

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Lepení shrink sleeve obalů

Josef Karfík

Bakalářská práce

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef Karfík**
Osobní číslo: **C15168**
Studijní program: **B3441 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Název tématu: **Lepení shrink sleeve obalů**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se v patentové, vědecké a firemní literatuře s problematikou smrštitelných etiket.
2. Prostudujte materiálové složení daných typů obalů a problematiku jejich spojování.
3. Proveďte testování mechanických a vizuálních charakteristik lepených spojů pro produkční vzorky smrštitelných obalů.
4. Seznamte se s typy rozpouštědel používaných pro lepení spojů v produkčním prostředí a případně optimalizujte složení daných směsí s cílem zlepšení mechanických a vizuálních charakteristik lepeného spoje.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce:

28. února 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

4. července 2018



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Nesouhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 27. 6. 2018

Josef Karfík

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Tomáši Syrovému, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracovávání této práce. Také bych chtěl poděkovat firmě OTK Group za poskytnutí prostředků a prostor při výzkumu.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá slepováním polymerních smršťitelných fólií, za pomoci rozpouštědel. V teoretické části je vysvětlen způsob lepení shrink sleeve materiálů a také polymerní struktura těchto fólií. Dále je zde obsažena charakteristika některých polymerů, ze kterých je smršťitelná fólie vyrobena a také jsou zde charakterizována rozpouštědla, se kterými se smršťitelné fólie spojují. V experimentální části je popsán výzkum získání nejkvalitnějšího lepeného spoje u materiálů polyethylentereftalátu (PET), orientovaného polystyrenu (OPS) a polyvinylchloridu (PVC).

Klíčová slova

Shrink sleeve, lepení fólie, polyethylentereftalát, orientovaný polystyren, polyvinylchlorid

Annotation

This bachelor thesis addresses the seaming of polymer shrink sleeve foil with the use of solvents. The theoretical part explains the method of seaming of the shrink sleeve's materials as well as the polymer structure of these films. The characteristic of several polymers from which the shrink sleeve is produced is explained, as well as the solvents with which the shrink sleeve films are seamed. The experimental part describes the research of obtaining the supreme quality seam from polyethylene terephthalate (PET), oriented polystyrene (OPS) and polyvinyl chloride (PVC).

Keywords

Shrink sleeve, Seaming foil, polyethylene terephthalate, oriented polystyrene, polyvinyl chloride

Obsah

Úvod	8
1 Teoretická část	9
1.1 Struktura smršťitelné fólie	9
1.2 Lepení polymerní smršťitelné fólie	11
1.3 Polymery pro smršťitelné fólie.....	12
1.3.1 Polyvinylchlorid (PVC)	12
1.3.2 Orientovaný polystyren (OPS).....	16
1.3.3 Polyethyltereftalát (PET)	19
1.4 Výroba polymerní fólie.....	21
1.5 Rozpouštědla pro spojení smršťitelných fólií.....	22
1.5.1 Tetrahydrofuran (THF)	22
1.5.2 1,3-dioxolan.....	23
1.5.3 Cyklohexanon	24
1.5.4 Aceton	25
1.5.5 Technický benzín	26

Úvod

Shrink sleeve je teplem smrštitelná fólie, nebo také nazýván smrštitelný obal, který umožňuje umisťovat informace či grafiku po celém obvodu obalu, a proto je velmi oblíbený v obalovém průmyslu, protože se na obal dají utvářet zajímavé grafické návrhy. K dalším výhodám patří zpevnění stěn nádoby, na které je smrštitelná fólie aplikována. Tiskový obraz, který je na smrštitelný obal tisknut, se musí nejprve pomocí speciálních programů v předtiskové přípravě deformovat tak, aby po smrštění fólie byla grafika na etiketě taková, jaká byla původně zamýšlena, a neutrpěla při smrštění fólie. Fólie po smrštění kopíruje tvar předmětu, na který je aplikována. Obaly jsou smršťovány jak v podélném, tak v příčném směru.

Při smrštění nedojde jen k deformaci obrazu, ale také ke změně barvové vrstvy, a tím pádem i ke změně barevnosti. Tisk se dá provádět z vnitřní strany etikety, díky tomu je tisk odolný vůči oděru a zaručuje vysoký lesk obalu. U smrštitelných obalů je kladen velký důraz na bílou barvu při potisku. Musí mít velkou kryvost, aby při přetisku bylo dosaženo kvalitního barevného výtisku. Smrštitelné obaly se dají potiskovat pomocí hlubotisku, flexotisku, ofsetu a elektrofotografickým tiskem s tekutým inkoustem.

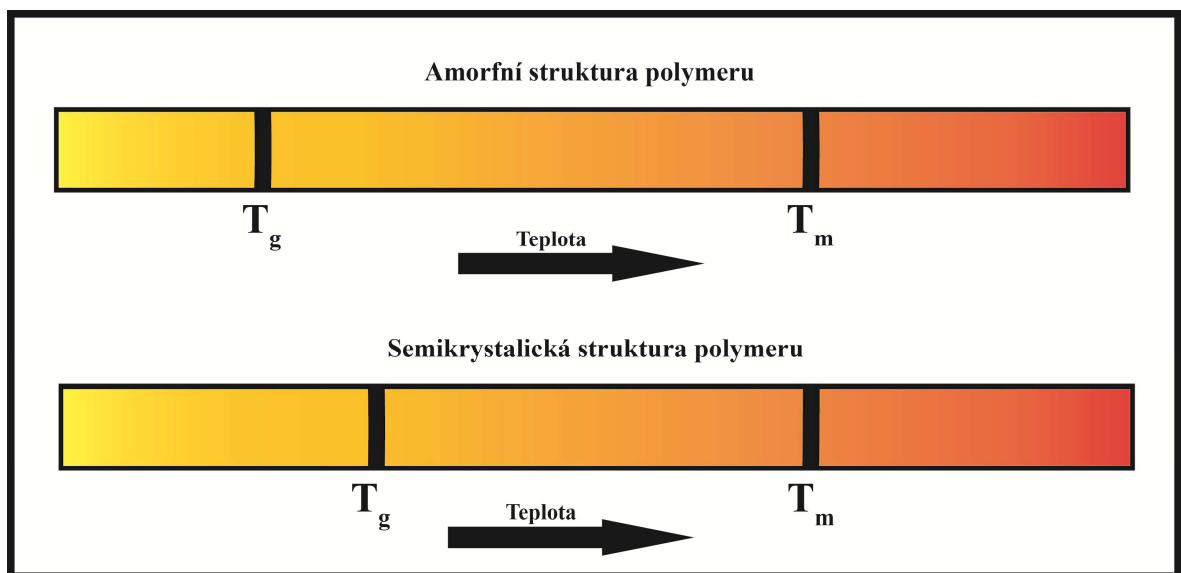
Mezi nejpoužívanější materiály pro výrobu smrštitelných obalů se používá polyvinylchlorid (PVC), polyethylentereftalát (PET), orientovaný polystyren (OPS) a kyselina polymléčná (PLA). Z hlediska ekologičnosti je nejlepší PET, protože se snadno recykluje a je příznivější k životnímu prostředí, ale patří mezi dražší materiály. Jeho výhodou je také vysoký lesk. PVC patří mezi levnější materiály a také má velký rozsah smršťovacích poměrů a velký okruh teplot smršťování. OPS je velmi náchylný na okolní teplotu, k mírnému smrštění dochází již při 40 °C. Nejčastěji se shrink sleeve fólie vyrábí v tloušťce 40–50 μm.

