

Příprava kompozitů polymer/magnetizovatelné plnivo

Bc. Václav Hanák

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav Hanák**
Osobní číslo: **T17404**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Příprava kompozitů polymer/magnetizovatelné plnivo**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma**
- 2. Na základě získaných znalostí připravte zkušební tělesa pro hodnocení**
- 3. Ohodnoťte připravené vzorky zvolenými metodami**
- 4. Shrňte získané výsledky a prodiskutujte je**

Rozsah diplomové práce: cca 60 stran
Rozsah příloh: dle pokynů VDP
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006, 278 s. ISBN 978-80-7080-617-6.

MERNA, J. *Polymery*. Skripta VŠCHT Praha 2010.

Polymers and polymeric composites [elektronický zdroj] : properties, optimization, and applications / edited by Liliya I. Bazylak, PhD ; Gennady E. Zaikov, DSc, and A.K. Haghi, PhD

impaktované zahraniční časopisy, patenty a další

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: 2. ledna 2019
Termín odevzdání diplomové práce: 17. května 2019

Ve Zlíně dne 7. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 7.5.2019

Václav Hanák v.r.

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na přípravu a hodnocení tzv. magnetoplastu. Magnetoplast je kompozitní systém, který se skládá z polymerní matrice, a magnetizovatelného plniva v ní dispergovaného. Jako matrice byl zvolen nízkohustotní polyethylen a Surlyn. Jako plnivo byly zvoleny neodymové částice, feritové částice a částice karbonylového železa. Magnetoplasty byly připraveny s rozdílnou koncentrací plniva (40, 50, 60 hm. %) při rozdílných rychlostech míchání hnětiče (20, 30, 40, 50 ot. /min). V práci je následně studován vliv těchto podmínek přípravy na mechanické, magnetické, stínící a strukturní vlastnosti.

Klíčová slova: magnetoplast, kompozit, polymer, magnetické částice, mechanické vlastnosti, magnetické vlastnosti, stínící vlastnosti, strukturní vlastnosti, LDPE, Surlyn, koncentrace, rychlost míchání

ABSTRACT

The thesis is focused on the preparation and evaluation of the so-called polymer-bonded magnets. Polymer-bonded magnet is a composite system consisting of a polymeric matrix in which a magnetic filler is dispersed. Low density polyethylene and Surlyn were chosen as the matrix. Neodymium particles, ferrite particles, and carbonyl iron particles were selected as fillers. Polymer-bonded magnets were prepared with different filler concentrations (40, 50, 60 wt.%) at different mixer mixing rates (20, 30, 40, 50 rpm). Consequently, the effect of these preparation conditions on mechanical, magnetic, shielding and structural properties were studied.

Keywords: polymer-bonded magnet, composite, polymer, magnetic particles, mechanical properties, magnetic properties, shielding properties, structural properties, LDPE, Surlyn, concentration, mixing speed

Rád bych poděkoval doc. Ing. Dagmar Měřínské Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Děkuji také doc. Ing. Michalu Sedláčkovi Ph.D. za zprostředkování a poskytnutí studovaných materiálů. Za asistenci a odborné rady při měření bych rád poděkoval doc. Ing. Jarmile Vilčákové Ph.D. a Ing. Marku Gořalíkovi.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 KLASIFIKACE POLYMERŮ	13
1.1.1 Deformace a chování při zvýšené teplotě	13
1.1.2 Molekulární struktura polymerů	16
1.1.3 Nadmolekulární struktura a aplikace	17
1.2 ADITIVA	19
1.2.1 Plniva.....	19
1.3 VYBRANÍ ZÁSTUPCI POLYMERŮ.....	21
1.3.1 Nízkohustotní polyetylen	21
1.3.2 Surlyn	23
2 MAGNETISMUS	26
2.1 MAGNETIZAČNÍ CHARAKTERISTIKY	26
2.2 ROZDĚLENÍ MAGNETIK	27
2.3 KŘIVKA PRVOTNÍ MAGNETIZACE	28
2.4 HYSTEREZNÍ KŘIVKA.....	29
3 PŘÍPRAVA POLYMERNÍCH SMĚSÍ	31
3.1 HNĚTIČ.....	31
3.2 LISOVÁNÍ TERMOPLASTŮ.....	33
3.3 RAMENOVÁ SEKAČKA	35
4 HODNOCENÍ MATERIÁLŮ	37
4.1 ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	37
4.1.1 Shore A, D.....	37
4.2 ZKOUŠKA V TAHU	38
4.3 VIBRAČNÍ MAGNETOMETRIE.....	41
4.4 OPTICKÁ MIKROSKOPIE	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
6 VOLBA MATERIÁLU	47
7 VÝROBA MATERIÁLU A ZKUŠEBNÍCH TĚLES	48
7.1 HOMOGENIZACE SMĚSI.....	48
7.2 POLOTOVAR	48
7.3 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	50
8 EXPERIMENT	54

8.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	54
8.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	55
8.3	DIELEKTRICKÁ SPEKTROSKOPIE	55
8.4	MAGNETOMETRIE.....	56
8.5	OPTICKÁ MIKROSKOPIE	56
9	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	57
9.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	57
9.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	62
9.3	DIELEKTRICKÁ SPEKTROSKOPIE	66
9.4	MAGNETOMETRIE.....	70
9.5	OPTICKÁ MIKROSKOPIE	72
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

