
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství



RECYKLACE NEKOVOVÝCH MATERIÁLŮ

(studijní opory)

Silvie BROŽOVÁ

Ostrava 2018

Název: Název učebnice: Recyklace nekovových materiálů

Autor: Jméno autora Silvie BROŽOVÁ

Vydání: první, 2018

Počet stran: 66

Studijní materiály pro studijní program „Materiálové technologie a recyklace“ bakalářského studia
Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství.

Jazyková korektura: nebyla provedena.

© Jméno autora Silvie BROŽOVÁ

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

POKYNY KE STUDIU

Recyklace nekovových materiálů

Pro předmět Recyklace nekovových materiálů 6. semestru studijního programu Materiálové technologie a recyklace jste obdrželi studijní balík obsahující integrované skriptum pro kombinované studium obsahující i pokyny ke studiu.

1. Cílem předmětu a výstupy z učení

Cílem předmětu je získání přehledu o zpracování plastů, pneumatik, papíru, radioaktivních nekovových materiálů po jejich použití. Plasty a jejich dělení podle původu, výchozích surovin a fyzikálně-chemických vlastností, výrobní postupy pro výrobu vybraných plastů (PE, PET, PVC), třídění plastů, metody zhodnocení odpadních plastů, destruktivní a nedestruktivní metody, úpravní metody, použití plastů v průmyslu. Pneumatiky, členění, stavba, základní suroviny, rozsah použití, recyklace, základní úpravní postupy a agregáty, destruktivní a nedestruktivní metody, použití recyklátu. Papír, členění, výroba, použití. Recyklace nekovových radioaktivních odpadů. Životní prostředí a destruktivní technologie. Nestandardní metody zpracování vybraných polymerů.

Po prostudování předmětu by měl student být schopen:

výstupy znalostí:

- *student bude umět* popsat zpracování plastů, pneumatik, radioaktivních nekovových materiálů po jejich použití.
- *student bude umět* popsat pneumatiky, členění, stavbu, základní suroviny, rozsah použití

výstupy dovedností:

- *student bude umět* popsat použití plastů, jejich členění, výrobu, recyklační technologie, úpravní agregáty

Pro koho je předmět určen

Předmět je zařazen do bakalářského studia programu Materiálové technologie a recyklace, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného programu, pokud splňuje požadované podmínky.

Studijní opora se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:

Studijní oporu, která je rozčleněna na kapitoly je potřeba nejprve pročíst jako celek. Teprve poté je vhodné ji začít studovat po jednotlivých kapitolách. Po prostudování odpovězte na otázky, zadané za každou kapitolou, klíč k otázkám je na konci studijní opory.

Způsob komunikace s vyučujícími:

V rámci tohoto předmětu bude zadán pro vypracování semestrální projekt na určené téma. Projekt bude kontrolován vyučujícím do 14 dnů po odevzdání a výsledky budou studentům zaslány mailem prostřednictvím IS. Dotazy k zadanému tématu je možné konzultovat s přednášejícím v rámci vypsanych konzultačních hodin, nebo na telefonním čísle +420 597 32 3311, nebo e-mailem: silvie.brozova@vsb.cz. Podrobnější pokyny studenti obdrží na počátku výuky.

1. Plasty

1.1. Základní pojmy plastový materiál



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování této kapitoly budete umět

- definovat základní pojmy v plastových materiálech
- kategorie plastů
- recyklace plastů



Výklad

□ Plasty

Plasty představují fenomén současné doby vzhledem k jejich rozšíření do všech oblastí životního cyklu. Historie jejich objevů a postupné zavádění do výroby je možno datovat od počátku 20 století, ačkoli přírodní polymerní látky byly známy již v dávném starověku. Největší rozmach nových druhů polymerních materiálů nastal po 2.světové válce, tento rozmach je dán zvyšujícím se zájmem o polymery a zejména pak o konstrukční plasty.

Tento rozšiřující zájem a uplatňování plastů v životním cyklu má však nepříznivý dopad na životní prostředí. Je to na jedné straně ekologická zátěž na straně výrobního cyklu, na druhé straně a to v mnohem vyšší míře zátěž na straně uplatnění již použitých polymerů. Jejich krátký životní cyklus, zejména plastových obalů, a skutečnost, že polymery nejsou obvykle degradovatelné způsobují akumulaci těchto odpadů na skládkách pevného domovního odpadu a dokonce znečišťují mořské dno. Podíl plastů v domovním odpadu činí 10 – 20 % a předpokládá se jeho další zvyšování.

Na druhé straně je spotřeba energie nižší než při prvotní výrobě srovnatelných výrobků z papíru, kovů nebo skla. Je nutné uvést, že nahrazování kovů plasty je záležitost nutná, vzhledem ke klesajícím využitelným zásobám rudných surovin. Vlastnostmi fyzikálními, chemickými a dalšími plasty mohou a v plné míře původní materiály nahrazují.

□ Recyklace polymerů

Recyklace plastů je nutnou podmínkou ke snižování jeho podílu v životním prostředí. Jeho využití k přeměně na použitelné výrobky, využití jeho energetického a chemického obsahu je nutným technickým a technologickým řešením. Podmínkou pro úspěšnou recyklaci naráží na

odlišné technologie zpracování odpadů polymerů a souvisí s organizací sběru, separací odpadu, ekonomické aspekty a zavedení trhu s recyklovanými produkty. Z hlediska druhů odpadů jsou mimo odpady v komunálním odpadu (zejména obalové) důležité odpady z použitých průmyslových výrobků např. automobilů, transportních odpadů, odpadů z výrobků pro elektronický a elektrotechnický průmysl a výrobků z dalších odvětví, které vznikají při výrobě a zpracování. Odpady je možno rozdělit do čtyř základních kategorií (1)

- Plasty jednoho druhu neznečištěné – tyto mohou být zařazeny zpět do procesu, při kterém vznikly
- Plasty jednoho druhu kontaminované, které nemohou být použity v procesu, při kterém vznikly, je nutné je zařadit do procesu jiných koncových aplikací
- Směsné plastové odpady o známém složení, které neobsahují neplastové kontaminanty
- Náhodně sebraný a komunální odpad obsahující i jiné materiály než plasty. Proces zpracování zahrnuje řadu operací s cílem vytrídění a vyčištění tohoto odpadu tak, aby byl schopný dalšího zpracování

V závislosti na zdroji odpadu jsou odpadní plasty zpracovávány jako přímo recyklovatelné materiály (primární a sekundární recyklace), využívány k chemické a termické recyklaci (terciální recyklace) a jako energetická surovina pro spalování (kvarterní recyklace). Nejméně vhodnou alternativou je samozřejmě ukládání na skládkách.

Primární recyklace

Jako primární recyklaci se označuje recyklace čistého nekontaminovaného odpadu jediného druhu plastu. Tento typ recyklace je nejjednodušší zejména tam, kde odpad vzniká přímo ve výrobním závodě. Recyklovaný odpad se přidává buď k originálnímu materiálu nebo je používán jako druhořadý materiál s nižšími požadavky na kvalitu. I když se jeví zpracování nekontaminovaného odpadu jako jednoduché, je nutno si uvědomit, že při zpracování plastů může v nich probíhat chemické reakce, které mohou následně ovlivnit fyzikální vlastnosti původního materiálu a ten není schopen své původní aplikace. Degradaci takto recyklovaných plastů lze zabránit tzv. restabilizací.

Sekundární recyklace

Opad obsahující různé plasty se zpracovávají celou řadou operací, které mohou zahrnovat granulaci, drcení, mletí, separaci plastů od nečistot a i navzájem, čištění, sušení aj. Vzhledem k povaze plastů můžeme rozlišit tedy oddělení plastů od jejich kontaminantů a následně separaci plastů podle generických typů, při čemž jeden nebo několik z nich může být recyklováno do výrobků z panenského materiálu.

Separace plastů podle typů je založena na rozdílných hustotách, rozměrech, barvě, fyzikálně chemických vlastnostech nebo rozpustnosti. Např. fluidní separaci můžeme oddělit pěnové plasty od těžších forem plastů a papíru. Rozdíly v hustotách hlavních typů plastů umožňují separaci řadou následných flotačních a sedimentačních operací. K separaci plastů se používá i postup separace tekutinou v blízkosti jejího superkritického bodu. K separaci plastů se používá i řada upravených metod používaných při úpravách rud. Využívají se hydrocyklony, k doplňujícím operacím patří i proces kryogenního zpracování, při kterém se odstraňují zejména nežádoucí kontaminující látky (lepidla).

Při zpracování odpadů plastů se rovněž využívá jeho rozpouštění v různých rozpouštědlech. Následuje izolace požadované složky ochlazením nebo přidavkem srážedla. V tab.1 jsou uvedena rozpouštědla pro nejběžnější plasty a jejich srážedla.

Tab. 1 Rozpouštědla pro nejběžnější plasty a jejich srážedla

Druh polymeru	Rozpouštědlo	Srážedlo	Teplota °C
PVC	cyklohexynon	n-hexan	75
PS	toluen,xylen	voda	35
LDPE	toluen,xylen	aceton	85
HDPE	toluen,xylen	aceton	110
PMMA	toluen	n-hexan	50

Roztavení směsi polymerů spočívá v oddělení nepolymerních kontaminantů od odpadních plastů a v roztavení směsi polymerů bez jejich předchozí separace. Výsledné směsi však vykazují špatné mechanické vlastnosti z důvodu vzniku vícefázových systémů se špatnou adhezí mezi fázemi. Zlepšení vlastností takto získaných směsí lze následně:

1. Úpravou složení směsi do takových vzájemných poměrů, které umožní získat přijatelné mechanické vlastnosti.
2. Kompatibilizací polymerní fází přidavkem speciálních aditiv, kompatibilizátorů, zlepšujících jejich vzájemnou adhezi.
3. Přidavkem nepolymerních komponent.

Terciární recyklace

Terciární recyklace zahrnuje procesy při nichž jsou polymerní látky rozkládány na látky nízkomolekulární, vhodné k použití jako monomery pro polymerace, paliva nebo chemikálie. Jedná se o tepelné procesy k nimž patří depolymerace, pyrolýza a zplyňování, k chemickým pak hydrogenace, hydrolýza a glykolýza.

Depolymerace PMMA je běžně používaným postupem, při němž se z odpadního PMMA při 400-500°C získává prakticky čistý monomer methylmetakrylát, který je vhodný pro opětovnou polymeraci. S dobrým výsledkem lze depolymerovat i PTFE. Většina ostatních polymerů se však rozkládá a tento proces je již tzv.pyrolýzou.

Pyrolýza je definována jako tepelná dekompozice polymerů za zvýšených teplot při nepřístupu kyslíku poskytující plynné, kapalně i pevné produkty v závislosti na vstupním materiálu a reakčních podmínkách. Např. vysokoteplotní pyrolýza polyolefinů (1100 – 1200°C) poskytuje ethen a methan.

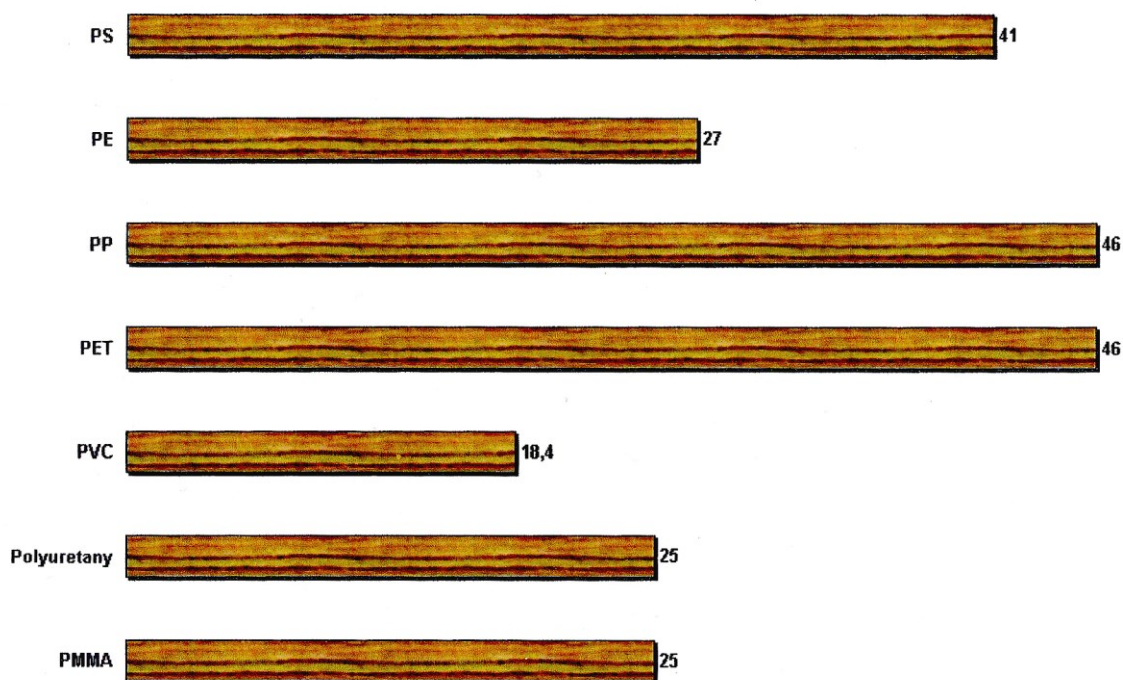
Zplyňování (gasifikace) je technologie, kdy jsou odpadní polymery zpracovávány na syntézní plyn. Část odpadu je přímo spalována při vysokých tlacích 5-7 MPa a zbývající část je zplyňována při teplotách 1 300 – 1 500°C. Výsledkem je syntézní plyn, který je směsí vodíku, CO, CO₂ a H₂O.

Hydrogenace je postup, kdy se odpadní plasty při teplotách do 500°C a tlaku až 40MPa mění na oleje, které mohou být zpracovány na benzín a topné oleje.

Významnou skupinou procesů terciární recyklace jsou hydrolýza a alkoholýza (glykolýza, methanolýza). Tímto postupem je možno získat produkty, které mohou sloužit k opětovné výrobě polymerů.

Kvarterní recyklace

Kvarterní recyklací se rozumí získání alespoň energetického obsahu odpadního plastu spalováním. Plasty mají vysokou energetickou hodnotu a jsou proto důležitou složkou spalovaného komunálního odpadu. Některé plasty zejména ty které pocházejí z elektroodpadu jsou modifikované příměsemi, které zpomalují hoření jako jsou oxidy bromu s přísadou antimonu, sloučeniny chloru, hydroxidy hořčíku a hliníku. Během dokonalého spalování se budou tvořit jednoduché molekuly jako jsou CO_2 , H_2O , N_2 a SO_2 . Nedokonalé spalování vede k nebezpečí znečištění ovzduší dioxiny nebo benzofurany a emisí nebezpečných těžkých kovů ze spalovaných materiálů. Proto je nutné dokonalé čištění spalin a vhodný režim spalování. Čistým energetickým spalováním se dosahuje až 80% spalování komunálního odpadu ve vyspělých zemích. Výhřevnost některých polymerů je uvedena na obr. 1



Obr.1 Výhřevnost vybraných polymerů [GJ/t]

□ Rozdělení polymerů

Polymery můžeme zde rozdělit podle výroby, podle základních technických vlastností a podle chemických odlišností jednotlivých hlavních skupin.

Rozdělení polymerů podle druhů polyreakcí, kterými byly vyrobeny

Podle výroby je možno plasty rozdělit na polymery, polykondenzáty, polyadukty a modifikované plasty

Polymery – jsou produkty polymerace a to polymerací:

- Radikálovou** – polyethylen (s obecným iniciátorem, s dibenzoylperoxidem), polybutadien, polytetrafluorethylen
- Kationtovou** – polypropylen (obecně s BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4 , TiCl_4)
polystyren (obecně s BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4 , TiCl_4)
polyisobutylen (obecně s BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4 , TiCl_4)
polyisopropylen (obecně s BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4 , TiCl_4)
- Aniontovou** – polyvinylchlorid (obecně s amidy,, s alkalickými kovy, s organokovy, hydridy)
polyvinylacetát (obecně s amidy,, s alkalickými kovy, s organokovy, hydridy)
polymethylmethakrylát (obecně s amidy,, s alkalickými kovy, s organokovy, hydridy)

Dělení polymerů podle základních technických vlastností

elastomery – makromolekulární látky s kaučukovou elasticitou, které se již malým napětím silně deformují a po uvolnění napětí rychle obnovují původní tvar a rozměry. Do této skupiny patří přírodní asyntetické kaučuky, polyuretan atd.

plastomery – makromolekulární látky, které zůstávají deformované, i když deformující napětí přestane působit (nastává nevratná deformace). Tato skupina obsahuje látky teplem měknoucí a tvarovatelné, ochlazením tuhnoucí. V případě, že změny vlivem tepley mohou probíhat opakovaně, jedná se o termoplasty, nevratné změny charakterizují reaktoplasty.“

Dělení dle chemické odlišnosti jednotlivých hlavních skupin polymerů

Uvedené rozdělení se týká jak látek přírodních, tak látek syntetického charakteru. Jsou zde uvedeny všechny polymery, tedy i ty, které nelze z hlediska různých důvodů recyklovat.

Přírodní pryskyřice – zušlechtěné, nezušlechtěné, modifikované nebo jejich deriváty (šelak, kalafuna, kopál, mastix, ligninové pryskyřice)

Škrob a jeho deriváty – alylskrob, škrobová lepidla a pojiva

Zušlechtěné přírodní oleje – lněný a řepkový, palmojádrový olej, ricinový olej, vysychavé oleje pro nátěrové hmoty, fermeže, linoxyn, faktis aj.

Celulóza a její deriváty – hydráty, estery, étery, nitráty a acetáty celulózy

Bílkovinné látky (proteiny) – kazeinové, albuminové, sojové, ricinové, zeinové, želatinové a klišové látky

Přírodní kaučuk a jeho deriváty – přírodní polyizopren (latex), chlorovaný kaučuk, hydrochlorid kaučuku, cyklizovaný kaučuk, přírodní termopreny, modifikovaný přírodní kaučuk a jiné.

❑ OBALOVÉ PLASTY

Obalové plasty jsou velmi rozšířeně používány v celé řadě odvětví. Níže jsou uvedeny jejich popisy, základní využití a následné využití jako recyklovaného odpadu.

Mezinárodní symboly obalových plastů

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER

PET/PETF/PETE - Polyethylentereftalát

(1)

Popis – Čirý, pevný s dobrou odolností proti pronikání plynů a vlhkosti. Tento plast je obvykle používán na láhve pro nealkoholické nápoje a mnoho dalších spotřebních láhví vyráběných injekčním vstřikováním. Dále se využívá pro výrobu pásů, litých výrobků a na potravinářské a jiné láhve.

Vlastnosti – Průhledný, pevný, houževnatý, nepropustný pro vlhkost a plyny, tepelně odolný.

Aplikace v obalech – láhve pro nealko nápoje, vody, pивní láhve, láhve na ústní vody, nádoby na arašídové máslo a salátové dresinky, folie a potravinové tácky pro mikrovlnné trouby.

Recyklované výrobky – Recyklované čisté PET pelety a drtě jsou žádaným produktem pro výrobce vláken pro tkané kobercové přize, výrobu netkané stříže a geotextilie (polyester). Dále pro výrobu nákupních tašek, láhví, oblečení, nábytek, koberců.

HDPE - Polyethylén o vysoké hustotě (HDPE)

(2)

Popis – Plast používaný k výrobě láhví na mléko, džusy a vodu a prací prostředky. Láhve z nepigmentovaného HDPE jsou průhledné, mají dobré bariérové vlastnosti a tuhost. Dobře se hodí pro balení výrobků s krátkou trvanlivostí jako jsou margarín, mléko margarínové tuby a jogurtové kelímky. Protože má HDPE dobrou odolnost k chemikáliím, je používán na balení mnoha výrobků nejen pro domácnost ale i v průmyslovém měřítku pro balení průmyslových chemikálií jako jsou detergenty a bělicí prostředky. Barevné HDPE láhve mají obecně lepší odolnost proti vzniku trhlin při namáhání a chemickou odolnost než láhve s HDPE nepigmentovaného.

Vlastnosti – Tuhost, pevnost, odolnost proti chemikáliím a vlhkosti, propouští plyny, snadno se recykluje a zpracovává tvářením.

Aplikace v obalech – nádoby na mléko, vodu a džusy, nádoby na smetí a nákupní tašky pro maloobchod, nádoby pro tekuté detergenty, jogurty a tuby na margarín, krabice na cerialie.

Recyklované výrobky – Tekuté prací prostředky, láhve na minerální mazací oleje, drenážní trubky, sběrné nádoby na recyklovatelné druhotné suroviny, plastový nábytek,

psací pera, boudy pro psy, láhve na vitaminové nápoje, podlahové dlaždice, piknikové stoly, řezivo, poštovní schránky, ploty.

PVC - Vinyl (polyvinylchlorid nebo PVC).

(3)

Popis – Mimo stálých fyzikálních vlastností má PVC vynikající chemickou odolnost, dobrou odolnost proti účinkům klimatickým, vlastnosti toku a stabilní elektrické vlastnosti. Obecně lze PVC výrobky dělit na výrobky z tvrdého PVC a poddajného PVC. Láhve a foliové obaly jsou hlavními a nejběžnějšími typy výrobků z tuhého PVC, ale tento druh je velmi používán i ve stavebnictví jako jsou aplikace na potrubí a fitinky, odbočky, linoela a okna. Poddajný PVC se používá jako izolace drátů a kabelů, folie a plachty, podlahové krytiny, výrobky z umělé kůže, povlaky, obaly na krevní konzervy, laboratorní a lékařské hadice a na mnoho jiných aplikací.

Vlastnosti – Všestrannost, snadné míšení, vztah mezi pevností a houževnatostí, odolnost vůči olejům, chemický odolnost, průhlednost.

Aplikace v obalech – vhodný jako průhledný obal na potraviny, láhve na šampony, lékařské hadice, izolace drátů.

Recyklované výrobky – obalové výrobky, pásy, podlahoviny, obklady, silniční odpady, ventilové klapky, folie a desky, kabely, nárazníky, podložky (pod nádoby)

LDPE – nízkohustotní polyetylén (LDPE)

(4)

Popis – plast používaný především na foliové aplikace vzhledem k jeho pevnosti, ohebnosti a relativní průhlednosti, což jej činí oblíbeným materiálem v aplikacích, kde je nutno něco uzavřít tepelným svarem. LDPE je rovněž používán na výrobu některých ohebných víček a láhví a je pro své vlastnosti a zpracovatelnost velmi často používán při výrobě drátů a kabelů.