Z pohledu ekologičnosti je také výhodou snadné odstraňování etikety z nádoby, protože se nemusí při této činnosti používat chemické prostředky.

1 Teoretická část

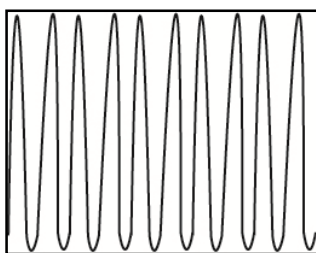
1.1 Struktura smrštitelné fólie

Smrštitelné obaly se skládají ze semikrystalického, nebo amorfního polymeru. Struktura je dána druhem polymeru, ze kterého je fólie vyrobena. Materiál, který se používá na výrobu smrštitelných fólií je termoplast. Je to materiál měknoucí při převýšení teploty skelného přechodu T_g . Tato teplota je závislá na druhu struktury polymeru a na samotném polymeru. U amorfní struktury je teplota T_g nižší než u semikrystalického polymeru. Tato rozdílnost je způsobena podílem krystalické fáze v semikrystalické struktuře. Čím větší je podíl krystalické fáze, tím je i vyšší teplota skelného přechodu, neboli je zapotřebí většího tepla, aby se materiál dostal ze skelného stavu do stavu kaučukovitého. Závislost teplot T_g na druhu struktury je schématicky zobrazena na obrázku 1. [1]



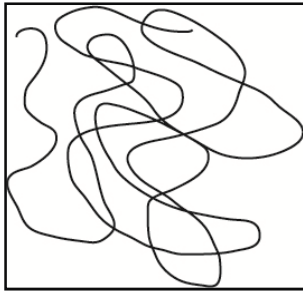
Obrázek 1: Teplotní závislost chemických struktur

Krystalická fáze je pravidelně uspořádaná struktura polymeru (nákres viz obrázek 2).



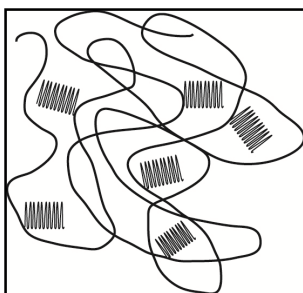
Obrázek 2: Pravidelná struktura krystalického polymeru [2]

Amorfní fáze je nepravidelná struktura polymeru (nákres viz obrázek 3).



Obrázek 3: Nepravidelná struktura amorfního polymeru [2]

Semikrystalická struktura je kombinací předešlých dvou struktur. V neuspořádané amorfní struktuře se nachází pravidelná krystalická struktura (nákres viz obrázek 4).



Obrázek 4: Semikrystalická struktura [2]

Při smrštění smrštitelných fólií, vyrobených z amorfního polymeru dochází k přeuspořádání neboli relaxaci vnitřní struktury polymeru. Ta probíhá tak že se nejprve přeuspořádávají malé skupiny umístěné na bočním řetězci, potom boční řetězce a nakonec hlavní řetězec. Přeuspořádání hlavního řetězce se nazývá α relaxace, bočního řetězce β relaxace a nejvzdálenějšího řetězce γ relaxace. Struktura amorfního polymeru je tvořena lineárními řetězci, které jsou na různých místech spojeny k sobě, tyto místa se nazývají uzlové body. Čím má polymer více uzlových bodů a delší řetězce, tím déle trvá relaxace tohoto polymeru. Při zvyšování teploty se relaxační doby zkracují. Je to zapříčiněno molekulovými vazbami mezi jednotlivými řetězci, při zvyšující teplotě slábnou a materiál se díky tomu dostává snadněji do rovnovážné polohy, neboli uspořádání, ve které má polymer nejmenší energii.

Základní fólie se nejprve musí upravit orientací polymeru, abychom dosáhli požadovaných fyzikálních a chemických vlastností. [1]

K výhodám orientované fólie oproti neorientované patří například:

- mechanické vlastnosti
- chemické vlastnosti
- zvýšená nepropustnost vodní páry
- zvýšená transparence
- odolnost proti mrazu

Při volbě materiálu používaného na smrštitelné fólie se musí vybírat z těchto parametrů:

- Střední relativní molekulové hmotnosti polymeru
- Krystalinitě
- Distribuční relativní molekulové hmotnosti

Smrštitelná folie se vyrábí z různých druhů polymerů, mezi které patří např. orientovaný polystyren (OPS), polyethyltereftalát (PET), polyethyltereftalát modifikovaný glykolem (PETG), polyvinylchlorid (PVC), kyselina polymléčná (PLA). Tato práce bude soustředěna na materiály PVC, OPS a PET. Tyto druhy materiálů byly vybrány z důvodu využití ve firmě OTK Group, se kterou jsem spolupracoval při vypracování této bakalářské práce.

1.2 Lepení polymerní smrštitelné fólie

Lepení smrštitelné fólie probíhá tak, že se nejprve nanese rozpouštědlo, nebo lepidlo (záleží na způsobu spojování), a poté se na nanesenou vrstvu přiloží druhá vrstva fólie. Při lepení lepidlem nedochází k pronikání lepidla do polymerní fólie (lepidlo zůstává pouze na povrchu polymerní fólie). Při nanesení rozpouštědla, dochází k difuzi do povrchu fólie a při přiložení druhé vrstvy fólie ke vzniku spoje. Některá rozpouštědla pronikají do fólie rychleji, což způsobuje přijatelnou pevnost spoje již po krátké době po aplikaci. U některých rozpouštědel trvá delší dobu (nejméně 2 hodiny), než je dosaženo požadované pevnosti (rozpouštědlo proniká do polymerní fólie pomaleji). Nanesená vrstva pojícího roztoku nesmí být příliš velká kvůli možné migraci rozpouštědla skrz smrštitelnou fólii, nebo možnému odkapávání přebytečného rozpouštědla do pracovního prostoru. Vrstva rozpouštědla nesmí být nanesená nepravdělně, neboť by tato vada mohla zapříčinit oddělení výsledného slepu. [3], [4]

V praxi se pravidelnost nánosu rozpouštědla testuje různými způsoby. Mezi varianty testování patří:

- Kontrola pomocí UV záření
- Kontrola pomocí trysky vypouštějící stlačený vzduch
- Kontrola pomocí tzv. balónkové metody

Při kontrole pomocí UV záření rozpouštědlo obsahuje částice pohlcující UV záření. Toto záření dokáže emitovat ve viditelné oblasti, díky čemuž se dá vizuálně zkontrolovat pravidelnost nanesené vrstvy rozpouštědla. [3]

Kontrola pomocí trysky spočívá v tom, že na slepený pás materiálu je pouštěn proud stlačeného vzduchu v místě slepu. Pokud by byl spoj nepravidelný, stlačený vzduch by způsobil otevření tohoto lepeného spoje. [3]

Při balónkové metodě se do vzniklého slepeného pouzdra pouští vzduch, čímž se pouzdro nafoukne. V případě špatného slepu vzduch z pouzdra unikne, což vede k vyfouknutí pouzdra. Toto vyfouknutí je snadno vizuálně rozpoznatelné. [3]

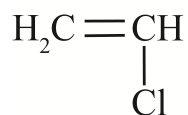
1.3 Polymery pro smrštitelné fólie

Tato kapitola je věnována polymerům, ze kterých se vyrábí polymerní smrštitelné fólie. Je zde popsána jejich výroba, základní charakteristika a také fyzikální a chemické vlastnosti.