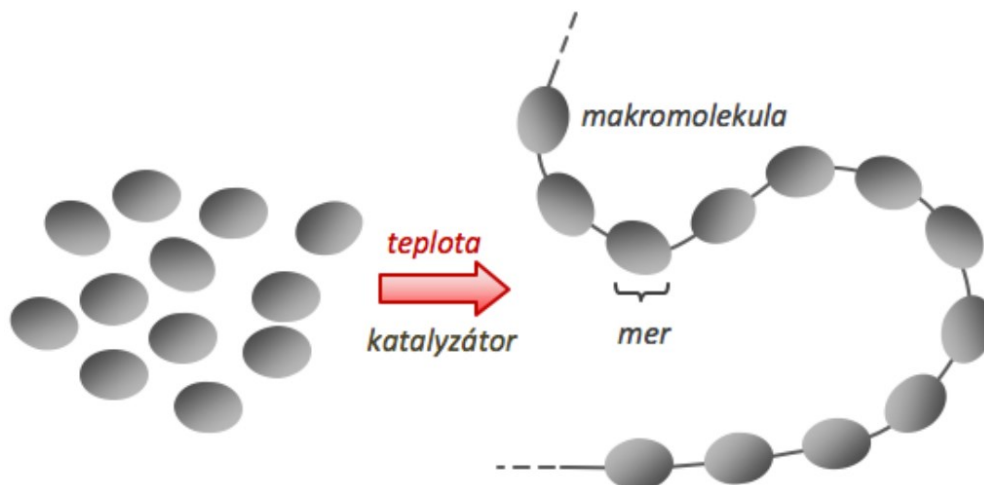
Permanentní magnety byly po mnoho desetiletí klíčovými komponenty mnoha elektromotorů, zařízení pro zpracování dat, zdravotnických přístrojů a automobilového průmyslu. Jejich aplikace byly vyvinuty na základě zlepšení jejich magnetických, mechanických, a tepelných vlastností. V současnosti hrají významnou roli neodymové, feritové, samarium kobaltové a AlNiCo magnety v oblasti permanentních magnetů. Podle jejich výrobního procesu se dělí na slinuté či polymerem vázané magnety tzv. magnetoplasty. Magnetoplasty se typicky vyrábějí smícháním tvrdého magnetického prášku s plastovým plnivem. Tento polotovar se dále nejčastěji zpracovává vstřikováním nebo lisováním. Je skutečností, že v jistých vlastnostech jsou magnetoplasty lepší než jejich kovové protějšky. Mezi výhody patří dobrá odolnost proti korozi, houževnatost, mechanické vlastnosti, snížení hmotnosti a tvorba komplexních tvarů díky technologiím jako je vstřikování. Velkou nevýhodou ale je, že dochází k poklesu magnetických vlastností, protože plastové pojivo ředí magnet. Proto je žádoucí zvýšit obsah magnetického plniva tak, aby přitom nedošlo k poklesu mechanických či jiných vlastností. Tyto mechanické vlastnosti závisí především na tvaru a velikosti částic, typu pojiva, množství plniva a způsobu výroby. Mezi jiné vlastnosti charakteristické pro tyto materiály mimo magnetických vlastností patří také stínící vlastnosti. Pro stínící aplikace se využívají magnety zejména na bázi niklu či zinku.

Cílem této práce je studovat tyto mechanické, magnetické, stínící a strukturní vlastnosti v závislosti na postupu výroby, struktuře plastu a magnetického prášku a na jejich poměru zamíchání. Mezi studované parametry magnetoplastů patří pevnost v tahu, remanentní indukce, koercitivní intenzita, relativní permitivita, relativní permeabilita a reflexní koeficient. Motivací pro tuto studii tedy bylo rozšíření informací o těchto materiálech v závislosti na oblasti jejich použití.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Jedná se z velké části o organické látky přírodního nebo syntetického původu. To, co odlišuje polymery od klasických organických látek (ropa, rostliny, dřevo, atd.) je to, že mají větší molekuly, tzv. makromolekuly. V těchto makromolekulách se jako článek řetězce mnohokrát opakuje základní stavební jednotka „mer“. Z tohoto důvodu vznikl název pro tyto makromolekulární látky „polymery“ odvozený z řeckého poly = mnoho, mer = díl.



Obr. 1 Řetězec makromolekuly [1]

Polymery mají spoustu předností, ale také spoustu nedostatků. Mezi výhody a nevýhody patří především:

Tab. 1 Výhody a nevýhody polymerů

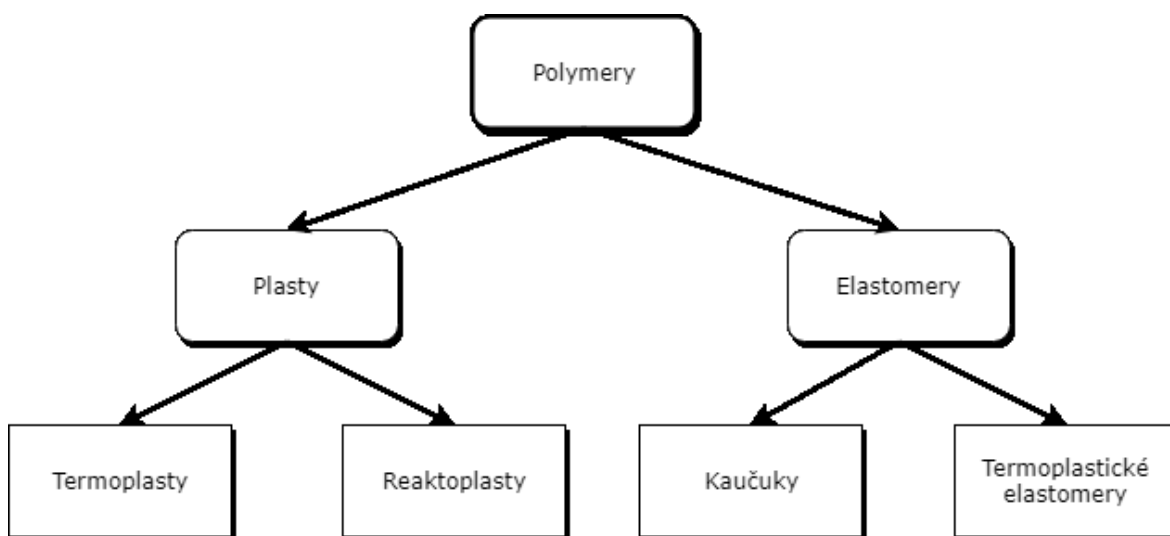
<u>Výhody</u>	<u>Nevýhody</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Nízká hustota materiálu • Chemická odolnost • Tepelný izolant • Elektrický izolant • Zpracovatelnost • Odolnost proti korozi 	<ul style="list-style-type: none"> • Hořlavost • Odolnost nízkým teplotám • Vysoká teplotní roztažnost • Elektrostatický náboj • Nízká odolnost UV záření • Časově závislé vlastnosti (creep) [1]

1.1 Klasifikace polymerů

Polymery lze rozdělit dle mnoha kritérií. Nejčastěji však polymery klasifikujeme dle způsobu deformace a chování při zvýšené teplotě, výrobních reakcích, struktury nebo tvaru molekul.

1.1.1 Deformace a chování při zvýšené teplotě

V následujícím klasifikačním diagramu je uvedeno dělení polymerů podle deformace a chování při zvýšené teplotě.



Obr. 2 Dělení dle deformace a chování při zvýšené teplotě

Plasty

Jedná se o typ polymerů, které pod působením vnějších sil vykazují převážně trvalé deformace. Často jsou poměrně houževnaté a tím pádem křehčího charakteru.