Vlastnosti – Snadná zpracovatelnost, chrání proti vlhkosti, pevnost, houževnatost, ohebnost, lehce lze utěsnit svářením.

Aplikace v obalech – obaly na chléb, obaly na zmrazené potraviny, láhve vyprazdňované vymačkáváním. Vlákna, nákupní tašky, láhve, oblečení, nábytek koberce.

Recyklované výrobky – plastové poštovní schránky, pytle na smetí, podlahové dlaždice, nábytek, folie a plachty, nádoby na kompost, nádoby na smetí, parkové řezivo (ploty, lavičky aj.) stavební materiál (náhrada dřeva).

PP – polypropylen (PP)

(5)

Popis – Plast má vynikající chemickou odolnost, je pevný a má nejnižší hustotu ze všech plastů, používaných jako obaly. Má vysoký bod tání, což jej činí ideálním materiálem pro lití za horka. Polypropylen nacházíme od ohebných až po tuhé obaly, stejně tak ve formě vláken a velkých litých částí pro automobily a spotřební výrobky.

Vlastnosti – Pevný a houževnatý, odolný proti chemikáliím, teplu, nepropustný pro vlhkost, proti tukům a olejům, všestranné použití.

Aplikace v obalech – láhve na kečup, jogurtové kelímky a tuby na margarín, medicínalní láhve.

Recyklované výrobky – schůdky do kontrolních šachet, kbelíky na barvy, pouzdra na skladování videokazet, škrabky na okna aut, podnosy v samoobsluhách, klečka na travní sekačky, pouzdra na autobaterie.

PS – polystyren (PS)

(6)

Popis – Velmi všestranný materiál, může být jak pevný tak i pěnový. Obecně je čirý, tvrdý a křehký. Typickou aplikací je ochranné balení, víčka, šálky, nádoby a tácky.

Vlastnosti – Všestrannost, izolační vlastnosti, průhlednost, snadno lze napěnit.

Aplikace v obalech – obaly na videokazety, obaly na kompaktní disky, kelímky na kávu, nože, lžičky a vidličky, tácky, tácky na masa v obchodech a na nádoby na sendviče v rychlém občerstvení.

Recyklované výrobky – firemní tabule, golfové hřiště a drenážní systémy septiků, vybavení pracovních stolů, závěsné šanony, tácky do samoobsluh s potravinami, květináče, nádoby na smetí, videokazety.

Jiný

(7)

Popis – pod pojmem jiný indikuje tento kód obalový plast, vyrobený z jiné pryskyřice, než ze šesti výše uvedených, nebo je vyroben z více jak jednoho plastu, které jsou užity v kombinaci

Vlastnosti – v závislosti na typu pryskyřice nebo na kombinaci použitých pryskyřic

Aplikace v obalech – vratné tří – pět galonové demižony na vodu, některé citrusové džusy a kečupové láhve

Recyklované výrobky – plastové řezivo, zakázkové výrobky.

❑ Recyklace plastů, metody a zařízení

Float – sink metoda (mokrý separace)

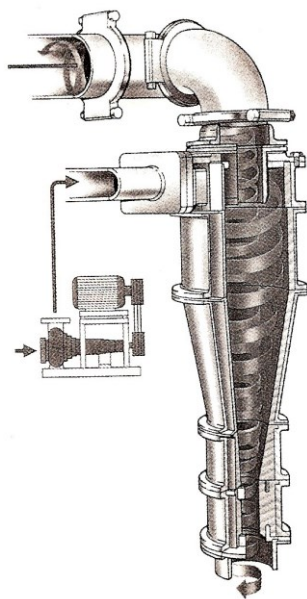
Float – sink separace je jedna z nejstarších metod separace pomíchané drtě plastů. Tato separace je obdobná gravitačnímu rozdělování, kdy tekuté medium má hustotu, která je mezi hustotami plastů, které budou separovány. Plasty s nižší hustotou než medium budou plavat a těžší budou klesat. Typickými kapalinami, které jsou užívány jako medium jsou voda (hlavně užívána pro separaci polyolefinů z nepolyolefinů), směs voda-metanol (k třídění polymerů se specifickou hustotou nižší než jedna takových jako jsou polyolefiny), roztoky NaCl a ZnCl₂ (pro polymery se specifickou hustotou vyšší než jedna).

Suchá separace

V suché separační metodě, je float-sink krok prováděn vzdušnou klasifikací nebo vzdušnou separací. Vzdušná separace kombinovaná s vibračním dopravníkem může být užívána k odstranění hrubého materiálu takového jako jsou úlomky kovu, skla a tlustostěnných plastů. Zavedený třístuňový vzdušný klasifikátor může produkovat až do čtyř různých proudů plastového materiálu pouze užíváním vzduchu.

Odstředivé třídění

Hydrocyklon využívá principu odstředivého zrychlení k separaci směsi polymerů a znečištěných částí. (obr.2) Dokonce velice znečištěné polymery mohou být zpracovány do vysoce čistých proudů použitím počtu hydrocyklonů sestavených do kaskádové konfigurace.

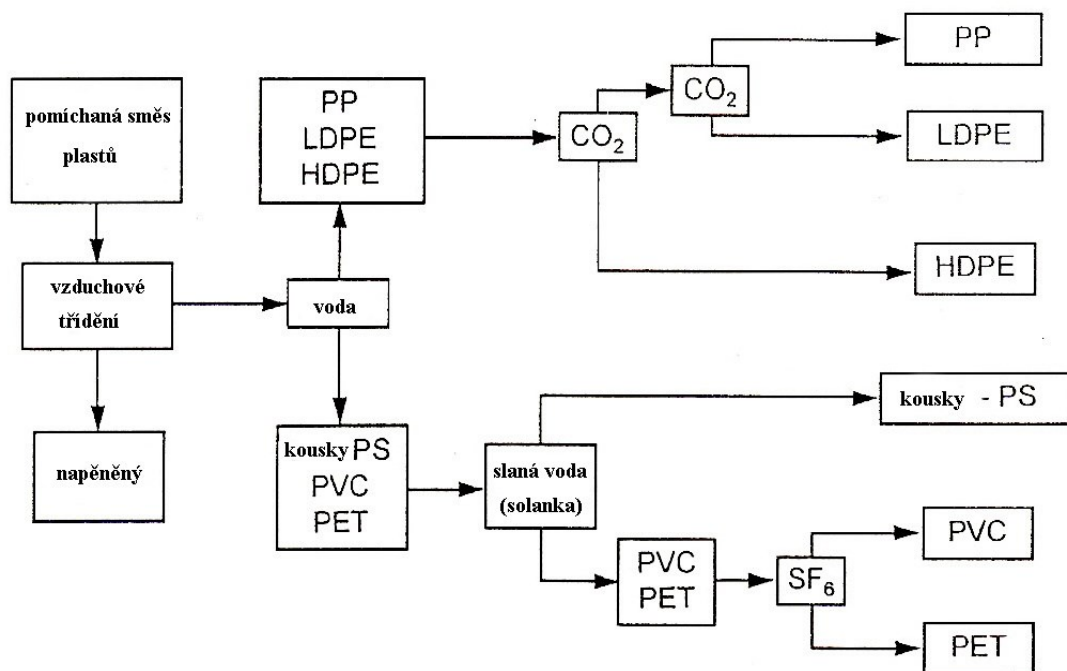


Obr.2 Hydrocyklon

Třídění s tekutinou blízkou kritickému stavu a nadkritickou tekutinou

Mikrotřídění užitých plastických hmot na základě hustoty může být zdokonalé užitím blízko kritických a nadkritických tekutin takových jako tekutý oxid uhličitý. Tato metoda může separovat vločky plastů s rozdílem hustoty $0,001 \text{ g/cm}^3$.

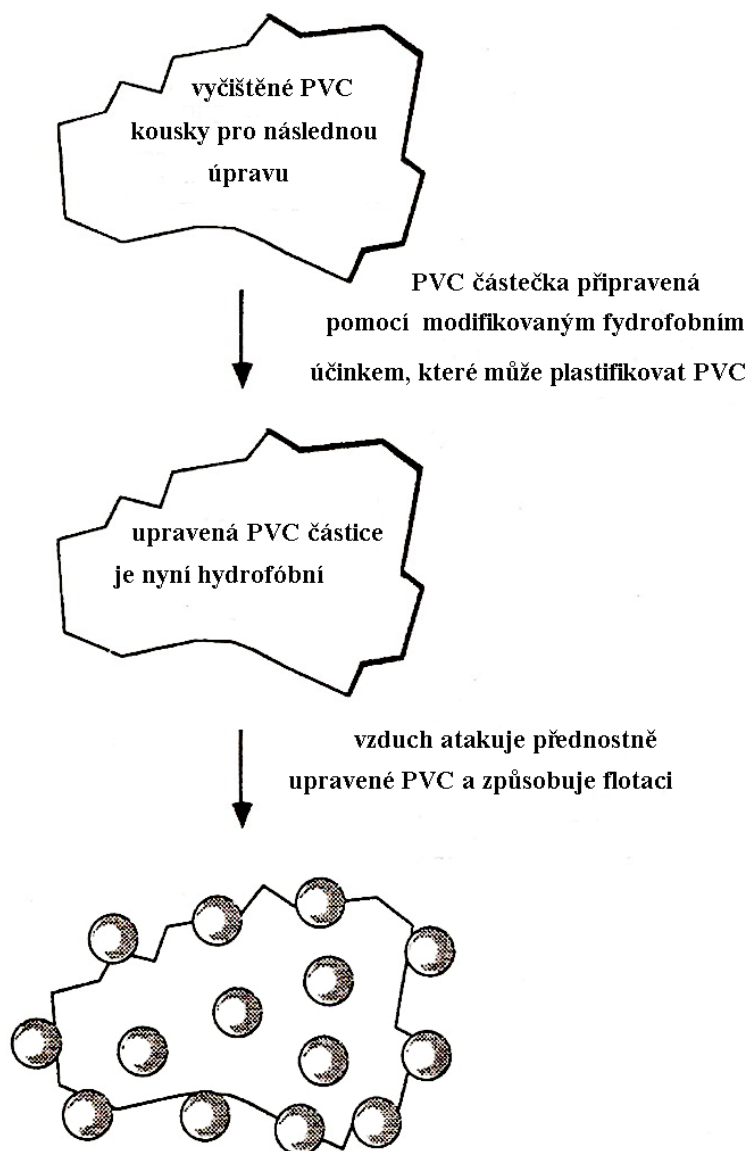
Oxid uhličitý není drahý, snadno dostupný, netoxický, nezápalný a není klasifikován jako VOC. Separace vloček plastu probíhá během ponoření do oxidu uhličitého (pro směs polyolefinů) nebo fluoridu sírového (směs PET/PVC) (obr.3). Proces s (SF_6) není obchodně rentabilní pro separaci PET a PVC z důvodu vysoké ceny SF_6 .



Obr.3 Schéma třídění polymerů s tekutinou blízkou kritickému stavu a nadkritickou tekutinou

Další z metod pro separaci plastů jsou:

- Float-sink absorpční selektivní rozpouštění – metoda pro separaci PVC a PET vložek s přidavkem rozpouštědla s nízkou hustotou, které je přednostně absorbováno PVC a to v množství takovém, aby došlo k podstatnému snížení jeho hustoty. Částice s menší hustotou jsou pak separovány z PET vložek flotací nebo odstředěním.
- Float-sink hydrofobní postup (nesmáčivý vodou) - k separaci smíšených plastů byl vypracován jednoduchý flotační systém na základě jejich rozdílné hydrofobnosti. PVC částice jsou oddělovány a klesají na dno kotle, protože mají mírně nižší hydrofobicitu a vyšší hustotu než jiné komodity plastů. Dodávání smáčivých prostředků takových jako deriváty kyseliny sulfonové pomáhají při usazování PVC. Tato metoda není vhodná k separování lidového odpadu, který obsahuje 3% hm.PVC.
- Pěnová flotace - tento proces je obdobou principu chemické pěnové flotace používané při obohacování rudy (obr. 4). Proces se ukázal jako vhodný pro separaci PP z PE. Pěnová flotace je vhodná k separování PVC a PET (které mají podobnou hustotu a jsou pak obtížně separovatelné jinými metodami). Jedinou vlastností odlišující PVC a PET je plastická slučitelnost (kompatibilita). PVC ochotně akceptuje chemické změkčování (plastikaci) zatímco PET ne.



Obr.4 Schéma pěnové flotace

Optické metody třídění

Automatizované optické třídící stroje jsou užívány k separaci recyklovaných polymerních vložek (a znečištěných) na základě barvy nebo průhlednosti (obr.5). Třídící stroje mohou separovat barvený PET od čistého PET, barevné HDPE vložky (z láhví čistících prostředků) od čistých HDPE (z láhví mléka), barvené HDPE vložky do specifických barevných typů, barvené PP uzávěry z přírodních HDPE vložek láhví mléka atd. Pro PET je vyžadována extrémně vysoká čistota a kontaminace PVC nesmí prakticky existovat. Oba tyto

polymery jsou čisté, avšak zahřátí na 204°C způsobí krystalizaci PET a zbělání, zatímco PVC se podrobí dehydrochloraci a světle zhnědne. Za těchto podmínek mohou být PVC vločky opticky tříděny z PET.



Obr. 5 Čtyřproudová optická třídička pro vločky plastů

Spektrální třídící metody

Střední infračervená (MID) spektroskopie

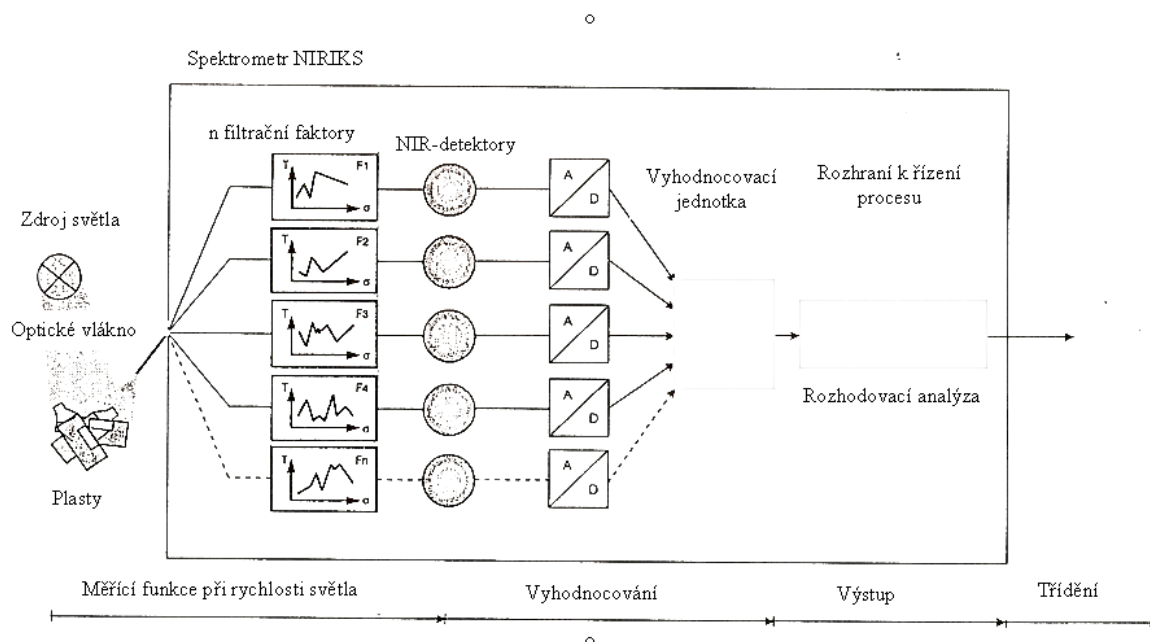
Střední IR odrazová spektroskopie, která pokrývá frekvenční rozsah $4000 - 700 \text{ cm}^{-1}$ je spolehlivá metoda pro identifikaci plastů. Středně infračervený spektroskop je využíván k identifikaci inženýrských plastů takových jako automobilových komponent spíše než použitých plastových láhví. Tento způsob spíše doplňuje infračervený spektroskopem NIR (popsán dále), poněvadž NIR identifikační metody jsou lépe využívány k analýze plastových láhví. Na obr.6 je identifikační jednotka používána v demontážních centrech pro plasty z automobilů, počítačů obchodní elektroniky atd.



Obr. 6 Identifikační jednotka pro MID spektroskopii

Blízká infračervená (NIR) spektroskopie

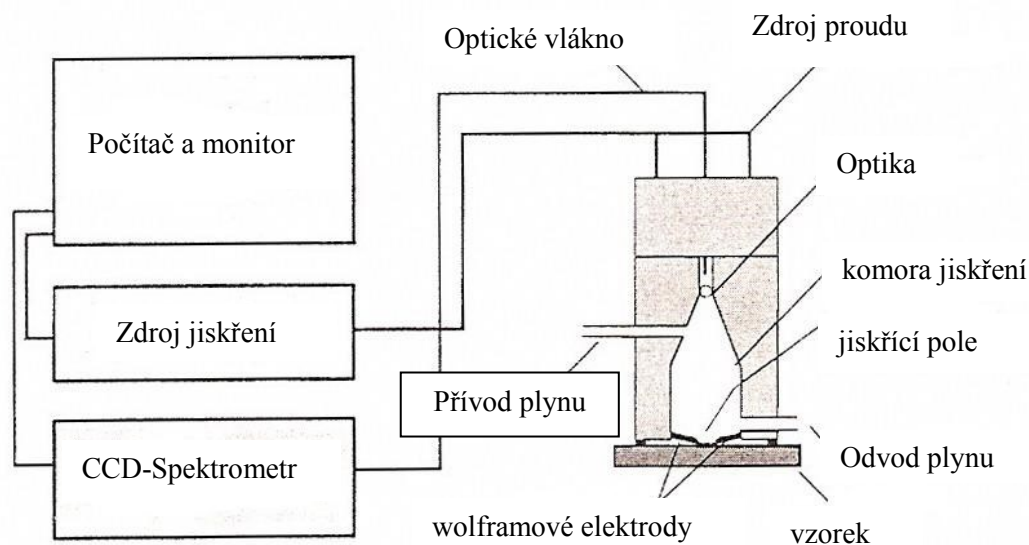
NIR absorpční nebo odrazový spektroskop pracující ve spektrální oblasti 14300-4000 cm^{-1} je velmi rychlý a vhodný k analyzování průhledných nebo lehce barvených polymerů. NIR (obr. 7). Z toho důvodu je proces ideální pro identifikaci a třídění plastových láhví. Umožňuje rychlou a spolehlivou identifikaci (milisekundy) a je dostatečně necitlivý k práci ve špinavém a vibracím náchylném průmyslovém ovzduší. NIR však, není vhodné k k analýzám tmavě zbarvených plastů takových jako automobilových komponent.



Obr.7 Schéma spektrometru NIRIKS pro třídění plastů NIR spektroskopií

Třídění plasmovou emisní spektroskopií

Identifikační technika založená na plasmové emisní spektroskopii spaluje plast plasmovou jiskrou generovanou mezi dvěma kovovými elektrodami. Emise je pak soustředěna a analyzována spektrometrem ve spojení s PC (obr.8). Systém může být kalibrován pro širokou oblast plastů a může dokonce identifikovat zda polymery obsahují těžké kovy nebo halogenové aditiva.



Rentgenová fluorescence pro třídění PVC

Hlavním problémem se kterým se setkáváme v recyklaci PET láhví je přítomnost znečištění PVC. PVC snižuje zpracovací teploty užívané pro PET. Konečným výsledkem je to že PET jako finální produkt prokazuje černé skvrnky (podobné pepři) posypané skrz lisovaný výrobek. Z toho důvodu byly vyvinuty citlivé třídící techniky k eliminování znečištění takovým PVC. Užití recyklovaného PET nemůže tolerovat jakoukoliv přítomnost PVC, jeho obsah musí být nulový. PVC může znečistit PET z množství různých zdrojů zahrnující :

- celé PVC láhve
- rozbité a částečně frakmenty láhví
- PVC jako profilované vršky uzávěrů
- PVC jako zbytky uzávěrů
- PVC balící nálepky

Zvláštní specifickou třídící metodou pro PVC je rentgenová fluorescence (XRF). Jestliže exponujeme rentgenovým zářením atomy chloru emitují nízkourovňové rentgenové paprsky zatímco plasty bez jakéhokoliv chloru dává odlišnou odezvu. Tato rentgenová fluorescence je uplatňována:

- XRF –třídící systémy PVC láhví - systém může detekovat PVC láhve v proudu PET láhví při rychlostech láhví během několika sekund. Tento systém funguje bombardováním X-paprsky z nízkourovňového radioizotopického zdroje excitující všechny elektrony v plastu. Atomy s vysokou molekulární hmotností takové jako jsou v PVC emitují příznačné X-

paprsky , které jsou snadno detekovatelné XRF analyzátozem. Polyolefiny, jejichž atomy mají mnohem nižší molekulární hmotnost, emitují nízký zpětný rozptyl, které XRF analyzátor nezaregistruje.

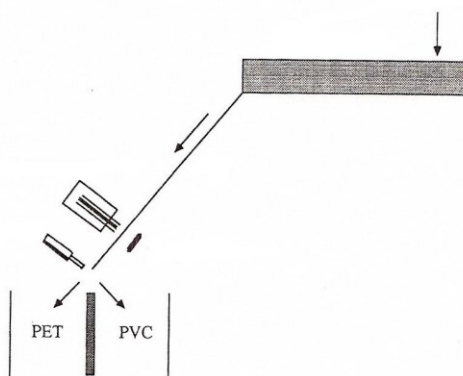
- XRF třídící systémy PVC kousků - toto je novější zařízení, které může detekovat PVC vločky a kousky a zabezpečit jeho odstanění. Jestliže je vločka obsahující chlor detekována, pak je odstraněna vzdušným paprskem. Třídící stroje na PVC vločky jsou vyrobeny pro částčky větší než několik milimetrů a šedrované fragmenty vršků jsou často pod detekční schopností takových zařízení. Takto regenerované PET může být znatelně kontaminováno a je užitečné pouze pro podřadné aplikace takové jako textilní krátkovlákné umělé hedvábí.