1.3.1 Polyvinylchlorid (PVC)

1.3.1.1 Chemická struktura

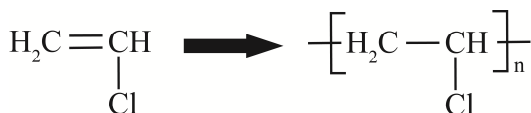
PVC je polymerní látka, která se skládá z monomerních jednotek vinylchloridu (viz obrázek 5). Vinylchlorid je také označován jako chlorethen. Je to karcinogenní bezbarvý plyn s mírným zápachem a bodem varu 13,9 °C. [5]



Obrázek 5: Chemická struktura vinylchloridu

1.3.1.2 Výroba

PVC se vyrábí polymerací vinylchloridu. Polymerace je proces, při kterém se z monomerních jednotek stává polymer. Při této reakci zaniká dvojná vazba mezi uhlíky (viz obrázek 6). Polymerace probíhá radikálovým i iontovým mechanismem. Tyto reakce jsou exotermní. To znamená, že při této chemické reakci se uvolňuje teplo. [5]



Obrázek 6: Polymerace PVC

Průmyslově se polyvinylchlorid vyrábí radikálovou polymerací:

- suspenzní
- emulzní
- blokovou

Při suspenzní polymeraci je vinylchlorid za pomoci míchání dispergován do vody s příměsí ochranného koloidu. Jako ochranný koloid se používá polyvinylalkohol, želatina aj. Při této technice se získávají částice o velikosti 50 až 200 μm . Jako iniciátory se používají peroxidy rozpustné v monomeru (například dibenzoylperoxid). Polymerace probíhá při teplotách od 45 do 75 $^{\circ}\text{C}$ a tlaku 0,5 až 1,2 MPa v inertní atmosféře. Teplota rozhoduje o molekulové hmotnosti. Při dosažení potřebné konverze (75 až 90 %) se směs odplyní, přičemž začne monomer unikat z měkkých částí a tím se získá požadovaná pórovitost materiálu. [1]

Při emulzní polymeraci se vinylchlorid emulguje v destilované, nebo měkčené vodě, která obsahuje emulgátory, iniciátory a stabilizátory. Jako iniciátor se používá peroxydisíran draselný, peroxid vodíku a jiné. Proces probíhá při tlacích 0,3 až 0,8 MPa a teplotě 20 až 60 $^{\circ}\text{C}$. Při této technice je důležitá hodnota pH, která nám určuje velikost získaných částic. Pro regulaci pH se používají uhličitany, fosforečnany a acetáty. Jako emulgátory se například používají alkylarysulfonany, sulfochlorované alkany a alkylsulfonany, který nám ovlivňují získanou koncentraci latexu. Do reakce se ještě přidává malé množství alkoholu C_5 až C_8 , kvůli úpravě povrchového napětí. Polymerace probíhá 15 až 30 hodin. Výsledkem reakce je latex, který obsahuje 40 až 50 % sušiny a z toho je 10 % monomeru. Toho se zbavuje odplyňováním. Poté se latex rozprašuje v sušárnách a získává se bílý polymerní prášek o průměru kulových zrn 0,1 až 2 μm . Tyto částice se spojují a vznikají částice o velikosti 10 až 150 μm . [5]

Blokovým mechanismem se získává nejčistší polyvinylchlorid, který má velikost zrn o velikosti 60 až 150 μm a vysokou pórovitost. Velikost částic ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti polymeru. Při polymeraci musí být intenzivní odplyňování, aby se získal produkt, který obsahuje málo monomeru. Nemusí se provádět odstředování a sušení. [1]

Podle způsobu polymerace má PVC různé fyzikální a chemické vlastnosti. Některé z těchto vlastností jsou popsány v tabulce 1.

Tabulka 1: Fyzikálně chemické vlastnosti průmyslově vyráběného polyvinylchloridu [1]

Fyzikální a chemické vlastnosti	Emulzní PVC		Suspenní PVC	Blokový PVC
hustota (g/cm^3)	1,39 \pm 0,01	1,4	1,4	1,4
obsah popela (%)	0,5 až 2,0	0,05 až 0,5	0,01 až 0,1	0,03
obsah chloru (%)	55 \pm 1,0	56 \pm 0,5	56,2 \pm 0,3	56,2 \pm 0,3
obsah vyluhovatelných podílů (%)	2,0 až 5,0	0,2 až 2,0	0,1 až 1,0	0,1 až 1,0
absorpce vody (%)	< 100	< 10	< 1	< 1
tepelná stabilita podle Meixnera (min)	35 až 70	35 až 70	8 až 20	8 až 20

1.3.1.3 Fyzikální a chemické vlastnosti

PVC je odolný vůči neoxidujícím kyselinám, hydroxidům kovů a také vůči zásadám (nasyceným uhlovodíkům a alkoholům). Tato odolnost se vzrůstající teplotou a stupněm změkčení klesá. Je rozpustný například v tetrahydrofuranu, cyklohexanonu, chlorbenzenu, směsi sirouhlíku a acetonu a ve směsi tetrachlorethylenu s acetonem. [1], [5]

Vůči oxidačním činidlům má sníženou odolnost. Například kyselinou sírovou, která má koncentraci alespoň 50%, ztrácí polyvinylchlorid elasticnost, kvůli oxidačnímu chování kyseliny. Nejvíce chemicky odolný je neměkčený polyvinylchlorid, se zvyšujícím se stupněm změkčení se snižuje jeho odolnost vůči chemikáliím z důvodu příměsí změkčovadel. Ty způsobují, že polyvinylchlorid křehne, protože se změkčovadla vyluhují (do určitého rovnovážného stavu). Změkčovadla jsou těkavé organické sloučeniny, které snižují teplotu T_g a T_m . T_g je teplota skelného přechodu, pod touto teplotou se termoplast nachází ve sklovitém stavu (je křehký, tvrdý a má vysoký modul pružnosti) a nad touto teplotou je v kaučukovitém stavu. T_m je teplota tání. Tyto teploty jsou závislé na podílu zastoupení krystalické a amorfni fáze. Tento podíl se označuje jako index krystalinity. [1], [5]

V koncentrovaných organických kyselinách např. kyselině mravenčí, nebo octové za zvýšené teploty (okolo 40 °C) polyvinylchlorid bobtná. Mechanické vlastnosti PVC se působením kyselin a vody mění více, než působením zásad. Absorpce vody při zvyšující se teplotě stoupá. Na absorpci vody mají největší vliv přítomné emulgátory v polyvinylchloridu. Proti mikroorganizmům je samotný polyvinylchlorid odolný. [5]