Termoplasty

Jedná se o materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu a nad teplotou tání přechází do oblasti taveniny. Vzhledem k tomu, že proces tání termoplastů má pouze fyzikální charakter (neprobíhá žádná změna chemické struktury), jsou termoplasty opakovatelně tavitelné. Termoplasty mají amorfni nebo semikrystalickou strukturu. Mezi typické představitele patří: **nízkohustotní polyetylen (LDPE)**, **Surlyn**, polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylen (PE), polyoxymetylen (POM), aj.



Obr. 3 Příklady výrobků z termoplastů [1]

Reaktoplasty

Jedná se o typy polymerů, které mají podobu pryskyřic ve svém nevytvrzeném stavu. Působením tepla či katalyzátorů dochází k nevratné chemické změně, která má za následek tvorbu zesíťované struktury. Tento proces se u reaktoplastů nazývá vytvrzování. Díky chemické změně získávají reaktoplasty chemickou a tepelnou odolnost, tvrdost a tuhost. Reaktoplasty mají pouze amorfni strukturu. Mezi zástupce patří: polyesterová pryskyřice (UP), epoxidová pryskyřice, fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), aj.



Obr. 4 Příklady výrobků z reaktoplastů [1]

Elastomery

Tento typ polymeru se vyznačuje vysoce elastickými vlastnostmi a nízkou tuhostí. Při deformaci relativně malou silou se elastomery deformují bez porušení s převážně vratným charakterem. Při vystavení elastomeru zvýšené teplotě a tlaku dochází k tvorbě příčných vazeb mezi molekulami, které tvoří uzly prostorové sítě. Tento proces se nazývá vulkanizace a výstupní materiál po tomto procesu nazýváme pryž, která má v důsledku zesíťování amorfni strukturu.



Obr. 5 Příklad výrobků z elastomerů [1]

Termoplastické elastomery

Tento typ polymeru je vlastnostmi podobný pryžím, avšak je opakovaně tavitelný. Je tomu díky jeho struktuře, která obsahuje jak měkké segmenty (elastomerní část), tak tvrdé segmenty (termoplastická část) v nemísitelné fázi. Hlavní rozdíl od kaučuků je tvorba struktury během síťování, která je pouze fyzikální povahy, nikoli chemické. Termoplastické elastomery sice nedosahují takových elastických vlastností jako elastomery, ale lze je zpracovávat jako termoplasty a opětovně zpracovávat recyklačními postupy. [1]



Obr. 6 Příklady výrobků z termoplastických elastomerů [1]

1.1.2 Molekulární struktura polymerů

Polymery jsou makromolekulárními látkami a molekulové hmotnosti vyšší jak 10^4 . Existují tři druhy polymerních makromolekul.

a) Lineární makromolekuly

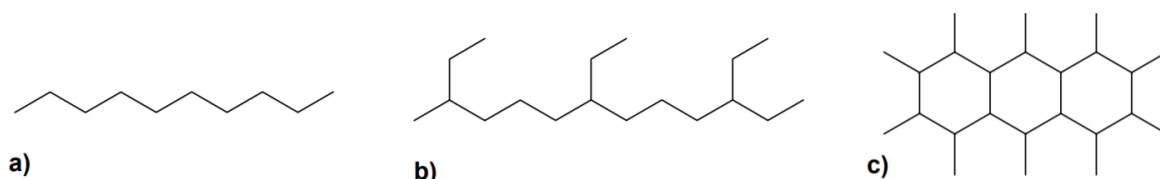
Monomerní molekuly lineární makromolekuly se řadí jedna vedle druhé. Díky tomu mohou z prostorových důvodů tvořit krystalické uspořádané oblasti a tím se přiblížit více jedna k druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Proto mají polymery s lineárními makromolekulami vyšší hustotu a díky pravidelnému tvaru makromolekul mají také vyšší obsah krystalického podílu. Mezi další vlastnosti patří např. dobrá rozpustnost a tavitelnost, houževnatost a dobrá zpracovatelnost. Typickým zástupcem polymeru s těmito makromolekulami je vysokohustotní polyetylen (HDPE).

b) Rozvětvené makromolekuly

Na rozdíl od lineárních makromolekul mají rozvětvené makromolekuly na základním řetězci navíc boční substituenty. Tyto substituenty zabraňují kompaktnějšímu prostorovému uspořádání vedoucí k nižší hustotě a nižší krystalinitě. Rozvětvené makromolekuly mají za následek pokles mechanických vlastností v důsledku oddálení bočních řetězců od sousedních makromolekul. Rozvětvení zhoršuje také zpracovatelské vlastnosti (zhoršená tekutost v roztaveném stavu). Typickým zástupcem polymeru s těmito makromolekulami je nízkohustotní polyetylen (LDPE).

c) Zesíťované makromolekuly

Jedná se o několik lineárních nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců spojených vazbami vytvářející takřka nekonečnou prostorovou síť tvořenou makromolekulami. Takto zesíťovaný polymer se vyznačuje ztrátou rozpustnosti a tavitelnosti. Dále vykazují vysokou tuhost, pevnost a odolnost proti zvýšeným teplotám. [2]



Obr. 7 a) lineární řetězec, b) rozvětvený řetězec, c) zesíťovaný řetězec [3]

1.1.3 Nadmolekulární struktura a aplikace

Dle nadmolekulární struktury (dle stupně uspořádanosti), kdy je nadmolekulární struktura nadřazena makromolekulám, dělíme polymery na amorfnní a krystalické (semikrystalické).

Amorfnní polymery

Jsou typy polymerů, které mají makromolekuly zaujímající nahodilé uspořádaní v prostoru. Díky nahodilému uspořádaní je mezi molekulami méně místa. Říkáme, že materiál vykazuje nízký stupeň krystalinity, a díky tomu jsou amorfnní polymery čiré až průhledné (v závislosti na stupni krystalinity). Stupeň krystalinity vyjadřuje procentuální podíl mezi uspořádanými molekulami a těmi neuspořádanými. Díky nízkému součiniteli teplotní roztažnosti jsou vhodné pro technologii vstřikování. Použitelnost amorfnních polymerů z hlediska teploty je charakterizována teplotou T_g (teplota skelného přechodu) a T_f (teplotou tečení). Amorfnními polymery jsou termoplasty, reaktoplasty, kaučuky a termoplastické elastomery. Mezi zástupce lze zařadit: **Surlyn**, polystyren (PS), polymethylmetakrylát (PMMA), polykarbonát (PC), aj.