Elektrostatické třídící techniky statické a kontinuální

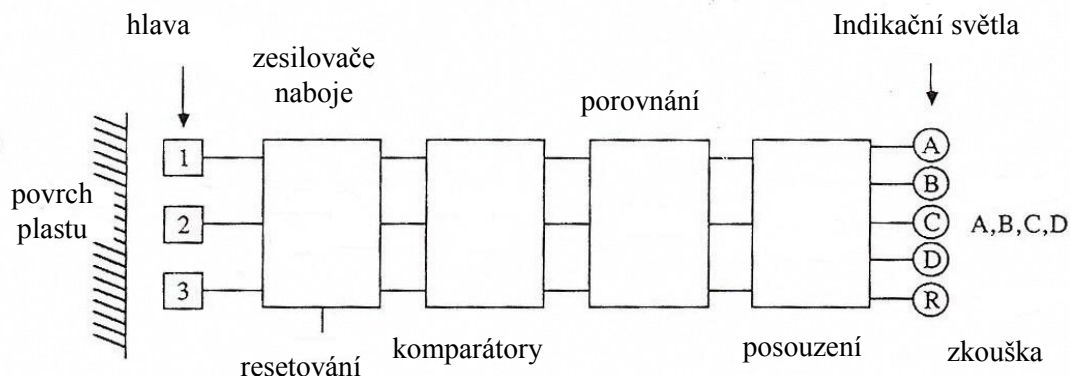
Elektrostatické třídící techniky jsou založeny na tom, pokud jsou dva nesourodové materiály přivedené do kontaktu dojde k výměně elektrického náboje přes fázové rozhraní, jeden se stává jako elektropositivním a druhý elektronegativním.

Většina třením nabitých povrchů mají kladnou a negativní oblast, ale jedna polarita převládá a ta určuje povrchové nabití.

- Triboelektrické pero - triboelektrické pero (obr. 9) je kompaktní příruční zařízení vybavené senzorovými hlavami kterými j jednoduše přetřeme přes povrch neznámého plastového komponentu. Senzorové hlavy obsahují speciálně vybraný materiál který generuje buď kladné nebo záporné elektrostatické napětí díky třecímu kontaktu s plastem. Tribopen byl konstruován přednostně pro užití demontáže a recyklaci. Zařízení je zvláště vhodné pro určování typů automobilových plastů protože to může účinně odlišit mezi polyetylenem, polypropylenem, ABS a nylonem – nejběžnějšími plasty nalézajícími se v automobilech.



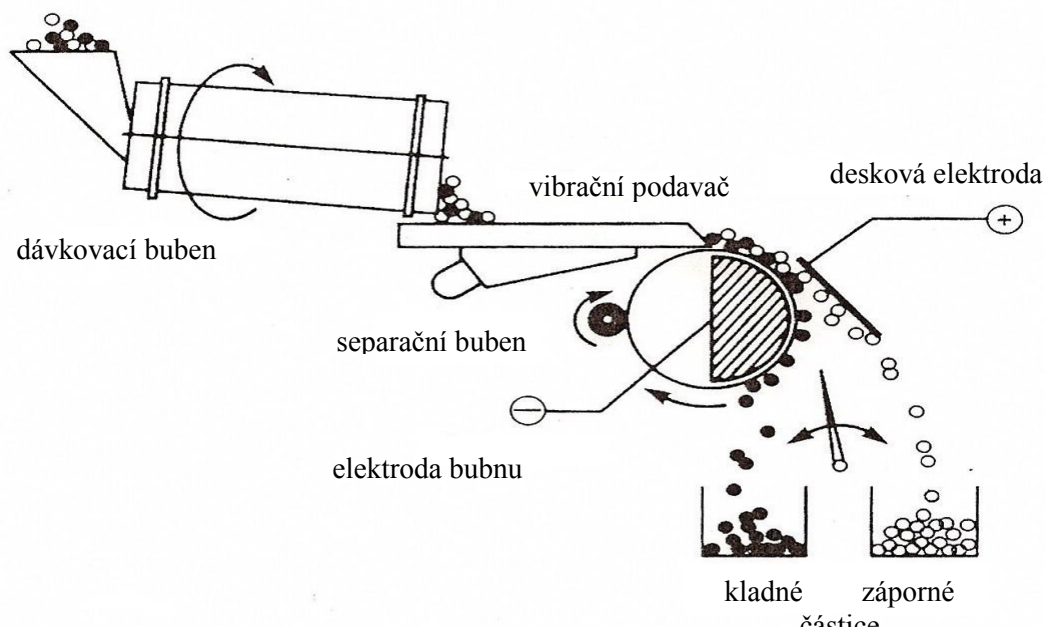
Obr.9 Schéma třídícího systému XRF PVC kousků



Obr.10 Princip práce Tribopenu se třemi senzorovými hlavami

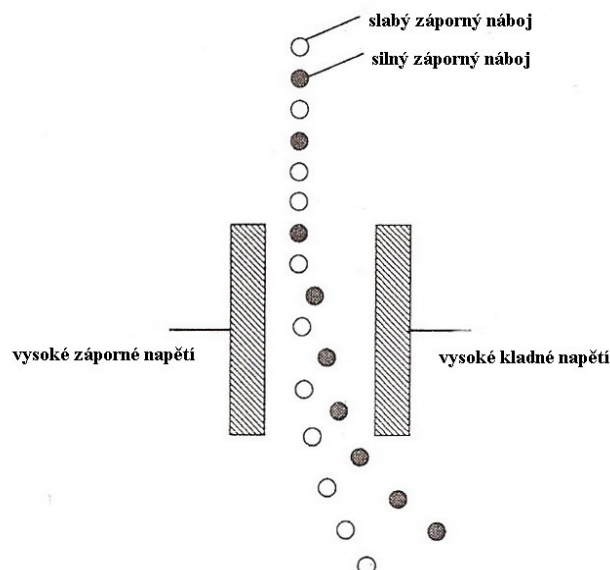
Zatímco Tribopen (obr.10) je ruční přístroj určený pro jednotlivé identifikace součástí platu, byl rovněž vyvinut průběžný třídící proces založený na elektrostatice.

- Triboelektrický bubnový separátor - různé nabíjené částice mohou být separovány podle jejich polarit ve vysokonapěťovém poli. Jednoduché uspořádání v separaci volným pádem obsahují dvě elektrodové desky. Hlavní nevýhodou tohoto systému je nedostatek kontroly objemové síly (gravitační síly). Jestliže jsou částice velmi malé, nebo nabité velmi málo, separační oblast mezi elektrodami musí být velmi velká. Takové velmi velké separační jednotky jsou problematické. K odstranění těchto problémů byl vyvinut rotační triboelektrický separační buben. (obr.11). Minimální velikost částic které mohou být separovány je v tomto zařízení okolo 2mm, maximální velikost bývá přibližně 10 – 16 mm. Abychom se vyhnuli elektrostatickým adhezím jemnějších částic s hrubšími, je užitečné síťování a obohacování různých frakcí před separací.

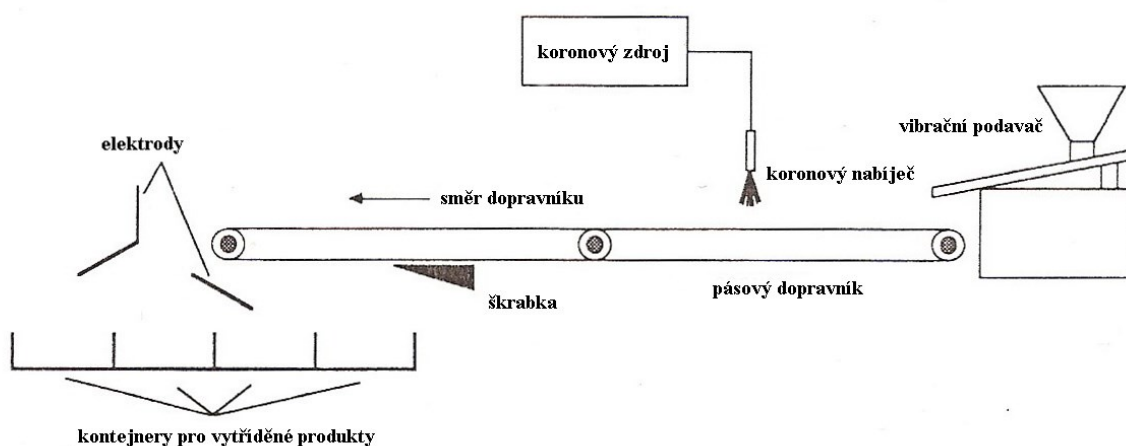


Obr.11 Schéma triboelektrického bubnového separátoru

- Pásový separátor s koronovým nabíjením - základem separačního zařízení je skutečnost, že nabitá částice padající kolem vodivé plochy bude k ní přitahována na základě rozdílného potenciálu. (obr.12). Aby byly plasty separovány jsou nabíjeny koronovým nabíjením. Na obr 1.36 je uvedeno schématicky zařízení pro koronovou separaci odpadních plastů.



Obr. 12 Principální schéma separace plastů založený na elektrostatických nábojích



Obr.13 Schéma aparatury pro koronovou separaci odpadů plastů

K dalším doplňujícím metodám třídění plastů patří:

- Třídění rozdílnou tavicí (změkčovací) teplotou - polymery mohou být rovněž tříděny na bázi rozdílných bodů měknutí, jestliže je rozdíl výrazný. Např. PVC a PET je rozdíl bodu měknutí 60°C (200°C oproti 260°C).
- Třídění pomocí selektivní rozpustnosti - přetržitý proces selektivní rozpustnosti je založen na dávkovém rozpouštění směsi plastů užitím rozpouštědel (zejména xylenu).
- Třídění zmenšení velikosti – klasifikací - separace redukcí velikosti může také být provedena pro určité polymerní směsi. Proces zmenšení velikosti jsou často užívány pro materiál složený z kompozit nebo vícevrstevných materiálů takových jako krytina, demontované palubní desky aj.
- Třídění znečištění kovem separátory vířivých proudů - znečišťující neželezné kovy (hliník, mosaz nebo měď) mohou být separovány z recyklovaných plastových kousků užitím vířivých proudů.

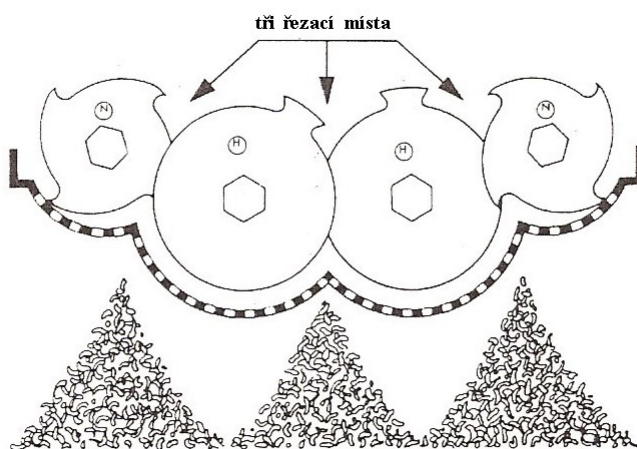
Redukce velikosti recyklovaných plastů

V této kapitole budou stručně popsány jednotlivé metody redukce velikosti recyklovaných plastů a základní zařízení pro dané způsoby redukce. Redukce plastů je jednou z integrálních částí většiny recyklačních postupů pro plasty a to pro vhodný převoz, měření a dávkování do příslušných procesů. V některých případech je redukce velikosti požadována pro zvýšení objemové hmotnosti a tím pro minimalizaci transportních nákladů.

Typicky mechanickými způsoby redukce velikosti zahrnují šředrování, granulaci, zhutňování, stlačování, aglomeraci a pulverizaci.

Procesy řezání

- Šředry - Existuje celá řada šředrovacích strojů. Jejich operační systém je obvykle založen na dvou asynchronních nebo čtyř synchronizovaných proti sobě se otáčejících hřídelích vybavených řezacími disky a distančními kroužky. Šředrování probíhá mezi přilehlými disky. Stupeň drcení/šředrování je určen počtem „háků“ na obvodu řezacího disku a šířce řezacího disku. Šředry a válcové střihače fungují trhacím a řezacím efektem a jsou vhodné pro recyklování plastů takových jako filmy, desek, profilových výrobků a kabelů (obr. 14).



Obr. 14 Schéma principu šředrování plastu na čtyřech řezacích osách

- Rotační brusky - rotační bruska je zařízení s ocelových bloků (nebo elementů) okolo 2,5-5 cm velkých, namontovaných na rotoru. Tyto ocelové bloky tlačí kousky fragmentů z přicházejícího materiálu do ozubení přítlačným válcem. Rotační bruska pak vyrobí velikostně menší částice než běžný šredr. Bylo zjištěno, že rotační brusky jsou velmi vhodné k redukci velikosti pneumatik a trvanlivých plastů.
- Rotační nožové řezače (granulátory) – jsou jedním z nejběžnějších zařízení na redukci velikosti užívaných v průmyslu recyklace plastů. Jsou známy také jako nožové mlýny nebo granulátory. Odpad plastu je velikostně redukován řezáním mezi noži rotoru a pevně uchycenými noži.
- Mokrý redukce velikosti - mokrý redukce velikosti jak uvádí název , užívá vodu v kombinovaném stříhacím a mycím cyklu. Při tomto postupu jsou řezací hrany krájecího nože chlazený přímým vodním chlazením a toto pomáhá k odstranění znečišťujících látek lpících na plastu z otěru. Výhoda mokré granulace je, že chrání polymery od dalších tepelných šoků. Ostré břity zabezpečují vysoké výrobní rychlosti a brání tenkým filmům ke kroutivosti a zachytávání vody z mokré granulace, které nepříznivě ovlivňují pozdější proces sušení.

Stroje na řezání

- Gilotinové nůžky - řezačky také známé jako gilotinové nůžky jsou hlavně užívány pro redukci velikosti odpadu plastu druhů takových jako vláken, svinuté páse nebo gumové balíky. Materiál je dávkován do řezačky buď cestou dopravníku nebo posunem pístu.
- Spirálová řezačka - spirálové řezačky jsou používány pro redukci velikosti objemných plastových materiálů které mají nízkou tuhost (takové jako polymerní pěny).
- Laminová separace redukce velikosti - procesy redukce velikosti může být užívána k separaci laminovaných plastů takových jako vícevrstvá izolační folie, měkké průhledné balení pro farmacii, laminované trubice pro zubní pasty a obvodové desky pro tisk. Pro zpracování laminovaných materiálů byl vyvinut postup vysokorychlostního otáčení válců které produkuje dvouvrcholové rozložení látek.

Procesy zhutňovací

Plastový odpad balených folií, textilních vláken a pěně je extrémně objemný a potřebuje být zahuštěn nebo zhutněn tak, aby se přeměnil do sypkých granulí. Plastové folie nebo pěna mají typickou objemovou hmotnost někde mezi 20 – 40 kg/m³. Tato hodnota je malá z důvodu převozu, dopravy, vážení a dávkování. Je nutné zvýšit hustotu na 400 kg/m³ užitím procesu zhušťování. Zahušťovací pochody jsou obdobné pochodům aglomerace. Tedy nedochází k natavení plastu, ale při procesu dochází ke změkčování materiálu užitím místního a krátkodobého zahřátí. Aglomerát vyráběný aglomerací odpadu plastů může být užíván přímo ve vytlačovacích operacích, ve způsobu podobném granulaci polymerů. Jsou v podstatě tři základní principy kterými odpad plastů může být aglomerován a to zhutňovací disky, komprese a agitace.

- Aglomerace zhutňovacími disky - objemný plastový odpad takový jako tenké polyolefinové balicí folie, polypropylenové nebo polyamidové vlákna, PP pásy, PS nebo PE pěna, PP vlna mohou být aglomerovány nebo zhutněny a tím převedeny do formy granulátu užitím třecího diskového míšiče. Taková aglomerace se speciálně užívána v případě polyesterových nebo polyamidových folií.
- Aglomerace kompresí (stlačováním) - aglomerace kompresí je proces kdy materiál je stlačován do takové míry, že jsou průběžně vyráběny pevné stabilní pelety.
- Aglomerace agitací (mícháním) - aglomerace agitací je když odpad plastu je intenzivně agitován, kdy aglomerace je dosažena vysokým vyvolaným stříhem mezi otáčecími se noži, které rychle přinášá odpad plastu do blízkosti tekutého stavu.
- Třídění s pomocí aglomerace – je založen na rozdílné teplotě tavení mezi LDPE a LLDPE v relaci k HDPE a PP. Generované třecí teplo způsobuje růst teploty v materiálu na 120-125°C. Vločkám LDPE a LLDPE přejdou do aglomerátu zvláštních tvarů a velikosti. HDPE a PP vločky na druhé straně vyžadují mnohem vyšší teplotu k tavení a tak zůstávají v jejich vločkové formě. Po sítování aglomerovaná frakce (zhuštěný LDPE a LLDPE), která má částčky velikosti 6 mm prochází sítí zatímco HDPE a PP vločky zůstávají na síti.
- Zhuštění/stlačování folií – metoda zpracování tenkého foliovaného odpadu
- Zhutňování průvlakem (průvlakové zhutňování) - EPS pěna může být zhutňována průvlakovým extruderem. Materiál se taví třecí energií a teplem vyměněným mezi válcem a pláštěm. Řezné ostří je umístěno na válci, rovnoběžně k jeho ose oddělí taveninu z povrchu válce a převede do tvaru pásu po kterém je materiál peletizován.

Drtící procesy

- Drtící mlýny - jsou užívány pro přepracování odpadu plastů do jemného prášku. Např. PVC odpad může být zpracován do prášku který může být znovu užíván pro vytlačování. Drtící mlýny jsou ideální pro polymery takové jako polyolefiny, polyamidy, polyester, polyuretany a tuhé a pružné PVC. Hlavní nevýhodou drcení je, že v některých mlýnech, se tvoří vysoké teplotní zóny při okrajích břitů a toto může způsobit, že polymery se přilepí na břity.
- Diskové práškovače - redukují velikost prášku s nízkými charakteristikami takové jako polyetylen, kombinací řezání, stříhání a stlačování v jemných mezerách mezi dvěma disky.
- Turborotorový práškovač - pro drcení křehkých materiálů takových jako PVC může být redukce velikosti provedena nárazem v turborotoru. Redukce velikosti nastává díky částicím polymeru naražením jeden na druhý jako výsledek extrémního víření. Protože frikční teplo je minimální, je tento způsob vhodný pro na teplo citlivé polymery.
- Kladivové mlýny - se skládají z řady kladiv namontovaných excentricky na centrální vačkovou hřídel k drcení přicházející dávky. Kladivové drtiče jsou často užívány ve spojení s kryogenními procesy protože plasty křehkou snadněji při nízkých teplotách.
- Kryogenní práškování - je ideálně vhodné pro tvrdé obtížně drtitelné polymery, které jsou tepelně citlivé, takové jako měkčené PVC desky. Hlavní výhodou kryogenního způsobu redukce velikosti je to, že je rozdílná teplota zkřehnutí polymerních materiálů, proces může výběrově redukovat velikost různých složek multikomponentního odpadu plastů.

Recyklace plastů obdobně jako recyklace kovů je proces zabezpečující návrat materiálů do dalšího nového využití. Ne vždy je to návrat plně hodnotný, ale i takto jsou uspořeny prostředky na výrobu nových produktů nehledě k úsporám na ekologickou likvidaci. Podstatným úkolem je, abychom získali nové produkty, zabezpečit precizní třídění jednotlivých druhů plastů resp. zabraňování jejich pomíchání. Následné procesy drtící, mlecí a jiné pak mohou připravit tento materiál do stavu nutného pro další výrobu.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [1] FILIP, J. a kol. Odpadové hospodářství. Brno, 2002, 116s. ISBN 80-7157-608-5
- [2] JUCHELKOVÁ, D. Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi. Vysoká škola báňská, Ostrava 2005 - 98 s. ISBN 80-248-0753-X
- [3] SLIVKA, V., DIRNER, V., KURAŠ, M. Odpadové hospodářství 2. VŠB-TU Ostrava, 2007, 179 s. ISBN 978-80-248-1645-6 (brož).



Shrnutí pojmů kapitoly

Základní pojmy v oblasti plastů

Druhy plastů

Obalové plasty

Recyklace plastů

Typy separace plastů



Otázky k probranému učivu

1. Co je to plast ?
2. Jaké obalové plasty znáte?
3. Jaké typy recyklace plastů jsou?

2. Pneumatiky

2.1. Základní pojmy z oblasti pneumatik a její recyklace



Čas ke studiu: 1,5 hodiny



Cíl Po prostudování této podkapitoly budete umět

- Charakterizovat pneumatik
- Výroba pneumatik
- Recyklace pneumatik



Výklad

□ Pneumatika

I když je možno pneumatiky zařadit mezi širokou oblast plastů jako skupinu kaučuků s různým stupněm úpravy uvádíme část pojednávající o recyklaci pneumatik jako samostatnou vzhledem k objemu a specifičnosti úprav této komodity.

Vymezení pojmu pneumatika

Pneumatika je dutá pryžová obruč kol silničních vozidel sloužící k tlumení nárazů a otřesů na nerovnostech povrchů jichž vozidla zdolávají. Musí zabezpečovat odolnost proti průrazům a otěrům. V závislostech a požadavcích, které jsou na pneumatiky kladeny mají pneumatiky různé rozměry a materiálové složení.

Rozdělení pneumatik a její konstrukce

Pneumatiky lze rozdělit z hlediska :

- typu dopravního stroje (kolo, motocykl, osobní vozidlo, lehké nákladní vozidlo, střední nákladní vozidlo, těžké nákladní vozidlo, autobusy, speciální zemědělské a stavební stroje, vojenské stroje, letecké aj.)
- konstrukce pneumatiky (radiální, kombinované, diagonální)
- použití vzdušnic (dušové, bezdušové, plněné)

Z hlediska nakládání s odpady jsou nejdůležitější pneumatiky osobní s dominantními radiálními pneumatikami jejichž životnost, kdy závisí na druhu a složení pneumatiky, způsobu provozování, ošetřování je v rozmezí ujetí 30000 – 70000 km.

Konstrukční složení pneumatiky je uvedeno na obr. 15.