Mechanické vlastnosti se nejvíce změní působením ultrafialového záření, při tepelném působení nedochází k tak velkým změnám. Nejnápadnějším projevem mechanických vlastností je změna barvy PVC. Při zahřátí nad 100 °C se začíná rozkládat, odštěpuje se z něj chlorovodík (HCl). Tomu se dá zabránit použitím stabilizátorů. [1]

Stabilizátory působí různými způsoby:

- Jako antioxidant
- Jako látka absorbující UV záření
- Jako akceptor HCl
- Jako látka vázající se na dvojnou vazbu po odštěpení HCl

Velmi důležitým parametrem, kterým se popisuje PVC, je hodnota K, která odpovídá molekulové hmotnosti, která byla stanovena viskozimetricky. Je závislá na velikosti a tvaru makromolekul. Čím větší je tato hodnota, tím větší je stupeň změkčení polyvinylchloridu. [5]

K = 55 až 65 je u neměkčeného PVC, jinak také označován jako Novodur

K = 70 až 88 je u měkčeného PVC, neboli Novoplast

Výhodou tohoto materiálu je velká pevnost, odolnost proti oděru a elektroizolační vlastnosti (při použití emulzní polymerace nikoli, z důvodu vysokého obsahu popela). Dále nízká cena, špatná hořlavost, díky vysokému obsahu chloru a také vysoká odolnost proti kyselinám, alkáliím a vodě. Také má nízkou propustnost plynů a par. Fólie má velkou smrštitelnou sílu (ve srovnání s polyetylenem). [1]

Nevýhodou je, že tento termoplast je hůře zpracovatelný ve srovnání s polyetylenem (PE), polypropylenem (PP), nebo polystyrenem (PS). [1]

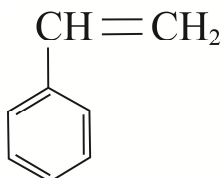
1.3.2 Orientovaný polystyren (OPS)

OPS se získává orientací polystyrenu. To se provádí dloužením, které se provádí nad teplotou skelného přechodu tohoto polymeru. Molekuly tohoto polymeru, nebo jejich části se orientují ve směru, kterým působí síla, ta je orientuje. Orientace se provádí z toho důvodu, aby se zlepšily jeho vlastnosti, zejména jeho houževnatost a pružnost, protože standardní PS je křehký materiál. [1], [6]

Orientace polystyrenu probíhá snadněji, pokud daný materiál obsahuje více krátkých řetězců, než u polystyrenu, který obsahuje více dlouhých řetězců.

1.3.2.1 Chemická struktura

PS je polymer, který se skládá z monomerních jednotek styrenu. Polymerní řetězce tohoto polymeru jsou z větší části nerozvětvené. Chemická struktura styrenu je na obrázku 7. [6]



Obrázek 7: Chemická struktura Styrenu

Při nízkých koncentracích není styren zdravotně závadný, ale při vyšších koncentracích způsobuje několik zdravotních nebezpečí.

Při koncentraci nad:

- 100 ppm dráždí oční sliznici a horní cesty dýchací
- 200 ppm způsobuje nevolnost a poruchy rovnováhy
- 800 ppm vyvolává narkózu

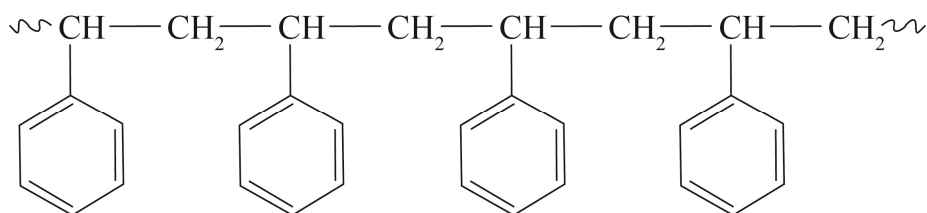
Polystyren může mít dvě chemické struktury:

- amorfní
- semikrystalickou

Amorfní struktura se získává při radikálové polymeraci styrenu. "Substituce atomů vodíku základního uhlovodíkového řetězce objemnými fenylovými skupinami a jejich vzájemné kohezní síly mají za následek, že řetězec polystyrenu je ve srovnání např. s řetězcem polyetyleny obtížněji neformovatelný." [6] Tento fakt způsobuje, že má PS vyšší

teplotu skelného přechodu T_g než některé polymery. Semikrystalická struktura se získává z aniontové a stereospecifické polymerace styrenu. Tato struktura má více tuhé řetězce, než struktura amorfní. [6]

Struktura polymerního řetězce je řazená tak, aby spolu fenylové substituenty měli co nejmenší interakci, toho je docíleno při uspořádání "hlava-pata". Toto uspořádání je znázorněno na obrázku 8. [6]

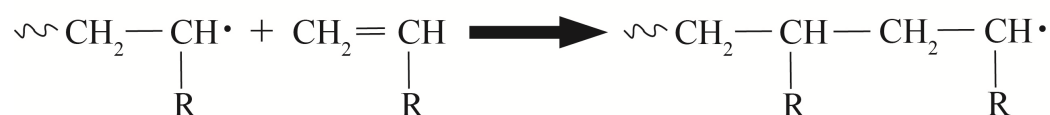


Obrázek 8: Uspořádání molekuly polystyrenu "hlava-pata" [6]

1.3.2.2 Výroba

Polystyren se dá vyrobit pomocí radikálové, iontové i stereospecifické polymerace. V průmyslu se ale polystyren vyrábí nejčastěji pomocí radikálové polymerace.

Při radikálové reakci je reaktivním centrem radikál. Radikál je částice, která obsahuje jeden nepárový elektron. V průběhu reakce je radikálem napadána dvojná vazba, v důsledku čehož je tato vazba rozrušena a stává se z ní vazba jednoduchá. Mechanismus této reakce je zobrazen na obrázku 9. [6]



Obrázek 9: Radikálová reakce polystyrenu

Tato reakce probíhá ve třech krocích:

- iniciace
- propagace
- terminace

Průmyslově se polystyren vyrábí pomocí polymerace:

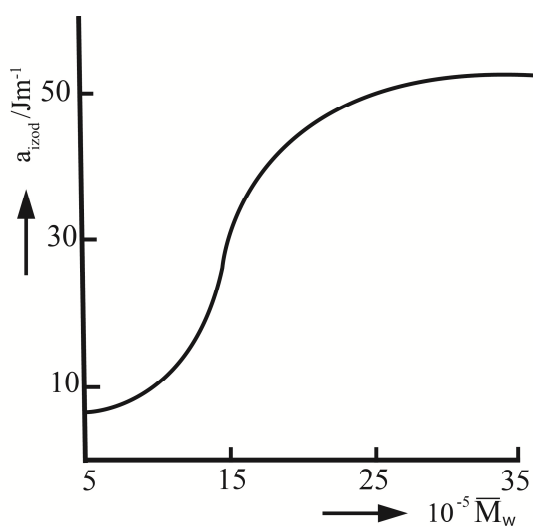
- suspenzní
- blokové

Blokovou polymerací se získává velmi čistý polystyren, díky absenci pomocných látek v průběhu polymerace.

Nejčastěji se zpracovává pomocí vstřikování. Mezi další způsoby zpracování patří například vytlačování, vyfukování a tvarování.

