



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

POLYMERNÍ NANOKOMPOZITY PRO INTERIÉROVÉ ČÁSTI AUTOMOBILŮ

POLYMER NANOCOMPOSITES FOR INTERIOR CAR BODY PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL MIŠKOLCI

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. JOSEF JANČÁŘ, CSc.

BRNO 2009



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

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce: **FCH-BAK0242/2008** Akademický rok: **2008/2009**
Ústav: Ústav chemie materiálů
Student(ka): **Michal Miškolci**
Studijní program: Chemie a chemické technologie (B2801)
Studijní obor: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů (2808R016)
Vedoucí bakalářské práce: **prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.**
Konzultanti bakalářské práce:

Název bakalářské práce:

Polymerní nanokompozity pro interiérové části automobilů

Zadání bakalářské práce:

Příprava a testování nanokompozitů na bázi polykarbonátů pro zvýšení odolnosti vnějších automobilových součástí proti škrábání.

Termín odevzdání bakalářské práce: 29.5.2009

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

Michal Miškolci
Student(ka)

prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
Vedoucí práce

prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2008

doc. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou odolnosti interiérových automobilových dílů proti otěru použitím nanokompozitů na bázi polykarbonátů. V teoretické části byla zpracována literární rešerše shrnující dosavadní poznatky k dané problematice. V experimentální části pak byly připravené vzorky na bázi polykarbonátů a byl měřen jejich modul pružnosti jakožto jeden z hlavních parametrů ovlivňujících odolnost proti otěru a poškrábání.

ABSTRAKT

This bachelor's thesis is interested in the problem of scratch resistance of interior car body parts. In this thesis, the solution is seen in using polycarbonate – based nanocomposites. In theoretical part, a literature search of this theme was made. In experimental part, the samples based on polycarbonate were prepared, and their tensile modulus was tested, as one of the main parameter affecting the scratch resistance.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

Nanokompozity, polykarbonát, nanosilika, modul pružnosti

KEYWORDS

Nanocomposites, polycarbonate, nanosilica, tensile modulus

MIŠKOLCI, M. *Polymerní nanokompozity pro interiérové části automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 31 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

.....
podpis studenta

OBSAH

1	Úvod	7
2	Teoretická část	8
2.1	Nanokompozity – definice.....	8
2.1.1	Kompozity	8
2.1.2	Rozdělení kompozitů podle rozměrů zpevňující fáze	8
2.1.2.1	Makrokompozity.....	8
2.1.2.2	Mikrokompozity	8
2.1.2.3	Nanokompozity	8
2.1.3	Nanokompozity	8
2.2	Vlastnosti	9
2.2.1	Youngův modul pružnosti	9
2.2.2	Mez pružnosti.....	10
2.2.3	Mez kluzu.....	10
2.2.4	Mez pevnosti.....	10
2.2.5	Youngův modul pružnosti a jeho chování	10
2.2.5.1	Guthova a Goldova rovnice	10
2.2.5.2	Halpin-Tsaiova rovnice	11
2.3	Matrice	12
2.3.1	Polypropylen (PP).....	12
2.3.2	Nylon.....	12
2.3.3	Polyethylen (PE)	12
2.3.4	Polyvinylchlorid (PVC)	12
2.3.5	Ethylvinyl acetát (EVA)	12
2.3.6	Polykarbonát (PC).....	12
2.3.6.1	Výroba PC.....	12
2.3.6.2	Vlastnosti a využití PC	14
2.4	Plniva	15
2.4.1	Mechanismus působení plniv.....	15
2.4.1.1	Makro- a mikrokompozity.....	15
2.4.1.2	Nanokompozity	15
2.4.2	Používané plniva.....	16
2.4.2.1	Sklo	16
2.4.2.2	Silika	16
2.5	Způsoby přípravy nanokompozitů.....	16
2.5.1	Interkalace polymeru anebo předpolymeru v roztoku	16
2.5.2	In situ interkalační polymerace	17
2.5.3	Interkalace v tavenině	17
3	Experimentální část	18
3.1	Příprava vzorků.....	18
3.1.1	Způsob přípravy	18
3.1.2	Vzorky	18
3.1.3	Výpočty navážek.....	18
3.1.4	Materiály	19
3.1.5	Příprava vzorků.....	19

3.1.5.1	Vzorky s mikroplnivem	19
3.1.5.2	Vzorky s nanoplnivem	19
3.1.5.3	Vzorek bez plniva	19
3.2	Testování	20
3.2.1	Testovací metoda	20
4	Výsledky a Diskuze	21
4.1	Vyhodnocení výsledků	21
4.1.1	Čistý polykarbonát	21
4.1.2	Polykarbonát plněný mikroplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 2,5\%$	21
4.1.3	Polykarbonát plněný mikroplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 5\%$	22
4.1.4	Polykarbonát plněný nanoplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 2,5\%$	22
4.1.5	Polykarbonát plněný nanoplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 5\%$	23
4.2	Grafické vyhodnocení	24
4.2.1	Tahové křivky	24
4.3	Výsledky	25
4.4	Porovnání skutečných výsledků s teoretickými výsledky	26
5	Závěr	27
6	Seznam použitých zdrojů	28
7	Seznam použitých zkratk a symbolů	30
8	Seznam příloh	32

1 ÚVOD

Nanotechnologie jsou spolu s biotechnologiemi a informačními technologiemi obory relativně mladé, stávají se z nich tzv. „nastupující technologie“. Nanotechnologie se pravděpodobně stanou významnou, možná klíčovou technologií moderního světa 21. století. Lidí už od pradávna zajímalo, co se děje s materiálem, je-li dělen na stále menší částičky, a je-li možno v tomhle dělení pokračovat donekonečna. V roce 1959 předpověděl Richard Phillips Feynman, americký fyzik a laureát Nobelovy ceny, možnost vytvářet materiály a mechanismy na úrovni atomů a molekul, čím vlastně předpověděl vznik oboru nanotechnologie. Feynman tvrdil, že tohle bude možné, až bude k dispozici technika umožňující manipulaci s „nano“-strukturami a měření jejich vlastností. Tato technika dnes již existuje, jsou vyvinuty postupy, které dokážou spolehlivě cíleně vytvořit tak jemnou strukturu materiálu. Současně byla vyvinuta technika umožňující přímé pozorování nanomateriálů: rastrovací tunelovací mikroskopie (scanning tunneling microscopy, STM) a mikroskopie atomových sil (atomic force microscope, AFM). U zrodu obou těchto technik stál švýcarský fyzik Gerd Binnig. [1, 2]

Nanokompozity nacházejí uplatnění hlavně v kosmonautice, leteckém a vojenském průmyslu, nicméně se stále víc infiltrují do oblastí spojených s běžným životem: průmysl automobilový, kosmetický, stavebnictví, zemědělství ale i sport.

Tato bakalářská práce je zaměřena právě na automobilový průmysl, konkrétně na použití nanokompozitů na výrobu vnitřních dílů s cílem snížit povrchové opotřebování těchto dílů způsobené poškrábáním. V teoretické části je řešený problém odolnosti proti otěru a poškrábání. V experimentální části je pak popsána příprava vzorků, jejich testování a jsou zde uvedeny výsledky. Z závěru jsou pak diskutovány výsledky a jejich přínos k řešenému tématu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nanokompozity – definice

2.1.1 Kompozity

Kompozity jsou materiály obsahující minimálně dvě fáze, mezi kterými je rozlišitelné rozhraní. Fáze mívají obvykle rozdílné chemické složení a také rozdílné fyzikální a chemické vlastnosti. Kompozit synergicky kombinuje tyto vlastnosti. V kompozitu se vždy nachází spojitá fáze, tzv. matrice a fáze zpevňující. Podle charakteru zpevňující fáze se kompozity dělí na dvě hlavní skupiny: na kompozity vláknové a kompozity plněné. Výsledné vlastnosti kompozitu jsou určeny zvolenou matricí, zvoleným plnivem, resp. výztužemi a jejich vzájemným objemovým poměrem, čili objemovým zlomkem zpevňující fáze. Právě změnou objemového zlomku zpevňující fáze lze dosáhnout výrobky s odlišnými vlastnostmi. Vlastnosti kompozitů se tedy dají velice lehce modifikovat a tím pádem je snadné určit vlastnosti výrobku už v průběhu výroby tak, aby byly vyhovující. [3]

2.1.2 Rozdělení kompozitů podle rozměrů zpevňující fáze

Kompozity se rozdělují podle rozměrů vláken anebo částic plniva na:

2.1.2.1 Makrokompozity

Za makrokompozity se považují materiály obsahující zpevňující fázi s rozměrem 10^0 až 10^2 mm. Tyto materiály jsou běžně používány ve stavebnictví (polymerbetony obsahující drcené kamenivo anebo pryskyřici, betony vyztužené ocelovými lany nebo pruty – železobetony). Vícevrstevné struktury, jako například chodníky a vozovky, ale také plátované kovy se ze strukturního hlediska také dají považovat za makrokompozity.

2.1.2.2 Mikrokompozity

Příční velikost vláken anebo částic u mikrokompozitů je mezi 10^0 až 10^2 μm . Tyhle kompozity mají nízkou hustotu a díky tomu dosahují vysokého poměru pevnosti v tahu k hustotě (σ_m / ρ) a modulu pružnosti k hustotě (E / ρ). Tyto hodnoty měrné pevnosti a měrného modulu jsou lepší než u kovů a jejich slitin právě díky nízké hustotě kompozitů. Objemové zlomky plniv se u makro- a mikrokompozitů pohybují řádově v desítkách procent.

2.1.2.3 Nanokompozity

Nanokompozity jsou materiály, které obsahují vyztužující částice které mají alespoň jeden příčný rozměr řádově v nm. Objemové zlomky plniv u nanokompozitů se pohybují řádově v procentech, obsah nanoplňiva víc jak 10% je neobvyklý.

2.1.3 Nanokompozity

Nanokompozity jsou dvoufázové materiály obsahující plnivo, které má alespoň jeden rozměr v nanometrech, rozptýlené v polymerní matrici. Jejich název byl odvozen z rozměrů plniv. [4]

Tyto materiály jsou relativně mladé, jejich výzkum a vývoj stále probíhá. Jejich využití je v speciálních odvětvích průmyslu, jako je průmysl letecký a vojenský a kosmický. Pro tyto

průmysly jsou dnes již nanokompozity nepostrádatelnou součástí. Pracuje se například na prototypech moderních zbraní, jakými jsou vrtulníky, vznášedla, tanky, bombardéry a stíhací letouny, které jsou tvořeny z více jak 50% z kompozitních dílců. Nanokompozity totiž mohou mít mechanické vlastnosti srovnatelné s doteď užívanými materiály, avšak jsou mnohem lehčí, což má za následek například vyvinutí větší rychlosti, či úsporu paliva. Ze stejného důvodu se nanokompozity začali využívat v průmyslu automobilovém, snížené hmotnosti při zachování mechanických vlastností také vděčí za využití ve stavebnictví. Právě automobilový a stavební průmysl jsou odvětvími, ve kterých se běžný člověk nejčastěji dostává do kontaktu s nanokompozity – vyrábějí se z nich různé části automobilů, jak interiérové, tak exteriérové, otěruvzdorné laky, ve stavebnictví například nosníky, izolační materiály, různé laky a nátěry. Dále se také využívají v průmyslu kosmetickém, zemědělském, elektrotechnickém, ale také ve sportovním.

2.2 Vlastnosti

Vlastnosti kompozitů bývají synergickou kombinací vlastností matrice a plniva. To znamená, že kompozit má souhrn vlastností, který je lepší než souhrn těch samých vlastností u čisté matrice a u čistého plniva.

Polymerní matrice mají nižší pevnost jako plnivo, avšak vyšší pružnost. Také mají nižší hustotu, což se projevuje na hmotnosti kompozitu. Další kladní vlastností je dobrá zpracovatelnost, kterou následně má také kompozit. Matrice má v kompozitu více funkcí, nejdůležitější z nich je přenos vnějšího napětí na plnivo. Také chrání plnivo před mechanickým a chemickým poškozením a díky matrici kompozit drží pohromadě.