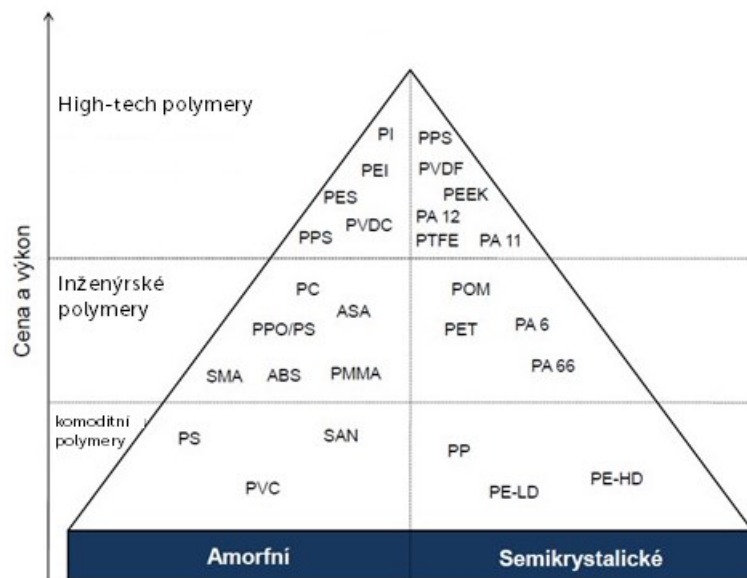
Krystalické (semikrystalické) polymery

Jsou typy polymerů, které mají makromolekuly vykazující vysoký stupeň uspořádanosti (stupeň krystalinity). U semikrystalických polymerů se pohybuje v rozmezí 40 až 90 %. Díky tomu jsou neprůhledné a mléčně zakalené. Použitelnost semikrystalických polymerů z hlediska teploty je charakterizována teplotou T_m (teplota tání). Semikrystalické polymery jsou pouze termoplasty a termoplastické elastomery. Mezi zástupce lze zařadit: **nízkohustotní polyetylen (LDPE)**, polypropylen (PP), polyamid (PA), polyethylentereftalát (PET), aj. [2]

Dle postavení polymerů na trhu lze polymery rozdělit do následujících odvětví:

- High-tech polymery
- Inženýrské (konstrukční) polymery
- Komoditní (běžné) polymery [1]

Obrázek níže představuje rozdělení několika zástupců polymerů dle jejich nadmolekulární struktury a postavení na trhu.



Obr. 8 Rozdělení polymeru dle nadmolekulární struktury a postavení na trhu [4]

1.2 Aditiva

Polymery se bez aditiv vyrábí jen velmi zřídka, zpravidla obsahují různé přísady. Aditiva jsou látky, které se mohou do polymerů během výroby přidat ke zlepšení jejich vlastností. Tyto látky mohou naprosto změnit charakter polymeru. Z tvárného polymeru udělat tvrdý konstrukční materiál, z izolantu udělat vodič elektrického proudu nebo z hořlavého polymeru udělat nehořlavý. Mezi nejčastěji používaná aditiva patří:

- Plniva (zvětšují objem)
- Změkčovadla (zvyšují tvárnost)
- Tvrdivadla (snižují tvárnost a zvyšují mechanickou odolnost)
- Retardéry hoření (chrání před tepelnými účinky)
- Pigmenty (obarvují)
- Antidegradanty (chrání před UV zářením či ozonem) [5]

1.2.1 Plniva

Plniva jsou organické nebo anorganické látky, které se používají zejména z těchto důvodů:

- Zlepšení mechanických vlastností
- Zlepšení chemické odolnosti
- Zaručení tvarové stálosti při zvýšené teplotě
- Zlevnění výroby

Existují plniva ve formě částic nebo vláken různé délky.

Částicové plnivo

Jedná se o nevyztužující plnivo, které ale může zlepšovat kluzné vlastnosti (grafit, sulfid molybdeničitý), zvyšovat tepelnou vodivost (práškové kovy). Částicové plnivo ve formě **magnetických částic** propůjčuje polymernímu kompozitu magnetické vlastnosti, konduktanci a stínící vlastnosti. Na druhou stranu částicová plniva značně mění mechanické vlastnosti matrice a to zejména modul pružnosti, houževnatost, tvrdost, apod.

Vláknové plnivo

Jedná se o vyztužující plnivo, které především zvyšuje rázovou houževnatost, pevnost, modul pružnosti a další mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou závislé na délce vláken a jejich orientaci. Nejčastější materiály, které se používají jako vláknové plnivo: sklo, uhlík, aramid. [1; 6]

1.3 Vybraní zástupci polymerů

V následující kapitole jsou popsáni zástupci polymerních materiálů, jež byly použity jako matrice do částicového kompozitu, který je předmětem této práce.

1.3.1 Nízkohustotní polyetylen

I když mají obecně polyetyleny jednoduchý chemický vzorec, $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$, jedná se o širokou rodinu s univerzálními vlastnostmi, které závisí na polymeračním procesu přípravy. Proces, při kterém vzniká nízkohustotní polyetylen (LDPE) se nazývá radikálová polymerizace. Makromolekuly mají mnoho krátkých větví na hlavním řetězci, které snižují teplotu tání, pevnost v tahu a krystalinitu. Jsou relativně flexibilní právě v důsledku rozvětvenosti makromolekul a nízké krystalinitě.

Výhody

Hlavními výhodami PE jsou nízká cena, poměr „cena-výkon“, chemická inertnost, nízká hustota, dobrý elektrický izolátor, nízký koeficient tření, vhodnost použití v potravinářství, snadná svařitelnost, dobrá obrobiteľnosť, univerzálnost výrobních metod s výjimkou UHMWPE.

LDPE: dobré mechanické vlastnosti, pružnost, odolnost vůči nárazu i při temperování, dobrý izolační materiál i ve vlhkém prostředí, chemicky inertní.

Nevýhody

Hlavními nevýhodami jsou citlivost na teplo, UV záření, a povětrnostní podmínky, praskání pod napětím, vysoký creep, nízká tuhost, výrazné smrštění, omezená transparentnost. Lepení, malba a tisk jsou díky povrchovému napětí bez povrchových úprav velmi obtížné. Jsou hořlavé, jelikož jsou složeny pouze z uhlíku a vodíku.

Cena

Náklady, stejně jako u všech plastů, značně kolísají s cenou surové ropy a jsou uváděny pouze v hrubých číslech. Většina je v řádech 1€ za kilogram.