Obrázek 1: Konstrukční složení pneumatiky

Konstrukcí pneumatiky se rozumí uspořádání různých vrstev materiálu k zabezpečení maximální spolehlivosti při její využití v provozu. Konstrukce je tvořena následujícími základními prvky :

Běhoun – část pláště opatřená vzorkem a zajišťující styk kola s vozovkou. Vzhledem k tomu, že tento styk s vozovkou má vliv na zahřívání pneumatiky je nutné, aby tloušťka běhounu byla co nejtenší. Volba je taková, že drážka tvoří asi 80% tloušťky běhounu (hmota cca 20%). Toto se týká jen pneumatik pro osobní automobily, u nákladních automobilů se volí tloušťka hrubší vzhledem k možnosti prořezávání dezénu. U osobních pneumatik je prořezávání zakázáno.

Nárazník – část pneumatiky tvořící přechod mezi běhounem a kostrou pláště. Jeho úkolem je stabilizovat běhoun v obvodovém směru a zvyšovat odolnost proti průrazu. U nákladních pneumatik se používají tři až čtyři vrstvy, u osobních většinou vrstvy dvě. Radiální pneumatiky mají nárazník výrazně z ocelového kordu (Steel pneu).

Kostra pláště – základní část tvořená kordovými vložkami zakotvenými kolem lan. Její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště. Vlastní kordová vlákna jsou velmi důležitou součástí kostry při čemž se v současné době provádí paralelní kladení netkaných kordových vláken. Dnes se k výrobě kordových vláken používají nejčastěji :

- rayon, což je obchodní výraz pro umělé hedvábí
- polyesterový kord
- ocelový kord
- polyamidový kord
- speciální vlákna, např. u sportovních vozů nová syntetická vlákna např. kevlar

U plášťů označených Steel je ocelovým kordem vyztužen pouze nárazník, u All Steel je ocelovým kordem tvořena i samotná kostra pláště.

Patka pláště – je zesílená část pláště dosedající na ráfek. Její jádro tvoří patní lano vyrobené z vysokopevnostního ocelového drátu. Patka slouží k zakotvení kordových vložek a zajišťuje bezpečné usazení pláště na ráfek. Podle uspořádání kostry se pláště dělí na

Podle uspořádání kostry se pláště dělí na:

- radiální
- diagonální

- plášť smíšené konstrukce

U diagonálních pneumatik dochází k tomu, že kordová vlákna se při zatížení a následné deformaci posouvají a namáhají pryž mezi nimi na střih. Tím dochází většímu vývinu tepla, diagonální pneumatiky se během provozu více zahřívají. Radiální plášť naproti tomu, svou nižší boční tuhostí způsobuje, že ve styku s vozovkou zůstává větší část běhounu. Radiální plášť má díky nárazníku větší obvodovou tuhost pláště. Diagonální pláště se využívají zejména u zemědělské mechanizace a zemních strojů, strojů pohybujícími se malou rychlostí.

Základní fyzikální a chemické vlastnosti pneumatik

Hmotnost pneumatik závisí na jejich typu. V tabulce 2 jsou uvedeny rozsahy hmotností nejužívanějších pneumatik na našem trhu.

Tabulka 2 Hmotnost pneumatik dle typu dopravního prostředku

skupina plášťů (pneumatik)	rozsah hmotnosti (kg)
Osobní	4,5 - 13,9
Dodávkové	8,1 - 22,4
Nákladní	20,7 - 96,5
Autobusové	39,8 - 70,0
Ostatní	1,0 - 430,0

Průměrná hmotnost pneumatik se uvažuje pro osobní auta cca 7 kg, lehké nákladní auta cca 11 kg, těžké nákladní 50 kg, kamiony cca 70 kg, zemědělské 100 kg. V průběhu používání se u pneumatiky otírá a obrousí vrchní část - běhoun. Postupně se tak snižuje jejich hmotnost o cca 10 -15 %.

Chemické složení pneumatik

Pneumatika se skládá z různých materiálů a strukturních složek, které přispívají ke zlepšení jejich užitkových vlastností. Složení pneumatik závisí na jejich typu. Počet různých typů pneumatik, které jsou používány v České republice se pohybuje řádově ve stovkách a se zaváděním nových výrobků se stále zvyšuje. Díky materiálovému složení jsou pneumatiky velmi stabilní, za běžných podmínek se v podstatě nerozpadají.

Přibližně 80 % celkové hmotnosti pneumatik osobních automobilů a 75 % hmotnosti pneumatik nákladních automobilů tvoří směs pryže z vulkanizovaných přírodních a syntetických kaučuků, sazí a dalších minoritních přísad. Pneumatiky nákladních automobilů obsahují všeobecně více přírodní pryže než pneumatiky osobních automobilů.

Tabulka 3: Přehled materiálového složení pryže dle typu dopravního prostředku

Materiál	Osobní (% hm. celého pláště)		Nákladní (% hm. celého pláště)	
	nová	opotřebovaná	nová	opotřebovaná

Přez	48	47	45	43
Saze	22	21,5	22	21
Ocel *	15	16,5	25	27
Textil *	5	5,5	-	-
Oxid zinečnatý	1,2	1	2-2,2	2
Síra	1	1	1	1
Ostatní**	8	7,5	6	6
*Pozn.: Dle obsahů oceli u nákladních pneumatik se jedná o pneumatiky typu all-steel . V ČR je běžnou složkou opotřebovaných pneumatik z nákladních automobilů i textil				
**Pozn: ostatními složkami pneumatik jsou plniva, aktivátory, urychlovače, pigmenty, změkčovadla, antioxidanty aj.				

Termické vlastnosti pneumatik

Výhřevnost pneumatik se pohybuje od cca 25 000 do cca 32 000 kJ.kg-1. Tato výhřevnost je srovnatelná s běžnými fosilními palivy, což je dáno vysokým podílem uhlovodíků (nad 75 %). Z těchto důvodů pneumatiky představují alternativu konvenčních paliv. Obecně lze dále konstatovat, že opotřebované pneumatiky (zejména all-steel) mají díky úbytku pryže relativně nižší výhřevnost, než pneumatiky z vadné produkce výrobních závodů. Následně uvádíme základní srovnání výhřevnosti pneumatik s vybranými materiály.

Tabulka 4: Výhřevnost vybraných materiálů a pneumatik

Materiál	Výhřevnost (kJ.kg-1)
Opotřebované pneumatiky	25 000 - 32 000
Antracit	24 000 - 34 000
Černé uhlí ostravské	28 200 - 29 400
Hnědé uhlí mostecké	10 200 - 17 200
Dřevo suché	13 000 - 17 000
Tekutá paliva	40000 - 44 500

Zapálení pneumatik je velmi obtížné. Zápalná teplota leží nad cca 330 °C a teplota zabezpečující dokonalé vyhoření pneumatik leží nad 650 °C. Samovolné vznícení je velmi nepravděpodobné. Jsou ale známy případy samovznícení drtě z pneumatik.

□ Životní cyklus pneumatik a vliv na životní prostředí

Životní cyklus pneumatik možno rozčlenit do čtyř vzájemně navazujících fází, a to:

- **vývoj,**
- **výroba,**
- **spotřeba-užití,**
- **odpad (využití, odstranění).**

Jen takto zvolené komplexní pojetí recyklace může přinést skutečné a měřitelné efekty, mající bezprostřední, či zprostředkovaný vliv na životní prostředí. Jednotlivé fáze životního cyklu mají své definovatelné, pozitivní i negativní vlivy na životní prostředí. Důležitou součástí životního cyklu pneumatik jsou i vazby mezi jednotlivými fázemi životního cyklu. Tyto vazby může například reprezentovat doprava, nebo specifické vazby, jako je například ovlivňování všech ostatních fází životního cyklu výzkumem a existence zpětné vazby u tohoto vlivu.

Výzkum

Fáze výzkumu je počátečním článkem řetězce celého životního cyklu pneumatik. V této fázi životního cyklu existují největší možnosti jak pozitivně ovlivnit celkové dopady životního cyklu pneumatik na životní prostředí. Výzkum má tak přímý vliv na jednotlivé fáze životního cyklu.

Výrobní fázi může výzkum ovlivnit vývojem technických a technologických opatření šetrnějších k životnímu prostředí. Jedná se například o opatření na minimalizaci používaných nebezpečných materiálů, optimalizaci používání materiálů z obnovitelných zdrojů či recyklovaných materiálů, snižování vzniku odpadů a emisí při výrobě pneumatik. Důležitou součástí výzkumné fáze je i analýza vstupních materiálových prvků na životní-prostředí a to jak z hlediska získávání surovin a energií, tak i z pohledu budoucí recyklace.

Ve fázi užití pneumatik jsou současné vývojové trendy zaměřeny na zvýšení životnosti pneumatik, zlepšením jejich fyzikálních a chemických vlastností. zvýšení životnosti pozitivně ovlivňuje primární spotřebu surovin potřebných k produkci nových pneumatik. Zároveň zlepšením fyzikálně chemických vlastností pneumatik dochází ke zmenšení negativních vlivů pneumatik ve fázi užití na životní prostředí, jako je například zmenšení prašnosti či hlučnosti.

Výzkum zaměřený do oblastí fáze ukončení životnosti pneumatik se zabývá například výzkumem nových recyklačních technologií, celkovým zvýšením podílu materiálového využití pneumatik. Možnost recyklace pneumatiky je tudíž ovlivnitelná již v počáteční fázi jejího životního cyklu. Z těchto poznatků jednoznačně vyplývá, že fáze výzkumu má největší možnosti zmírnit celkové dopady životního cyklu pneumatik na životní prostředí.

□ Výroba pneumatik

Výrobu pneumatik je možno rozdělit na dvě fáze. První je získání veškerých potřebných surovin a druhou vlastní výroba pneumatik. Surovin na výrobu pneumatik je ve srovnání s jinými komoditami potřeba relativně malé množství. Tento fakt je dán zejména konstrukční jednoduchostí pneumatiky

Základní suroviny pro výrobu pneumatik

Vlastní výrobě pneumatik předchází získávání surovin potřebných na výrobu

pneumatik. Tyto suroviny můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou suroviny potřebné k výrobě gumárenské směsi, což jsou zejména kaučuky (přírodní a syntetický), dále pak saze, antioxidanty, změkčovadla, vulkanizační činidla a další. Druhou skupinou tvoří suroviny a materiály potřebné k vlastní výrobě pneumatiky. Jedná se hlavně o textilie a ocel.

Přírodní kaučuk

Prvotně se přírodní kaučuk získával z divoce rostoucích stromů v přírodě postupem času se přešlo na plantážní pěstování stromů po celém světě v tropických oblastech. výnosy z takových plantáží se pohybují okolo 2.000 kg/ha za rok.

Z chemického hlediska je přírodní kaučuk polymerem isoprenu (2-methyl-1,3-butadien). Přírodní kaučuk je primárně získáván z dřeviny *Hevea brasiliensis*, vyskytující se v amazonských deštných pralesech. Existuje i spousta dalších dřevin s možností získání přírodního kaučuku jako například *Ficus elastica* pocházející z tropických oblastí Afriky.

Syntetický kaučuk

Jedním z hlavních impulsů k vývoji a produkci syntetického kaučuku byly světové války v první polovině dvacátého století, kdy poptávka po produktech z pryže vzrostla do takové míry, že přírodní produkce nebyla schopna tuto poptávku pokrýt.

V dnešní době existuje velké množství typů syntetického kaučuku rozdílných chemických a fyzikálních vlastností. V největší míře jsou používány styren-butadinové kaučuky. Stejně jako přírodní kaučuk, jsou všechny syntetické kaučuky polymery získávané z různých uhlovodíků.

Více než polovina světové produkce syntetických kaučuků připadá na styren-butadinový kaučuk (SBR), který je syntetizován ze styrenových a butadinových monomerů, které jsou součástí ropy. Celá čtvrtina produkce styren-butadinového kaučuku připadá na výrobu pneumatik. Zbytek je používán v obuvnickém průmyslu, jako těsnicí a vodovzdorný materiál a adhezíva. Další typy syntetických kaučuků jsou např. ethylen-propylenové kaučuky, butylové či silikonové kaučuky.

Další vstupní materiály

Další primární materiály potřebné k výrobě pneumatik jsou ocel, saze, oxid zinečnatý a síra. Ocel slouží k vyztužení pneumatik v podobě ocelových kordů a ocelové vnitřní vystýlky (celo ocelové pláště all-steel). Jednotlivé druhy materiálů pro výrobu pneumatik jsou uvedeny v tab. 5.

Tabulka 5: Jednotlivé materiály používané na výrobu pneumatik a environmentální dopady

Materiál	Zdroj	Aplikace	Potenciální dopad
Přírodní kaučuk	Přírodní kaučuk je převážně získáván z dřeviny <i>Hevea brasiliensis</i>	Podíl přírodního kaučuku na celkové produkci výroby pneumatik postupně klesá, v současnosti se pohybuje okolo 30-40 hm. %	Poškození původních ekosystémů v tropickém deštném pralese, kde se nachází okolo 9,5 mil ha kaučukových plantáží. Dopad na zemědělství. Dopad z dopravy suroviny v oblastech primárního

			výskytu.
Syntetický kaučuk	Všechny formy syntetických kaučuků jsou vyráběny z petrochemických surovin.	Podíl vzrostl na 60 - 70 hm. %	Spotřeba surovinných zdrojů, spotřeba energie, emise do ovzduší, znečištění vod a produkce odpadů..
<i>Ocelové kordy a ocelová vnitřní výstřelka</i>	Ocel se získává zpracováním železné rudy zušlechťováním železa.	Ocelové kordy se používají k vyztužení pneumatik. Celkové zastoupení ocele v pneumatice činí až 15 hm%.	Dopad při těžbě primárních surovin, dopravě a při výrobě.
Saze	Získávají se při zpracování ropy.	Zvyšují trvanlivost, snižují opotřebení.	Dopad během produkce a dopravy.
Oxid zinečnatý	Produkt chemické výroby.	Je přidáván aby zvýšil odolnost proti DV záření. Jeho podíl se pohybuje okolo 1,2 hm. %.	Dopad při výrobě a dopravě.
Síra	Produkt chemické výroby	Síra je používána k vulkanizaci pryže. Obsah síry v pneumatice činí okolo 1 hm%.	Dopad během získávání síry.

❑ Vlastní výroba pneumatik

Vlastní výrobu pneumatik tvoří dva základní navazující technologické postupy. Prvním z nich je výroba pryže, jako hlavního materiálu potřebného k výrobě pneumatik. Pro pryž jsou získávány suroviny buď z obnovitelných zdrojů (přírodní kaučuk) nebo z neobnovitelných zdrojů (ropa- syntetický kaučuk). V současné době je celosvětový podíl přírodního kaučuku pro výrobu pryže na hranici pouhých 30% a je velmi patrný snižující se trend jeho používání. Zvyšující se tendence používání primárních surovin z neobnovitelných zdrojů je jedním z negativních jevů výroby pneumatik.

Technologicky je možné výrobu plášťů popsat jako několik vedle sebe probíhajících samostatných operací, které se potkávají až při tzv. konfekci. Je to vlastní příprava kaučukových směsí, pogumovaného kordu, výroba běhounů a bočnic, výroba patních lan a nárazníků. Zmíněná konfekce je potom vlastní zkompletování všech komponent. Jejím produktem je surový plášť, ze kterého se hotový produkt vytvoří zvulkanizováním v lisu.

Příprava materiálu

Složení směsí používaných při výrobě plášťů patří mezi přísně střežená tajemství jednotlivých výrobců. Velice obecně se dá říct, že z materiálového hlediska objemově tvoří pneumatiku:

48% kaučuk

27% technické saze, 12% kord
9% chemická aditiva, 4% patní lana.

Nejen pro různé typy, ale i pro výrobu jednoho pláště je potřeba několika druhů pryžové směsi. Konkrétní požadavky jsou zadávány na pracoviště přípravy, kde obsluha připravuje jednotlivé dávky tak, že na dopravník do hnětacích strojů nakládá různé typy kaučuku a další aditiva (např. síru) podle potřeby a konkrétních požadavků. V hnětacích strojích se vytvoří homogenní směs požadovaného složení, která potom putuje na jednotlivá dílčí pracoviště.

Jedním z nich je pracoviště gumování kordu. Kord je tkanina, která plní v pneumatice velmi důležitou roli z hlediska pevnosti. Tvoří základ kostry i nárazníku. Uvnitř pláště musejí být jednotlivá vlákna od sebe oddělena pryžovou směsí, aby se vzájemně o sebe netřela. Na pracovišti gumování kordu je tedy tkanina opatřována vrstvou pryže. Podle potřeby se dále zpracovává - pro výrobu radiálních plášťů je třeba změnit orientaci kordových vláken, proto se z cca 1,5m širokého pásu pogumovaného kordu řežou jednotlivé dílce požadované šíře, které se kladou za sebe a spojují. Tím se získá výchozí materiál pro výrobu kostry radiálního pláště.

Na dalším samostatném pracovišti se připravují běhouny a bočnice. Běhouny jsou složeny z několika typů pryže: z vrchní části, tedy té, která je ve styku s vozovkou. Její složení je dané požadavky na vlastnosti běhounu. Pod ní se nachází tenká vrstvička základní, tzv. base směsi s podílem sazí. Okrajové části běhounového pásu jsou pak tvořeny bočnicovou směsí.

Samotná bočnice je však vyrobena rovněž ze dvou druhů směsi. Zatímco její vnější část, tedy ta blíže k dezénu, je vyrobena z pružnější směsi, oblast blíže u patky je vyrobena z tužší směsi, která patku lépe chrání.

V obou uvedených případech - u běhounové i patkové pryže jsou jednotlivé vrstvy skládány tak, aby se vlastnosti pryže v plášti měnily plynule z hlediska pružnosti a tvrdosti.

Výroba nárazníku

Další část pláště, která se připravuje samostatně, je nárazník. Jeho konkrétní konstrukce se samozřejmě opět liší podle typu pláště, ovšem obecně je tvořen pásem ze vzájemně překřížených pogumovaných ocelových kordů, uložených pod určitým úhlem. U vysokovýkonných plášťů se mezi běhounem a nárazníkovým pásem používá další nárazníková vrstva z polyamidového pogumovaného kordu, který se dříve pokládal jako prstenec z pásu, a tak v jednom místě vznikl spoj po celé šířce pláště. Dnes se nárazníková vrstva tvoří tak, že se na prstenec ocelového kordu navíjí ve spirále pásek polyamidového kordu. Tak vznikne nárazníková vrstva polyamidového kordu bez spoje.

Patní lana

Vytváří se prstenec se čtyřmi pogumovanými lankami vedle sebe. Tento prstenec se následně rozdělí na čtyři jednotlivá lana. Naráz se tak vyrábějí patní lanka vždy pro dva pláště.

Kompletace

Vlastní výroba surového pláště probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se na vnitřní gumu

nalepí kordová vložka. Z boku se potom narazí patní lana a kordová vložka se přehne přes lano. Následně se položí bočnice.

Ve druhém stupni se připravuje nárazníkový prstenec s běhounem. Na vrstvu ocelového kordu se položí polyamidový nárazník a běhoun. Při vlastní konfekci se potom obě části spojí dohromady a zaválejí. Tak vznikne surový plášť.

Vulkanizace

Vulkanizace je definována jako proces, při kterém za působení teploty a tlaku kaučuková směs přechází ze stavu převážně plastického do stavu převážně elastického. V praxi to znamená, že se surový plášť vloží do lisovací formy, která nese podobu budoucího pláště, tedy otisk dezénu a veškerého označení. Předtím se však musí ošetřit separační látkou, aby se vulkanizovaný plášť nelepil k formě. Proces vulkanizace je řízen automaticky a probíhá při teplotě přibližně 175°C po dobu asi 7 až 11 minut, podle rozměru pláště.

□ Užití pneumatik

Fáze užití pneumatik je v podstatě část životního cyklu, kdy pneumatika slouží k primárnímu účelu, pro který byla vyrobena. Jedná se hlavně o tlumení nárazů a nerovností způsobených povrchem vozovky. Účel ke kterému jsou pneumatiky používány zásadně ovlivňuje jejich vlastnosti, které jsou nejdůležitější právě ve fázi jejich užití.

Pneumatika musí být odolná vůči všem povětrnostním vlivům, proti mechanickému opotřebení a musí vykazovat stabilitu základních fyzikálních a chemických vlastností, ve všech podmínkách, kterým může být během fáze užití vystavena. Všechny tyto podmínky ovlivňují celkovou životnost pneumatiky. Současný trend v oblasti výzkumu a výroby pneumatik je jednoznačně zaměřen na zvýšení životnosti pneumatik a tím prodloužení fáze užití.

Hlavním faktorem ovlivňujícím délku užití pneumatik (životnost) je mechanické opotřebení pneumatik při jejich používání. Při používání pneumatik dochází při styku s vozovkou k obroušování povrchu pneumatiky, kdy se povrchová vrstva pneumatiky postupně opotřebovává a uvolňuje v podobě prachových částic do životního prostředí. Přehled hlavních ekologických dopadů ve fázi užití pneumatik je uveden v tabulce 6.

Tabulka 6: *Ekologické dopady pneumatik ve fázi jejich užití*

Dopad	Charakteristika
Hluk	Pneumatiky způsobují hluk během provozu vozidel. Hluk z pneumatik představuje velké procento celkového hluku z provozu vozidel. Hluk z pneumatik může být snižován změnami designu pneumatik či typem povrchu vozovky.
Prašnost	Třením pneumatik o povrch vozovky se uvolňují prachové částice. Průměrná produkce prachu se pohybuje okolo 0,03 g z pneumatiky na ujetý kilometr.
Spotřeba paliva	K uvedení pneumatiky do pohybu je potřeba energie na překonání valivého odporu. Valivý odpor činí 15 % celkové energetické spotřeby potřebné k pohybu automobilu. Valivý odpor je větší u nákladních automobilů, v důsledku celkového zatížení vozidla a nesprávného tlaku v pneumatikách.

Ukončení životnosti pneumatik

Fáze ukončení životnosti nastává pro pneumatiky v okamžiku, kdy přestane plnit funkci, pro kterou byla vyrobena. V tomto okamžiku se pneumatika stává odpadem, pro který je třeba nalézt využití. V České republice je legislativně stanovena povinnost zpětného odběru pneumatik po ukončení jejich životnosti.

Nejpříznivější variantou je navrácení pneumatik zpátky do životního cyklu. Navrácení pneumatik do životního cyklu je možné dvěma způsoby. Prvním je využití celých použitých pneumatik pro protektorování. Druhou variantou je navrácení částí pneumatik zpět do životního cyklu ve formě surovin pro gumárenské směsy.