Plniva mají ve srovnání s matricemi vyšší pevnost a modul pružnosti, rozdíly v řádech nejsou výjimkou. Úloha plniva je odolávání vnějšímu napětí. [5]

Nejdůležitějšími vlastnostmi z hlediska odolnosti proti otěru jsou Youngův modul pružnosti E a mez pružnosti σ_y . Dalšími důležitými mechanickými vlastnostmi materiálů jsou mez kluzu σ_p a mez pevnosti σ_m .

2.2.1 Youngův modul pružnosti

Youngův modul pružnosti je konstanta vyjádřená z Hookova zákona pro elastickou deformaci materiálů jednoosým tahem: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$, kde ε je relativní prodloužení – poměr délky o

kterou se materiál prodlouží k původní délce nenamáhaného materiálu: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$; σ je napětí,

kterým se na materiál působí – poměr síly, která působí k ploše průřezu materiálu: $\sigma = \frac{F}{S}$; E

je Youngův modul pružnosti – tedy podíl napětí, které na vzorek působí k relativnímu prodloužení vzorku: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$. Tohle platí pouze v oblasti elastické deformace materiálu.

Elastická deformace, nebo deformace vratná, je taková deformace, která je způsobena vnější silou, avšak po skončení působení síly se deformace ztrácí a vzorek zaujímá původní tvar. Pro každý materiál existuje závislost $\sigma = f(\varepsilon)$, tato závislost se nazývá tahová křivka materiálu. Na obrázku (obr. 1) je zobrazen příklad tahové křivky pro neznámý materiál.

2.2.2 Mez pružnosti

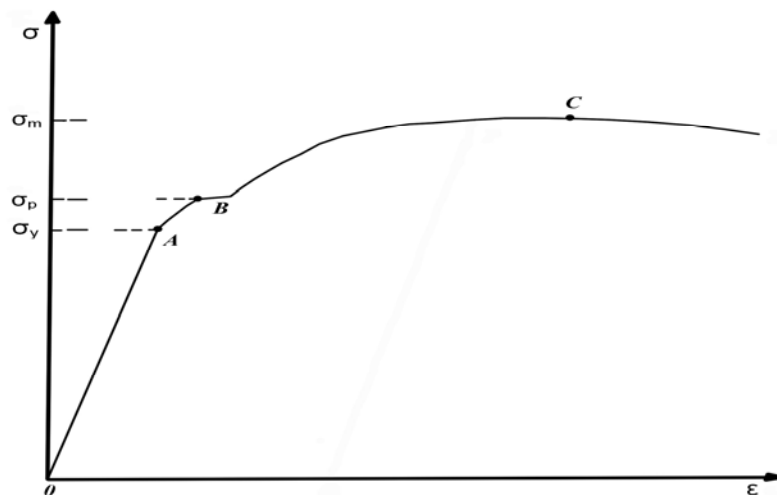
Mez pružnosti, σ_y , je takové napětí působící na vzorek, při kterém končí elastická deformace a začíná deformace plastická. Deformace plastická, také označována za deformaci nevratnou, je taková, která po skončení působení vnější síly nemizne úplně, vzorek je trvalo deformován.

2.2.3 Mez kluzu

Mez kluzu, σ_p , je takové napětí materiálu, které leží za mezí pružnosti a při tomhle napětí dochází k prodlužování materiálu bez dalšího růstu napětí, tzv. tečení materiálů za studena.

2.2.4 Mez pevnosti

Mez pevnosti, σ_m , je takové napětí materiálu, při kterém se materiál zhroutí, čili praskne. Zatímco mez pružnosti a mez pevnosti nemusí všechny materiály nutně vykazovat (např. materiály keramické tyto meze nemají, resp. je mají jenom teoretické, ležící za mezí pevnosti), mez pevnosti vykazují všechny materiály bez výjimky, čili neexistuje materiál, který by odolal libovolně velkému napětí.



Obr. 1: Tahová křivka neznámého materiálu: do bodu A je materiál deformován elasticky, za tímhle bodem nastává plastická deformace. Napětí zodpovídající bodu A je mezi pružnosti. Napětí v bodu B odpovídá mezi kluzu, nastává tedy prodlužování materiálu bez zvyšování napětí. V bodě C materiál praskne, napětí tedy odpovídá mezi pevnosti.[6]

2.2.5 Youngův modul pružnosti a jeho chování

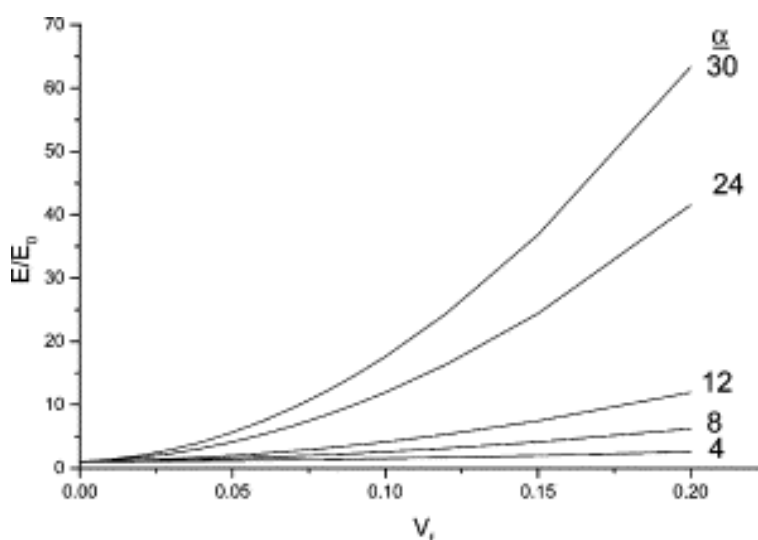
Jak již bylo zmíněno, Youngův modul pružnosti je zásadní vlastnost, od které se odvíjí odolnost materiálu proti ořezu a poškrábání. Proto se v této práci budu zabírat právě tímhle modulem. Nastává otázka, co se děje s Youngovým modulem pružnosti při přidávání plniv do nanokompozitů.

2.2.5.1 Guthova a Goldova rovnice

Již před několika desítkami let byly snahy o odvození vyztužujícího efektu elastomerů plněných koloidními částicemi. Guth a Gold odvodili kvadratickou závislost založenou na

Smallwood-Einsteinově rovnici a získali tak rovnici která brala do úvahy interakci mezi maticí a plnivem ve tvaru $E = E_m(1 + 2,5\varphi + 14,1\varphi^2)$, kde E je Youngův modul pružnosti kompozitu, E_m je Youngův modul pružnosti čisté matrice a φ je objemový zlomek plniva. [7,8] Nicméně se ukázalo, že tato rovnice platí pouze u kompozitů do jistého objemového zlomku kulovitých částic. Je-li objemový zlomek nad 10%, modul pružnosti kompozitu roste mnohem víc, jako předpovídá daná rovnice. Důvod může být spojován s vytvořením jakési síťové struktury kulovitých částic uvnitř matrice.

Guth následně vzal do úvahy vytvoření této sítě, uvědomil si její podobnost s vláknitými částicemi a upravil svoji rovnici zavedením faktoru α (aspektní poměr délka/šířka), aby tak vysvětlil tohle tzv. „akcelerované vyztužování“: $E = E_m[1 + 0,67\alpha\varphi + 1,62(\alpha\varphi)^2]$. [8] Na obrázku (obr. 2) je patrné výrazné zvýšení modulu pružnosti v závislosti na objemovém zlomku a hodnotě faktoru α .



Obr. 2: Guthova rovnice – Závislost poměru modulu pružnosti kompozitu k modulu pružnosti čisté matrice na objemovém zlomku plniva na faktoru α [8]

2.2.5.2 Halpin-Tsaiova rovnice

Hodně rozšířenou rovnici na výpočet modulů pružností kompozitů je Halpin-Tsaiova rovnice: $E = \frac{1 + \xi\eta\varphi}{1 - \eta\varphi} \cdot E_m$, kde ξ je konstanta související s geometrií částic a s Poissonovou

konstantou matrice ν : $\xi = \frac{7 - 5\nu}{8 - 10\nu}$; a η je konstanta která bere do úvahy relativní modul

matrice a plniva: $\eta = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi}$, kde E_f je modul pružnosti plniva. Halpin-Tsaiova rovnice

v tomto tvaru dobře platí v oblasti do objemového zlomku $\varphi = 30\%$, což je průmyslně nejčastěji používaný rozsah objemových zlomků. [8,10,11]

2.3 Matrice

Matrice má v kompozitu funkci nosného média, je v ní rozptýleno plnivo a matrice drží celý výrobek pohromadě. Také ale chrání plnivo před mechanickým, či chemickým poškozením. Snad nejdůležitější funkcí matrice je ale přenos vnějšího mechanického napětí na částičky plniva. V průmyslu se nejčastěji používají následující matrice: [12,13]

2.3.1 Polypropylen (PP)

PP nachází široké využití v pozemním stavitelství, výrobě vláken, automobilovém průmyslu a balení netrvanlivého zboží.

2.3.2 Nylon

Nylon se používá hlavně na výrobu vláken, např. vlákna na zubní kartáčky, ale také vlákna na výrobu textilu. V automobilech je možné ho najít v samomazných převodovkách a ložiskách.

Nylon jako matrice nanokompozitu dává výrobku lepší tepelnou stabilitu, odolnost vůči chemikáliím a rozpouštědlům, ohnivzdornost, zlepšené bariérové vlastnosti a snižování úbytku hmotnosti.

2.3.3 Polyethylen (PE)

Polyethylenová matrice znamená, že výrobek má zvýšenou ohnivzdornost, moduly, deformační teploty, snížený koeficient tepelné roztažnosti, nízkou hmotnost a dobré bariérové vlastnosti. Právě díky tepelným vlastnostem nevynímajíc tepelnou roztažnost se používá v automobilovém průmyslu a díky nízké hmotnosti také v průmyslu leteckém.

2.3.4 Polyvinylchlorid (PVC)

Díky vysoké odolnosti vůči otěru a zároveň vysoké chemické odolnosti se polyvinylchlorid používá v aplikacích trvalého charakteru, jako jsou roury, obklady, podlahoviny, izolace kabelů a okenní profily.

2.3.5 Ethylvinyl acetát (EVA)

EVA často obsahuje velké množství anorganického plniva, jako je například trihydroxid hlinitý. Je hodně rozšířený ve výrobě kabelů.

Použitím EVA v nanokompozitech se docílí zvýšení tuhosti, tepelné stability, odolnosti vůči chemikáliím a rozpouštědlům, ohnivzdornosti a zlepšení bariérové vlastnosti.

2.3.6 Polykarbonát (PC)

Polykarbonát byl použit jako matrice v experimentální části, proto se ním budeme zabírat víc, jako ostatními vyjmenovanými matricemi.