Zpracování

PE lze zpracovávat všemi metodami zpracování polymerů, jako jsou: vytlačování, vstřikování, lisování, vyfukování, tváření, potahování, práškování, obrábění, svařování, aj.

Aplikace

Spotřeba se liší dle země a je rozdělena následovně:

- 40-45 % HDPE
- 30-35 % LLDPE
- 20-25 % LDPE

LDPE se používá především pro:

- Fólie pro balení: potravinářské, nepotravinářské, smršťovací, natahovací...
- Fólie pro jiné aplikace
- Powlakovací aplikace
- Pěnové kusy zabraňující poškození při přepravě
- Potrubí

Teplotní chování

Pro nepřetržité aplikace bez napěťových stavů se doporučuje teplota maximálně 120°C. Provozní teploty jsou nižší z důvodu poklesu modulu, deformace, creepu, relaxace. Pro LDPE se uvádí řádově 50-90 °C.

Dlouhodobé teplotní stárnutí závisí na vlastnostech a jakosti, zejména pak na použitých tepelných stabilizátorech. Pro hodnocení teplotně zatíženého materiálu se používá elongace při přetržení. Pro polyetylen temperovaný na 120 °C jsou hodnoty řádově:

- 60 % po deseti dnech a 40 % po sedmnácti dnech pro PE bez tepelných stabilizátorů
- 80-100 % po deseti dnech a 60-90 % po sedmnácti dnech pro PE s teplotními stabilizátory

Bod křehnutí je stanoven na -70 °C a teplota skelného přechodu -101°C. Tyto teploty jsou teplotami obecnými a nelze je zobecnit na všechny druhy PE.

Optické vlastnosti

Polyethyleny jsou bělavé, průsvitné až neprůhledné dle hustoty a kvality. Index lomu se mění s hustotou a typem polyethylenu:

- 1,51 pro LDPE
- 1,52 pro MDPE
- 1,54 pro HDPE

Mechanické vlastnosti

Polyethyleny mají obecně dobré mechanické vlastnosti. Vykazují velké poměrné prodloužení, ale poměrně limitované napětím na mezi kluzu. Moduly a tvrdost jsou spíše nízké a rázová houževnatost vysoká až vynikající. Odolnost proti oděru závisí na drsnosti, typu a morfologii kluzné plochy. Odolnost proti opotřebení je dostatečná pro antifrikční aplikace při mírném tlaku. Krystalinita a molekulární orientace zlepšují mechanické vlastnosti, ale zhoršuje odolnost vůči rázové houževnatosti.

Poissonův poměr závisí na mnoha parametrech týkajících se použité třídy a jejího zpracování, teploty, směru zkoušení s ohledem na orientaci molekul nebo výztuže. Pro nezávislý vzorek LDPE je Poissonův poměr roven 0,46, ale jedná se pouze o příklad, který nelze zobecnit.

Vliv počasí

Polyethyleny dobře odolávají vodě, ale jsou náchylné na světlo a UV záření. Musí být chráněny aditivami. [6]

1.3.2 Surlyn

Surlyn je obchodní název pro ethylen-metakrylové ionomery (EMA). Tyto ionomery jsou speciální termoplastické kopolymery z ethylenu a malého množství metakrylové kyseliny.

Výhody

EMA ionomery představují skvělý soubor vlastností jako: flexibilitu, houževnatost, vysokou pevnost v tahu, odolnost proti mnoha rozpouštědlům, průhlednost, lesk, odolnost proti oděru, a plynopropustnost podobnou LDPE. Pro určité aplikace lze docílit hebkého povrchu či přilnavosti k epoxidovým, polyuretanovým povrchům, kovům a sklu pomocí tepelné laminace.

Nevýhody

Možnosti aplikace Surlynu jsou omezeny díky nízké tuhosti, špatnému creepu, omezené odolnosti vůči kyselinám a ceně.

Aplikace

Možností aplikace je o mnoho méně, než je tomu u polypropylenu a polyethylenu. V tomto důsledku je na trhu poměrně málo druhů tohoto polymeru, což odpovídá hlavním aplikacím, jako jsou například:

- Fólie: konvenční vytlačování / koextruze, foukaná fólie, litá fólie a extruzní potahování. Především pro obalové fólie a těsnicí materiály a fólie odolné propíchnutí.
- Balení: potravinářské a nepotravinářské obaly, uzávěry lahví, lahve na šampony, aj.
- Automotive: pro různé bez nátěrové barevné aplikace
- Obuvnické komponenty: vložky do bot, podrážky na kopačky
- Sportovní potřeby: otěruvzdorné golfové míčky, kuželky
- Jiné: rukojeti náradí, zvětšovací skla, hračky, aj.

Teplotní vlastnosti

Teploty tání se pohybují v rozmezí 72 až 96 °C, což omezuje použití tohoto polymeru při zvýšených teplotách, a to i s absencí mechanického zatížení. Teplota skelného přechodu se pohybuje v rozmezí -50 až -101 °C.

Optické vlastnosti

Jedná se o transparentní, lesklé polymery s indexem lomu řádově 1,5. Tyto výsledky se týkají pouze některých druhů tohoto polymeru a nelze je zobecnit.

Mechanické vlastnosti

Jedná se o flexibilní materiál podobný elastomerům s těmito mechanickými vlastnostmi:

- Výborná rázová houževnatost i při nízkých teplotách
- Vysoké poměrné prodloužení při přetržení
- Odolnost vůči oděru a propíchnutí

Meze kluzu a pevnosti jsou nízké. Proto je nutné konstruovat výrobky vystavené omezenému zatížení.

Vliv počasí

EMA ionomery musí být chráněny před dlouhodobým vystavením světlu a UV záření. [6]

2 MAGNETISMUS

Magnetické pole vzniká v okolí pohybujících se částic s elektrickým nábojem. Protony s kladným nábojem a elektrony se záporným nábojem se pohybují, a proto můžeme říci, že vytváří magnetické pole. Magnetismus je tedy vlastností všech látek.

Protony se v porovnání s elektrony pohybují o mnoho méně. Říkáme tedy, že protony v porovnání s elektrony mají menší dráhový moment. Celkový magnetický moment atomu vypočítáme jako vektorový součet magnetických momentů všech elektronů a protonů. Tento moment pak určuje magnetické vlastnosti materiálu a chování dané látky v magnetickém poli. [8]

2.1 Magnetizační charakteristiky

Mezi základní veličiny pro popis magnetického pole patří magnetická indukce, intenzita magnetického pole a relativní permeabilita materiálu.

