pdf) >
- [40] Recyklované profily GEALAN, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://www.gealan.de/cz/fensterbauer/produkte/andere/recycling/index.php> >
- [41] Recyklace, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://www.veka.cz/vekacz/divers/cz/recyklace.htm> >
- [42] Co všechno umíme – plastová okna a dveře, dostupné z [2009-05-18]  
< <http://www.domuscz.cz/nabidka.okna.plastova.htm> >
- [43] Horák, Z., Aplikovaná makromolekulární chemie, [přednášky], 2008-2009, Zlín

- [44] Sortiment – Plastový zatravnovací rošt EKORASTR, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.bkb-hk.cz/CZECH/sortiment.htm> >
- [45] Průmyslové podlahy, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.dsindustry.cz/prumyslove-podlahy/ke-stazeni> >
- [46] Recyclage, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.pvcinfo.be/home.asp?page=62> >
- [47] Froböse, G., Kombinované materiály s PVC lze recyklovat i s aditivou: zpracování s rozpuštěním, Entsorga-Magazin, 2005, roč. 24, č. 6, s. 14–16,  
dostupné z [2009-05-13]  
< [http://www.env.cz/ris/visdn.nsf/0/ed6d5ba462a1efdfc12570c100354441/\\$FILE/RES\\_Prirustky\\_2005\\_09.pdf](http://www.env.cz/ris/visdn.nsf/0/ed6d5ba462a1efdfc12570c100354441/$FILE/RES_Prirustky_2005_09.pdf) >
- [48] Recyklace uživatelského odpadu PVC, Odpadové fórum, 2004, č.2, s. 18–20,  
dostupné z [2009-05-13]  
< [www.env.cz/www/ekodisk-new.nsf/e75c7074f3a42826c1256b0100778c9a/.../\\$FILE/OF %2002\\_2004\\_str%201-20.pdf](http://www.env.cz/www/ekodisk-new.nsf/e75c7074f3a42826c1256b0100778c9a/.../$FILE/OF%202002_2004_str%201-20.pdf) >
- [49] Process in details, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://www.vinyloop.com/> >
- [50] PVC-recycling technologies, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://www.pvc.org/PVC.org/Sustainability/PVC-recycling-in-Europe/PVC-recycling-technologies> >
- [51] Braun, D., Recycling of PVC, Prog. Polym. Sci., 2002, č. 27, s. 2171–2195
- [52] Polyvinylchlorid, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://www.waste.cz/waste.php?clanek=2-04/pvcuvod.htm> >
- [53] Otázky a odpovědi, dostupné z [2009-05-13]  
< <http://ekoporadna.vitaova.cz/cz/otazky-odpovedi/?from=40> >
- [54] Encyklopedie fyziky – Výhřevnost, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=579> >
- [55] Význam energetického využívání odpadu roste, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.allforpower.cz/clanek/39-vyznam-energetickeho-vyuzivani-odpadu-roste/> >
- [56] Dvořáčková, M., Ochrana životního prostředí, [přednášky], 2008-2009, Zlín
- [57] Aktivní uhlí Silcarbon – Recyklace, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://web.telecom.cz/silcarbon/index.htm> >

- [58] Energetické spalování odpadu a biomasy, dostupné z [2009-05-18]  
< <http://www.icpf.cas.cz/react/inci/puncprojekt/Bexper.htm> >
- [59] Svojtka, J., Nakládání, zpracování a využití odpadních plastů (PVC),  
dostupné z [2009-05-19]  
< <http://www.waste.cz/pdf/2-04/Plasty-Svojtka1.pdf> >
- [60] Skládkování odpadů, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady4.htm> >
- [61] Nakládání s odpadem, dostupné z [2009-05-05]  
< <http://ekoletlinka.blog.cz/> >

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
C <sub>2</sub>	Uhlík
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Etanol
CaC <sub>2</sub>	Karbid vápenatý
CaCl <sub>2</sub>	Chlorid vápenatý
CaCO <sub>3</sub>	Uhličitan vápenatý
Cl <sub>2</sub>	Chlor
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
CuCl <sub>2</sub>	Chlorid měďnatý
DBP	Dibenzoylperoxid
DEHP	Di-2-etylhexylftalát
Fe <sup>2+</sup>	Železnatý kation
H <sub>2</sub>	Vodík
H <sub>2</sub> O	Voda
HCB	Hexachlorbenzen
HCl	Kyselina chlorovodíková (chlorovodík)
HgCl	Chlorid rtuťný
CH≡CH	Acetylen (etin)
CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	Etylén (eten)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH}_2 \\   \quad   \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$	Dichloretylen
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Hydrogenfosforečnan sodný
NaCl	Chlorid sodný



---

NaHSO <sub>3</sub>	Hydrogensířičitan sodný
NaOH	Hydroxid sodný
např.	Například
NH <sub>4</sub> Cl	Chlorid amonný
NPK–P	Nejvyšší přípustná koncentrace
O <sub>2</sub>	Kyslík
PA 66	Polyamid 66
PCB	Polychlorované bifenyly
PE	Polyetylén
PEL	Přípustný expoziční limit
PET	Polyetylentereftalát
PP	Polypropylen
ppm	Parts per milion
PS	Polystyren
PU	Polyuretan
PVAL	Polyvinylalkohol
PVC	Polvinylchlorid
PVC	Polvinylchlorid
TCDD	2, 3, 7, 8-tetrachlordibenzo-p-dioxin
TCDF	2, 3, 7, 8-tetrachlordibenzofuran
THF	Tetrahydrofuran
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý
tj.	To je
tzn.	To znamená
tzv.	Takzvaný

USA	United States of America
UV záření	Ultrafialové záření
VC	Vinylchlorid

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vzorec vinylchloridu .....	9
Obr. 2. Vzorec PVC .....	11
Obr. 3. Mikroskopický obrázek emulzního PVC.....	12
Obr. 4. Mikroskopický obrázek suspenzního PVC.....	13
Obr. 5. Mikroskopický obrázek mikrosuspenzního PVC .....	14
Obr. 6. Granulát PVC a vytlačený výrobek .....	18
Obr. 7. Plastová okna a dveře z PVC.....	18
Obr. 8. PVC odpadní trubky .....	19
Obr. 9. Odlévaná PVC obuv .....	20
Obr. 10. Máčené PVC rukavice .....	20
Obr. 11. Recyklovaný profil z PVC .....	23
Obr. 12. Koloběh plastových oken.....	24
Obr. 13. Paleta z recyklovaného PVC.....	24
Obr. 14. Zatravňování dlaždice z recyklovaného PVC.....	25
Obr. 15. Průmyslová podlaha z recyklovaného PVC.....	25
Obr. 16. Průběh recyklačního procesu VinyLoop.....	26
Obr. 17. Surovinová recyklace.....	27
Obr. 18. Schéma spalování polymerního odpadu .....	28
Obr. 19. Výhřevnost různých paliv .....	29
Obr. 20. Skládka odpadu.....	30
Obr. 21. Příklad dioxinu a furanu a jejich struktura .....	31

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Některé vlastnosti PVC .....	15
Tab. 2. Příklady složení PVC směsi.....	17