2.3.6.1 Výroba PC

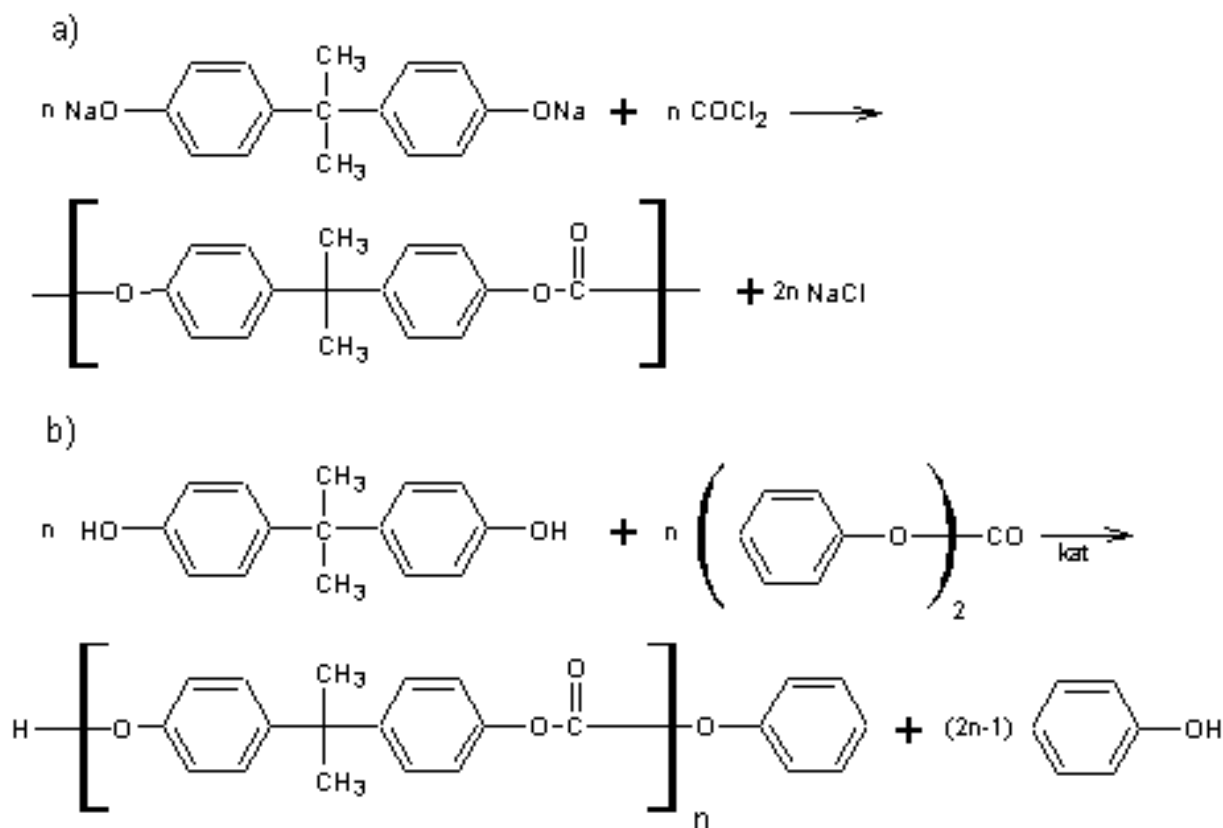
Polykarbonáty jsou polyestery kyseliny uhličité. Snadno přístupné a svými vlastnostmi výhodné zároveň jsou polykarbonáty na bázi 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)-propanu, také označovaného jako dian, nebo bisfenol A. Vyrábějí se dvěma způsoby: fosgenací nebo reesterifikací.

Fosgenace je reakce dianu s fosgenem za přítomnosti látek, které vážou uvolňovaný chlorovodík. Za tímhle účelem se používá vodní roztok hydroxidu sodného nebo pyridin. Do

roztoku dianu v NaOH za přítomnosti dichlormethanu jako rozpouštědla se za stálého míchaní a chlazení přidá fosgen v množství o něco větším než je teoretické. Na hranici fází vznikne exotermickou reakcí oligomer zakončený skupinami – OCOCl. Následně se přidá katalyzátor, který převede oligomery na vysokomolekulární polyester. Jako katalyzátory se používají kvartérní amoniové báze nebo terciární aminy. Je nutné dobré míchání, protože se jedná o reakci v dvoufázovém systému. Molekulovou hmotnost je možné regulovat přidávkem monofunkčního fenolu. Vzniklý roztok PC se odděluje od solného roztoku a promývá se vodou. Izolace polyesteru se provádí buď odpařením rozpouštědla, anebo zrážením. PC připravený vysrážením a vysušením má malou sypanou hmotnost a obtížně se zpracovává. Odpařením rozpouštědla ve vyhřívaných extrudérech dojde ke vzniku taveniny, která se vytlačuje a granuluje. Zvlášť výhodné je dispergovat methylenový roztok ve vodě a za stálého míchaní a zahřívání oddestilovat rozpouštědlo, vznikne tak produkt vhodný pro další zpracování bez nutnosti granulace. Při zahřívání s vodou dochází k odstranění posledních zbytku chlóru. Toho zle dosáhnout také propařováním vodní parou. Na závěr se PC suší při 120 až 140 °C, často vakuově. Při použití pyridinu působí pyridin jako akceptor vodíku, katalyzátor i rozpouštědlo. Na molekulovou hmotnost při fosgenaci mají vliv čistota dianu, reakční teplota, rychlost přidávání fosgenu, nečistoty a dokonalost míchaní.

Při reesterifikaci se ekvimolární množství dianu reesterifikuje difenylkarbonátem bez přístupu vzdušného kyslíku. Při reakci se používají reesterifikační katalyzátory, dobře fungují natriumbisfenolát a butoxyhlinitan hořečnatý. Nejdříve se zahřívá směs při teplotě 200 až 230 °C při 2,6 kPa tak dlouho, až se oddestiluje 90% teoretického množství fenolu. Následně se sníží tlak pod 0,13 kPa a zvýší teplota na 290 až 300 °C. Reakce pokračuje, zvyšuje se molekulová hmotnost řetězců a tím i viskozita taveniny. Nakonec se tavenina vytlačí z autoklávy dusíkem ve formě pásků, které se sekají. Je vhodné na začátku reesterifikace dát do směsi nadbytek difenylkarbonátu, čím se zajistí rychlejší a úplnější zreagování dianu. Neesterifikovaný dian se totiž při teplotách nad 180 °C snadno rozkládá. Přebytečný difenylkarbonát se pak oddestiluje. Tento postup má menší význam než fosgenace, avšak používá se i v kontinuálním režimu. Místo difenylkarbonátu se také používá dimethylkarbonát.

Na obrázku (obr. 3) je znázorněné schéma fosgenace a reesterifikace.



Obr. 3: Reakční schémata výroby polykarbonátu: a) fosgenace, b) reesterifikace [14]

2.3.6.2 Vlastnosti a využití PC

Polykarbonáty jsou transparentní materiály s vysokým indexem lomu $n_D^{20} = 1,587$ a s propustností světla 85%, jejich výhodou je také dobrá barvitelnost v celém objemu. Dobře se rozpouštějí v chlorovaných uhlovodících a v cyklohexanonu, těžce rozpustné jsou v esterech, ketonech a aromatických uhlovodících. Typy s \bar{M}_w 20 000 až 40 000 se používají k vstříkovaní a vytlačování, typy s \bar{M}_w 60 000 až 150 000 mají vysokou viskozitu taveniny a proto se zpracovávají z roztoku, hlavně pro lití fólií.

Polykarbonáty mají vysokou rázovou houževnatost i za velmi nízkých teplot a dobrou rozměrovou stabilitu až do 140 °C. Také se vyznačují dobrými elektroizolačními vlastnostmi, vysokou mechanickou pevností, zejména v tahu, nízkou absorpcí vody, dobrou odolností proti UV-záření a hydrolýze a značnou stálostí proti oxidaci až do 120 °C. Jsou odolné vůči roztokům zředěných kyselin, uhličitanu sodného a mýdel, také alkoholům a alifatickým uhlovodíkům. Jejich odolnost vůči dlouhodobému působení vroucí vody a páry, aminům, amoniaku a methanolu není dostatečná.

Polykarbonáty se zpracovávají běžnými technikami, jako jiné termoplasty. V rozmezí teplot 220 až 320 °C se dají formovat z taveniny. Pro tuto operaci je však důležité dostatečné vysušení materiálu, poněvadž polykarbonáty v tavenině reagují již se stopovými množstvími vody za snižování molekulární hmotnosti. Tohle se řeší tak, že se buď vysušené dodávají v utěsněných nádobách a při zpracování se dbá na ochranu před vzdušní vlhkostí, anebo se předsuší při teplotě 120 °C a ihned se zpracovávají.

Vstřikování polykarbonátů je jejich nejčastějším způsobem zpracování. Vstřikuje se při 280 až 310 °C, formu je nutné vyhřát na 80 až 120 °C. Vstřikují se hlavně technické dílce, které jsou určeny na použití za vyššího tepelného a mechanického namáhání. Tyče, trubky a tlusté fólie se vytlačují na jednošnekových strojích.

Litím z roztoku v dichlormethanu se zhotovují fólie a filmy. Dichlormethan se však velice rychle vypařuje, což vede k prudkému ochlazení povrchu a existuje riziko kondenzace vzdušné vlhkosti, což vede k zakalenému povrchu. Předchází se tomu buď prací v suchém prostoru, anebo v atmosféře nasycené dichlormethanem.

Polykarbonáty jdou velmi dobře opracovávat třískově, lepit roztokem PC v dichlormethanu, ale také svařovat horkým vzduchem při teplotě 315 °C. V tavenině se dají mísit s termoplasty. [14]

2.4 Plniva

Plniva se do kompozitů přidávají za účelem zlepšení vlastností, jak mechanických, tak třeba tepelných, nebo ohnivzdornosti a stability vůči UV-záření. Jejich mechanické vlastnosti bývají totiž mnohem lepší než mechanické vlastnosti matrice, a to často o několik řádů. Matrice na plnivo přenáší veškeré, anebo alespoň naprostou většinu vnějšího mechanického zatížení.

2.4.1 Mechanismus působení plniv

Na počátku éry plněných kompozitů se plniva přidávaly do plastů z ekonomických důvodů, plasty byly tehdy relativně drahou záležitostí a tak šlo v podstatě jenom o nahrazení části plastu levnějším plnivem, třeba vápencem. Zjistilo se však, že toto nahrazení má také pozitivní vliv na mechanické vlastnosti výrobku.

2.4.1.1 Makro- a mikrokompozity

U makro- a mikrokompozitů je hlavním mechanismem působení vlastně nahrazení části polymerní matrice mnohem pevnějším plnivem a přenos vnějšího zatížení na toto plnivo.

2.4.1.2 Nanokompozity

U nanokompozitů se mechanismus nahrazení části matrice a přenosu napětí uplatňuje v malé míře z důvodu nízkých objemových zlomků plniv. Nanoplňiva však mají velký měrný povrch – 1 cm³ kulovitých částic o průměru 10 nm má povrch o přibližné velikosti až 444 m². Na tomhle povrchu mohou vznikat různé interakce mezi plnivem a matricí, jako jsou chemické vazby, vodíkové a Van der Waalsovy síly, iontové interakce. Tyto interakce jsou však relativně slabé a k celkovému zlepšení mechanických vlastností mají malý přínos. Hlavním mechanismem je vytvoření fázového rozhraní mezi plnivem a matricí. Na tomto rozhraní dochází k obmezení segmentální pohyblivosti řetězců matrice – řetězce jsou v těsném kontaktu s pevným plnivem, které blokuje jejich pohyb. Toto je možno představit si jako klubko hadů v teráriu. Jsou-li tam samí hadi, mohou se hýbat a kroutit libovolným způsobem. Dáme-li však do terária velké množství pevných překážek, omezíme tím, v ideálním případě úplně znemožníme, hadům jakýkoliv pohyb.

Vytváření interakcí mezi plnivem a matricí a omezení segmentální pohyblivosti se u makro- a mikrokompozitů projevuje ve velmi malé míře z důvodu malého povrchu jejich plniv. [15, 16]

2.4.2 Používané plniva

Do nanokompozitů se používají plniva, které mají alespoň jeden příčný rozměr v nm. Mohou to být destičky s jedním rozměrem výrazně menším od dvou dalších, tyčinky se dvěma rozměry výrazně menšími od třetího anebo kuličky, se všemi třemi rozměry přibližně stejnými.

Jako plniva se používají různé látky, nejčastěji na bázi silikátů, jako jsou třeba jíly, montmorillonit a pod. Dále jsou to často oxidy, jako např. oxid titaničitý TiO_2 a oxid zirkoničitý ZrO_2 . V experimentální části bylo použito sklo a silika – SiO_2 , proto jsou zde o těchto dvou plnivech uvedeny detailnější informace.

2.4.2.1 Sklo

Sklo je anorganická amorfni průhledná látka. V podstatě jde o tuhý roztok, čili roztok s tak vysokou viskozitou, že prakticky není schopen téct. Výroba skla spočívá v tavení tzv. sklářského kmene, obsahujícího všechny suroviny, které se liší podle toho, jaké sklo se má vyrábět, a následným řízeným ochlazováním vzniklé skloviny bez krystalizace. Základní složkou všech anorganických skel je tzv. křemenné sklo SiO_2 , nebo také silika. Většina skel obsahuje také oxid vápenatý CaO . Mezi základní skla se řadí: sklo sodné, draselné, smíšené (sodné + draselné) a sklo olovnaté. Všechny tyto skla obsahují oxidy prvků, podle kterých jsou pojmenovány, sklo olovnaté obsahuje navíc ještě oxid draselný K_2O .

Sklo má vysokou chemickou odolnost a teplotu tání. Co se týče mechanických vlastností, tak je sklo materiál pevný, ale křehký. Jeho pevnost v tahu je vyšší než pevnost v tlaku. Sklo je také dobrým elektrickým izolantem a špatným vodičem tepla.