- Magnetická indukce (B) je vektorová veličina, jejíž vektorový součin s proudovým elementem se rovná síle, kterou magnetické pole působí na tento element.
- Intenzita magnetického pole (H) je vektorová veličina popisující míru silových účinků magnetického pole.
- Relativní permeabilita materiálu (μ) je fyzikální veličina vyjadřující vliv materiálu nebo prostředí na výsledné účinky magnetického pole.

Pro popis magnetického pole platí vztah (1), který se nazývá magnetizační charakteristika. Tato charakteristika popisuje závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole.

$$B = \mu \cdot H [T, Am^{-1}, emu] \quad (1)$$

kde: B ...magnetická indukce (T)

H ...intenzita magnetického pole (Am^{-1})

μ ...relativní permeabilita materiálu (-) [8]

2.2 Rozdělení magnetik

Dle hodnoty magnetického momentu lze tělesa rozdělit na základní skupiny magnetických látek.

Diamagnetikum

Jedná se o látku složenou z částic s nulovým magnetickým momentem. Vložíme-li diamagnetické těleso do magnetického pole, dochází k jeho mírnému zeslabování a zároveň je těleso vytlačováno ven z magnetického pole. Relativní permeabilita diamagnetik je menší než jedna.

Paramagnetikum

Jedná se o látku složenou z částic s nenulovým magnetickým momentem. V důsledku toho, že jsou tyto částice orientovány náhodně, je výsledný magnetický moment makroskopické části tělesa nulový. Vložíme-li paramagnetické těleso do magnetického pole, dochází k jeho zesilování a zároveň je těleso vtahováno do magnetického pole. Relativní permeabilita paramagnetik je nepatrně větší než jedna. V magnetickém poli se paramagnetika zmagnetují, ale po zrušení magnetického pole jsou tyto látky opět nemagnetické.

Feromagnetikum

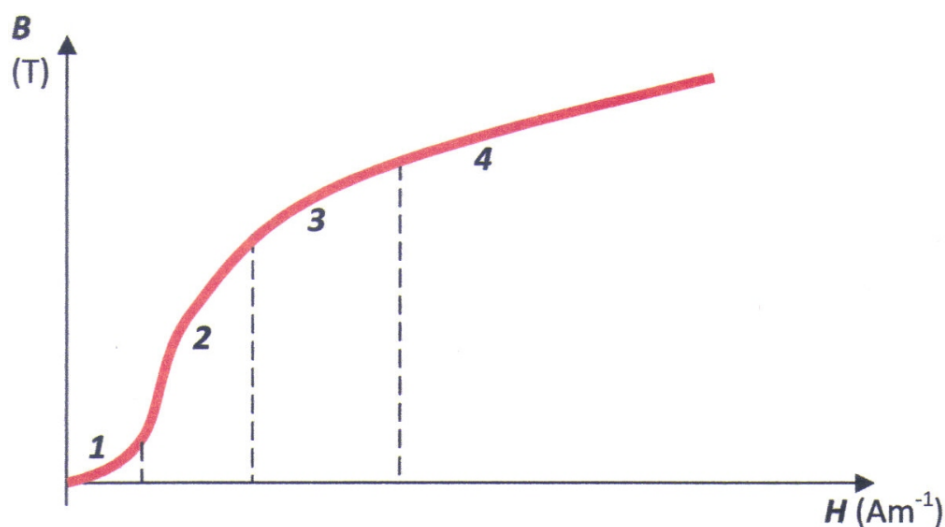
Jedná se o látky, ve kterých jsou shodně orientovány magnetické dipóly. Říkáme, že se v látce tvoří tzv. domény. Tyto domény jsou bez magnetického pole orientovány zcela náhodně a výsledný magnetický moment je tím pádem nulový. S rostoucí intenzitou magnetického pole dochází ke zvětšování těchto domén. Po zrušení magnetického pole zůstávají feromagnetika magnetické [9]

Tab. 1 Rozdělení magnetik [10]

DIAMAGNETICKÉ	PARAMAGNETICKÉ	FEROMAGNETICKÉ
$\mu_r < 1$	$\mu_r > 1$	$\mu_r \gg 1$
slabě zeslabují původní magnetické pole	slabě zesilují původní magnetické pole	výrazně zesilují původní magnetické pole
inertní plyny, zlato, měď, rtuť	sodík, draslík, hliník	železo, kobalt, nikl
NEFEROMAGNETICKÉ LÁTKY		
výsledný magnetický moment atomů je nulový	výsledný magnetický moment atomů je různý od nuly	výsledný magnetický moment atomů je různý od nuly
diamagnetické atomy	paramagnetické atomy	
	náhodná orientace jednotlivých atomů	existence mikroskopických oblastí, které jsou zmagnetovány i bez přítomnosti vnějšího magnetického pole WEISSOVY MAGNETICKÉ DOMÉNY

2.3 Křivka prvotní magnetizace

Vložení feromagnetického materiálu, který nebyl zmagnetizován, do magnetického pole se materiál začne magnetovat podle tzv. křivky prvotní magnetizace. Křivka prvotní magnetizace je závislost magnetické indukce na velikosti intenzity magnetického pole.



Obr. 9 Křivka prvotní magnetizace [8]

1. Na základě magnetického pole se zvětšuje objem domén, u kterých se směr magnetického momentu nejvíce shoduje s intenzitou magnetického pole. Tato fáze magnetizace je vratná bez nutnosti působení intenzity magnetického pole opačné polarity.
2. Objem domén s příznivou orientací se dále zvětšuje. Tento stupeň magnetizace již není vratný bez působení intenzity magnetického pole opačné polarity.

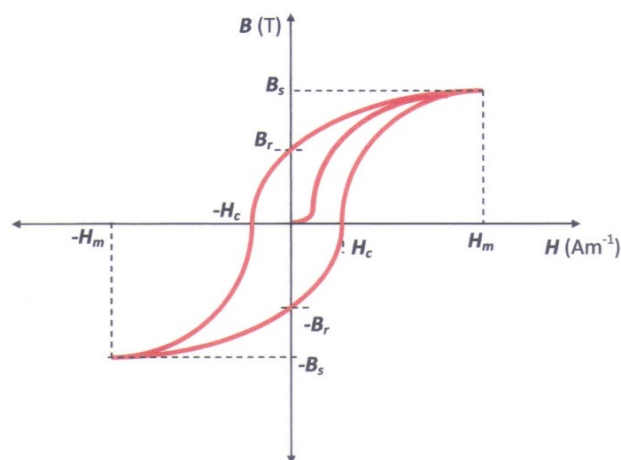
3. Téměř všechny domény vykazují příznivou orientaci ve směru magnetického pole. Je-li feromagnetikum monokrystalického charakteru, je celý krystal jedinou doménou a lze ještě zvětšit magnetickou indukci pootočením magnetických momentů do směru intenzity magnetického pole. Nicméně tento děj je možný pouze v silných magnetických polích.
4. Dochází k tzv. nasycení feromagnetika. Magnetická indukce se již dále nezvětšuje na základě působení magnetické intenzity.