1.3.2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny relativní molekulovou hmotností. Na obrázku 10 je ukázána závislost houževnatosti na relativní molekulové hmotnosti.



Obrázek 10: "Závislost houževnatosti polystyrenu (metodou Izod) na hmotnostně střední relativní molekulové hmotnosti"[6]

Z grafu je zřejmé, že při vysokých molekulových hmotnostech se houževnatost mění jen velmi málo.

Blokovou polymerací se získává polystyren s velkou molekulovou hmotností. Díky velké molekulové hmotnosti je tepelně odolnější, ale také je hůře zpracovatelný. Kvůli dosažení tepelné odolnosti je také důležitý, aby obsahoval nízký počet samostatně se vyskytujících monomerních jednotek. [6]

Má vysokou elektroizolační schopnost, která je způsobena nepolární molekulární strukturou a také poměrně velkou chemickou čistotou. Také má vysoký vnější i vnitřní odpor. Tyto vlastnosti ale způsobují, že se na povrchu folie utváří elektrostatický náboj. Ten je příčinou usazování prachových částic a jiných problémů. [6]

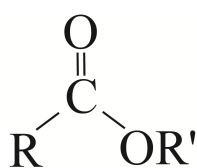
Polystyren s amorfní strukturou je více náchylný vůči rozpouštědlům, oproti polystyrenu se semikrystalickou strukturou. Díky svým nepolárním vlastnostem je více rozpustný v nepolárních rozpouštědlech, než v těch polárních. Je tedy rozpustný např. v aromatických a alifatických chlorovaných uhlovodících, ketonech, esterech a jiných

rozpouštědlech. Díky povrchově aktivním látkám, jako jsou například alkoholy, aromatické uhlovodíky, freony, ethery rostlinné oleje aj. vznikají na povrchu polystyrenu trhliny, které způsobují zhoršení pevnosti materiálu a také vedou k jeho praskání. [6]

1.3.3 Polyethyltereftalát (PET)

1.3.3.1 Chemická struktura

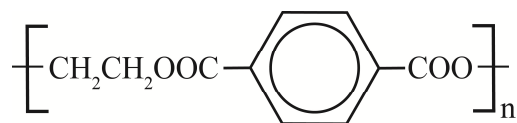
Polyethyltereftalát patří z chemického hlediska do skupiny polyesterů. Polyester se vyznačují přítomností esterové skupiny ve své molekulové struktuře. Esterová skupina vypadá následovně: [5]



Obrázek 11: Esterová skupina

Polyestery se dají rozdělit do dvou skupin, a to na reaktoplasty, které mají rozvětvenou strukturu, ta se později stává strukturou zesíťovanou, mezi které patří např. jednoduché alkydy, nenasycené polyesterové pryskyřice alkydy modifikované oleji aj. A dále to jsou termoplasty, které mají oproti reaktoplastům strukturu lineární, a do této skupiny patří právě polyethyltereftalát. [5], [7]

Polyethyltereftalát je polyester kyseliny tereftalové a etylenglykolu. Chemická struktura je zobrazena na obrázku. 12. Tento polymer má lineární chemickou strukturu, což znamená, že jednotlivé chemické skupiny tohoto polymeru, jsou uspořádány v řadě za sebou.

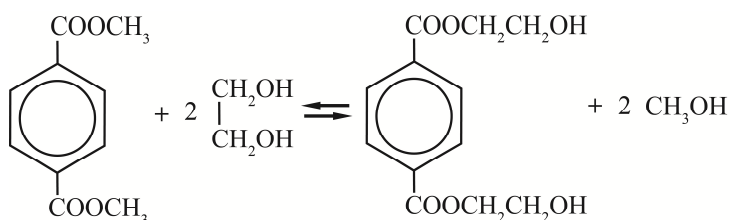


Obrázek 12: Chemická struktura polyethyltereftalátu [5]

Tento polymer má díky své chemické struktuře rozdílné chování než ostatní zástupci polyesterů. V této molekule se nacházejí vysoké mezimolekulové vazby, což je zapříčiněno benzenovým jádrem. Toto jádro způsobuje indukční efekt dipólového momentu. Induktivní efekt vzniká díky rozdílné elektronegativitě (vlastnost, díky které atom dokáže přitahovat vazebné elektrony okolních atomů). Dále je také molekula polyethyltereftalátu velmi tuhá, oproti ostatním polyesterům a má dokonalou symetrii. [5], [7]

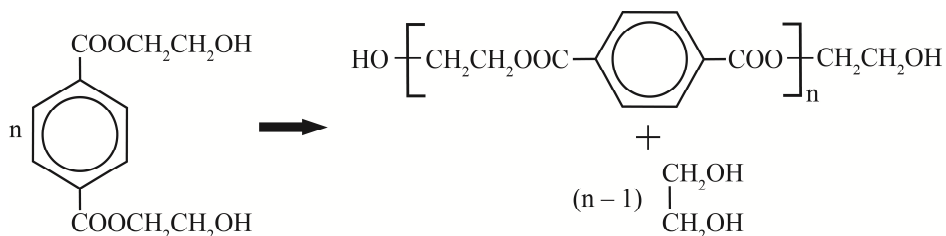
1.3.3.2 Výroba

Výroba polyethyltereftalátu probíhá ve dvou krocích. Nejdříve probíhá reesterifikace dimethyltereftalátu za pomoci etylenglykolu (ethan-1,2-diolu). Při této fázi výroby je získán bis(2-hydroxyethyl)tereftalát, spolu s dvěma molekulami metanolu, jak je zobrazeno na obrázku 13. Tato reakce se provádí při teplotách mezi 190 a 195 °C. Při nižších teplotách probíhá reakce velmi pomalu a naopak při teplotách vyšších už začíná etylenglykol vřít. [5]



Obrázek 13: První krok chemické výroby polyethyltereftalátu [5]

Následně se z produktu předchozí reakce vydestiluje přebytečný etylenglykol a vzniká již výsledný polyethyltereftalát (viz obrázek 14). Tato reakce se provádí za sníženého tlaku. Teplota je oproti předešlé reakci vyšší, z důvodu vydestilování přebytečného etylenglykolu. Tato teplota ovšem nesmí přesáhnout 290 °C z důvodu rozpadu polyethyltereftalátu. Proto se reakce provádí při teplotách v rozmezí 265 až 280 °C. Průběh reakce se sleduje pomocí viskozity (viskozita v průběhu reakce stoupá). [5]



Obrázek 14: Závěrečná výroba polyethyltereftalátu [5]

Nakonec se výsledný produkt vysuší na formu granulátu, aby byl připraven na další zpracování (v našem případě k výrobě polymerní fólie). [5]

1.3.3.3 Fyzikální a chemické vlastnosti

Jednou z nejdůležitějších vlastností polyethyltereftalátu je jeho střední relativní molekulová hmotnost. Podle této vlastnosti je PET zpracováván do dalších produktů (vlákna, fólie). Střední relativní molekulová hmotnost se často vyjadřuje pomocí limitního viskozitního čísla $[\eta]$. Tyto dvě veličiny spolu souvisí v následujícím vztahu:

$$[\eta] = 7,55 \cdot 10^{-4} \cdot M_n^{0,685}$$

Fólie se vyrábí z polyethylentereftalátu s limitním viskozitním číslem 0,65 až 0,72. [7]