Sklo se běžně používá na výrobu obalů (obalové sklo), okenních a dveřních výplní (tabulové sklo), uměleckých předmětů (křišťálové sklo), čoček (optické sklo), také se ve formě skleněné vaty používá, ačkoli dneska již v menší míře než dřív, jako tepelný izolant.

2.4.2.2 Silika

Silikou se označuje oxid křemičitý – SiO_2 . Je dobrým elektrickým izolantem, má dobrou teplotní stabilitu, chemickou odolnost a odolnost vůči otěru. Používá se hlavně jako surovina při výrobě skla. [17]

2.5 Způsoby přípravy nanokompozitů

2.5.1 Interkalace polymeru anebo předpolymeru v roztoku

Jedná se o metodu, při které se využívá rozpouštědla. Rozpouštědlo se volí tak, aby v něm byla rozpustná matrice, plnivo v něm nemusí být rozpustné. Existují dvě možnosti provedení této metody. Buď se nejdříve připraví roztok, anebo suspenze plniva v rozpouštědle a následně se v tom samém roztoku rozpustí polymer, anebo se připraví zvlášť roztok polymeru a roztok, nebo suspenze plniva, případně plnivo může působením rozpouštědla nabobtnat, a následně se tyto roztoky smíchají. V obou případech je důležité míchaní, aby se zajistilo rovnoměrné rozptýlení plniva v matrici, při použití nanoplňiv je vhodné použít i jinou než mechanickou metodu míchaní, ke příkladu ultrazvukovou vanu, aby došlo k rozbití agregátů plniva. Následně se rozpouštědlo nechá odpařit.

2.5.2 In situ interkalační polymerace

Při tomto postupu se plnivo nechá nabobtnat v roztoku monomeru a následně je zahájena polymerace (teplotou, zářením, iniciátorem), čímž monomer polymeruje již mezi nabobtnaným plnivem a vyplňuje mezery mezi částicemi plniva.

2.5.3 Interkalace v tavenině

Tato metoda je založena na rozmíchání plniva v tavenině polymeru. Hlavní výhodou této metody je fakt, že se při ní nepoužívají organická rozpouštědla, tím pádem není zatíženo životní prostředí a nevznikají náklady na zakoupení těchto rozpouštědel a nevznikají odpady. Nevýhodou je vysoká viskozita taveniny a s tím spojená obtížná homogenizace směsi roztaveného polymeru a plniva. [16, 18]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Příprava vzorků

3.1.1 Způsob přípravy

Pro přípravu vzorků k testování byla z výše uvedených metod zvolená metoda roztoková. Tato metoda byla zvolena, protože k dispozici byl granulát polykarbonátu, nešlo tedy míchat plnivo do matrice během polymerace. Dále byla k dispozici metoda míchaní plniva do taveniny, tato je však náročná z důvodu vysoké teploty tavení polykarbonátu, a také vysoké viskozity taveniny, což by mělo za následek obtížné rozptýlování plniva v matrici.

3.1.2 Vzorky

Bylo připraveno dohromady pět vzorků: čistý polykarbonát, polykarbonát obsahující mikroplnivo v objemových zlomcích $\varphi = 2,5\%$, resp. $\varphi = 5\%$ a polykarbonát obsahující nanoplnivo v těch samých objemových zlomcích. Jako rozpouštědlo byl použit dichlormethan.

3.1.3 Výpočty navážek

Všechny vzorky byly připravovány tak, že bylo naváženo 25 g granulátu PC a navážka plniva byla dopočítaná tak, aby výsledný vzorek obsahoval požadované množství plniva. Hustota polykarbonátu byla použita $\rho_m = 1,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, hustota mikroplniva a nanoplniva byla brána stejná $\rho_p = 2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Ve výpočtech jsou použity následující značky a indexy: m_p , m_m – hmotnost plniva, resp. matrice; V_p , V_m – objem plniva, resp. matrice; V – objem celého vzorku; ρ_p , ρ_m – hustota plniva, resp. matrice, φ – objemový zlomek plniva. Jelikož hmotnost matrice je předem dána, je nutno vypočítat hmotnost přidávaného plniva: $m_p = \rho_p \cdot V_p$. Hustota plniva je známa, je tedy nutno spočítat jeho objem: $V_p = \varphi \cdot V$. Objem celého vzorku se dá vyjádřit pomocí objemového zlomku matrice:

$V_m = (1 - \varphi) \cdot V \Rightarrow V = \frac{V_m}{1 - \varphi}$. Objem matrice se dá lehce spočítat z její známé hmotnosti a

hustoty: $V_m = \frac{m_m}{\rho_m}$. Zpětným dosazením tedy získáváme: $V = \frac{m_m / \rho_m}{1 - \varphi} = \frac{m_m}{\rho_m \cdot (1 - \varphi)} \Rightarrow$

$V_p = \frac{\varphi \cdot m_m}{\rho_m \cdot (1 - \varphi)} \Rightarrow m_p = \frac{\rho_p \cdot \varphi \cdot m_m}{\rho_m \cdot (1 - \varphi)}$. Vzhledem k tomu, že hustoty plniv byly brány stejné a

byli volené stejné objemové zlomky, výpočty byly provedeny jen jednou pro každý objemový zlomek. Výpočty byly zaokrouhlovány na dvě desetinné místa. Navážky jsou uvedeny v tabulce 1:

$$m_p = \frac{\rho_p \cdot \varphi \cdot m_m}{\rho_m \cdot (1 - \varphi)}$$

Výsledky jsou shrnuty v tabulce 1, postupy výpočtů jsou uvedeny v příloze.

Tab. 1: navážky plniv

φ [%]	0	2,5	5
m_p [g]	0	1,07	2,19

3.1.4 Materiály

Ke přípravě všech vzorků byl použitý granulát polykarbonátu z označením Makrolon 2407 (modul pružnosti 2 413 MPa). Jako plniva byly použité mikrosklo Silton JC-50, nanosilika s velikostí částic 10 – 20 nm (modul pružnost obou látek 74 GPa) a jako rozpouštědlo dichlormethan. Součástí příloh jsou bezpečnostní listy použitých plniv a polykarbonátů.

3.1.5 Příprava vzorků

3.1.5.1 Vzorky s mikroplnivem

Nejdříve byly do kádinek naváženy požadovaná množství plniva. Plnivo bylo následně zalito 100 ml dichlormethanu a umístěno na laboratorní míchačku. Za intenzivního míchaní bylo přisypáno 25 g granulovaného polykarbonátu, kádinka byla přikryta alobalem z toho důvodu, aby se nevypařovalo rozpouštědlo a aby do ní nenapadaly nečistoty ve formě prachu. Směs plniva a polykarbonátu v dichlormethanu byla ponechána na míchačce za stálého intenzivního míchaní přes noc. Po rozpuštění veškerého polykarbonátu byla směs čirá kapalina s relativně vysokou viskozitou. Tato směs byla vylita na očištěnou alobalovou formu a rozlita na celou plochu formy tak, aby vznikla pokud možno co nejtenčí vrstva. Na této formě byla směs ponechána přes noc, aby se odpařilo rozpouštědlo, následně byl vzorek poláman na malé kousky a pomlet v mixéru. Směs prášku a malých granul z mixéru byla znovu vysypána na alobalovou formu, rozprostřena na co největší plochu a umístěna do sušárny vyhřáté na 170° C na dobu 30 minut, aby se zajistilo odpaření veškerého rozpouštědla. Po vychladnutí byla z této směsi vylisována fólie.

3.1.5.2 Vzorky s nanoplnivem

Nejdříve bylo v kádince přikryté alobalem v 100 ml rozpouštědla za stálého intenzivního míchaní na laboratorní míchačce rozpuštěno 25 g polykarbonátu. Směs byla ponechána na míchačce za stálého míchaní přes noc. Následně bylo do jiných kádinek naváženo nanoplivo, které bylo zalito takovým množstvím rozpouštědla, aby rozpouštědlo do plniva nenasáкло a netvořilo gel, ale aby směs tvořila suspenzi – pro vzorek s objemovým zlomkem $\varphi = 2,5 \%$ bylo použito 30 ml rozpouštědla, pro vzorek s objemovým zlomkem $\varphi = 5 \%$ bylo použito 60 ml rozpouštědla. Tyto množství byly získány postupným přidáváním 10 ml rozpouštědla do vytvoření suspenze. Následně byla získaná suspenze umístěná na laboratorní míchačku a míchána 10 minut, poté byla umístěná do ultrazvukové lázně „Ultrazvuková vana typu K-52M“ a v ní ponechána dalších 10 minut, aby se zajistilo homogenní rozptýlení částic ve směsi. Tato směs byla umístěna znovu na laboratorní míchačku a do ní byl za stálého míchaní přilít mírným proudem viskózní roztok polykarbonátu, vzniknutá směs byla opět míchána na laboratorní míchačce po dobu 10 minut a umístěna na dalších 10 minut do ultrazvukové lázně. Následně byla směs vylita na očištěnou alobalovou formu a další postup byl shodný s postupem při vzorcích plněných mikroplnivem.

3.1.5.3 Vzorek bez plniva

V kádince přikryté alobalem bylo ve 100 ml rozpouštědla na laboratorní míchačce za stálého intenzivního míchaní přes noc rozpuštěno 25 g polykarbonátu. Další postup byl shodný s postupem při přípravě vzorků plněných mikroplnivem.

3.2 Testování

Ze všech vzorků byly vyřezány testovací tělíska ve tvaru tzv. „dogbone-u“. Šířka a tloušťka zúžené části tělísek byla změřena pomocí digitálního posuvného měřidla s přesností na setinu milimetru na pěti místech, následně byl vypočítán aritmetický průměr šířky a tloušťky každého tělíska.

3.2.1 Testovací metoda

Tyto tělíska byly následně podrobeny tahovým zkouškám na zařízení Universal tensile testing machine Zwick 1940. Data ze zařízení byly zpracovány pomocí softwaru dodaného výrobcem přístroje. Vstupními daty pro software byly zadané parametry testování a pro každé tělísko průměrná hodnota šířky a tloušťky v mm zaokrouhlená na dvě desetinná místa. Výstupními daty byly sestrojené tahové křivky pro jednotlivé vzorky zobrazené na obrázku (obr. 4). Na tomhle obrázku jsou všechny tahové křivky ze všech měření. Zubatá křivka byla způsobena slabým uchycením tělíska do čelistí přístroje, data z tohoto měření proto nebyla brána do úvahy. Tyhle křivky jsou ovšem nepřehledné, proto byla z každého typu vzorky vybrána jedna křivka, data z ní byly vyexportovány do programu Excel a v tomhle programu byly sestrojeny dané tahové křivky jako závislost působící síly v Newtonoch na relativním prodloužení v procentech. Tyhle křivky jsou zobrazeny na obrázku (obr. 5). Dalšími výstupními daty byl Youngův modul pružnosti E v MPa, práce potřebná pro přetrhnutí vzorku o průřezu 1 m^2 W_b v $\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$, maximální dosažené napětí ve vzorku R_m v MPa, relativní prodloužení při maximálním napětí dosaženém v tělísku $\varepsilon_{F_{\max}}$ v procentech a relativní prodloužení při přetrhnutí tělíska napětí $\varepsilon_{\text{Break}}$ v procentech. Nejdůležitější z těchto dat je Youngův modul pružnosti, který se sledoval a vyhodnocoval.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Vyhodnocení výsledků

Výstupy ze softwaru pro každý typ vzorků byly uspořádány do tabulky. Z těchto dat byl pomocí programu Excel spočítaný průměrný Youngův modul pružnosti a jeho směrodatná odchylka a data byly vyneseny do grafu. Byly také spočítaný průměrné relativní prodloužení. Byly také vytvořeny tahové křivky z dat vyexportovaných z testovacího softwaru do Excelu.