Na zpracování použitých pneumatik existuje řada technologií. Jsou zaměřeny například na materiálové využití, nebo energetické využití. Podrobný přehled technologií a technologických variant zpracování použitých pneumatik je uveden v kapitole 6 tohoto recyklačního programu. Výběr vhodné technologie má velký význam pro celkovou bilanci vlivu životního cyklu na jednotlivé složky životního prostředí.

Součástí fáze ukončení životnosti pneumatik je také doprava. Slouží hlavně k přepravě použitých pneumatik ke koncovým zpracovatelským zařízením, ale i ke svozu spojenému se zpětným odběrem.

□ Odpady pneumatik a jejich zpracování

S použitými pneumatikami lze nakládat mnoha způsoby. Uplatnění konkrétních způsobů a technologií v praxi se řídí především technickými a ekonomickými podmínkami dané technologie. Důležitým faktorem zavedení a rozšíření dané technologie je poptávka po výsledném produktu technologie na trhu, ta většinou souvisí s možnostmi substituce prvotní suroviny druhotnými, z toho plynoucími úsporami surovin a energií a tedy i ekonomickými úsporami.

Technologie zpracování použitých pneumatik lze v zásadě rozčlenit v závislosti na způsobech nakládání s nimi na:

- a) zhodnocení použitých pneumatik (protektorování),
- b) úprava pro další materiálové využití vyřazených pneumatik (drcení, granulace, regenerace, pyrolýza, chemické zpracování), úprava pro energetické využití (alternativní palivo pro cementárny, spalování s využitím energie), jiné způsoby využití.

Uvedené způsoby a technologie zpracování použitých pneumatik jsou dále podrobněji popsány.

Protektorování

Protektorování představuje z hlediska účinků na životní prostředí nejvhodnější způsob recyklace. Použití pneumatiky pro protektorování komplikuje proces jejího stárnutí. I nepoužitá pneumatika se díky samovolným degradačním procesům stává po 6 - 7 letech nevyhovující z hlediska bezpečnosti. V současné době se protektují především pneumatiky nákladních automobilů, které jsou denně v provozu a plně se opotřebí v poměrně krátké době, tj. procesy stárnutí u nich proběhly jen částečně. Na životnost pneumatik má vliv i jejich údržba, technický stav vozidla a způsob jízdy.

Technologie studeného protektorování

Tato technologie obnovy běhounové části pneumatik je důležitá tím, že teplota vulkanizace probíhá při teplotách kolem 100°C, kdy nedochází k tepelné degradaci materiálů pneumatik, aplikace nových kvalitních materiálů umožňuje získat úroveň téměř stavu nových pneumatik. Cena takto protektorované pneumatiky je zlomkem ceny pneumatiky nové.

Výroba studeného protektoru začíná podrobnou vizuální kontrolou na prohlížecím stroji a skládá se z několika samostatných fází, které na sebe navazují. Jsou přitom dále odstraňovány cizí předměty z běžné plochy, kontrolovány staré opravy, analyzováno stáří pneumatiky a označena místa poškození a oprav. Následuje drásání na výkonném a přesném stroji, přičemž je drásaná plocha chlazená, aby bylo zabráněno tepelné degradaci materiálu.

Po odrásání na přesnou a maximální šířku je automaticky změřen obvod pneumatiky, což slouží pro přípravu desénu a pro další, velmi důležitou informaci uživatelům. Po broušení prochází pneumatika kontrolou na ultrazvukovém testeru, který odhalí všechny skryté vady, malé průpichy, separace atd. Na pracovištích oprav jsou poté veškerá zjevná i skrytá poškození vybroušena speciálními nástroji. Následuje stříkání vulkanizačním cementem a na speciálním pracovišti se provedou větší opravy pomocí opravných vložek, dále opravy poškození patek atd. Na dalším pracovišti se formou vyplnění opravným materiálem opraví drobná poškození běžné plochy a na bok pneumatiky se umístí předepsaná označení - klasifikační skupina, datum výroby, logo a označení výrobní firmy, dále index rychlosti atd.

Na konfekčním stroji se poté položí na takto připravenou plochu předem připravený dezén s nalisovaným spojovacím materiálem - jeho složení je největším tajemstvím firmy a po vulkanizaci představuje nejpevnější součást protektorované pneumatiky.

Pneumatika s položeným novým běhounem se poté vloží do pružných obalů - tzv. bandáží, utěsní se patními kruhy a vloží do autoklávu. Po naplnění je spuštěn vulkanizační cyklus, který probíhá zhruba 4 hodiny při teplotě 99 stupňů Celsia a tlaku 6 atm (navíc se ještě pracuje s tzv. diferenciálním tlakem, který má zásluhu na dokonalém přitlaku nového dezénu ve všech jeho bodech).

Po ukončení cyklu jsou protektory vyjmuty z bandáží a procházejí náročnou výstupní kontrolou. Při ní jsou rovněž trvale označovány velikosti obvodu odrásané plochy - tento exaktní údaj umožňuje montovat do dvojmontáží stejně velké pneumatiky a výrazně tak zvyšovat kilometrický proběh.

Úprava pneumatik pro další materiálové využití

Nákladově efektivní a komerčně životaschopné provozy recyklace vyřazených pneumatik závisí na kontinuálním toku surových materiálů. Vyřazené pneumatiky určené k recyklaci zahrnují převážně pneumatiky demontované z osobních automobilů, z lehkých užitkových vozidel a z nákladních automobilů. Pneumatiky jsou sbírány separovaně z různých zdrojů včetně maloobchodních prodejen, dílen a demontážních středisek atd. Demontované pneumatiky jsou předzpracovány (předčištěny), tj. jsou zbaveny nečistot jako jsou tuky, oleje, ropné vedlejší produkty a zbytků částečně spálených materiálů, a úlomků kamení, skla a dalších různorodých materiálů. Pneumatiky jsou roztrženy dle kategorií vozidel (osobní, dodávkové, nákladní), a v rámci jednotlivých kategorií jsou dále roztrženy podle velikosti.

Kategorie pneumatik vybraných k recyklaci a technologie zvolené k jejich zpracování mohou významně ovlivnit výsledek - recyklovaný materiál, a tím i spektrum produktů a jejich potenciálně vhodných aplikací. Nejčastěji je vstupní materiál omezen na pneumatiky pouze jedné kategorie, neboť pneumatiky pro osobní automobily mají jinou strukturu a složení než pneumatiky pro automobily nákladní. Složení pneumatik v rámci jedné kategorie je dostatečně podobné, takže je zajištěno, že výsledný materiál z procesu recyklace bude mít

konzistentní identifikovatelné vlastnosti, které se s časem nebudou měnit.

Recyklace pneumatik je regeneračním procesem, který zahrnuje dvě různé, ale vzájemně související funkce:

- *transformaci vyřazených pneumatik* různými technologiemi (fyzikální, chemickou, termální, biologickou) s cílem z nich vyrobit široké spektrum materiálů, které budou znovu začleněny do hospodářských materiálových proudů jako zdroj k nahrazení materiálů vyráběných z nových zdrojů
- *využití získaných recyklovaných materiálů* v obrovském množství spotřebních a průmyslových výrobků, v aplikacích v oblasti stavebnictví a dopravy

K dispozici jsou na výběr různé aplikovatelné technologie zpracování, kterými lze vyrobit z použitých pneumatik celé spektrum univerzálních a nákladově účinných materiálů, možnost výběru těchto technologií se v posledních letech značně rozšířila.

Moderní technologie recyklace pneumatik zahrnují celé spektrum postupů od nejjednoduššího mechanického zařízení na rozřezání pneumatik k velmi složitým linkám kde proces zpracování je vícestupňový mechanicko-chemický anebo termální. Některé technologie představují modifikace a zlepšené verze starších postupů, které jsou stále produktivnější v důsledku uplatnění výsledků nedávného výzkumu.

Redukce velikosti pneumatik

Vzhledem ke své velikosti a pružnosti jsou pneumatiky před jakoukoliv recyklací většinou šředrovány. Pneumatiky jsou užívány jako surový materiál pro výrobu gumového granulátu nebo pro TDF palivo a jsou šředrovány na kousky (chipsy) 2" x 2" nebo 1" x 1". Rozemletý odpad pneumatik a separovaná ocel a tkanina z gumy vyžadují náklady na další zpracovávání. Velké tahové vlastnosti zpevňujících vláken v autopneumatikách a pružnost gumy činí šředrování celých pneumatik velmi náročným procesem, který vyžaduje vysoce účinné zařízení. Šředrování využívá rotory s noži, které redukuje gumu mechanickým sekáním. Mohou mít buď jeden nebo dva rotory otáčející se v protisměrném pohybu. Pro redukci velikosti pneumatik jsou známější jednorotorové šředry. Nízkorychlostní rotor s vysokým točivým momentem je poháněn přímo hydraulickým motorem. Toto je jednoduché a účinné řízení, které snadno pohlcuje občasné síly spojené s řezáním pneumatik, které jsou neuspořádaně podávány do násypky. Vstupní násypka má velkou velikost k umožnění snadného uchycení zavážky. Díky působení tažení rotujících nožů, je tendence vtahování pneumatik do řezací oblasti, kterému se zabrání přemostěním. Protože šředry na pneumatiky jsou pravidelně poškozovány velkým zatížením, novější modely zahrnují opatření k ovládnutí složitých zatížení. Zařízení pak pneumatiky vyřadí z řezání, pokud nelze ji nelze třikrát rozřezat.

Mobilní šředry na pneumatiky

Z důvodů snížení nákladů na přepravu existují mobilní šředrovací linky na pneumatiky, které mohou zpracovávat stovky pneumatik za hodinu. Zpracovávají se i nákladní pneumatiky včetně pneumatik steel. Pneumatiky jsou zpracovávány na velikost 0,5", 1" nebo 2".

Mechanické drcení

Procesy, které upravují odpad pneumatik do drtě staré gumy (granulát) obecně zahrnují čtyři základní kroky :

- šredrování
- separaci
- granulaci
- třídění

Těmito postupy můžeme vyrobit vysoce kvalitní gumovou drť (průměr 1,7 mm), která má odstraněno 98-99% oceli a textilních vláken. Kroky zahrnující redukci velikosti pneumatik jsou znázorněny na obr.

Pneumatiky jsou tříděny na základě stáří a složení a nakládány na dopravník do šredru. V etapě šredrování jsou pneumatiky upraveny do velikosti 50 x 50 mm. Tyto jsou tříděny a nadsítné je zpětně dávkováno do šredru. Kousky gumy jsou pak dopravovány do předdrtiče který je redukuje na částice s průměrem menším než 25 mm. Mezi předdrtičem a granulátorem, částice přechází pod silný, příčně uložený magnetický rozduřovač který odstraní 90-95% obsahu oceli v pneumatice. Jelikož odstranění textilií z šredrovaných pneumatik v procesech redukce velikosti se stává extrémně složitým proto ohrožuje čistotu částic gumy. Přítomnost zbytku tkaniny v granulátu je zvláště nežádoucí ve spojení využití gumy, protože velký povrch částic tkaniny adsorbuje úměrně více drahých vázaných přípravků a činí konečný produkt složitější k uplatnění. Tyto textilní chomáče mohou být odstraněny z granulí speciálním vzduchovým odsávacím zařízením. Tyto jednotky odstraňují chomáče textilií, které plavou na povrchu zatímco těžší částice gumy padají ke dnu.

V etapě granulace jsou částice redukovány na granule o velikosti 6 mm a zde textilní vlákno je vyprošťováno speciálně navrženým nožovým rotorem s užitím vzduchového třídění. Byly navrženy granulátory založené na 25 spirálovém noži, který řeže částice pneumatik tak, že se textilie uvolňují, aby bylo umožněno jejich odstranění. Materiál je opět dopravován pod příčný magnet k odstranění zbytku oceli. Nato je tato textilie je vyproštěna cyklonovým separátorem. Granulát je pak zpracováván v sekundárním granulátoru, který redukuje velikost z 6 mm na 1,7 mm.

Čtvrtá etapa zahrnuje krok třídění, kde ocelové a tkaninové nečistoty a prach (jemný) jsou odstraňovány soustavou sít. Je důležité podotknout, že osobní pneumatiky jsou složitější k úpravě na granulát než nákladní pneumatiky, protože mají vyšší obsah textilií.

Kryogenní drcení

Gumovou drť můžeme také vyrobit ochlazením kousků gumy v tekutém dusíku (-195,7°C) s následným drcením. Při kryogenním drcení, šredrované pneumatiky jsou zchlazeny kapalným dusíkem v „chladícím tunelu“ a následně rozemlety na kladivovém mlýně, výsledkem je rozdrcená guma, ocel a textilie. Tímto postupem se vyrábí velmi jemný granulát s relativně hladkým oválným zrnem.

Kryogenní granulát má pravidelnou velikost částic a nízký specifický povrch srovnatelný s okolními zrnny granulátu. Granulát z jiného způsobu drcení je trochu větší, se širší dodávanou velikostí než ty z kryogenního drcení. Další drticí postupy jsou dražší, jestliže se vyrábí extrémně jemná drť (např. >60 mesh nebo <0,42 mm), protože jsou vyžadovány zvláštní pracovní postupy při granulaci. V produkci jemné meshové velikosti, je kryogenní metoda drcení rychlejší a ekonomičtější.

Kvalita pryžové drtě

Hlavními vlastnostmi recyklované drtě (granulátu), které určují její kvalitu, jsou rozložení její velikosti částic (PSD) a úroveň znečištění textilními vlákny. Často je preferována drť se specifickou velikostí částic cca 20 mesh a přesné PSD. Přítomnost tkanin a oceli je nežádoucí a měla by být co nejnižší. Nové ASTM specifikace určují pro obsah kovu obsah níže než 0,1% a obsah tkanin níže než 0,5%. Protože „slupky“ a „obrusy“ jsou společným výrobkem obnovujícího průmyslu, je nízké znečištění problémem.

Aplikace gumového granulátu

Nanášení nátěrových tmelů

Tato technologie zahrnuje mletí gumových výrobků do drtě a pak jeho následného užití jako zvláštní plnidlo v nízko-výkonných gumových výrobcích a jako ztužovací přípravek do asfaltu. Až do 60% původní hmotnosti pneumatik může být obnoveno jako prášek známý jako pryžový prach pneumatik (GRT).

Mnoho gumáren běžně uskutečňují základní recyklaci malého rozsahu dodáním výrobního gumového odpadu do nových sloučenin. Toto může být provedeno až do 10 hm.%. Nicméně, fyzikální vlastnosti konečného gumového výrobku se zhoršují, protože gumová drť představuje primárně inertní výplň.

Historicky, když neupravená gumová drť byla dodávána do přírodního pryže, výrobkům zvyšovala viskozitu a snižovaly mez pevnosti v tahu, tyto faktory vedly k jejímu přednostnímu užití v netechnickém využití takových jako podlahové krytiny, podložky a obuv. Tyto nízké vlastnosti mohou být přisuzovány k faktu, že jednotlivé vulkanizované gumové částice v matrici nevulkanizované gumy se nespojí do celku, jestliže je směs vulkanizovaná. Jiné vlastnosti takové jako odrazovost, pružnost a mez odolnosti proti únavě se mění jako výsledek nedostatku přilnavosti přes rozhraní drť/matrice. Proto, je neupravená gumová drť hlavně užívána jako nízko zaváděcí výplň nebo plnivo v aplikacích kde je mírné snížení vlastností akceptováno. Menší velikosti částic drtě dovolují větší úroveň zatížení, ale při větších nákladech způsobených kvůli zkomplikované granulaci. Nejmenší velikosti částic gumové drtě jsou obchodně výhodné při velikosti 75 μm .

Přídavek drtě staré pryže (granulátu) dokonce v nízkých koncentracích, k přírodní gumě, obecně je výsledek snížení fyzikálních vlastností. Např. je dokázáno, že přídavkem 10% gumového granulátu (425 – 600 μm) k přírodní složce vedlo k 15% snížení pevnosti v tahu. Phadke přisuzoval nevyhovující vlastnosti přírodní gumy-vulkanizovanému granulátu, ke špatné adhezi a relativně velké velikosti částic granulátu. Bylo také zjištěno, že přídavkem základního granulátu k původním SBR složkám došlo ke snížení maxima skrutu a zvýšení tendence k přepálení. Tyto vlivy byly přisouzeny k ozdravné migraci z matrice do částíček gumy. Migrace síry do základů částic vulkanizované granulované gumy spouští spouštěcí vazbu urychlující fragmenty z gumového granulátu a tato difuze do matrice překračuje rychlost vulkanizace.

Automobilové pneumatiky

V případě automobilových pneumatik, gumový granulát může být užíván jako nízkoobjemové plnidlo v nových pneumatikách, ale pouze při protektorování a v bočnicích. Uplatnění odpadního gumového granulátu v těchto aplikacích je omezeno max.1,5%, protože obsahují chemicky kombinované sírové příčné vazby. V jiných typech pneumatik, takových jako terénní pneu, diagonální pneu, a plné pneu, recyklovaný granulát může být užíván v mírně vyšší úrovni náhrady. Užití nezpracovávaného gumového granulátu jako plnidlo v pneumatikách při vyšším zatížení způsobují snižování pevnosti v tahu, zvyšuje tepelný přírůstek a zvyšuje stárnutí oxidací.

Lepené gumové výrobky

Základní drť staré gumy (granulát) nachází mnoho užití ve výrobě, kde je spojena dohromady pojidly (uretany nebo epoxidy). Lepené gumové systémy obsahující recyklovanou gumovou pneumatiku může být dvou typů: a) lisovaný výrobek jako dlažice nebo dlažební kostka b) výrobky mokrého pokládání takové jako cesty, ohrazení a tenisové kurty. Pojidlo v těchto aplikacích je hlavně nasákavý vulkanizovatelný uretan, který je obsažen (obsah cca 10%) v tekutém metylen diisokyanátu. Pro lepené výrobky, je koncentrace pojidla v rozsahu 10-15% a pro výrobky mokrého položení jsou koncentrace pojidla doporučována v rozsahu 18-22%. Tato hodnota pojidla dává optimální tahové vlastnosti. Vyšší úroveň pojidel nezvyšují velmi pevnost v tahu výrobku, ale zvyšují cenu. Směs granulátu a uretanu 85:15 může být lisována při 35 – 40°C. Kvůli účinku jednotného vytvrzování je ke směsi dodáváno 3- 4% vody. Je důležité poznamenat, že granulát gumy obsahující důležité množství „jemného podílu“ (>10%), buď vyžadovat vyšší koncentraci pojidla neboť jejich vyšší povrch bude spotřebovávat disproporcionálně vyšší množství pojidla než hrubý granulát.

Podložky

Podložky vyrobené z přírodní gumy a polyuretanového pojidla vyžadují přírodní gumu s vysokým charakteristickým poměrem a velikosti částice menší než 4 mesh, ale bez jemnějších.

Jemný podíl, který má vysokou plochu povrchu, přednostně adsorbuje pojidlo a pigmenty a tudíž vyžadují více drahého pojiva k použití. Pojená gumová podlaha je velmi výhodná vzhledem k tomu, že materiál se nepoškozuje.

Podložky na hřiště a dlaždice

Podložky a dlaždice pro užití na zařízení hřiště a jesle, kde je žádoucí šokové utlumení, je rozvíjející oblast pro recyklovaný materiál gumy. Tyto podložky nebo dlaždice jsou hlavně vyrobeny z recyklovaného granulátu staré gumy a adhesivního pojiva na základě polyuretanu. Granulát mícháním s tekutým polyuretanem vytváří suspenzi, která může pak být odlévána do desek, dlaždic nebo cihel v přiměřených formách. Tento materiál vykazuje mnoho příznivých vlastností tak jako samoudržovací stálost, výborná UV stabilita. Ve srovnání s pískem, gumové dlaždice nezpůsobují zašpinění, nevyžadují „dolévání“ a nemohou ukrývat nebezpečné předměty takové jako jsou střepiny skla nebo střikaček. Povrchy hřiště vyrobené

lepenými odpadovým granulátem jsou známy jako Saf-Dek a jsou široce užívány restauracemi McDonald vUSA.

Protiskluzové dlaždice

Dlaždice s texturovaným zvlněným povrchem k protiskluzové prevenci jsou využity pro chodníky a rampy na letištích, závodech a úřadech kde je koncentrován pěší provoz. Konečně takové mohou být využity jako povrch na podlahách lodí. Řídká kaše směsi gumového granulátu a uretanového pojidla může být nastříkána na povrchy takové jako jsou paluby lodí kde předávají elasticnost, voděodolnost, protivibrace a tlumící vlastnosti.

Atletické dráhy

Rozemletá recyklovaná guma nalézá zvyšující užití na běžeckých drahách kde předává pružnost a tažnost. Je také uváděno že zvyšuje odvodňovací kapacitu tratě. Tyto tratě jsou složeny z 4-10 mesh přírodní gumy smíchané s vlhkostí vytvrzovacího uretanového pojidla a jsou nalévány na tratě. Všechny sportovní povrchy pod širým nebem jsou také uznávaným obchodem pro hrubý granulát z odpadů pneumatik.

Kobercové podložky

Zabudování drtě z pneumatik do kobercových podložek reprezentuje jeden z mnoha užití pneudrtě v UK a množství pro téměř 25% UK produkce. Podložky pro koberce v obchodní a těžké aplikaci zahrnují 92% recyklované pneudrtě a 8% SBR gumy při výrobě.

Drt' staré gumy (granulát) s termoplastickými pojidly

Zavlažovací hadice

Jedinečnou technologií pro granulát a termoplastický odpad jsou porézní zavlažovací hadice (také známé jako „soaker hose“).

Tyto hadice jsou obvykle složeny z 70% gumové drtě (30 mesh) a 30 % polyetyleny. Hadice je vyráběna profilovým vytlačováním a vlastně se využívá neslučitelnost mezi gumovou drtí a polyetylenem. Díky oběma mezifázovým smáčením gumové drtě a odpařování olejového změkčovadla v gumě jsou vytvářeny pory v okamžiku kdy je tato směs vytlačována obvyklým vytlačováním trubek. Těkání vytváří průduchy které zapříčiňují labyrint chodbiček uvnitř stěn hadice. Přes jejich porezní charakter, mají tyto hadice vysokou strukturní integritu a mohou odolávat rozkladu působením půdy.

Drenážní systémy

Z odpadů pneumatik je proveden podzemní drenážní systém pro golfové hřiště a rekreační areály.