K dalším důležitým vlastnostem polyethylentereftalátu patří jeho krystalinita (podíl krystalické a amorfní fáze). Krystalinita se dá ovlivnit různými způsoby. Např. při rychlém ochlazení taveniny se získává polyethylentereftalát s téměř čistou amorfní strukturou. PET nemůže mít čistou krystalickou strukturu, při vhodných podmínkách se může docílit nejvíce 80 % zastoupení krystalické fáze. [7]

Oproti ostatním polyesterům má polyethylentereftalát vysokou odolnost vůči chemickým vlivům a také proti hydrolýze. Tato odolnost je nejspíše zapříčiněna tuhostí molekulárního řetězce, který svou strukturou znemožňuje pronikání cizích molekul do jeho makromolekulárních řetězců. Díky těmto vlastnostem je PET hůře rozpustný v chemických rozpouštědlech. Čím menší je relativní molekulová hmotnost polymeru, tím nižší je také odolnost vůči těmto rozpouštědlům. Rozpustnost polymerního materiálu je také podmíněna teplotou. Při vyšších teplotách se polyethylentereftalát rozpouští snadněji. Mezi rozpouštědla, která dokážou rozpustit tento materiál, patří např. hydrazin. [7]

Mezi další vlastnosti patří odolnost proti působení ultrafialového záření, odolnost proti působení větru. PET se hodí jako elektroizolační materiál, kvůli jeho nízké elektrické vodivosti, nízké tepelné vodivosti a vysoké tepelné stálosti. [7]

1.4 Výroba polymerní fólie

Z výše uvedených polymerů (PVC, OPS, PET), se za pomoci různých tvářecích výrobních metod zhotovuje výsledná polymerní fólie. Mezi základní tvářecí metody zhotovení plastové fólie patří:

- vstříkování
- válcování
- vytlačování

Vstříkováním se vyrábí fólie tím, že se do chlazené tlakové komory vstříkuje rozžhavená tavenina termoplastického materiálu, který působením studené formy zchladne a ztuhne. Vstříkovací zařízení mohou mít různou konstrukci. Zbytky ztuhlého termoplastického materiálu, které zůstanou po výrobě, se dají opět roztavit a použít při další výrobě. Po dokončení výroby se zhotovená fólie vyjme z komory (komora se otevře) a proces výroby může začít znovu. [5]

Válcování je způsob výroby polymerní fólie, při které materiál prochází mezi kalandrovacími, vyhřívanými válci. Existují různé druhy válcovacích zařízení, které se liší počtem válců. Nejčastěji je využíván čtyřválcový mechanismus. Fólie je vytvořena tak, že materiál v podobě taveniny projde mezi všema válci ve výrobní jednotce, díky čemuž se vytvoří fólie. Tento způsob je nejčastěji využíván k výrobě PVC fólie. [5]

Vytlačování je způsob přípravy polymerní fólie, při kterém je materiál vytlačován do volného prostoru za pomoci pístu. Tvar výsledné polymerní fólie se odvíjí od tvaru vytlačovací hubice. Výhodou tohoto tvářecího způsobu je to, že se pracuje v nepřetržitém způsobu výroby. Tyto stroje pracují následovně. Termoplastická hmota je dopravována do vytlačovací hlavy, kde je tato hmota stlačována a plastifikována. Z této části je materiál za působení tlaku dopravován do tvářecí hlavy, kde je následně vháněn do volného prostoru. [5]

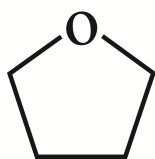
Po zhotovení fólie je materiál orientován. Orientace se provádí natahováním fólie (natahováním polymerních řetězců), čímž je dosaženo především zvýšení mechanické pevnosti smrštitelné fólie. Při vystavení vyšší teplotě se pokoušejí polymerní řetězce vrátit do původního stavu před orientací, čehož se využívá při aplikaci na výrobek. [3]

1.5 Rozpouštědla pro spojení smrštitelných fólií

V této kapitole jsou charakterizována rozpouštědla, se kterými se provádí spojování polymerní smrštitelné fólie. Všechna tato rozpouštědla jsou použita v experimentální části při zkoumání lepeného slepu u smrštitelných fólií.

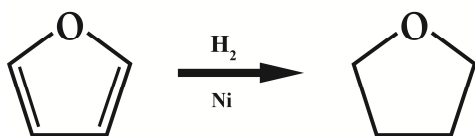
1.5.1 Tetrahydrofuran (THF)

Tetrahydrofuran je polární rozpouštědlo. To znamená, že v jeho struktuře, se nacházejí atomy mající rozdílnou elektronegativitu, které jsou spojené vazbou a to nejméně o 0,4. Konkrétně se jedná o atomy kyslíku a uhlíku. Kyslík má elektronegativitu 3,44 a uhlík má 2,55. Rozdílnost elektronegativit těchto dvou atomů je 0,89. Jeto heterocyklická sloučenina, což nám říká, že v cyklickém kruhu se nachází jeden, nebo více atomů, jiných než uhlík, v tomto případě je to kyslík. Chemická struktura je ukázaná na obrázku 15. [8]



Obrázek 15: Chemická struktura tetrahydrofuranu

Vyrábí se za pomoci vodíku, hydrogenací furanu na niklové podložce (reakce je zobrazena na obrázku 16).



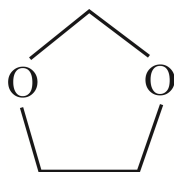
Obrázek 16: Výroba tetrahydrofuranu

Jeho molekulová hmotnost je 72,1 a hustota při 20 °C je 0,89 g/cm³ což znamená, že má menší hustotu než voda. Je to bezbarvá kapalina se zápachem po etheru. Mísí se s vodou, má nízkou viskozitu (0,48 mPa.s při 20 °C) a je bezbarvá. Jeho pH je 7 až 8 (látka zásaditá). Páry tetrahydrofuranu jsou lehčí než vzduch. Rozpouští polární sloučeniny, jako je například polyvinylchlorid. THF je vysoce penetrující a snadno rozpouští tenké polymerní filmy. Z tohoto důvodu se často ředí s jinými druhy rozpouštědel, aby se tento účinek snížil. [8], [9]

Při delším vystavení této látky (výpary této látky) způsobuje bolesti hlavy. Z testů na zvířatech se zjistilo, že při vystavení této látky v nižších koncentracích (přibližně 100 až 200 ppm) způsobuje při vniku do očí podráždění oční sliznice, při polížení touto látkou podráždění kůže v místě styku rozpouštědla s pokožkou a také při expozici par způsobuje podráždění nosní sliznice a horních cest dýchacích. Při vysokých expozicích touto látkou (asi 25 000 ppm) nastává anestezie. Při delším vystavení vyšším koncentracím tetrahydrofuranu (nad 1000 ppm) bylo zjištěno poškození plic, ledvin a jater. [8]