4.1.1 Čistý polykarbonát

Tab. 2: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Vzorek	Šířka vzorky	Tloušťka vzorky	E	W _b	R _m	ε _{Fmax}	ε _{Break}
	[mm]	[mm]	[MPa]	[J·m ⁻²]	[MPa]	[%]	[%]
1	4,10	0,32	1 378,56	92 931,75	58,65	8,66	9,26
2	4,09	0,29	1 532,34	107 017,12	59,88	8,44	9,86
3	4,09	0,31	1 186,05	807 19,62	58,10	8,14	8,34
4	4,11	0,30	1 338,20	735 60,23	57,39	7,64	7,84
5	4,07	0,29	1 470,28	718 41,01	59,23	7,53	7,53
průměr			1 381,09			8,08	8,57
Δ			118,93				

Změřený modul pružnosti pro čistý polykarbonát byl $(1\,400 \pm 120)$ MPa. Podle materiálového listu použitého granulátu je jeho pevnost v tahu po přepočtu 2 413,20 MPa [19]. Výrazná odchylka mezi hodnotou udávanou výrobcem a hodnotou změřenou může být způsobena faktem, že výrobce má v materiálovém listu hodnotu pro rychlost deformace 1 mm/s, testy probíhaly při rychlosti deformace 1,5 mm/s, tedy se dalo očekávat, že výsledný modul pružnosti bude nižší. Také není jisté, jaký modul pružnosti využil výrobce, při našem měření byl použit modul sekantní s hranicemi $x_1 = 0,01$ a $x_2 = 0,05$. Je taky možné, že při zpracování PC, hlavně při lisování mohlo dojít s reakcí PC s vodou, co by vedlo ke snížení molekulární hmotnosti.

4.1.2 Polykarbonát plněný mikroplnivem, objemový zlomek: $\phi = 2,5\%$

Tab. 3: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Vzorek	Šířka vzorky	Tloušťka vzorky	E	W _b	R _m	ε _{Fmax}	ε _{Break}
	[mm]	[mm]	[MPa]	[J·m ⁻²]	[MPa]	[%]	[%]
1	4,10	0,26	1481,72	68382,60	53,74	6,93	7,43
2	4,08	0,24	1387,13	175816,48	54,47	6,73	17,55
3	4,09	0,22	1581,66	62063,65	53,78	6,62	6,93
4	4,08	0,22	1304,89	117037,03	55,66	6,83	11,78
5	4,10	0,22	1553,01	46553,26	50,49	5,82	5,82
průměr			1461,68			6,59	9,90
Δ			103,23				

Modul pružnosti pro polykarbonát obsahující 2,5% mikroplniva vyšel ($1\,460 \pm 100$) MPa.

4.1.3 Polykarbonát plněný mikroplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 5\%$

Tab. 4: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Vzorek	Šířka vzorky	Tloušťka vzorky	E	W_b	R_m	ε_{Fmax}	ε_{Break}
	[mm]	[mm]	[MPa]	[J·m ⁻²]	[MPa]	[%]	[%]
1	4,16	0,23	1394,60	62495,19	51,96	6,83	7,13
2	4,17	0,27	1410,09	63912,93	54,03	6,83	7,14
3	4,16	0,24	1413,38	63405,90	52,21	6,52	7,13
4	4,10	0,24	1463,58	61566,33	56,17	6,43	6,63
5	4,13	0,22	1612,72	66568,42	56,48	6,72	7,02
průměr			1458,87			6,67	7,01
Δ			80,34				

Změřený modul pružnosti pro polykarbonát plněný mikroplnivem v objemovém zlomku 5% byl ($1\,450 \pm 80$) MPa.

4.1.4 Polykarbonát plněný nanoplnivem, objemový zlomek: $\varphi = 2,5\%$

Tab. 5: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Vzorek	Šířka vzorky	Tloušťka vzorky	E	W_b	R_m	ε_{Fmax}	ε_{Break}
	[mm]	[mm]	[MPa]	[J·m ⁻²]	[MPa]	[%]	[%]
1	4,10	0,28	1428,72	46928,02	53,94	5,62	5,72
2	4,09	0,20	1748,94	36222,96	51,84	4,81	4,81
3	4,08	0,25	1421,31	42504,44	53,63	5,31	5,31
4	4,11	0,22	1571,17	35576,51	51,95	4,71	4,71
5	4,10	0,21	1633,95	36366,61	51,56	4,81	4,81
průměr			1560,82			5,05	5,07
Δ			124,71				

Změřený modul pružnosti polykarbonátu z obsahem 2,5% nanoplniva byl ($1\,560 \pm 120$) MPa.

4.1.5 Polykarbonát plněný nanoplňivem, objemový zlomek: $\varphi = 5\%$

Tab. 6: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot:

Vzorek	Šířka vzorky	Tloušťka vzorky	E	W_b	R_m	ϵ_{Fmax}	ϵ_{Break}
	[mm]	[mm]	[MPa]	[J·m ⁻²]	[MPa]	[%]	[%]
1	4,13	0,23	1868,76	21501,33	45,30	3,39	3,39
2	4,09	0,30	1560,68	38669,55	55,24	4,80	4,80
3	4,12	0,26	1535,24	22808,63	44,32	3,59	3,59
4	4,07	0,24	1725,26	27601,45	50,40	3,89	3,89
5	4,09	0,28	1738,12	18917,22	43,61	3,19	3,19
průměr			1685,61			3,77	3,77
Δ			123,36				

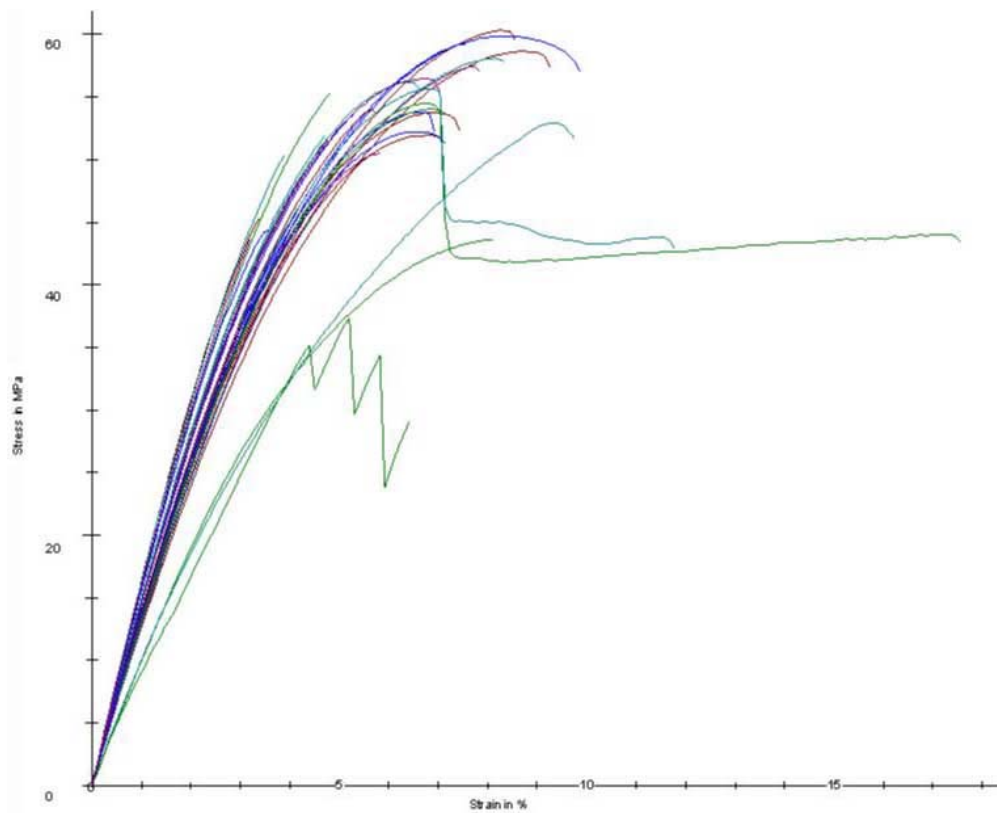
Změřený modul pružnosti polykarbonátu z obsahej 5% nanoplňiva byl $(1\ 700 \pm 120)$ MPa. Změřené moduly pružnosti jsou shrnuty v tabulce 7.

Tab. 7: Změřené moduly pružností

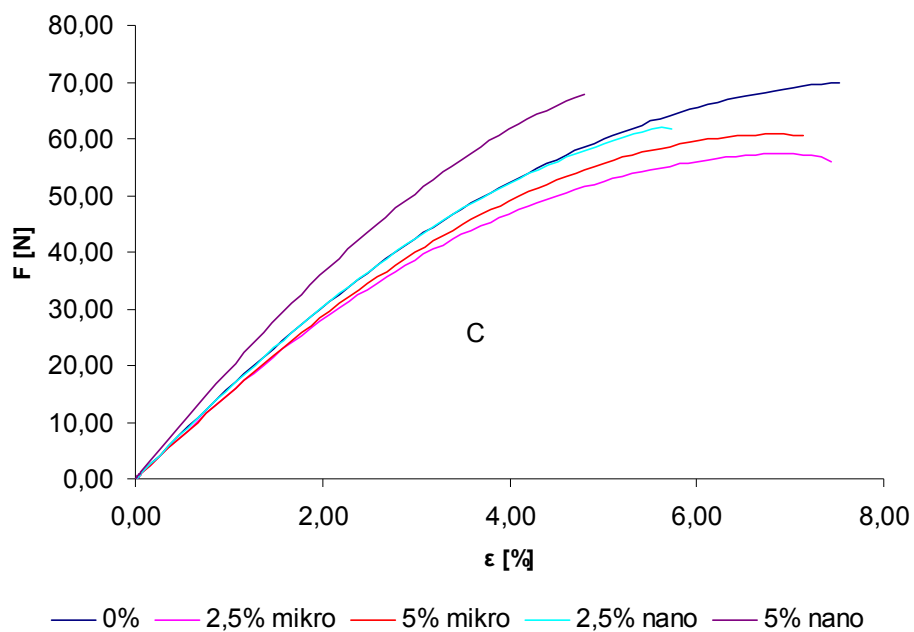
plňivo	Objemový zlomek [%]	E [MPa]	Odchylka [MPa]
čistý PC	0	1 400	120
nanosilika	2,5	1 560	120
nanosilika	5	1 700	120
mikrosko	2,5	1 460	100
mikrosko	5	1 450	80

4.2 Grafické vyhodnocení

4.2.1 Tahové křivky



Obr. 4: Tahové křivky všech provedených měření



Obr. 5: Vybrané tahové křivky pro vzorky o různém složení, procento představuje objemový zlomek plniva, mikro znamená mikroplnivo, nano znamená nanoplnivo

4.3 Výsledky

Teoretické moduly pružností jsou spočítány z Halpin-Tsaiovy rovnice, při výpočtech byly použity následující hodnoty: Poissonova konstanta pro PC: $\nu = 0,375$; modul pružnosti čisté matrice: $E_m = 1\,381,09\text{ MPa}$ - tato hodnota je hodnota naměřeného modulu pružnosti; modul pružnosti nanooplňiva = modul pružnosti mikroplňiva: $E_f = 74\text{ GPa}$. Vzhledem k zidealizování hustot plniv při výpočtu navážek byly skutečné objemové zlomky rozdílné od objemových zlomků, pro které byly navážky počítány, proto je nutné nejdříve spočítat skutečné objemové zlomky plniv φ_s s použitím skutečných hodnot hustot pro siliku $\rho_{pn} = 2,2\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a sklo $\rho_{pm} = 2,1\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, teprve pak je možno počítat teoretické moduly pružností [18, 20, 21]:

$$\varphi_s = \frac{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}}}{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}} + \frac{m_m}{\rho_m}}$$

$$\xi = \frac{7 - 5\nu}{8 - 10\nu}$$

$$\eta = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi}$$

$$E = \frac{1 + \xi\eta\varphi_s}{1 - \eta\varphi_s} \cdot E_m$$

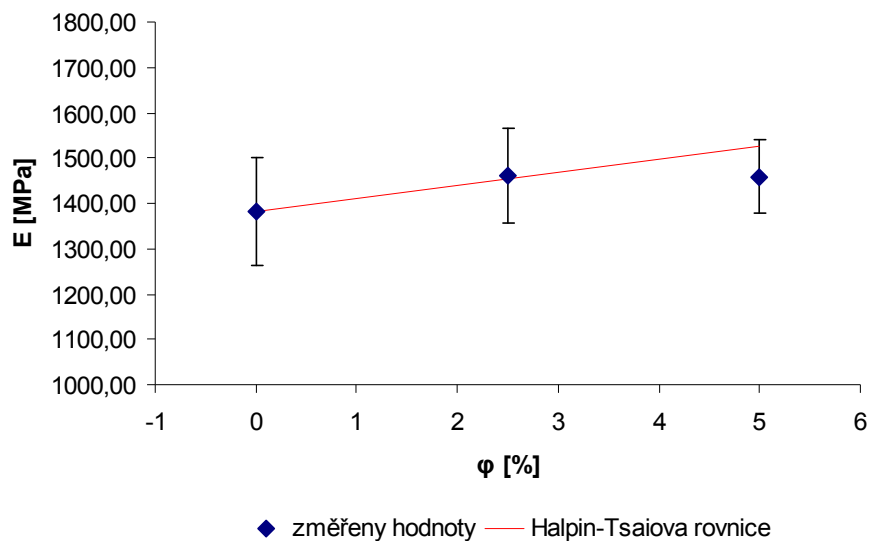
Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8. Kompletní výpočty jsou uvedeny v příloze.