Mulčovací rohože

Díky porositě jsou některé lepené gumové výrobky propustné pro vzduch a vodu. To jim otvírá použití jako mulčovací rohože, které dovolují vzduchu, vodě a živinám pronikat do půdy, zatímco efektivně blokují růst plevelů a trávě. Tyto rohože jsou vyrobeny z prachové drtě a speciálního pojiva, kterým je formován dát houževnatou, pružnou rohož, která musí odolat mechanickému působení sekaček a ostřihovačů okrajů. Tyto rohože jsou obecně 25 mm silné a tvarově kruhová s dírou ve středu k umístění kmenů. Mají přírodní texturu, mohou být barveny na přibližně přírodní kůru a chrání mladé stromky ochranou před poškozením ořezávačem okrajů. Tyto výrobky mohou být také vytvořeny do odřezků pro užití pod ploty a svodidla tak snižují náklady na plení.

Zvukové izolační bariery

Směsice granulátu a polyetyleny může být použita jako zvukový tlumící panel vedle dálnic. Takové namíchání gumové drtě a polyetyleny je odolné proti graffiti způsobené odpařováním oleje užitého k obohacení gumy. Tento aspekt, kombinovaný s vlastností absorpce zvuku činí takové směsi tím ideálním pro bariery podél dálnic. Navíc granulát pneumatik má výbornou oxidační a UV stabilitu k polyetyleny. Úroveň gumové drtě nižší než 10% dává stabilitu až 5x delší než tradiční stabilizovaný PE. Toto je díky vysoké úrovni antioxidantů užívaných v autopneumatikách. Vzhledem k této vysoké stabilitě, směs granulátu a recyklovaného PE by mohla být velmi vhodně využita ve venkovním využití takovém jako střešní krytina.

Gumová drážkovaná krytina.

Pružná gumová podlahová krytina je vyrobena z odpadních pneumatik a odpadních plastů mnoha společnostmi. Tyto dlaždice jsou užívány v obchodech a podnicích pro jejich protišlipové a protiskluzové charakteristiky.

Dlaždice pro stáje

Stájové dlaždice vyrobeny s recyklovaného granulátu a propylenu jsou cenově efektivní cestou snížení rizika řezných ran a pohmožděnin domácích zvířat ve stodolách s betonovou podlahou. Dalšími výhodami je že dlaždice působí jako izolační medium a dovoluje 50% snížení množství požadovaného steliva (sláma, seno). Izolační vlastnosti dlaždic snižují dopad reumatických nemocí dobytka v chladném prostředí. Bylo také doporučeno, že dojnice ustájené na těchto dlaždicích mají zvýšenou produkci mléka. Dlaždice pro dobytek by měly mít rýhovanou rubovou stranu ke snížení vlhkosti a přístupnosti provzdušňování. Takové dlaždice jsou vyráběny přímo horkým tvarováním recyklované pneudrtě. Prášková síra je dodávána hlavně kvůli ke zvýšení spojitelnosti. Taková aplikace spojení gumy může spotřebovat významné množství granulátu gumy.

Využití v civilním inženýrství

Oba druhy tj. celé pneumatiky a přírodní granulát našly využití v málo technologických a civilních inženýrských aplikacích. Civilní inženýrské aplikace zahrnují užití odpadových pneumatik k náhradě běžných konstrukčních materiálů (jako štěrk, písek, silnice nebo násyp silnic). Nejjednodušší užití celých pneumatik je v prevenci půdní eroze a ke stabilizaci hrází.

Umělé útesy

Odpadové pneumatiky mohou být využity k vytváření umělých útesů, které slouží jako prostředí pro ryby. Nicméně nejsou dostatečné výzkumy vlivu výluhu z pneumatik ponořených dlouhodobě ve slané vodě. Kromě toho, takové pneuútesy, jestliže jsou špatně konstruované na místech v nevhodných oblastech, mohou časem zkolabovat jako výsledek vlivů slapových a bouřkových, podvodních vírů až do „virtuální složiště“ s malým nebo žádným významem prostředí pro ryby.

Přístaviště

Celé odpadní pneumatiky mohou být užívány jako plovoucí podpěry pro konstrukce privátních nebo obchodních přístavišť. Pneumatiky jsou plněny polystyrenovou pěnou, která zajišťuje nadnášení, zatímco povrch pneumatiky ochraňuje polystyren od poškození vyvolaným zvětráváním a odíráním.

Povrch sportovišť

Štípané, bez drátkové pneumatiky mají vynikající povrchy nízko-dopadové pro sportoviště a v jezdeckých areálech ke snížení poranění. Ve skutečnosti takové systémy vyrobené úplně z odpadu pneumatik mají vyšší úroveň šokového zeslabení než jakékoliv jiné materiály. Jsou dostupné nejvypracovanější povrchy sportovišť, umístěných na recyklovaných pneumatikách obsahující 6 palcovou vrstvu šedrovaných pneumatik krytých pletenou polyetylenovou látkou a vrch chráněný štěrkem o velikosti hrášku. Tento systém, řečeno jednoduše, snižuje zranění na sportovištích.

Ošetřené povrchy dostihových areálů

Gumový granulát může být použit jako povrch dostihovišť. Úprava povrchu, založena na čistém gumovém granulátu je osetím překrytím trávou k ochraně koruny dostihoviště, oblast při základní úrovni kde stébla trávy rostou. Částičky gumy, překvapivě, neklesají do půdy a tak zajišťují ochranu z provozu chůze a abrase. Protože granulát gumy je usazen nad linií zeminy tak snižuje poškozování travní stébel z abrasivního působení písku, a tak prodlužuje životnost dostihoviště. V areálech hustého pěšího provozu takových jako golfové hřiště, je tak tráva ochraňována proti opotřebení. Guma také nakypřuje zeminu, dovoluje kořenům zarůst hlouběji a vodě prosakovat dolů. Částičky gumy také pomáhají ve stabilizaci půdy a mohou pomáhat s odvodňováním v parkových areálech vystaveným těžkým deštům.

Zpevňování svahů a hráz silnic

Částečky pneumatik jsou užívány ke stabilizaci hrází a v konstrukcích základů silničních nájezdů. Základy nájezdů (ramp) obsahovaly směs 60:40 částeček pneumatik a zeminy, překryto 1,5 m čisté zeminy. Je odhadováno že je potřeba 140 000 ks pneumatik pro jednoduché mimoúrovňové křižovatky dálnic. Odpad částeček (chips) pneumatik mohou být také užívány jako povrchní (lehká) náplň pro stabilizaci svahu a jako zádržná zeď základů ke snížení horizontálního tlaku. Nicméně, příhoda ve státě Washington, postavila precedenc proti tomuto použití. Příklad zahrnuje 2 miliony pneumatik, které byly použity jako násep v oblasti hor. Reakce vlhkosti v půdě s ocelovými drátky v pneumatikách vyvolaly exotermní korozní proces. Vrstající teplo přešlo do nekontrolovatelného pyrolyzního procesu. Vznikající plyny způsobily požár a pyrolýzou vzniklé oleje znečistily rozsáhlou zeminu. Ohně se kterými se setkáváme s odpadem pneu v technických aplikacích jsou spojeny s silnou vrstvou kousků pneu (tloušťka 9-15m), ke které slabá vrstva zeminy tak nezabrání přístupu kyslíku. Nová doporučení jak zabránit takovým požárům pneu zahrnuje lože pneu méně než 1,5 m tloušťky, 1,2 m minerální půdní obal a větší kousky šrédrované pneumatiky (100 mm x 100 mm). Bylo zjištěno, že užitím automobilových pneu je prospěšné k zamezení velkých zmrazků a výmolů na silnicích náchylných na mráz. Pneumatiky, ve formě třípalcových kousků jsou roztaženy na silniční lože ve vrstvě silné šest až dvanáct palců a pak vrstva mezi 12 až 24 palci šterkové půdy. Pneumatiky působí jako izolační vrstva zabráňující mrazu pronikat do půdy pod silniční lože a který způsobuje zvedání silnice. Bylo zjištěno, při absenci izolační vrstvy pneumatik, že mráz pronikal pět stop do půdní báze, během zimy, a způsoboval zvednutí silnice k 6 palcům. Významně, během jarních tání, úseky silnic bez izolační vrstvy vykazují vyježděné koleje, zatímco přilehlé úseky silnice s izolační vrstvou obstály. Užití kousků pneumatik v této aplikaci pro zabránění vzdouvání na silnici, se potřebuje přibližně 100 000 pneu na míli. Ve srovnání, užití granulátu pneu v asfaltu jako modifikátor je běžné užití pouze 1000 – 2500 pneu na míli. Je důležité poznamenat že dva roky po zkoušce nebyla nalezena žádná kontaminace nebo výluh z pneumatik

Pryžovaný asfalt

Drť ze staré gumy (granulát) může být dodáván do asfaltu (při zátěži do 20 váh.%) při konstrukcích cest a dálnic. Toto využití nebylo původně vymyšleno jako odbytiště pro spotřebování odpadu pneumatik, ale spíše ke zvýšení vlastností asfaltu a k dosažení vlastností srovnatelných k vysoké kvalitě asfaltu, který obsahuje přírodní elastomery. Prospěchy užitím dodávaného recyklovaného granulátu do asfaltu zahrnují snížení v náchylnosti praskání povrchu silnice (zvláště za chladného počasí), zvýšení trvanlivosti silnic, vysokou nepropustnost vody a zlepšení udržení kamení. Pryžovaný asfalt je vyžadován konečně v průměru pro svůj o několik let delší životnost než tradiční asfaltové směsi. Celkové výhody užívání gumou modifikovaný asfalt je zlepšení životnosti silnic mezi 150 – 300 %. Jiné výhody zahrnují redukcii hluku, zeslabování provozních vibrací, snížení odporu k vytváření vyjetých kolejí a tepelnému praskání a lepší protínámrazové vlastnosti. Avšak užití granulátu gumy je drahé, dodání dalších 50- 100% je stejně drahé jako asfalt. Nadto, začlenění granulátu do asfaltu činí zacházení asfaltovou směsí těžší (stává se lepivým) a zvyšuje dobu aplikace. Recyklované gumový granulát může být užíván jako část asfaltové směsi, asfaltový koberec, povrchový izolační postřík nebo jako součást ve spojích a prasklinách.

Gumou upravený beton

Mleté pneumatiky by mohly být smíchány s betonem k výrobku stavebního materiálu známého jako „Rubcrete“. Směs obsahující 10% mletých pneumatik se ukázal jako adekvátní silou a tuhostí k náhradě tradičního betonu v překrytí mostů, chodníků, zvukových bariér a dálničních přemostění. Užití stavebního inženýrství pro odpad pneumatik ještě čelí překážce očekávané k nejasnému dlouhému termínu environmentálnímu hledisku (např. znepokojení s loužitelností) a nedostatku ve specifikaci velikosti gumy.

Regenerace a devulkanizace

Regenerace a devulkanizace umožňuje přeměnu vulkanizované gumy do nových směsí gumy, které mohou být složeny, zpracovány a revulkanizovány více jako přírodní guma, do relativně vysoce kvalitních polymerů. Regenerace a devulkanizace jsou příbuzné, ale zcela zvláštními postupy. Obecně, výsledky regenerace ve štěpení nebo zlomení dlouhého polymerního řetězce produkuje gumu nižší molekulární hmotnosti zatímco devulkanizované cíle příčných vazeb ve vulkanizované gumě (C-S a S-S spojení), které jsou čištěny tak, že guma může být protektorována. Tradičně, molekuly gumy a příčné vazby byly rozbity katalyticky urychlenou oxidací gumy při vyšších teplotách. Dnes, jsou běžně používány diarylsulfidové katalyzátory takové jako AKIPLAST 6, který dovoluje gumě regeneraci při nižších teplotách a při rychlejší míře minimalizace degradace.

Regenerace SBR je velmi obtížná, přičítá se to cyklizaci polymerního řetězce, který se vyskytuje během termomechanických zhroucení. Této cyklizační reakci musí být zabráněno, protože to vede k výrobě aromatických sloučenin takových jako je benzen a toluen. Toto je důvod proč raný regenerační průmysl gumy měl špatnou pověst s ohledem k environmentálním znečištěním. Nově, rozvoj regeneračního katalyzátoru jako je AKIPLAST 6 snižuje výskyt cyklizačních reakcí a také zkracují dobu regeneračních operací.

Pánvový proces

Pánvový proces je nejstarší regenerační metodou a je založena na zahřátí granulátu při teplotě v rozsahu 150-180°C za přítomnosti nasycené páry, regenerátu a katalyzátoru. Pro pracovní proces je rovněž nutná přítomnost kyslíku. Výsledkem šetrného postupu v kvalitnějších vlastnostech regenerátu se přičítají nižšímu obsahu tepelně degradovaným materiálům.

V pánvovém procesu, regenerát a katalyzátor jsou přidány k základní gumovému granulátu (10 mesh) a směs je po dobu 12 hodin nabobtnávána. Je důležité aby katalyzátor byl rovnoměrně dodáván do granulátu. Materiál je pak rozvrstven do vrstvy 2-3 mm silné do pánve (také známé jako truhlice nebo loď) k umožnění přístupu kyslíku k penetrátu. Přihrádky jsou v autoklávu při tlaku 8 – 9 bar v atmosféře vzduch/pára při teplotě dosahující 190°C. Tyto podmínky jsou udržovány po dobu 3 – 5 hod. Nejprpracnější a nejdražší částí pánvového procesu je scezování a rafinace hněteného kaučukového odpadu.

Digestorový postup

Digestorový postup zahrnuje regeneraci gumového granulátu v kondenzační nádobě vybavené lopatkovým agitátorem, který průběžně míchá granulát gumy, zatímco je používána pára. Existují dvě

varianty tohoto procesu:

- a) mokrý proces využívá zásaditou vodu (roztok NaOH) je smíchán s granulátem
- b) suchý proces využívá pouze páru

Suchý proces je preferován protože vyrábí méně odpadní vody. SBR guma a NR guma se chová odlišně v těchto regeneračních reaktorech; v případě NR molekulová hmotnost se snižuje a plasticita snižuje s časem zatímco v SBR příčné vazby se štěpí a příčné-spojování jsou konkurenční tak, že plasticita kolísá s časem. Regenerovaná guma se obecně jeví pevnější po tvarování, snižuje se odolnost proti přetržení a menší únavové vlastnosti než přírodní guma. Dále ještě, od té doby guma je obvykle regenerována vsádkově v autoklávech, výrobky jsou získávány s vysokým stupněm variací dávkování.

Chemická devulkanizace

Chemické devulkanizační metody jsou popsány k odpojení sulfidické vazby ve vulkanizované gumě při středních teplotách využitím Sekhar-Kormer-Sotnikovovy (SKS) reakce. Toto je mechanicko-chemická reakce zapojující vlastní reaktant, který má rozštípnout sírové vazby v gumě dovolující výsledné sloučenině být revulkanizována bez dodávání vulkanizačních přípravků. Tento postup je znám jako De-Link proces. Na obr. je znázorněn SKS reakce vedoucí k rozpojení sulfidických článků a pak na následující vytváření, reformování příčné vazby s nižším počtem atomů síry. Vytvořená guma tímto procesem pak vykazuje charakteristiky takové jako : (1) zvýšený reversní odpor, (2) nižší trvalou deformaci, (3) vyšší pružnost, (4) nižší valivý odpor. Tento postup snižuje pevnost v tahu protektorované pneumatiky ale ta zůstává na přijatelných hodnotách. Např. přírodní vulkanizovaná guma s pevností v tahu 25-28 MPa vykazuje pevnost 16-18 MPa po De-Link procesu. Recyklovaný materiál obchodně známý jako De-Vulc dává 50-85% vlastností původní gumy. (obr). Tab porovnává fyzikální vlastnosti De-Vulc s přírodní gumou složky běhounu. De-Vulc může být dodáván k přírodním kouskům gumy nebo může být revulkanizován konvenčně bez dodání vulkanizačních přípravků.

Výhody chemické devulkanizace

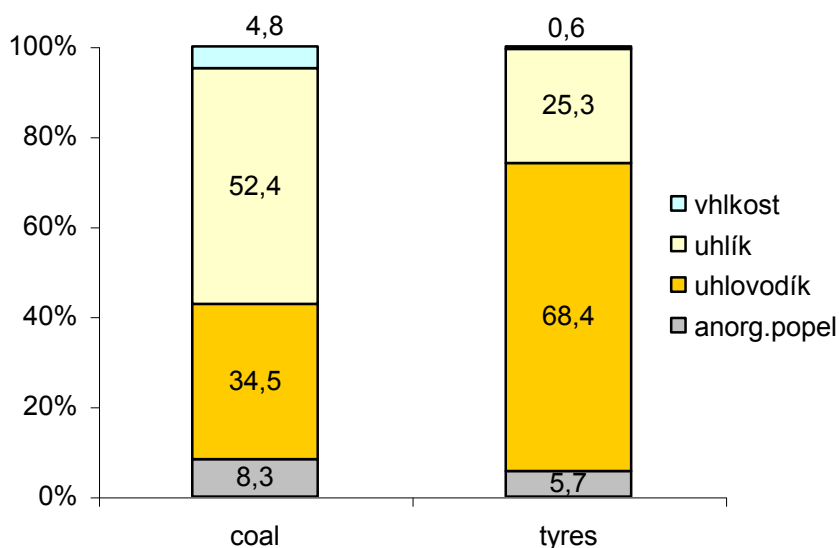
Guma vyrobená z chemicky devulkanizované pryže má nižší stlačitelnost a vyšší . Má mít také údajně menší průraz a dobu na míchání, proto potřebné kratší míchání, kalandrování a průtlačné teploty, vlastní zlepšenou lepivost při konfekci a pevnost po lisování a snižující bobtnání a úbytek během vytlačování.

Omezení chemické devulkanizace

Existují omezení, která limitují širokou aplikaci devulkanizace. Za prvé , devulkanizace není opravdově obrácení zesíťování, ale spíše výsledky v degradaci 30-70% struktury gumy, která je doprovázena snížením mechanických vlastností takových jako pevnosti v tahu. Toto brání její aplikaci ve vysoce-technologické aplikaci takové jako pneumatiky. Dodatečně , opravdové recyklování vulkanizovaných gumových produktů přes devulkanizaci není životaschopné ve výrobcích takových jako pneumatiky které obsahují čtyři nebo pět rozdílných gumových výrobků , chemickou úpravu granulátu rozdílné komponenty (obal, blok profilu, bočnice pneu, žebro pneu) pneumatiky.

Pneu jako palivo (TDF)

Automobilové pneumatiky mají znamenitě nízkou emisi, vysokou výhřevnost paliva dobrou vlastností jejich vysokému uhlovodíku k fixovanému poměru uhlíku a nízký popel. Pneumatiky mají hodnotu výhřevnosti nějakých 30% vyšší než uhlí – nahradí hlavní palivo v cementářských pecích, průmyslových kotlích a výrobě elektrických zařízení. Dále ještě jsou řazeny jako obsahově nízkosíranové medium a vysoce kalorický obsah.



Pneumatiky, jakkoliv, jsou obtížně efektivně zapalitelné protože jeví vysoký poměr uvolněného tepla které způsobují rychlou těkavost uhlovodíků. Opomenutí zpřístupnění stálé a odpovídající dodávky vzduchu, k zabezpečení úplnému spalování vyvinutých prchavých látek, může vyrobí bohaté množství dýmu a sazí. Přes bohatou generaci černého dýmu, který je výsledkem neúplného spalování pneumatik, jsou výsledky jejich zpopelnění při kontrolovaných podmínkách vlastně v celkovém snížení emisí ve srovnání s uhlím. Např. SO_x , NO_x a emise jsou sníženy jestliže pneumatiky jsou užívány na místě samotného uhlí. Toto bylo potvrzeno rozsáhlým testováním v US a Evropě. Navíc, spalovny pneumatik operujících při 1300°C , jsou bez dioximů.

Spalovny pneumatik v Německu potvrzují k Německu emise továrních komínů regulované k SO_2 , NO_2 a emisní úroveň 200, 50 a $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Je zajímavé k poznámce, že emise obsahující síru jsou relativně nízké, přes fakt, že pneumatiky obsahují přibližně 2 hm.% síry jako část satému vulkanizace. Je ověřeno, že hlavní zbytky síry jsou v popelu jako sulfáty vápníku nebo zinku.

Složení typické osobní pneumatiky (hm.%) je :

Syntetická guma	27%
Saze	28%
Přírodní guma	14%
Nastavující olej	10%
Organické látky	4%
Ocelový drát (výztuha)	10%
Jiné ropné deriváty	4%
Plnidla ($\text{S} \cdot \text{ZnO}$, TiO_2 aj) ...	3%

S výjimkou anorganických plnidel, všechny komponenty pneumatik jsou spalitelné se

získaným vysokým teplem. Pouze anorganiky, jejichž obsah je 3 hm.% v pneumatice, zůstávají jako zbytky po zpopelnění. Ocel v pneumatice oxiduje při vysoké teplotě a produkuje $8,1 \times 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Každá odpadová pneumatika obsahuje palivo ekvivalentní 9,5 litru oleje ($3,4 \cdot 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Během zpopelnění, pneumatiky dávají znatelně méně prchavých složek oproti uhlí protože je zvýšená těkavost pneumatik ve srovnání s uhlím. Emise chloru jsou také velmi nízké protože pneumatiky neobsahují žádné sloučeniny chloru. Spalování pneumatik vyžaduje pečlivou kontrolu spalování a výchozích produktů. Velikost drtě gumy a poměru palivo-vzduch jsou kritickými parametry které ovlivňují úroveň emisí (zvláště oxidu uhelnatého).