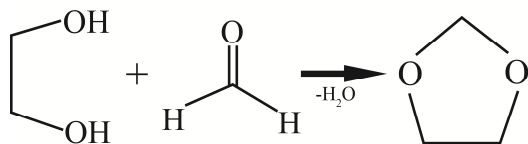
1.5.2 1,3-dioxolan

1,3-dioxolan je bezbarvá vysoce hořlavá kapalina, která má větší viskozitu než voda. Podle chemické struktury, se tato látka řadí mezi cyklické acetaly. Chemická struktura je zobrazena na obrázku 17. Výpary této kapaliny jsou těžší než vzduch, takže se při odpařování drží při zemi a je nezbytně nutné odvětrávání prostor, ve kterých může osoba přijít do styku s touto látkou. Molekulová hmotnost je 74,079 g/mol. 1,3-dioxolan má bod varu 78 °C, má tedy nižší bod varu než voda. Je rozpustný v etanolu, etheru, a acetonu. Kapalina je mísitelná s vodou. [10]

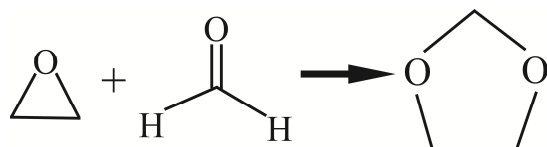


Obrázek 17: Chemická struktura 1,3-dioxolanu

1,3-dioxolan se vyrábí kondenzací ethylenglykolu s formaldehydem. Tato reakce probíhá v přítomnosti kyselých katalyzátorů (viz obrázek 18). Také se může vyrábět reakcí ethylenoxidu s formaldehydem v přítomnosti chloridu cíničitého (SnCl_4), nebo tetraethylamoniumbromidu $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{NBr}$ (viz obrázek 19). [11]



Obrázek 18: Výroba 1,3-dioxolanu kondenzací ethylenglykolu s formaldehydem

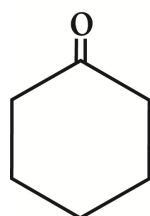


Obrázek 19: Výroba 1,3-dioxolanu reakcí ethylenoxidu s formaldehydem

Výpary jsou vysoce hořlavé. Při styku kapalného 1,3-dioxolanu s kůží, vzniká podráždění kůže v místě expozice. Při vniku do očí způsobuje podráždění oční sliznice. U této látky je podezření na způsobení genetických defektů a také na poškození plodnosti. U těhotných žen hrozí při vystavení této látce vznik vad u nenarozeného dítěte. [12]

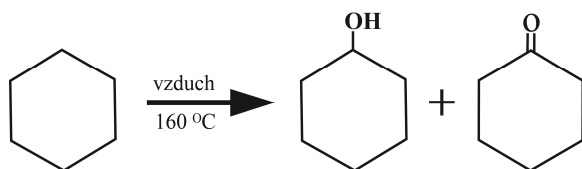
1.5.3 Cyklohexanon

Cyklohexanon je bezbarvá hořlavá kapalina, s vůní podobnou acetonu a má tě peprné. Má nižší hustotu než voda a také je s ní mísitelný. Jeho molekulová hmotnost je 98.145 g/mol. Chemická struktura je zobrazena na obrázku 20. Výpary tohoto rozpouštědla jsou hořlavé a s okolním vzduchem tvoří výbušnou směs. Tyto výpary jsou těžší než vzduch, takže se při odpařování shromažďují u země a je tedy nutné, aby při práci s touto látkou bylo funkční odvětrávání. [13]

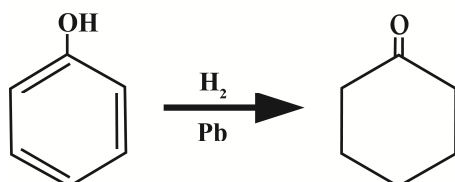


Obrázek 20: Chemická struktura cyklohexanonu

Cyklohexanon se získá oxidací cyklohexanu. Při tomto způsobu vzniká cyklohexanon spolu s cyklohexanolem. Dále se také může cyklohexanon vyrobit z fenolu, a to konkrétně jeho hydrogenací. Oba tyto postupy jsou znázorněny níže na obrázku 21 a 22. [14]



Obrázek 21: Výroba cyklohexanonu oxidací cyklohexanu [14]

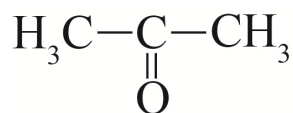


Obrázek 22: Výroba cyklohexanonu hydrogenací fenolu [14]

Dlouhodobé vystavení této látky způsobuje poškození jater. Při styku s kůží způsobuje podráždění a u citlivých osob může vyvolat dermatitidu. Při vniknutí tekutého rozpouštědla do očí způsobuje vážné podráždění oční sliznice. Při vdechnutí par způsobuje podráždění sliznice, a také ospalost a závratě. Požití této látky zapříčiňuje poškození orgánů. Cyklohexanon má také mutagenní účinky a nepříznivý vliv na reprodukční vlastnosti u mužů a embryotoxické účinky u žen. [13]

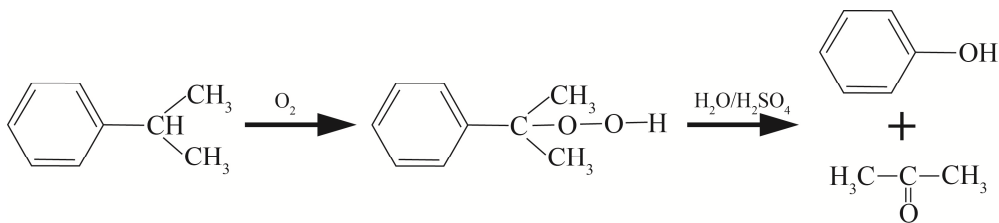
1.5.4 Aceton

Aceton je triviální název pro chemikálii propan-2-on. Jeho chemické složení je ukázáno níže (obrázek 23). Aceton je rychle se odpařující bezbarvá kapalina s charakterizujícím zápachem. Látka je hořlavá a její výpary tvoří spolu s okolním vzduchem výbušnou směs. Při styku kapaliny se statickou elektřinou může vzplanout. Při delším vystavení slunečnímu záření nastává znehodnocení rozpouštědla. Jeho molekulová hmotnost je 58,08 g/mol a má nízkou viskozitu (0,48 mPa.s při 20 °C). Při teplotě 465 °C dokáže samovolně vzplanout. [15]



Obrázek 23: Chemická struktura propan-2-on

Vyrábí se pomocí Kumenova způsobu, který je zobrazen na obrázku 24. Při tomto způsobu výroby vzniká aceton spolu s fenolem.



Obrázek 24: Výroba acetonu Kumenovým způsobem [16]

Na lidský organismus působí při vniknutí do očí vážným podrážděním oční sliznice, při styku s kůží vzniká mírné podráždění v místě styku a při požití způsobuje poškození orgánů, ale při malém množství je tato látka zpracována pomocí jater a přeměněna na energii. Dále také může způsobit při vystavení výparům ospalost, podráždění nosu, plic, ústní dutiny, očí a také způsobit pocit závratě. U žen může nastat při vystavení této látky zkrácení menstruačního cyklu. Při velkém množství požití látky může nastat bezvědomí.