Pokud po magnetování feromagnetika snížíme hodnotu magnetické indukce na nulu, bude mít feromagnetikum vyšší hodnotu magnetické indukce než před počátkem magnetování. Tento děj se nazývá magnetická hysterese a popisuje jej hysterezní křivka. [8]

2.4 Hysterezní křivka

Hysterezní křivka vychází z křivky prvotní magnetizace. Hysterezní křivka je také závislost magnetické indukce na velikosti intenzity magnetického pole a udává nám informaci o tom, jakým způsobem se feromagnetický materiál chová v přítomnosti magnetického pole po prvotním zmagnetování.

Nejprve postupuje křivka dle křivky prvotní magnetizace do bodu nasycení, kdy magnetická indukce (B_s) a intenzita magnetického pole (H_m) dosahuje maximálních hodnot. Po dosažení bodu nasycení se pomalu a plynule zmenšuje intenzita magnetického pole na nulu. Hodnota indukce magnetického pole se ale nevrací do původní hodnoty. Ve feromagnetiku tedy zůstala tzv. remanentní (zbytková) indukce. Celý cyklus se dále opakuje s opačnou polaritou magnetické intenzity.

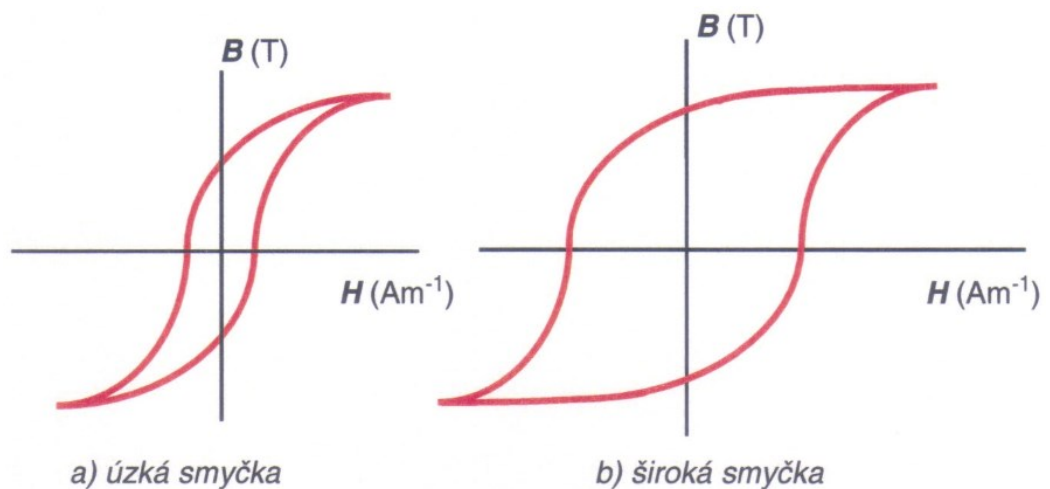


Obr. 10 Hysterezní křivka magnetizace [8]

- Remanentní indukce (remanence) – B_r (T) je hodnota magnetické indukce, která v materiálu zůstane, když intenzita magnetického pole klesne na nulu.
- Bod nasycení – B_s (T) – je bod při, kterém je dosaženo maximální hodnoty magnetické indukce při odpovídající intenzitě magnetického pole
- Koercitivní intenzita (koercitivita) – H_c (Am^{-1}) je intenzita nutná k odmagnetizování feromagnetického materiálu.

Tvar hysterezní křivky ovlivňuje chemické složení, struktura, teplota, deformace v tahu, deformace v tlaku, způsob zpracování, frekvence, materiálová diskontinuita.

V zásadě existují dva základní druhy hysterezní smyčky – úzká a široká. Úzkou distribucí hysterezní křivky se vyznačují magneticky měkké materiály. Širokou distribucí hysterezní křivky se vyznačují magneticky tvrdé materiály. [8]



Obr. 11 Tvary hysterezních smyček [8]

3 PŘÍPRAVA POLYMERNÍCH SMĚSÍ

V technické praxi přípravy polymerů se už jen zřídka setkáváme s jejich distribucí v čistém stavu. Běžně se připravují polymerní směsi, čímž rozumíme technologický postup, při kterém dispergujeme přísady v základní polymerní složce. Forma, ve které se vyskytují jednotlivé přísady a finální směs, je vysoce variabilní. Můžeme míchat práškové polymery, tuhé kaučuky, kapalně přísady, vzduch, aj. Na základě této variability je nutné vhodně optimalizovat výrobní proces, ale též volit vhodná zařízení.

Jedním z možných způsobů zpracování polymerních směsí je lisování. Jedná se o metodu tváření polymerů v ocelové vytápěné formě, která na lisovaný materiál působí tlakem.

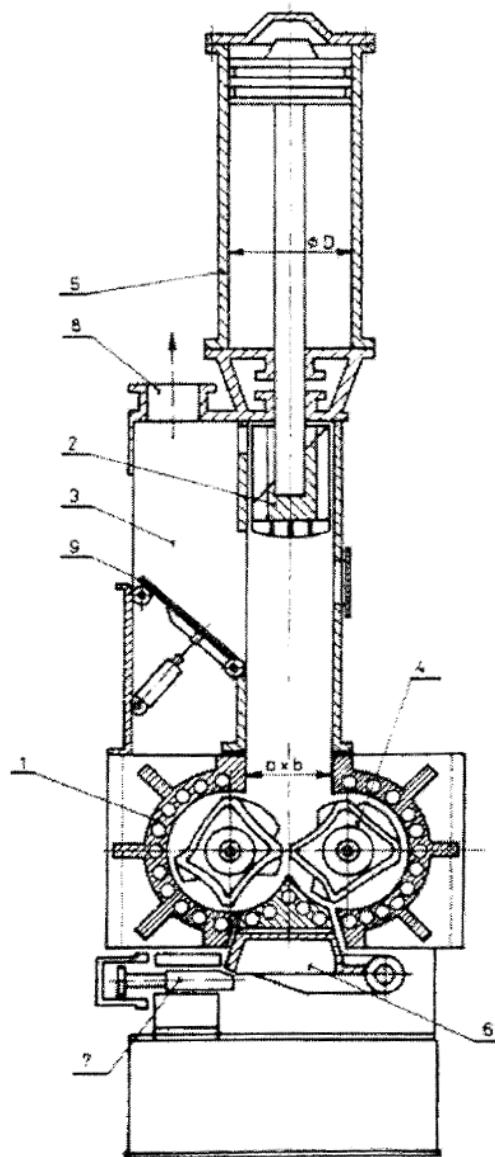
Při zpracovávání polymerů je občas nutné jejich dělení. Volba zařízení pro dělení polymerů se odvíjí od požadavků, které jsou kladeny na výsledný produkt a materiál, z něhož je produkt zhotoven.