Tab. 8: Vypočítané hodnoty teoretických modulů pružností

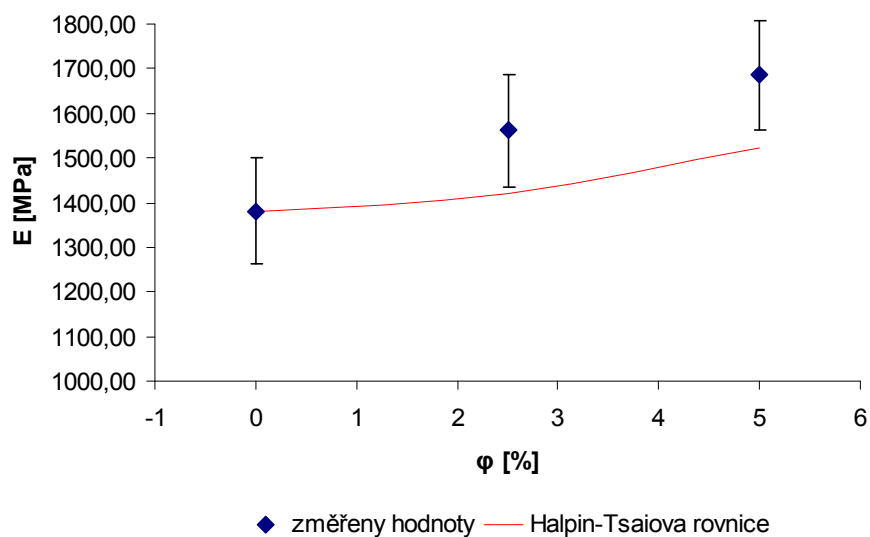
plnivo	φ [%]	φ_s [%]	ξ	η	E [MPa]
nanosilika	2,5	2,28	1,205 9	0,959 8	1 420,68
nanosilika	5	4,56	1,205 9	0,959 8	1 523,36
mikrosklo	2,5	2,39	1,205 9	0,959 8	1 452,47
mikrosklo	5	4,77	1,205 9	0,959 8	1527,28

4.4 Porovnání skutečných výsledků s teoretickými výsledky

V obrázcích (obr 6 resp. obr 7) jsou uvedeny skutečné změřené moduly pružnosti v porovnání s teoretickými vypočtenými.



Obr. 6 : Porovnání změřených dat s teoretickými hodnotami pro vzorky s mikroplnivem



Obr. 7 : Porovnání změřených dat s teoretickými hodnotami pro vzorky s mikroplnivem

Pro výpočet teoretických hodnot modulů pružností PC byl použit naměřený modul pružnosti čistého PC. Z výsledků vyplývá, že Halpin-Tsaiova rovnice dobře platí při použití mikroplniv, při použití nanoplniv však už modul pružnosti roste o dost strměji, než předpokládá Halpin-Tsaiova rovnice.

5 ZÁVĚR

V teoretické části této práce je jsou uvedeny základní informace o problematice nejen nanokompozitů, ale všeobecně částicových kompozitů. Také se zde nacházejí základní informace o nejpoužívanějších termoplastických matricích a detailnější informace ohledně polykarbonátu, který byl používán v části experimentální. Jsou zde uvedeny i některé druhy plniv, které se v kompozitech používají a o skle a silice je uvedeno několik informací.

V experimentální části je popsán postup přípravy vzorků na měření a postup a způsob vyhodnocování samotného měření.

Vzorky byly připraveny roztokovou metodou, následně se měřil modul pružnosti v tahu na trhacím zařízení firmy Zwick. Metoda vyhodnocení Youngova modulu pružnosti byla zvolená jako sekantní modul pružnosti s limitami $x_1 = 0,01$ a $x_2 = 0,05$ %.

Z měření vyplývá, že s přidavkem obou plniv v obou objemových procentech Youngův modul pružnosti roste. V případě mikroplniv však nebyl v modulu pružnosti výrazný rozdíl mezi obsahem 4,77 a 2,39% objemových procent plniva, dokonce u vzorků s 4,77% plniva vyšel modul pružnosti nižší oproti vzorkům s obsahem plniva 2,39%. Tento fakt mohl být způsoben malým počtem testovaných tělísek z každé sady. U těchto vzorků se také potvrdila platnost Halpin-Tsaiovy rovnice, kdy při obsahu plniva 2,39% byla teoretická hodnota modulu pružnosti téměř totožná s hodnotou naměřenou. U obsahu plniva 4,77% je teoretická hodnota vyšší než naměřená, ale je v toleranci směrodatné odchylky.

U vzorků s nanoplnivem naměřené hodnoty modulu pružnosti rostou se zvyšujícím se obsahem plniva. Také platí, že pro 2,28% obsah nanoplniva je modul pružnosti větší jako pro 2,39% obsah mikroplniva a pro 4,56% obsah nanoplniva je modul pružnosti větší než pro 4,77% obsah mikroplniva, potvrzuje se tedy, že při použití nanoplniv stačí na dosáhnutí jistého efektu nižší obsah plniva než na dosáhnutí stejného efektu za použití mikroplniv. U obou vzorků s nanoplnivem byly naměřeny hodnoty vyšší, než předpokládala Halpin-Tsaiova rovnice, teoretické výsledky nebyly ani u jednoho vzorku ani v toleranci směrodatné odchylky. Tento fakt je způsoben tím, že Halpin-Tsaiova rovnice nebere do úvahy rozměry plniva, pouze jeho geometrii a faktem, že při použití nanoplniv roste křivka závislosti modulu pružnosti na obsahu plniva strměji, než při použití mikro, anebo dokonce makroplniv.

Z průměrných hodnot relativního prodloužení do zlomu je vidět, že se zvýšením modulu pružnosti se zvýší křehkost materiálu, což také vyplývá z definice Hookova zákona.

Bylo prokázáno, že nanoplnivo bylo efektnější při zvyšování modulu pružnosti, který je jedním z hlavních faktorů, od kterých závisí otěruvzdornost a odolnost vůči poškrábání materiálu.

V případě dalšího výzkumu v této oblasti by bylo vhodné provádět víc měření, aby data dosáhly větší přesnosti a také připravit vzorky s více různými objemovými zlomky plniva, případně se pokusit přijít na závislost modulu pružnosti na objemovém zlomku, ale také na velikosti plniva pro zvolený systém. Také výsledky stejných systémů se stejnými objemovými procenty ale s různou morfologií plniva (kuličky, tyčinky, deštičky) by mohly problematiku trochu osvětlit.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Raab, M.: *Materiály a člověk*. Praha: Encyklopedický dům, 1999. 232 s.
- [2] Prnka, T.: *Výzkum nanotechnologií a nanomateriálů v Evropě a USA*. Ostrava: Repronis, 2001. 68 s. ISBN 80-86122-86-7.
- [3] Peters, S.T.: *Handbook of Composites*. 2nd ed., 1998, 1136 p. ISBN 0-412-54020-7.
- [4] Wypich, G.: *Handbook of Fillers: A Definitive User's Guide and Databook*. 2nd ed. ChemTec Publishing, 2000. 909 p. ISBN 1-884207-69-3.
- [5] Staab, G.H.: *Laminar composites*. Elsevier, 1999. 314 p. ISBN 0-7506-7124-6.
- [6] Ramorino, G., Bignotti, F., Pandini, S., Ricco, T.: Mechanical reinforcement in natural rubber/organoclay nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 2009, vol 69, no. 7-8, pp 1206-1211, ISSN 0266-3538.
- [7] You, P.W., Qing, X.J., Ding, S.Y., Li, Q.Z.: Modeling Young's modulus of rubber-clay nanocomposites using composite theories. *Polymer Testing*, 2004, vol. 23, no. 8, pp 903-909, ISSN 0142-9418.
- [8] Guth, E.: Theory of filler reinforcement. *Journal of Applied Physics*, 1945, vol. 16, pp 20-25.
- [9] Yan, W., Lin, R.J.T., Bhattacharyya, D.: Particulate reinforced rotationally moulded polyethylene composites - Mixing methods and mechanical properties. *Composites Science and Technology*, 2006, vol. 66, no. 13, pp 2080-2088, ISSN 0266-3538.
- [10] Nielsen, L.E., Landel, R.F.: *Mechanical properties of polymers and composites*. 1994, 584 p.
- [11] Padney, J.K., Reedy, K.R., Kumar, A.P, Singh, R.P.: An overview on the degradability of polymer nanocomposites. *Polymer degradation and stability*, 2005, no. 88, pp. 234-250.
- [12] *Nanocor®: Technical* [online]. 2008, [cit. 16.5.2009] Dostupný z <http://www.nanocor.com/benefits_tech.asp>.
- [13] Mleziva, J., Šňupárek, J.: *Polymery, výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, 2000. 537 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [14] Jančář, J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [15] Barták, M.: *Vlastnosti, příprava a použití nanokompozitů termoplast-minerální plnivo*. Zlín, 2006. 65 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Ing. et Ing. Ivo Kuřitka, Ph.D.
- [16] *Silica – Silicon Dioxide* [online]. 2001, last revision 13th of December 2001 [cit. 14.5.2009] Dostupný z <<http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1114>>
- [17] Krejčí, O.: *PE/EVA nanokompozity příprava, vlastnosti a použití*. Zlín, 2006. 34 s. Bakalářská práce na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.
- [18] *Makrolon 2407* [online]. 2009, last revision 5th of May 2009 [cit. 14.5.2009] Dostupný z <<http://www.bayermaterialssciencenafta.com/resources/d/document.cfm?Mode=view&f=13F00037-E0C4-6D2A-E45AA7C274ABEA9F&d=53346E69-CC9B-F5A8-329EAFD177BC9F20>>
- [19] *Plexiglass® Expert* [online]. 2006, [cit. 14.5.2009] Dostupný na <<http://www.altumax.com/expert/data/131>>

[20] Material Safety Data Sheet Molecular Sieves [online]. 2005, last revision on 12th December 2007 [cit. 15.5.2009] Dostupný z
<<http://www.atmos.umd.edu/~russ/MSDS/molsieve.html>>

[21] Yoshioka, T., Ando, T., Shikida, M., Sato, K.: Tensile testing of SiO₂ and Si₃N₄ films carried out on a silicon chip. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2000, vol. 82, no. 1-3, pp. 291-296. ISSN 0924-4247.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AFM	mikroskopie atomových sil
α	aspektní poměr šířka/délka částice
CaO	oxid vápenatý
cm ³	centimetr krychlový
Δ	směrodatní odchylka
Δl	absolutní prodloužení
E	Youngův modul pružnosti
E _f	Youngův modul pružnosti plniva
E _m	Youngův modul pružnosti matrice
EVA	ethylvinyl acetát
ϵ	relativní prodloužení
ϵ_{Break}	relativní prodloužení do protržení
ϵ_{Fmax}	relativní prodloužení za maximálního napětí
η	parametr efektivity výztuže
F	síla
φ	objemový zlomek plniva
φ_s	skutečný objemový zlomek
g	gram
g·cm ⁻³	gram na centimetr krychlový
GPa	gigapascal
J·m ⁻²	joule na metr čtvereční
K ₂ O	oxid draselný
kPa	kilopascal
l ₀	původní délka
m ²	metr čtvereční
m _m	hmotnost matrice
m _p	hmotnost plniva
m _{pm}	hmotnost skla
$\frac{m_{pn}}{M_w}$	hmotnost siliky
M_w	váhová průměrná molekulová hmotnost
ml	mililitr
mm	milimetr
MPa	megapascal
μm	mikrometr
n ^D ₂₀	index lomu
NaOH	hydroxid sodný
nm	nanometr
ν	Poissonova konstanta
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
R _m	maximální napětí
ρ	hustota
ρ_m	hustota matrice
ρ_p	hustota plniva
ρ_{pm}	hustota skla
ρ_{pn}	hustota siliky
S	průřez
SiO ₂	oxid křemičitý
STM	rastrovací tunelovací mikroskopie
°C	stupeň Celsia
σ	napětí

σ_m	pevnost v tahu, mez pevnosti
σ_p	mez kluzu
σ_y	mez pružnosti
TiO_2	oxid titaničitý
V	objem
V_m	objem matrice
V_p	objem plniva
W_b	práce do protržení
ZrO_2	oxid zirkoničitý
ξ	koeficient zeta

8 SEZNAM PŘÍLOH

V přílohách bakalářské práce se nacházejí kompletní výpočty použité v práci a materiálové listy použitých plniv a použitého polykarbonátu.