Palivo pro cementářské pece

Pneumatiky mohou být užívány jako dávkování do 20% požadovaného celkového paliva (obvykle uhlí) v cementářských pecích. Sušárny užívány ve výrobě Portlandského cementu pracují při cca 1480°C a celé pneumatiky mohou být přidávány buď na dno předehřívače právě před rotační část pece nebo před kalcinační zonu rotační pece. Teplo vyvinuté z hořících pneumatik je prospěšné v podpoření kalcinační reakce. Hlavní výhodou užití TDF v cementářských pecích je že zde žádné pevné odpady nejsou nutné k odstranění od popele (Fe_2O_3 , ZnO , TiO_2) se vážou do klinkru který je pak smíchán se sádkou a přidáván do Portlandského cementu. Ocel z pneumatik je pak převedena do oxidu železa který se stane být jedním ze surovin ve výrobě cementu. Dále ještě, užitím TDF je zvyšována kvalita cementu, je dosažen tvrdší cement a je zvyšována produktivita jako následek uvedení paliva do sekce pece kde teplo nejprospěšnější. Hodně z obsahu síry pneumatik je neutralizováno vápencem (jeden ze surovin ve výrobě cementu) za tvorby síranu vápenatého. Užití TDF v cementářských pecích je plánováno k provedení rychlé redukce oxidu uhličitého, oxidu siřičitého a oxidu dusíku kdy srovnáváme s uhlím obsahujícím 2,5% síry. Pneumatiky mají také nízkou vlhkost ($<1\%$) která je výhodnější od vlhkosti v procesu výroby cementu je nevhodný jako vyšší spotřebitel energie k odstranění z pece. Zatímco, to bylo původně obtížné a pracné dávkovat celé pneumatiky do rotační pece, ekonomické, bylo technicky řešené automatické zařízení které pod podají dvě nebo tři staré pneumatiky pro aždou otáčku cementářské pece. Toto zajistí trvale rychlost podávání a stabilnější pochody v peci. Takový systém je nyní v širokém užívání a v současné době okolo 60% cementářských pecí spalující TDF užívá celých pneumatik. Celkově, se palivo cementářských pecí zvyšovalo v nedávných letech. Cementářské pece, jakkoliv, nemohou užít výlučně pneumatiky nebo vskutku více než 25% TDF, protože pneumatiky obsahují zinek. Vyšší obsah zinku v cementu, čím vyšší tím déle cement tvrdne. Ještě jeden faktor limitující množství pneumatik které výrobci cementu mohou využívat je transport. Jestliže pneumatiky jsou nedostupné v okolí 300 km od cementářské pece, transportní náklady činí proces neekonomickým. I když existují redukční technologie pro redukci objemu užívaných pneumatik, náklady na šредrování jsou rovněž vysoké.

Slévárny železa

Užití pneumatik ve slévárnách železa má velký potenciál. Jako v cementářských pecích, ocel v pneumatikách dávají jednu surovinu pro slévarenské pochody. Toto jako dočasné řešení do té doby než doložitelné trhy mohou být rozvinuty pro fyzikálně recyklovanou a regenerovanou gumu.

Pyrolýza

Pyrolýza zahrnuje tepelnou destilaci odpadové pneumatiky do sazí a pyrolytického oleje. Olej může být používán jako výchozí produkt pro rafinační procesy jako ať to byla přírodní surovina, ačkoli obsahuje podstatné nečistoty. Pyrolýza je prováděna při teplotě v rozsahu 650 – 900°C bez přístupu kyslíku. Celé pneumatiky s průměrnou váhou 20 kg mohou být vždy kompletně pyrolyzovány. Pyrolyzní reakce také produkují zápalné plyny které mohou být užívány k vytápění pyrolyzního reaktoru tak že, žádná dodatečná energie není požadována k udržování pyrolýzy. Typický produkt pyrolýzy (hm.%) z odpadu pneumatik zahrnuje :

Plyn	15-20%
Olej	20-30%
Voda	5-10%
Uhlík	30-40%
Ocelový kord	5-20%

Jak je diskutováno, je pozoruhodné že úroveň hydrogensulfidu v pyrolyzních plynech je obsaženo níže která obsahuje pneumatiky 2%. Již v roce 1975, Goodyear rozvinutý podnik se společnou účastí TOSCO vyvinout příslušenství pro pyrolýsu pneumatik. Bylo to technickým úspěchem ať ekonomicky nevýhodné. Plyn vytvořený v procesu byl zužitkován k vytápění provozu zatímco druhořadý pyrolytický olej byl prodejný pouze jako surový olej míchaný materiál. Nešťastně, uhlíková černě-zuhelnatělá frakce nebyla akceptovatelná pro výrobu pneumatik neboť obsahovala 20% popele. Trhy jsou ještě být rozvinuty pro vedlejší produkt pyrolýzy pneumatik jako Kvalita sazí nyní je nízká protože obsahují anorganická plnidla Z pneumatik (oxid zinku, estery kyseliny uhličitě a křemičitany) a že komponent uhlíku je tvořen směsí sazí (do 10 různých sazí je přítomno v typické osobní pneumatice). Rafinační postupy jsou rozvinuty ke zvýšení kvality sazí. Saze mohou být užity jako náplň v nízké až průměrném stupni aplikace a jako modifikátor v asfaltové střešní lepence. To může být také užíváno jako částečná náhrada pro nízké-posilující stupně sazí v gumě.

Pyrolytický olej je dosti vysoká kvalita být zpětná vsázka do rafinačních procesů pro výrobu petroleje, naftových nebo mazacích olejů. Pyrolytický olej obsahuje vysokou úroveň aromatických uhlovodíků- benzen, toluen a xylen. Z toho důvodu. Olej je zván BTX a je prodáván do chemických a plastikářských továren. Jakkoli, protože olej je zvláště bohatý na benzen a toluen, separece těchto z olejů alifatických uhlovodíkových složek vyžaduje drahou destilaci.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [1] FILIP, J. a kol. Odpadové hospodářství. Brno, 2002, 116s. ISBN 80-7157-608-5
- [2] JUCHELKOVÁ, D. Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi. Vysoká škola báňská, Ostrava 2005 - 98 s. ISBN 80-248-0753-X
- [3] SLIVKA, V., DIRNER, V., KURAŠ, M. Odpadové hospodářství 2. VŠB-TU Ostrava, 2007, 179 s. ISBN 978-80-248-1645-6 (brož).



Shrnutí pojmů kapitoly

Pneumatiky

Výroba pneumatik

Recyklace pneumatik



Otázky k probranému učivu

1. Jak se vyrábějí pneumatiky?
2. Materiál pro výrobu pneumatik?
3. Typy pneumatik a jejich recyklace.

2.2. Legislativa v oblasti životního prostředí: zákony, nařízení vlády, vyhlášky.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování této podkapitoly budete umět

- definovat základní legislativní opatření pro životní prostředí
- popsat základní zákony v oblasti životního prostředí



Výklad

❑ Základní legislativa pro oblast životního prostředí

- Zákon 17/1992 Sb., o životním prostředí ve znění zákona 123/1998 Sb.
- Zákon 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění zákona č. 132/2000 Sb.
- Zákon 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí, ve znění zákona 132/2000 Sb.
- 388/1991 Sb., Zákon ČNR o Státním fondu životního prostředí
- 282/1991 Sb., Zákon o České inspekci životního prostředí a její působnosti v ochraně lesa
- 106/1999 Sb., Zákon o svobodném přístupu k informacím
- 100/2001 Sb., Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění zákona č. 93/2004 Sb., zákona č. 163/2006 Sb. a zákona č. 186/2006 Sb
- 86/2002 Sb., Úplné znění zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) ve znění pozdějších předpisů

- 483/2008 Sb., Zákon, kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů
- 695/2004 Sb., Zákon o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů a o změně některých zákonů.

Nařízení vlády

- 112/2004 Sb., Nařízení vlády o Národním programu snižování emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku ze stávajících zvláště velkých spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 117/2005 Sb., Nařízení vlády o některých opatřeních zabezpečujících ochranu ozonové vrstvy
- 146/2007 Sb., Nařízení vlády o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 206/2006 Sb., Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu
- 351/2002 Sb., Nařízení vlády, kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí, ve znění nařízení vlády č. 417/2003 Sb.
- 352/2002 Sb., Nařízení vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 354/2002 Sb., Nařízení vlády, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu, ve znění nařízení vlády č. 206/2006 Sb.
- 417/2003 Sb., Návrh nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 351/2002 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí
- 597/2006 Sb., Nařízení vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší
- 615/2006 Sb., Nařízení vlády o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 315/2005 Sb., Nařízení vlády o Národním alokačním plánu pro obchodovací období roků 2008 – 2012.

Vyhlášky

- 355/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu
- 356/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování, ve znění vyhlášky 363/2006 Sb. a vyhlášky č. 570/2006 Sb.
- 357/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší

- 362/2006 Sb., Vyhláška o způsobu stanovení koncentrace pachových látek, přípustné míry obtěžování zápachem a způsobu jejího zjišťování
- 363/2006 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb., kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování
- 455/2006 Sb., Vyhláška o stanovení požadavků na kvalitu paliv používaných pro vnitrozemská a námořní plavidla z hlediska ochrany ovzduší
- 509/2005 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 355/2002 Sb., kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu.
- 553/2002 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví hodnoty zvláštních imisních limitů znečišťujících látek, ústřední regulační řád a způsob jeho provozování včetně seznamu stacionárních zdrojů podléhajících regulaci, zásady pro vypracování a provozování krajských a místních regulačních řádů a způsob a rozsah zpřístupňování informací o úrovni znečištění ovzduší veřejnosti
- 570/2006 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb., kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování
- 12/2009 Sb., Vyhláška o stanovení postupu zjišťování, vykazování a ověřování množství emisí skleníkových plynů a formuláře žádosti o vydání povolení k emisím skleníkových plynů
- 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší
- 351/2002 Sb., ve znění nařízení vlády č. 417/2003 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy
- 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 353/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu
- 117/2005 Sb., o některých opatřeních zabezpečujících ochranu ozonové vrstvy

K nejdůležitějším zákonům v oblasti životního prostředí patří Zákon č. 17/1992 Sb. se změnami: 123/1998 Sb., 100/2001 Sb., který vymezuje a definuje základní zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů.

§ 1 Účel zákona

Zákon vymezuje základní pojmy a stanoví základní zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů; vychází přitom z principu trvale udržitelného rozvoje.

§ 2 Životní prostředí

Životním prostředím je vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.

§ 3 Ekosystém

Ekosystém je funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací a které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase.

§ 4 Ekologická stabilita

Ekologická stabilita je schopnost ekosystému vyrovnávat změny způsobené vnějšími činiteli a zachovávat své přirozené vlastnosti a funkce.

§ 5 Únosné zatížení území

Únosné zatížení území je takové zatížení území lidskou činností, při kterém nedochází k poškozování životního prostředí, zejména jeho složek, funkcí ekosystémů nebo ekologické stability.

§ 6 Trvale udržitelný rozvoj

Trvale udržitelný rozvoj společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů.

§ 7 Přírodní zdroje

(1) Přírodní zdroje jsou ty části živé nebo neživé přírody, které člověk využívá nebo může využívat k uspokojování svých potřeb.

(2) Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.

§ 8 Znečišťování a poškozování životního prostředí

(1) Znečišťování životního prostředí je vnášení takových fyzikálních, chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí v důsledku lidské činnosti, které jsou svou podstatou nebo množstvím cizorodé pro dané prostředí.

(2) Poškozování životního prostředí je zhoršování jeho stavu znečišťováním nebo jinou lidskou činností nad míru stanovenou zvláštními předpisy.

§ 9 Ochrana životního prostředí

Ochrana životního prostředí zahrnuje činnosti, jimiž se předchází znečišťování nebo poškozování životního prostředí, nebo se toto znečišťování nebo poškozování omezuje a odstraňuje. Zahrnuje ochranu jeho jednotlivých složek, druhů organismů nebo konkrétních ekosystémů a jejich vzájemných vazeb, ale i ochranu životního prostředí jako celku.

§ 10 Ekologická újma

Ekologická újma je ztráta nebo oslabení přirozených funkcí ekosystémů, vznikající poškozením jejich složek nebo narušením vnitřních vazeb a procesů v důsledku lidské činnosti.

§ 11 Zásady ochrany životního prostředí

Území nesmí být zatěžováno lidskou činností nad míru únosného zatížení.

§ 12

(1) Přípustnou míru znečišťování životního prostředí určují mezní hodnoty stanovené zvláštními předpisy; tyto hodnoty se stanoví v souladu s dosaženým stavem poznání tak, aby nebylo

ohrožováno zdraví lidí a aby nebyly ohrožovány další živé organismy a ostatní složky životního prostředí.

(2) Mezní hodnoty musejí být stanoveny s přihlédnutím k možnému kumulativnímu působení nebo spolupůsobení znečišťujících látek a činností.

§ 13

Lze-li se zřetelem ke všem okolnostem předpokládat, že hrozí nebezpečí nevratného nebo závažného poškození životního prostředí, nesmí být pochybnost o tom, že k takovému poškození skutečně dojde, důvodem pro odklad opatření, jež mají poškození zabránit.

§ 14 zrušen

§ 15

Každý se může stanoveným způsobem domáhat u příslušného orgánu svých práv vyplývajících z tohoto zákona a dalších předpisů upravujících věci životního prostředí.

Povinnosti při ochraně životního prostředí

§ 17

(1) Každý je povinen, především opatřeními přímo u zdroje, předcházet znečišťování nebo poškození životního prostředí a minimalizovat nepříznivé důsledky své činnosti na životní prostředí.

(2) Každý, kdo využívá území nebo přírodní zdroje, projektuje, provádí nebo odstraňuje stavby, je povinen takové činnosti provádět jen po zhodnocení jejich vlivů na životní prostředí a zatížení území, a to v rozsahu stanoveném tímto zákonem a zvláštními předpisy.

(3) Každý, kdo hodlá zavést do výroby, oběhu či spotřeby technologie, výrobky a látky, či kdo je hodlá dovážet, je povinen zabezpečit, aby splňovaly podmínky ochrany životního prostředí a aby v případech stanovených tímto zákonem a zvláštními předpisy byly posouzeny z hlediska jejich možných vlivů na životní prostředí.

§ 18

(1) Každý, kdo svou činností znečišťuje nebo poškozuje životní prostředí, nebo kdo využívá přírodní zdroje, je povinen na vlastní náklady zajišťovat sledování tohoto působení a znát jeho možné důsledky.

(2) Právnícké osoby a fyzické osoby oprávněné k podnikání jsou povinny v rozsahu a za podmínek stanovených zvláštními předpisy poskytovat informace o svém působení na životní prostředí.

§ 19

Každý, kdo zjistí, že hrozí poškození životního prostředí, nebo že k němu již došlo, je povinen učinit v mezích svých možností nezbytná opatření k odvrácení hrozby nebo ke zmírnění následků a neprodleně ohlásit tyto skutečnosti orgánu státní správy;

povinnost zasáhnout nemá ten, kdo by tím ohrozil život nebo zdraví své nebo osoby blízké.1)

§ 20 - § 26 zrušen

Odpovědnost za porušení povinností při ochraně životního prostředí

§ 27

(1) Každý, kdo poškozením životního prostředí nebo jiným protiprávním jednáním způsobil ekologickou újmu, je povinen obnovit přirozené funkce narušeného ekosystému nebo jeho části. Není-li to možné nebo z vážných důvodů účelné, je povinen ekologickou újmu nahradit jiným způsobem (náhradní plnění); není-li to možné, je povinen nahradit tuto újmu v

peněžích. Souběh těchto náhrad se nevylučuje. Způsob výpočtu ekologické újmy a další podrobnosti stanoví zvláštní předpis.

- (2) O uložení povinnosti rozhodne příslušný orgán státní správy.
- (3) Oprávněným ze způsobené ekologické újmy je stát; podrobnosti stanoví zákony České národní rady a Slovenské národní rady.
- (4) Pro ekologickou újmu se použijí obecné předpisy o odpovědnosti za škodu a o náhradě škody, pokud odstavce 1 až 3 nestanoví jinak.
- (5) Ustanoveními odstavců 1 až 3 nejsou dotčeny obecné předpisy o odpovědnosti za škodu a o náhradě škody.

Sankce za poškozování životního prostředí

§ 28

(1) Orgány pro životní prostředí uloží pokutu a) až do výše 1 000 000 Kčs právnické nebo fyzické osobě oprávněné k podnikání, která při své činnosti porušením právních předpisů způsobí ekologickou újmu, b) až do výše 500 000 Kčs právnické nebo fyzické osobě oprávněné k podnikání, která neučiní opatření k nápravě nebo neupozorní orgán státní správy (§ 19).

(2) Pokutu lze uložit do jednoho roku ode dne, kdy orgán pro životní prostředí zjistil porušení povinnosti, nejpozději však do tří let ode dne, kdy k porušení povinnosti došlo.

(3) Uložení pokuty nejsou dotčeny obecné předpisy o náhradě škody.

§ 29

Za porušení povinností stanovených zvláštními předpisy o ochraně životního prostředí se ukládají pokuty nebo jiná opatření podle těchto předpisů; tím nejsou dotčeny případná trestní odpovědnost ani odpovědnost za škodu podle obecných právních předpisů.

§ 30

Příslušné orgány státní správy pro životní prostředí jsou oprávněny v případech, kdy hrozí závažné poškození životního prostředí nebo kdy k poškození již došlo, rozhodnout o dočasném zastavení nebo omezení činnosti, která může toto poškození způsobit nebo je již způsobila, na dobu nejdéle 30 dnů (předběžné opatření) a současně navrhnout opatření k nápravě věcně příslušným orgánům státní správy. Podrobnosti stanoví zvláštní předpisy.

Ekonomické nástroje

§ 31

Za znečišťování životního prostředí, případně jeho složek a za hospodářské využívání přírodních zdrojů platí fyzické nebo právnické osoby daně, poplatky, odvody a další platby, stanoví-li tak zvláštní předpisy.

§ 32

Zvláštní předpisy stanoví, kdy mohou být právnické nebo fyzické osoby, které chrání životní prostředí nebo využívají přírodní zdroje v souladu s principem trvale udržitelného rozvoje, zvýhodněny úpravami daní a odvodů nebo poskytováním úvěrů a dotací.

§ 33

Nástroji ochrany životního prostředí jsou také fondy životního prostředí; podrobnosti stanoví zvláštní předpisy.

Ustanovení přechodná a závěrečná

§ 34

- (1) Využívání území, přírodních zdrojů, staveb, technologií, výrobků a látek, které neodpovídá ustanovením tohoto zákona a podmínkám vyplývajícím ze zvláštních předpisů o ochraně jednotlivých složek životního prostředí, musí být uvedeno do souladu s těmito předpisy ve lhůtách jimi stanovených.
- (2) Pokud nebude ve lhůtách stanovených zvláštními předpisy dosaženo souladu podle odstavce 1, musí být činnost omezena nebo zastavena. Rozhodnutí vydají příslušné orgány státní správy. [2]

Česká republika se vstupem do Evropské unie a podpisem významných mezinárodních dokumentů (**Aarhuská úmluva, Protokol o registrech úniků a přenosů znečišťujících látek**) zavázala plnit povinnosti v oblasti životního prostředí, které z těchto mezinárodních aktů vyplývají. Jedná se zejména o shromažďování a šíření informací o životním prostředí, umožnění svobodného přístupu veřejnosti k těmto informacím a tvorbu registru úniků a přenosů znečišťujících látek.

Ke splnění závazků bylo nutné doplnit legislativu v České republice o nové právní nástroje, které výše uvedené procesy umožnily. V únoru 2002 byl přijat zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (zákon o integrované prevenci). Tento zákon založil integrovaný registr znečišťování životního prostředí (IRZ) jako veřejně přístupný informační systém emisí a přenosů znečišťujících látek. Veřejná přístupnost kvalitativně odlišila IRZ od ostatních již provozovaných registrů v oblasti životního prostředí a klade daleko větší požadavky na správu a provoz registru.

Kompetentními orgány v rámci IRZ jsou Ministerstvo životního prostředí (MŽP), Česká inspekce životního prostředí (ČIŽP) a CENIA, česká informační agentura životního prostředí. [3-5]

Změny v právní úpravě IRZ od roku 2008

Od roku 2008 upravuje fungování IRZ (v návaznosti na evropské nařízení č. 166/2006/ES) samostatný právní předpis – zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a změně některých zákonů, a prováděcí nařízení vlády č. 145/2008 Sb., kterým se stanoví seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí. Oba právní předpisy v návaznosti na evropské nařízení o Evropském registru úniků a přenosů znečišťujících látek dotváří rozsah požadovaných údajů ohlašovaných do IRZ od ohlašovacího roku 2009.

Účinné právní předpisy k integrovanému registru znečišťování

- Zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů
- Nařízení vlády č. 145/2008 Sb., kterým se stanoví seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí.
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 166/2006 ze dne 18.ledna 2006, kterým se zřizuje evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek a kterým se mění směrnice Rady 91/689/EHS a 96/61/ES.

3. Radioaktivní odpad

3.1. Charakteristika radioaktivní odpad



Čas ke studiu: 1,5 hodiny



Cíl Po prostudování této kapitoly budete umět

- charakteristika radioaktivního odpadu
- recyklace



Výklad

Recyklace radioaktivních odpadů

Radioaktivním odpadem se rozumí jakýkoliv materiál, pro který se neplánuje žádné další využití a jehož charakter a úroveň radioaktivity jsou takové, že z hlediska radiační bezpečnosti neumožňují jeho bezprostřední rozptýlení do životního prostředí. Jejich likvidace tak přináší celou řadu úskalí a jejich zpracování je ovlivněno řadou faktorů a je nutné tyto materiály likvidovat řízeným skladováním.

Rozdělení zdrojů radioaktivních odpadů:

Ve všech odvětvích, kde se pracuje s radioaktivními látkami (radionuklidy) vznikají radioaktivní odpady. Zdroje těchto odpadů je možno rozdělit na dvě základní skupiny:

První skupinou odpadů obsahující radioaktivní látky jsou tzv. **institucionální odpady**, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu. Mohou to být staré měřicí přístroje a radioaktivní zářiče, znečištěné pracovní oděvy, látky, papír, injekční stříkačky aj. Tyto institucionální odpady jsou na několika stovek výskytů, odhaduje se že v České republice je cca 500 původců těchto institucionálních odpadů.

Druhou skupinou odpadů obsahující radioaktivní látky jsou odpady vznikající v jaderné energetice. Jedná se o všechny plyny, kapaliny a pevné látky a materiály, které přišly při provozu jaderné elektrárny do styku s radionuklidy a samotné vyhořelé jaderné palivo.

Rozdělení radioaktivních odpadů dle aktivity

Podle intensity záření a doby, po kterou se toto záření produkuje je možné rozdělit radioaktivní odpad do tří skupin:

- Nízko aktivní odpad

- Středně aktivní odpad
- Vysoce aktivní odpad

Nízkoaktivní odpad

Nízkoaktivní odpady tvoří asi 90% veškeré produkce radioaktivních odpadů. Jsou tvořeny převážně zbytky z radioaktivních provozů jako jsou kontaminované drtě, kovy, papírové a plastické obaly, nářadí a ochranné oděvy tvoří objemově značnou část radioaktivních odpadů jako celku. Tyto odpady obsahují malé množství radionuklidů a z tohoto důvodu není nutno tyto látky odstíňovat ani chladit a lze je ukládat do povrchových úložišť. Spalitelná část odpadu bývá před uložením zpopelněna. Poločas rozpadu těchto nízkoaktivních odpadů je zhruba 30 let.