Při studiích dlouhodobého vystavení acetonu na zvířatech bylo zjištěno poškození nervů, jater a ledvin a také vznik vrozených vad. Dále byla zjištěna snížená schopnost reprodukce u samců. [15]

1.5.5 Technický benzín

Technický benzín je bezbarvá, rychle se odpařující kapalina s výrazným zápachem. Kapalina je vysoce hořlavá a její páry tvoří výbušnou směs. Látka se skládá ze směsi uhlovodíků $\text{C}_6\text{--}\text{C}_7$, cyklických uhlovodíků, isoalkanů, toluenu, benzenu a n-Hexanu. Procentuální zastoupení jednotlivých složek v technickém benzínu je:

- Uhlovodíky, $\text{C}_6\text{--}\text{C}_7$, isoalkany, cyklické <=100 %
- n-Hexan <3 %
- Toluen <1 %
- Benzen <0,01 %

Existuje více druhů technického benzínu, liší se procentuálním zastoupením jednotlivých složek v této směsi. [17]

Při potřísnění se touto kapalinou nastává podráždění pokožky a její následné vysušení v místě styku. Také může způsobit dermatitidu. Dráždí oční sliznici při vniknutí kapaliny do oka a také může dojít k jeho zarudnutí. Při vystavení působení par této látky může způsobovat ospalost. Při vniknutí do dýchacích cest lidského organismu může zapříčinit edém plic, bronchopneumonii. Tato látka má také narkotické účinky. Nesmí vniknout do přírodního prostředí, protože je toxická pro vodní organismy. [17]

Použitá literatura

- [1] ŠTĚPEK, Jiří. *Polymery: v obalové technice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [2] *Polymer Microscopy* [online]. USA: Springer, 2008 [cit. 2018-04-23]. ISBN 978-0-387-72627-4. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=T8Krosds-1gC&pg=PA5&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [3] *Shrink Sleeves for HP Indigo Label and Packaging Digital Presses*. Palo Alto, United States, 2016.
- [4] *Lepení v praxi* [online]. 20. 10. 2017. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing., 2017, s. 49 [cit. 2018-06-24]. ISBN 978-80-271-0247-1. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=LbdEDwAAQBAJ&pg=PA49&lpg=PA49&dq=pronik%C3%A1n%C3%AD+rozpou%C5%A1t%C4%9Bdla+do+polymer%C5%AF&source=bl&ots=HknNnw5Iqj&sig=SUqGv4hCLt6-paeqGZpkj0eOvGc&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiIjJfjkYvbAhVCM5oKHcsgCikQ6AEwBHoECAEQQ#v=onepage&q=pronik%C3%A1n%C3%AD%20rozpou%C5%A1t%C4%9Bdla%20do%20polymer%C5%AF&f=false>
- [5] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
- [6] ŠVEC, Petr. *Polystyren a jeho modifikace*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [7] MLEZIVA, Josef. *Polyestery, jejich výroba a zpracování*. 2., přeprac. a rozš. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978.
- [8] BEZPEČNOSTNÍ LIST: TETRAHYDROFURAN. *Ing. Petr Švec - PENTA* [online]. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10: Ing. Petr Švec - PENTA, 2010 [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: https://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/t/bezplist_243.pdf
- [9] GRIMMER, Jiří, Miroslav MÁLEK a Robert SANTHOLZER. *Organická rozpouštědla*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.

- [10] BEZPEČNOSTNÍ LIST: 1,3-DIOXOLAN. *Ing. Petr Švec - PENTA* [online]. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10: Ing. Petr Švec - PENTA, 2013, 19.6.2013 [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: https://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/d/bezplist_737.pdf
- [11] Method for production of 1,3-dioxolanes. US5026880A US Grant. Uděleno 1991.
- [12] DIOXOLANE. *New Jersey Department of Health* [online]. P. O. Box 360, Trenton, NJ, United States, 08625-0360: New Jersey Department of Health, 1999, 1999 [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0791.pdf>
- [13] BEZPEČNOSTNÍ LIST: CYKLOHEXANON. *Ing. Petr Švec - PENTA* [online]. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10: Ing. Petr Švec - PENTA, 2010, 22.12.2010 [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: https://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/c/bezplist_8.pdf
- [14] *STU Bratislava FCHPT* [online]. [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: <http://www.chtf.stuba.sk/kot/otp/110.pdf>
- [15] BEZPEČNOSTNÍ LIST: ACETON. *Pentachemicals* [online]. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10: Ing. Petr Švec - PENTA, 2010, 11.11.2010 [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: https://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/a/bezplist_116.pdf
- [16] *Vypracování středoškolských učebních textů z organické chemie* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/sdpwn/Diplomova_prace_-_Cholevova_Jana.pdf. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [17] BEZPEČNOSTNÍ LIST: BENZIN 80/110. *Ing. Petr Švec - PENTA* [online]. Radiová 1122/1 102 00 Praha 10: Ing. Petr Švec - PENTA, 2014, 4.8.2014 [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: https://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/b/bezplist_185.pdf

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Teplotní závislost chemických struktur</i>	9
<i>Obrázek 2: Pravidelná struktura krystalického polymeru [2]</i>	9
<i>Obrázek 3: Nepravidelná struktura amorfního polymeru [2]</i>	10
<i>Obrázek 4: Semikrystalická struktura [2]</i>	10
<i>Obrázek 5: Chemická struktura vinylchloridu</i>	12
<i>Obrázek 6: Polymerace PVC</i>	13
<i>Obrázek 7: Chemická struktura Styrenu</i>	16
<i>Obrázek 8: Uspořádání molekuly polystyrenu "hlava-pata" [6]</i>	17
<i>Obrázek 9: Radikálová reakce polystyrenu</i>	17
<i>Obrázek 10: "Závislost houževnatosti polystyrenu (metodou Izod) na hmotnostně střední relativní molekulové hmotnosti"[6]</i>	18
<i>Obrázek 11: Esterová skupina</i>	19
<i>Obrázek 12: Chemická struktura polyethylentereftalátu [5]</i>	19
<i>Obrázek 13: První krok chemické výroby polyethylentereftalátu [5]</i>	20
<i>Obrázek 14: Závěrečná výroba polyethylentereftalátu [5]</i>	20
<i>Obrázek 15: Chemická struktura tetrahydrofuranu</i>	22
<i>Obrázek 16: Výroba tetrahydrofuranu</i>	23
<i>Obrázek 17: Chemické struktura 1,3-dioxolanu</i>	23
<i>Obrázek 18: Výroba 1,3-dioxolanu kondenzací ethylenglykolu s formaldehydem</i>	24
<i>Obrázek 19: Výroba 1,3-dioxolanu reakcí ethylenoxidu s formaldehydem</i>	24
<i>Obrázek 20: Chemická struktura cyklohexanonu</i>	24
<i>Obrázek 21: Výroba cyklohexanonu oxidací cyklohexanu [14]</i>	25
<i>Obrázek 22: Výroba cyklohexanonu hydrogenací fenolu [14]</i>	25
<i>Obrázek 23: Chemická struktura propan-2-on</i>	25
<i>Obrázek 24: Výroba acetonu Kumenovým způsobem [16]</i>	26

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Fyzikálně chemické vlastnosti průmyslově vyráběného polyvinylchloridu [1]</i>	14
---	----