PI: Výpočty navážek plniv

PII: Výpočty skutečných objemových zlomků

PIII: Výpočty teoretických modulů pružností

PIV: Bezpečnostní list – Silton JC-50 (skenovaný z originálu)

PV: Bezpečnostní list – silika (dostupný na
www.fscimage.fishersci.com/msds/20611.htm)

PVI: Materiálový list – Makrolon 2407 (dostupný na
www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/)

PŘÍLOHA PI: VÝPOČTY NAVÁŽEK PLNIV

$$\varphi = 0\% \Rightarrow m_p = 0 \text{ g}$$

$$\varphi = 2,5\% \Rightarrow m_p = \frac{2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 0,025 \cdot 25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot (1 - 0,025)} = 1,07 \text{ g}$$

$$\varphi = 5\% \Rightarrow m_p = \frac{2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 0,05 \cdot 25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot (1 - 0,05)} = 2,19 \text{ g}$$

PII: VÝPOČTY SKUTEČNÝCH OBJEMOVÝCH ZLOMKŮ

Výpočty pro siliku:

$$\varphi = 2,5\% = 0,025$$

$$\varphi_s = \frac{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}}}{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}} + \frac{m_m}{\rho_m}} = \frac{\frac{1,07 \text{ g}}{2,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}}{\frac{1,07 \text{ g}}{2,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} + \frac{25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}} = 0,0228$$

$$\varphi = 5\% = 0,05$$

$$\varphi_s = \frac{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}}}{\frac{m_{pn}}{\rho_{pn}} + \frac{m_m}{\rho_m}} = \frac{\frac{2,19 \text{ g}}{2,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}}{\frac{2,19 \text{ g}}{2,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} + \frac{25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}} = 0,0456$$

Výpočty pro sklo:

$$\varphi = 2,5\% = 0,025$$

$$\varphi_s = \frac{\frac{m_{pm}}{\rho_{pm}}}{\frac{m_{pm}}{\rho_{pm}} + \frac{m_m}{\rho_m}} = \frac{\frac{1,07 \text{ g}}{2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}}{\frac{1,07 \text{ g}}{2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} + \frac{25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}} = 0,0239$$

$$\varphi = 5\% = 0,05$$

$$\varphi_s = \frac{\frac{m_{pm}}{\rho_{pm}}}{\frac{m_{pm}}{\rho_{pm}} + \frac{m_m}{\rho_m}} = \frac{\frac{2,19 \text{ g}}{2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}}{\frac{2,19 \text{ g}}{2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} + \frac{25 \text{ g}}{1,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}} = 0,0477$$

PŘÍLOHA PIII: VÝPOČTY TEORETICKÝCH MODULŮ PRUŽNOSTÍ

Výpočty pro siliku:

$$\varphi = 2,5\% = 0,025$$

$$\xi = \frac{7 - 5\nu}{8 - 10\nu} = \frac{7 - 5 \cdot 0,375}{8 - 10 \cdot 0,375} = \frac{5,125}{4,25} = 1,2059$$

$$\eta = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi} = \frac{\frac{74\,000\text{ MPa}}{1\,381,09\text{ MPa}} - 1}{\frac{74\,000\text{ MPa}}{1\,381,09\text{ MPa}} + 1,2059} = \frac{52,5809}{54,7868} = 0,9598$$

$$E = \frac{1 + \xi\eta\varphi_s}{1 - \eta\varphi_s} \cdot E_m = \frac{1 + 1,2058 \cdot 0,9598 \cdot 0,0228}{1 - 0,9598 \cdot 0,0228} \cdot 1\,381,09\text{ MPa} = \frac{1,0264}{0,9978} \cdot 1\,381,09\text{ MPa}$$

$$E = 1\,420,68\text{ MPa}$$

$$\varphi = 5\% = 0,05$$

$$E = \frac{1 + \xi\eta\varphi_s}{1 - \eta\varphi_s} \cdot E_m = \frac{1 + 1,2058 \cdot 0,9598 \cdot 0,0456}{1 - 0,9598 \cdot 0,0456} \cdot 1\,381,09\text{ MPa} = \frac{1,0547}{0,9562} \cdot 1\,381,09\text{ MPa}$$

$$E = 1\,523,36\text{ MPa}$$

Výpočty pro sklo:

$$\varphi = 2,5\% = 0,025$$

$$\xi = \frac{7 - 5\nu}{8 - 10\nu} = \frac{7 - 5 \cdot 0,375}{8 - 10 \cdot 0,375} = \frac{5,125}{4,25} = 1,2059$$

$$\eta = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi} = \frac{\frac{74\,000\text{ MPa}}{1\,381,09\text{ MPa}} - 1}{\frac{74\,000\text{ MPa}}{1\,381,09\text{ MPa}} + 1,2059} = \frac{52,5809}{54,7868} = 0,9598$$

$$E = \frac{1 + \xi\eta\varphi_s}{1 - \eta\varphi_s} \cdot E_m = \frac{1 + 1,2058 \cdot 0,9598 \cdot 0,0239}{1 - 0,9598 \cdot 0,0239} \cdot 1\,381,09\text{ MPa} = \frac{1,0276}{0,9771} \cdot 1\,381,09\text{ MPa}$$

$$E = 1\,452,47\text{ MPa}$$

$$\varphi = 5\% = 0,05$$

$$E = \frac{1 + \xi\eta\varphi_s}{1 - \eta\varphi_s} \cdot E_m = \frac{1 + 1,2058 \cdot 0,9598 \cdot 0,0477}{1 - 0,9598 \cdot 0,0477} \cdot 1\,381,09\text{ MPa} = \frac{1,0552}{0,9542} \cdot 1\,381,09\text{ MPa}$$

$$E = 1\,527,28\text{ MPa}$$

PŘÍLOHA PIV: BEZPEČNOSTNÝ LIST – SILTON JC-50

Mizusawa
Industrial
Chemicals, Ltd.



Head Office
KYODO BLDG (SHINMITSUKOSHIMAE),
1-13-6 Nihonbashimuromachi, Chuo-ku,
Tokyo, 103-0022 Japan
Phone 03-3270-2051
Fax 03-5201-7466

September 24, 2008
MSDS NO. N08522-T

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Page 1 of 4

IDENTITY (as used on label and list)

Silton JC-50

SECTION I

MANUFACTURER'S NAME
Mizusawa Industrial Chemicals, Ltd.

ADDRESS
Kyoudo Bldg. (Shinmitsukoshimae),
1-13-6, Nihonbashimuromachi, Chuo-ku,
Tokyo, 103-0022 J A P A N

EMERGENCY TELEPHONE NUMBER

81 254 43 7145 (key number)

TELEPHONE NUMBER FOR INFORMATION

81 254 43 7145 (key number)

FAX NUMBER

81 254 44 8770 (Quality Assurance Section)

DATE PREPARED

April 1, 2006

SECTION II HAZARDOUS INGREDIENTS/IDENTITY INFORMATION

Hazardous Components (Specific Chemical Identity; Common Name(s))

	<i>OSHA PEL</i>	<i>ACGIH TLV</i>	<i>Other Limits Recommended</i>	<i>% (optional)</i>
	N/D	N/D	N/D	N/D
Chemical Name	:	Sodium calcium aluminosilicate, hydrate		
Chemical Formula	:	$3.0 \sim 3.9\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0.4 \sim 0.6\text{CaO} \cdot 0.4 \sim 0.6\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
CAS Reg. No.	:	1344-01-0		
TSCA	:	The ingredients of this material are all on the TSCA Inventory list edited in 1991.		
DG Class	:	Not listed		
UN No.	:	Not listed		

Mizusawa Industrial Chemicals, Ltd. [Silton JC-50]

SECTION III PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

Page 2 of 4

BOILING POINT	N/D	SPECIFIC GRAVITY (H₂O = 1)	2.2 ~ 2.3
VAPOR PRESSURE (mmHg)	N/D	MELTING POINT	N/D
VAPOR DENSITY (Air=1)	N/D	EVAPORATION RATE (Bu Ac = 1)	N/D
SOLUBILITY IN WATER	Water-insoluble		
APPEARANCE AND ODOR	White and fine-powdered; odorless		

SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT (METHOD USED)	N/A	FLAMMABLE LIMITS Non-flammable	LEL N/A	UEL N/A
EXTINGUISHING MEDIA	N/A			
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES	N/A			
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS	N/A			

SECTION V REACTIVITY DATA

STABILITY	UNSTABLE		<i>Conditions to Avoid</i>
	STABLE	X	
INCOMPATIBILITIES (Materials to avoid) Hydrofluoric acid, and strong alkali.			
HAZARDOUS DECOMPOSITION OR BYPRODUCTS None			
HAZARDOUS POLYMERIZATION	MAY OCCUR		<i>Conditions to Avoid</i>
	WILL NOT OCCUR	X	

SECTION VI HEALTH HAZARD DATA

ROUTE(S) OF ENTRY	INHALATION ?	SKIN ?	INGESTION ?
	Yes	No	No
Eye	: May cause slight irritation.		
Skin	: Frequent or prolonged exposure may cause skin irritation. May cause drying or flaking of skin.		
Inhalation	: Excessive exposure may cause respiratory irritation.		
Ingestion	: No specific information is available.		

Mizusawa Industrial Chemicals,Ltd. [Silton JC-50]

HEALTH HAZARDS (Acute and chronic)

No specific information is available, however, if inhaled dust of the material in large quantities for long period of time, may cause pneumoconiosis.

CARCINOGENICITY	NTP ?	IARC MONOGRAPHS ?	OSHA REGULATED ?
	N/D	N/D	N/D

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

Nothing particular.

MEDICAL CONDITIONS GENERALLY AGGRAVATED BY EXPOSURE

Nothing particular.

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES

- Eye** : Irrigate with flowing water immediately and continuously for at least 15 minutes. If necessary, get medical attention.
- Skin** : Wash with soapy water and wash off in flowing water or shower. If irritation persists, seek medical attention.
- Inhalation** : Remove to fresh air. Blow nose and rinse mouth if necessary.
- Ingestion** : Blow nose and rinse mouth if necessary.
-

SECTION VII PRECAUTION FOR SAFE HANDLING AND USE**STEPS TO BE TAKEN IN CASE THE MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED**

Sweep up or otherwise vacuum released or spilled material by a vacuum cleaner.
Take all additional action necessary to prevent and remedy the adverse effects of release or spill.

WASTE DISPOSAL METHOD

Any disposal practice must be in compliance with local, state, and federal laws and regulations (contact local or state environmental agency for specific rules).

PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORING

Avoid contact with eyes.
Avoid prolonged or frequently repeated skin contact.
Avoid excessive stacking and soaking of packages to prevent any damage.
Store the material in a dry/cool place.
Provide for good ventilation of the room.

OTHER PRECAUTIONS

Nothing particular.

RESPIRATORY PROTECTION

Wear a dust mask.

VENTILATION**LOCAL EXHAUST**

Required.

MECHANICAL

Not required.

SPECIAL

Not required.

OTHER

Not required.

PROTECTIVE GLOVES

Wear impervious /chemical resistant gloves.

EYE PROTECTIONWear safety glasses, splash goggles or face shield.
Contact lenses should not be worn.**OTHER PROTECTIVE EQUIPMENTS**

Not required.