Středněaktivní odpad

Za středně aktivní odpad označujeme ten, který nemůže být zařazen do kategorie nízkoaktivního odpadu, ale současně nevyžaduje speciálního zacházení jako s vysoceaktivním odpadem. Při manipulaci přepravě středněaktivního odpadu je nutné stínění, ale uvoňované tělo je malé. Za středněaktivní odpad lze označit především servisní materiály, jako jsou povlaky paliva, konstrukční materiály palivových souborů, nečistoty ve formě kalů, náplně kolon chemické úpravy chladiv, moderátorů, ale i zařízení na úpravu vyhořelého paliva. Některé z těchto odpadů vyžadují trvalé uložení v hlubinném geologickém úložišti, v ostatních případech je možné použít úložiště povrchového typu.

Vysoceaktivní odpad

Vysoce radioaktivní odpad uvolňuje značné množství tepla a proto vyžaduje chlazení a stínění. Více než 90 % tohoto odpadu tvoří vyhořelé palivové články z jaderných elektráren. Ty tvoří zejména tzv. štěpné produkty, vznikající ozářením jaderného paliva v reaktoru. Hlavním nebezpečím vysoce aktivních odpadů je velká koncentrace radioaktivních a extrémně dlouhodobých radionuklidů s poločasem rozpadu 100 tisíc a více let. Je uváděno, že nejnebezpečnější doba je prvních cca 300 let.

Z celkové produkce představují vysoce aktivní odpady poměrně malé procento (asi 1%), ale obsahují 99% veškeré aktivity. Z ekologického hlediska je významné, že tento odpad obsahuje řadu radionuklidů s velmi dlouhým poločasem rozpadu a jeho trvalé uložení musí být zabezpečeno na mnoho tisíc let. Je tedy zřejmé, že trvalé uložení je možné pouze v hlubinném geologickém úložišti s dlouhodobou životností.

Rozdělení dle skupenství

Pevné radioaktivní odpady

Většina pevných provozních odpadů patří mezi nízko nebo středně aktivní odpady. Patří mezi ně mimo institucionální odpady patří vzduchotechnické filtry, odpad ze sběrných míst při opravách a údržbě (kovy, izolační a těsnicí materiály). Malá část pevných odpadů souvisí s provozem reaktoru a přímo v něm vznikají (termočlánky, neutronová čidla, kazety svědečných vzorků) případně jsou v jeho blízkosti (ionozační komory) a samozřejmě vlastní produkty vznikající ozářením jaderného paliva.

Kapalné radioaktivní odpady

Tyto odpady souvisí s chladicími procesy v prostoru elektrárny. Tyto technologické a odpadní vody jsou z kontrolovaného pásma podle povahy a obsahu radioaktivních látek jímány odděleně a následně čištěny.

Plynné radioaktivní odpady

Největší část těchto odpadů vzniká z primárního okruhu a je odváděna odplynováním přes čisticí filtry do ventilačního komína. Menší část plynných odpadů vzniká odpařováním kapalných odpadů. V budovách aktivních pomocných provozů vzniká plynný odpad v odpadkách.

Zneškodňování radioaktivních odpadů

Počáteční fáze palivového cyklu, tj. těžba a úprava uranové rudy, obohacování paliva a následná výroba palivových článků jsou již technicky zdokonaleny a bezpečně zvládnuty v rozsáhlém průmyslovém měřítku. Úprava a zpracování radioaktivních odpadů závisí na jejich typu a skupenství odpadů. Většina radioaktivních odpadů musí být před konečným uložením zpracována, při čemž jeho podstata spočívá v imobilizaci radionuklidů a minimalizaci objemu vzniklého produktu zpracování včetně uzavření do vhodných obalů, tak aby nedošlo do budoucna k jejich poškození.

Plynné radioaktivní odpady

Plynné radioaktivní produkty, s výjimkou radonu vznikajícího rozpadem radia, nejsou zdrojem významnějších problémů. Plynné odpady jsou odváděny do vzduchotechnického systému na tzv. zpožďovací kolony. Jsou to sorpční kolony, jejichž účelem je zpomalit průchod radioaktivních plynů tak, aby jejich radioaktivita poklesla pod povolenou aktivitu plynných výpustí ředěním ve ventilačních komínech. Veškeré výpusti jsou trvale a komplexně monitorovány a průběžně hodnoceny.

Kapalné radioaktivní odpady

Všechny technologické a odpadní vody z kontrolovaného pásma jsou podle povahy a obsahu radioaktivních látek jímány odděleny a následně čištěny. Odstranění těchto látek je nutné, protože mohou vadit při dalším zpracování (kyselina boritá při tuhnutí betonu), případně je nutné rozdělit radionuklidy s delší dobou rozpadu, či vyšší intenzitou záření. Existuje celá řada separačních metod, v současné době se nejčastěji používají:

- Extrakce z vodných fází
- Srážení a rozpouštění
- Oxidačně-redukční procesy
- Reversní osmóza
- Membránová separace
- Odstřeďováním v dekantéru a odstředivce
- Odpařováním v odparce
- Filtrací na iontovýměnných filtrech

Tyto zahuštěné kapalné radioaktivní odpady musí být podobně jako nebezpečné průmyslové odpady solidifikovány (zpevňovány). Běžně se používají následující postupy :

- Cementace
- Bitumenace
- Inkorporace do organických polymerů
- Vitifikace

Solidifikační metoda se volí podle měrné aktivity radioaktivního odpadu a podmínky uložení konečného produktu.

1. Cementace - nejpoužívanější forma zpevňování nízkoaktivních odpadů. Základní výhodou je technická jednoduchost a dobré fyzikální vlastnosti produktu. Používají se většinou cementy portlandského typu s hodnotou vodního činitele 0,4. Produkt je plněn do standartních ocelových sudů nebo do prefabrikovaných betonových obalů. Přes značné rozšíření má své nevýhody. Tou první je úroveň imobilizace, která je ze všech solidifikačních metod nejhorší. Rychlost vyluhování je v řádu 10^{-2} a lze ji snížit přidáním sorbentů selektivně zachycujících kontaminující radionuklidy (zejména Cs^{137}). Technické problémy jsou způsobeny zejména boritany obsažené v koncentrátech z jaderných elektráren, kdy působí negativně na průběh tuhnutí a tvrdnutí. Bez použití přísad (louh, CaO) nebo speciálních cementů nemusí produkt vůbec ztuhnout.
2. Bitumenace - V České republice je základní metodou solidifikace radioaktivních odpadů z provozu jaderných elektráren. Je komplikovanější než cementace, ale produkt je výrazněji odolnější vůči vyluhování a koeficient objemové redukce je několikrát vyšší než u cementace. Nežádoucí vlastností bitumenace je hořlavost a možnost rozkladu mikroorganismy. Dochází k velmi pomalé sedimentaci inkorporovaných solí, které současně vlhnou a z produktu solidifikace postupně vzniká houbovitá hmota nasáklá koncentrovaným roztokem solí.
3. Inkorporace do organických polymerů - Postup relativně nákladný a málo rozšířený. Využívá se výjimečně k fixaci použitých měničů iontů, pro kterou má jak cementace, tak bitumenace řadu nevýhod.
4. Vitifikace - momentálně nejdokonalejší způsob solidifikace radioaktivních odpadů produkt je stabilní a má vysokou imobilizační schopnost. Rychlost vyluhování je

v řádech 10^{-6} až 10^{-8} . Je možné vysoké naplnění produktu výchozím odpadem. Vitřifikace (do fosfátových a zejména borosilikátových skel) je jedinou metodou, kterou lze solidifikovat radioaktivní odpady z reprocessingu. Koeficient objemové redukce je několikrát vyšší, než u bitumenace díky vysokému naplnění produktu odpady a vysoké měrné hmotnosti produktu. Vitřifikace je vhodná v případech, kdy je možnost použití bitumenace pochybná (radioaktivní odpady s vyšším obsahem zářičů alfa nebo s měrnou aktivitou přes 10^{14} Bq).

Zpracování vyhořelého paliva

Zpracování jaderného odpadu a jeho opětné využití je přes určité úspěchy při vývoji technologie stále velmi problematické. Ceny regenerovaného uranu a získaného plutonia jsou velmi vysoké a nekryjí v současné době náklady na přepracování. Přepracování vysoceaktivního odpadu si mohou dovolit jen některé státy (Francie, Velká Británie, Rusko). Z jedné tuny vyhořelého paliva se získá 115 litrů vysoce aktivního odpadu, který se dále zpracovává vitřifikací.

Je nutno uvést, že vyhořelé palivo, které je vyňato z aktivní zony reaktoru, nelze ihned zpracovávat a musí být po dobu jednoho až tří let skladováno a chlazeno ve speciálních nádržích, aby se rozpadly některé krátkodobé a střednědobé radioaktivní izotopy, a tak se snížila celková aktivita paliva a aby klesl tepelný výkon z rozpadu štěpných produktů. Skladovací nádrže jsou naplněny vodou, která účinně stíní radioaktivní záření, je dobrým chladičem, snadno se zpracovává a díky své průhlednosti je možná vizuální kontrola při manipulaci s palivem pod hladinou. Vnitřní stěny jsou chráněny plechy z nerezavějící oceli a nádrže jsou vybaveny zařízením pro kontinuální filtraci, demineralizaci a chlazení vody. Těmito opatřeními a zvýšenou těsností palivových článků se docílí snížení obsahu radioaktivních látek v chladicí vodě.

Po tříletém skladování by se měli palivové soubory odvážet ke konečnému zpracování, ale vzhledem k nedostatečným kapacitám a ekonomickým problémům se nejdříve uskladňují do meziskladů. Zde dochází k dalšímu snižování radioaktivity a postupnému chladnutí. Mezisklady rozdělujeme dle dvou hledisek

- Podle umístění meziskladu
- Podle typu meziskladu

Mezisklad může být umístěn buď přímo v areálu jaderné elektrárny nebo samostatně jako centrální mezisklad pro všechny elektrárny v daném státě.

Podle typu meziskladu rozeznáváme mokrá skladovací zařízení a suchá skladovací zařízení. Metoda mokrého skladování je obdobou technologie skladovacích bazénů. Tato metoda je ekonomicky náročná a navíc z hlediska bezpečnosti není několikanásobná manipulace s odpadem právě nejvhodnější.

Suchá metoda hovoří ve prospěch jednodušší manipulace s materiálem. Tato technologie je vhodná pro skladování všech typů palivových článků. Tyto jsou ukládány do speciálních kontejnerů, mnohdy i multifunkčních, které slouží jako pro převoz, tak pro uložení ve finálním úložišti. Chlazení probíhá proudícím vzduchem. Z meziskladu stejně jako ze zpracovatelských závodů by se měly odpady ukládat do finálních úložišť.

Kategorizace radioaktivních odpadů, kontejnery a ukládání radioaktivních odpadů

Kat.	Charakteristika	Doporučené uložení
□ I	Vysoká aktivita, obsah dlouhodobých zářičů, produkce tepla, doba nebezpečnosti miliony let	Speciálně budované hlubinné úložiště ve stabilní hornině
□ II	Střední aktivita, obsah dlouhodobých zářičů, malá produkce tepla, statisíce let	Hlubinné geologické formace, opuštěné solné doly
□ III	Nízká aktivita, obsah dlouhodobých zářičů, nevýznamná produkce tepla, desetitisíce let	Hlubinné geologické formace, opuštěné solné doly
IV	Střední aktivita, bez obsahu dlouhodobých zářičů, mírná produkce tepla, tisíce let	Opuštěné solné doly, jeskyně, povrchová a podpovrchová úložiště
V	Nízká produktivita bez obsahu dlouhodobých zářičů, nulová produkce tepla, stovky let	Opuštěné solné doly, jeskyně, povrchová a podpovrchová úložiště

Kontejnery pro převoz radioaktivních odpadů do zařízení na jejich přepracování a skladování jsou speciální nádoby, z nichž všechny mají akreditaci americké národní komise pro jadernou bezpečnost. Radioaktivní odpady s obsahem transuranů (97%) většinou emitují primární alfa a beta záření a lze s nimi zacházet za specifikovaných kontrolovaných podmínek bez speciálního odstínění. Použití kovových barelů, boxů a kontejnerů je na ochranu proti této radiaci naprosto dostatečné. Asi 3% odpadů emituje pronikavé gama záření, kvůli kterému je nutno s nimi zacházet zvláště opatrně. Transport a veškerá manipulace se provádí s dálkovým ovládáním a využívají se olovem stíněné transportní kontejnery.

Kontejner Trupact II má 2,4 m v průměru a je 3,3 m vysoký. Je konstruován s vnitřním a vnějším ochranným obalem. Může být do něj uloženo 14 standartních barelů s odpady. Kontejner váží 5,4 t prázdný a je vyroben z nereové oceli, poliuretanové pěny a izolace z keramického vlákna.

Kontejner Halfpact je menší než předchozí. Vejde se do něj jen 7 barelů s odpady. Je zabezpečen vnitřním a vnějším ochranným obalem.

Kontejner RH-72B je určený pro odpady s obsahy transuranů vyzařující velké množství pronikavého gama záření.

Kontejner Piper OverPack se používá v případech, kdy je nutno přepravit odpady s vyšší koncentrací plutonia nebo americia.

Nízko a středně aktivní odpady

Tyto odpady zahrnují zejména institucionální odpady a odpady provozní. Po fixaci se odpad ukládá do povrchových nebo podpovrchových úložišť, které je nutné chránit od přírodních a technologických vlivů, mezi které patří koroze, tepelná pnutí atd. Úložiště se po naplnění uzavrou a po dobu řádově desítek let se monitorují. Po této době se předpokládá, že nebudou dále ohrožovat životní prostředí. Prvním úložištěm v ČR byla část podzemního lomu Alkazar u Hostími (okr. Beroun) v roce 1959. V roce 1964 bylo úložiště uzavřeno, zazděno

vstupy, v roce 1997 bylo provedeno důkladné uzavření úložiště betonem. V roce 1964 bylo zprovozněno druhé úložiště v komplexu bývalého vápencového dolu Richard II u Litoměřic, které je stále v provozu.

V roce 1974 bylo otevřeno úložiště nízko a středně aktivního institucionálního odpadu v důlním komplexu Bratrství u Jáchymova. Je určeno k ukládání odpadů s přírodními radionuklidy.

Provozní odpady vznikající v provozech jaderných elektráren jsou ukládány na jediném úložišti v ČR a to přímo v areálu jaderné elektrárny Dukovany. Toto úložiště je povrchového typu je tvořeno 112 jímkami ve 4 řadách. Případnému úniku radionuklidů do biosféry zabráňuje soustava inženýrských bariér s dlouhodobou životností. Prostředí mezi sudy jsou vyplňovány maltovou směsí. Jsou zde ukládány nízkoaktivní bitumenované odpady nebo slisované pevné odpady ve 2001 pozinkovaných sudech z provozu elektrárny Dukovany. Kapacita úložiště je dostačující pro uložení všech nízkoaktivních odpadů, které vznikly nebo vzniknou při provozu elektráren dukovany a Temelín a to i v případě, že životnost těchto elektráren budou prodlouženy o 10 let. Doba kontroly povrchového úložiště Dukovany se odhaduje na 300 let.

Ukládání vysoce aktivních odpadů

Posledním krokem v problematice radioaktivních odpadů je vybudování konečného úložiště. Ať už vyhořelý radioaktivní odpad dále zpracováváme a upravujeme nebo ne, vždy je nutné konečný produkt nějakým způsobem uložit. Nejčastěji je navrhováno hlubinné ukládání v podzemních a podmořských úložištích.

Podmořské úložiště by mohlo být vybudováno ve stabilních geologických formacích pod mořským dnem. Odpad by byl uložen relativně mělko v nekonsolidovaných sedimentech nebo v konsolidovaných sedimentech ve spodnějších vrstvách. Další možností by také mohlo být čedičové podloží pod mořským dnem. Přestože má tato koncepce bezesporu mnoho výhod, např. v hlubinných sedimentech odpadá problém podzemní vody, možnost rozředění radioaktivity v případě úniku, vysoký stupeň ochrany proti nepředvídatelným situacím, vyvstávají zde problémy technické proveditelnosti a problém politický související se smlouvami o nedotknutelnosti mezinárodních vod.

Podzemní úložiště jsou oproti podmořským použitelných a technicky proveditelným způsobem ukládání vysoce aktivního odpadu. Hlavní myšlenkou je ukládání do hlubinné geologické formace pokud možno neporušeného masivu. V úvahu připadají solné formace, krystalické horniny a jíly.

Každá z těchto geologických formací má své specifické vlastnosti vzhledem ke konstrukci úložiště. Při budování hlubinných úložišť se musí obvykle zřídit podzemní laboratoř. Hlavním důvodem pro vybudování podzemní laboratoře je potřeba získat informace o chování hornin ve velkých hloubkách, o metodách jejich průzkumu, o dlouhodobé stabilitě vyražených prostor a změnách vlastností hornin, plynoucích z uložení kontejneru s vysoce aktivním odpadem. V podzemních laboratořích se pak zkoumají jednotlivé technologie ražení s ohledem na co nejmenší porušení horninového masivu a také se provádějí všechna měření „in situ“ ke zjištění dalších vlastností horniny. Tyto údaje jsou velmi potřebné pro návrh celého úložiště a také pro modelování úložiště. Ve světě dnes již existují podzemní laboratoře, z nichž se může počítat jako s finálními úložišti.

- Mol (Belgie) – jíly

- Yucca Mountain (USA) – tufy
- Äspö (Švédsko) – granitické horniny
- Grimsel a Mont Terri (Švýcarsko) – granitické horniny a jíly
- důl Asse (Německo) – solné formace
- komplex laboratoří Whiteshell (Kanada) – granitické horniny

V České republice bylo vytipováno několik finálních lokalit pro podzemní laboratoř a hlubinné úložiště avšak nebyla zatím žádná vybrána.

MultibariEROVÝ SYSTÉM HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

Princip izolování odpadu v hlubinném úložišti je založen na multibariérovém systému. Celý systém se skládá ze dvou základních částí:

- přírodní bariéra – geologické prostředí, které je voleno podle místních podmínek jednotlivých států (granity, solné formace, jíly)
- inženýrská bariéra – kromě kontejneru s odpadem hlavně vícevrstvá bariéra na bázi bentonitu

Jednotlivé bariéry jsou navrhovány ve funkci celého systému. Takto se lze vyhnout případu, kdy by celý bezpečnostní systém závisel pouze na jedné bariéře a při selhání této bariéry by se zhroutil celý systém.

Přírodní bariéra

Hostitelská hornina by měla být pokud možno isotropní a homogenní, měla by se nacházet v masivu nezatěžovaném tektonikou a měla by být co nejméně porušena trhlinami a plochami diskontuit. Hlavními účinky na hostitelskou horninu jsou : změny napětí, působení podzemních vod a zatěžování přírodní bariéry teplotou.

Základem správného návrhu konstrukce hlubinného úložiště je dobrý průzkum. Horninový masív, jako přírodní bariéra nesmí být porušen a aby se nezměnily vlastnosti bariéry žádnou z činností průzkumu a posléze ani vlastní těžbou je možné použít jen omezený počet metod. Přímě v místě úložiště je možno provádět jen nedestruktivní metody průzkumu, jako jsou geofyzikální a radiogeologické metody. Destruktivní metody průzkumu se dají aplikovat jen v dostatečné vzdálenosti od zkoumané lokality nebo jen do takové hloubky tak, aby nebyly narušeny geologické vrstvy ve kterých se předpokládá vybudování úložiště.

Inženýrské bariéry

Prvním stupněm inženýrské bariéry jsou skleněné matrice, do nichž je ukládán vysoce aktivní radioaktivní odpad při procesu zvaném vitifikace. Takto upravený odpad již lze

umístit do kontejneru. Tyto počáteční bariery mají za úkol zabránit úniku radionuklidů do ovzduší či porušení při manipulaci.

Kontejnery musí splňovat hledisko bezpečnosti (pád letadla, vlakovou či autonehodu atd.) a hledisko co nejdélejší životnosti (koroze kontejneru).

Po případném poškození kontejneru musí jeho izolační funkci převzít další část inženýrské bariery, kterou je bariera geotechnická. Geotechnická bariera se předpokládá na bázi bentonitů – ten byl zvolen na základě studia přírodních analogů, protože má ve srovnání s ostatními materiály (např. beton, cement) nejstálější reologické vlastnosti, tzn. nemění své chování (vlastnosti) po dlouhou dobu cca tisíce let.

Geotechnická bariera musí splňovat funkce tlumící, těsnící, výplňovou a konstrukční. Jejím úkolem je zabránit pronikání podzemních vod ke kontejneru, migraci radionuklidů a zajistit dostatečný odvod tepla do hostitelského prostředí. Podle vlastností, které musí geotechnická bariera zajišťovat se stanoví konstrukce jednotlivých vrstev bariery.

- Konstrukční vrstva zajišťuje prostorovou stálost inženýrské konstrukce úložiště. Do této vrstvy spadá ostění a další zajištění výrubu.
- Těsnící vrstva bude tvořena hlavně injekcemi
- Výplňová vrstva je požadována z materiálů na bázi směsi bentonitu s rubaninou popř. s pískem
- Tlumící vrstva se pak předpokládá z lisovaných bentonitových prefabrikátů případně s lisovaných prefabrikátů ze směsi bentonitu s pískem nebo grafitem.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [1] KURAŠ, M. Odpadové hospodářství. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim, 2008. 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
- [2] BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z. Recyklace. Moravia Tisk Vyškov, Vyškov, 2003. 238 s. ISBN 80-238-9919-8.
- [3] BOTULA, J. Recyklace odpadů kovových a kovonosných. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2003. 87 s. ISBN 80-248-0495-6.
- [4] Technologie získávání drahých kovů v Safině a.s. - Technologie získávání drahých kovů (DK) z odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ). [online] URL<<http://www.waste.cz/waste.php?clanek=wclaneksafina.htm>>, cit. [25.5.2007].



Shrnutí pojmů kapitoly

Radioaktivní odpad.

Recyklace



Otázky k probranému učivu

1.Co je to radioaktivní odpad?

2.Jak se recykluje ?