WORK/HYGIENIC PRACTICES

Take off working clothes after finishing work, and wash with detergent if the material is found adhered to the clothes. Be sure to gargle and wash hands and body after finishing work.

N/A : Not Applicable N/D : No Data NE : None Established

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither MIZUSAWA nor any of its subsidiaries assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used in caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards which exist.

PŘÍLOHA PV: BEZPEČNOSTNÝ LIST – SILIKA

Material Safety Data Sheet

Solvent Spill Kit

ACC# 20611

Section 1 - Chemical Product and Company Identification

MSDS Name: Solvent Spill Kit

Catalog Numbers: 18-061B

Synonyms: Silica; Silicon Dioxide

Company Identification:

Fisher Scientific

1 Reagent Lane

Fair Lawn, NJ 07410

For information, call: 201-796-7100

Emergency Number: 201-796-7100

For CHEMTREC assistance, call: 800-424-9300

For International CHEMTREC assistance, call: 703-527-3887

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
7631-86-9	Silica	100	231-545-4

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance: colorless to white solid.

Caution! May cause eye and skin irritation. May cause respiratory and digestive tract irritation. May cause lung damage. Chronic inhalation of crystalline silica may lead to fibrotic lung disease, silicosis or cancer.

Target Organs: Lungs.

Potential Health Effects

Eye: Dust may cause mechanical irritation.

Skin: Dust may cause mechanical irritation.

Ingestion: May cause irritation of the digestive tract.

Inhalation: Dust is irritating to the respiratory tract. Contains crystalline silica which may lead to respiratory abnormalities and silicosis.

Chronic: Prolonged exposure to respirable crystalline quartz may cause delayed lung injury/fibrosis (silicosis).

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical aid.

Skin: Flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical aid if irritation develops or persists. Wash clothing before reuse.

Ingestion: Do not induce vomiting. If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid.

Inhalation: Get medical aid immediately. Remove from exposure and move to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.

Notes to Physician: No specific antidote exists. Treat symptomatically and supportively.

Section 5 - Fire Fighting Measures

General Information: Material will not burn. Use extinguishing media appropriate to the surrounding fire.

Extinguishing Media: Use extinguishing media most appropriate for the surrounding fire.

Flash Point: Not applicable.

Autoignition Temperature: Not applicable.

Explosion Limits, Lower: Not available.

Upper: Not available.

NFPA Rating: (estimated) Health: 1; Flammability: 0; Instability: 0

Section 6 - Accidental Release Measures

General Information: Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8.

Spills/Leaks: Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Clean up spills immediately, observing precautions in the Protective Equipment section. Avoid generating dusty conditions. Provide ventilation.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: Use only in a well-ventilated area. Minimize dust generation and accumulation. Avoid contact with skin and eyes. Avoid ingestion and inhalation.

Storage: Store in a tightly closed container. Store in a cool, dry, well-ventilated area away from incompatible substances.

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection

Engineering Controls: Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower. Use adequate ventilation to keep airborne concentrations low.

Exposure Limits

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
Silica	none listed	6 mg/m ³ TWA 3000 mg/m ³ IDLH	none listed

OSHA Vacated PELs: Silica: No OSHA Vacated PELs are listed for this chemical.

Personal Protective Equipment

Eyes: Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Skin: Wear appropriate gloves to prevent skin exposure. Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.

Respirators: Follow the OSHA respirator regulations found in 29 CFR 1910.134 or European Standard EN 149. Use a NIOSH/MSHA or European Standard EN 149 approved respirator if exposure limits are exceeded or if irritation or other symptoms are experienced.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Physical State: Solid

Appearance: colorless to white

Odor: none reported

pH: Not available.

Vapor Pressure: 10 mm Hg @ 1732 deg C

Vapor Density: Not available.

Evaporation Rate: Negligible.

Viscosity: Not available.

Boiling Point: 2230 deg C

Freezing/Melting Point: 1610 deg C

Decomposition Temperature: Not available.

Solubility: Insoluble in water.

Specific Gravity/Density: 2.64-2.66

Molecular Formula: SiO₂

Molecular Weight: 60.0843

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical Stability: Stable.

Conditions to Avoid: Incompatible materials, dust generation.

Incompatibilities with Other Materials: Dissolves readily in hydrofluoric acid, forming silicon tetrafluoride, a corrosive gas. Reacts violently with powerful oxidizers such as chlorine trifluoride, manganese trifluoride, oxygen difluoride, vinyl acetate, and certain other fluorine-containing compounds. Will be attacked by strong alkalis.

Hazardous Decomposition Products: Irritating and toxic gases.

Hazardous Polymerization: Has not been reported

Section 11 - Toxicological Information

RTECS#:

CAS# 7631-86-9: EU8655000; VV7565000

LD50/LC50:

CAS# 7631-86-9:

Draize test, rabbit, eye: 25 mg/24H Mild;

Carcinogenicity:

CAS# 7631-86-9: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Epidemiology: See carcinogenicity

Teratogenicity: No information available.

Reproductive Effects: No information available.

Mutagenicity: Please refer to RTECS for specific information.

Neurotoxicity: No information available.

Other Studies:

Section 12 - Ecological Information

Ecotoxicity: No data available. No information reported.

Environmental: No information reported.

Physical: No information reported.

Other: None

Section 13 - Disposal Considerations

Chemical waste generators must determine whether a discarded chemical is classified as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Parts 261.3. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous

waste regulations to ensure complete and accurate classification.

RCRA P-Series: None listed.

RCRA U-Series: None listed.

Section 14 - Transport Information

	US DOT	Canada TDG
Shipping Name:	Not regulated as a hazardous material	No information available.
Hazard Class:		
UN Number:		
Packing Group:		

Section 15 - Regulatory Information

US FEDERAL

TSCA

CAS# 7631-86-9 is listed on the TSCA inventory.

Health & Safety Reporting List

None of the chemicals are on the Health & Safety Reporting List.

Chemical Test Rules

None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.

Section 12b

None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

TSCA Significant New Use Rule

None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA.

CERCLA Hazardous Substances and corresponding RQs

None of the chemicals in this material have an RQ.

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances

None of the chemicals in this product have a TPQ.

Section 313 No chemicals are reportable under Section 313.

Clean Air Act:

This material does not contain any hazardous air pollutants.

This material does not contain any Class 1 Ozone depletors.

This material does not contain any Class 2 Ozone depletors.

Clean Water Act:

None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.

OSHA:

None of the chemicals in this product are considered highly hazardous by OSHA.

STATE

CAS# 7631-86-9 can be found on the following state right to know lists: California, New Jersey, Pennsylvania, Minnesota, Massachusetts.

California Prop 65

California No Significant Risk Level: None of the chemicals in this product are listed.

European/International Regulations**European Labeling in Accordance with EC Directives****Hazard Symbols:**

Not available.

Risk Phrases:**Safety Phrases:****WGK (Water Danger/Protection)**

CAS# 7631-86-9: 0

Canada - DSL/NDSL

CAS# 7631-86-9 is listed on Canada's DSL List.

Canada - WHMIS

This product has a WHMIS classification of D2B.

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the MSDS contains all of the information required by those regulations.

Canadian Ingredient Disclosure List

CAS# 7631-86-9 is listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

Section 16 - Additional Information

MSDS Creation Date: 4/27/1999

Revision #6 Date: 2/15/2008

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall Fisher be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if Fisher has been advised of the possibility of such damages.

PŘÍLOHA PVI: MATERIÁLOVÝ LIST – MAKROLON 2407



Makrolon 2407

General purpose grades / Low viscosity

Global grade; MVR (300 °C/1.2 kg) 19 cm³/10 min; General purpose; Low viscosity; UV stabilized; Easy release; Injection molding - Melt temperature 280 - 320 °C; Available in transparent, translucent and opaque colors

ISO Shortname

ISO 7391-PC,MLR,(,)-18-9

Property	Test Condition	Unit	Standard	Value
Rheological properties				
Melt mass-flow rate	300 °C; 1.2 kg	g/10 min	ASTM D1238	20
Mold shrinkage, flow/cross to flow		in/in	ASTM D985	0.005-0.007
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
Tensile modulus	1 mm/min	lb/in ²	ASTM D638	350000
Tensile stress at yield	-	lb/in ²	ASTM D638	9400
Tensile elongation at yield	-	%	ASTM D638	6.0
Tensile elongation at break	-	%	ASTM D638	115
Tensile stress at break	-	lb/in ²	ASTM D638	8700
Izod notched impact strength	73 °F; 0.125 in	ft lb/in	ASTM D256	14
Flexural modulus	-	lb/in ²	ASTM D790	340000
Flexural stress at 5 % strain	-	lb/in ²	ASTM D790	12000
Rockwell hardness		M Scale	ASTM D785	75
Rockwell hardness		R Scale	ASTM D785	120
Thermal properties				
Deflection temperature under load, Unannealed	264 psi; 0.250 in	°F	ASTM D648	259
Deflection temperature under load, Unannealed	66 psi; 0.250 in	°F	ASTM D648	273
Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°F	ASTM D1525	291
Coefficient of linear thermal expansion, flow/cross-flow		in/in/°F	ASTM D696	3.34E-05
UL94 Flame Class	Thickness tested: 1.5 mm	Class	UL 94	V-2
UL94 Flame Class	Thickness tested: 3.0 mm	Class	UL 94	HB
UL94 Flame Class	Thickness tested: 6.0 mm	Class	UL 94	HB
Oxygen index		%	ASTM D2863	28
Thermal conductivity		Btu in/(h ft ² °F)	ASTM C177	1.39
Specific heat		Btu/(lb °F)	ASTM D2766	0.28
Relative temperature index (Tensile impact strength)	Thickness tested: 1.5 mm	°C	UL 746B	115
Relative temperature index (Tensile strength)	Thickness tested: 1.5 mm	°C	UL 746B	125
Relative temperature index (Electric strength)	Thickness tested: 1.5 mm	°C	UL 746B	125
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
Dissipation factor, Tinfoil electrodes	60 Hz	-	ASTM D150	0.0008
Dissipation factor, Tinfoil electrodes	1 MHz	-	ASTM D150	0.01
Dielectric constant, Tinfoil electrodes	60 Hz	-	ASTM D150	3.0
Dielectric constant, Tinfoil electrodes	1 MHz	-	ASTM D150	2.9
Volume resistivity, Tinfoil electrodes		Ohm m	ASTM D257	1.0 E+14
Surface resistivity		Ohm	ASTM D257	1.0 E+16
Electrical strength	Shorttime under oil at 73 °F	V/mil	ASTM D149	810
Other properties (23 °C)				
Water absorption	73 °F; immersion to saturation	%	ASTM D570	0.3
Water absorption	73 °F; immersion 24 h	%	ASTM D570	0.12
Density		lb/in ³	ASTM D792	0.043
Specific volume		in ³ /lb	ASTM D792	23.1
Specific gravity		-	ASTM D792	1.2
Material specific properties				
Refractive index		-	ASTM D542	1.586
Luminous transmittance (clear transparent materials)	0.125 in	%	ASTM D1003	88
Haze for transparent materials	0.125 in	%	ASTM D1003	< 0.8



Makrolon 2407

Disclaimer

Standard Disclaimer

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee, and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

Typical Properties

Property data is provided as general information only. Property values are approximate and are not part of the product specifications.

Flammability

Flammability results are based on small-scale laboratory tests for purposes of relative comparison and are not intended to reflect the hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

Health and Safety

Appropriate literature has been assembled which provides information concerning the health and safety precautions that must be observed when handling Bayer products mentioned in this publication. Before working with any of these products, you must read and become familiar with the available information on their hazards, proper use, and handling. This cannot be overemphasized. Information is available in several forms, e.g., material safety data sheets (MSDS) and product labels. Consult your Bayer Polymers representative or contact the Bayer Product Safety and Regulatory Affairs Department in Pittsburgh, Pennsylvania. For materials that are not Bayer products, appropriate industrial hygiene and other safety precautions recommended by their manufacturer(s) must be followed.

Publisher: Global Innovations - Polycarbonates

Bayer MaterialScience AG,

D-51368 Leverkusen,

www.bayermaterialscience.com

pcs-info@bayermaterialscience.com

Page 2 of 2 pages

Edition 05.05.2009

Makrolon[®]

ASTM Datasheet