Sekačky slouží především k dělení kaučukových balíků a plošných materiálů. K tomu lze využít lisů (hydraulických či mechanických), které jsou vybaveny odpovídajícími vysekávacími či sekacími noži. [8; 9; 10; 11]

3.1 Hnětič

Jedná se o zařízení k míchání a plastikaci makromolekulárních látek za pomoci dvou hnětadel konajících protichůdný rotační pohyb v uzavřeném prostoru. Dle tlaku působícího na materiál rozdělujeme hnětiče na beztlaké, nízkotlaké (do 0,5 MPa) a vysokotlaké (do 1 MPa). Dle rychlosti rotorů rozdělujeme na hnětiče pomaluběžné (do 30 ot. /min) a rychloběžné (do 80 ot. /min).

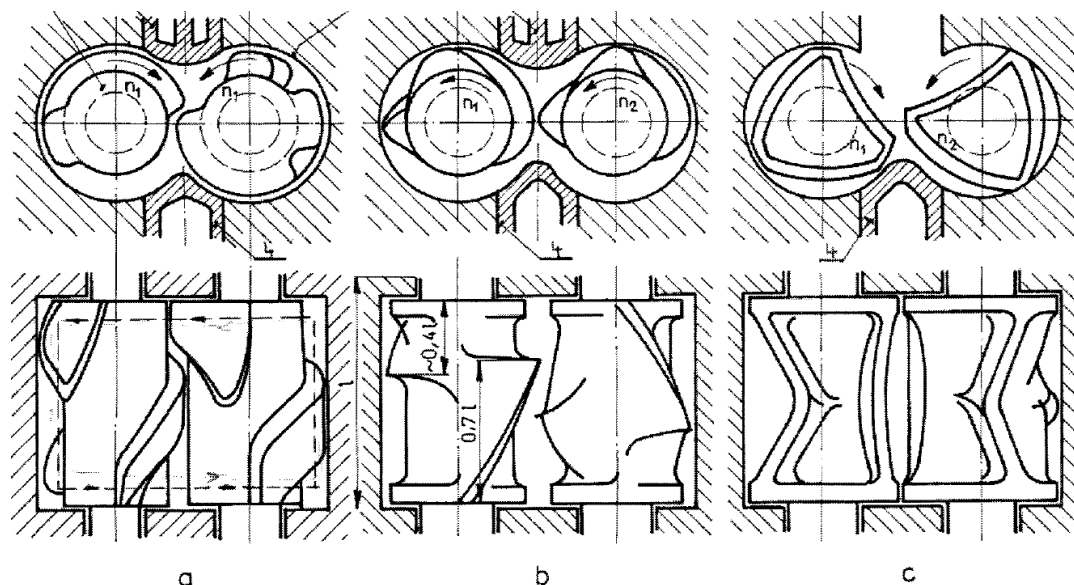
Mezi hlavní části hnětiče patří hnětací komora (1), ve které se otáčí rotory (4). Celá komora se uzavírá klátem (2) a vyprazdňuje uzávěrem (7). Materiál se do stroje plní přes násypku (3), jejíž prostor je odsáván (8). Materiál je hněten jednak mezi stěnami komory a mezi rotory. Kláto také vytváří tlak na materiál, který hnětení zintenzivňuje.



Obr. 12 Schéma hnětiče [8]

Velikost užitečného objemu hnětací komory určuje velikost hnětiče. Malé laboratorní hnětiče mají malý užitečný objem (několik litrů), zatímco velké průmyslové hnětiče mají užitečný objem velký (desítky až stovky litrů).

Existuje několik typů hnětičů, které se liší především v tvaru a funkci hnětacích částí rotorů. Na obrázku jsou uvedeny tři druhy hnětičů, z nichž hnětič (A) a (B) patří k tlakovým hnětičům a hnětič (C) k beztlakovým hnětičům. Typ (A) má stejné otáčky obou rotorů zatímco typ (B) má otáčky rozdílné (poměr otáček 1:1,15 až 1:1,18) [8]

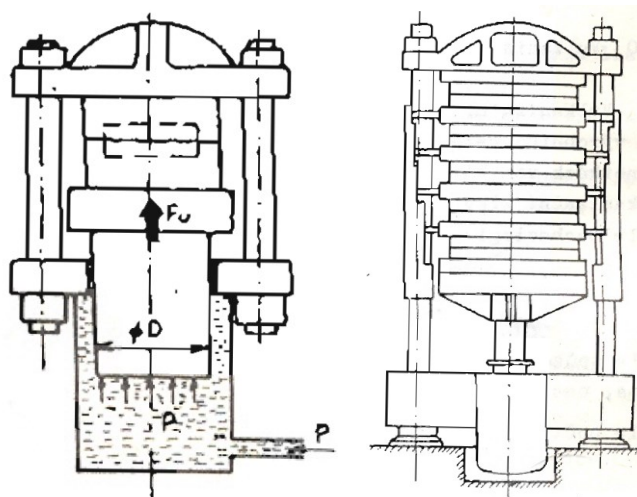


Obr. 13 Typy hnětacích částí rotorů [8]

3.2 Lisování termoplastů

Jedná se o metodu tváření polymerů v ocelové vytápěné formě, která na lisovaný materiál působí tlakem. Zařízení pro tuto metodu tváření polymerů se nazývá lis. Dle způsobu vyvození lisovací síly rozdělujeme lisy na mechanické, hydraulické a pneumatické.

Velikost lisu je určena jeho výkonovými a rozměrovými parametry. Výkonové parametry jsou dány lisovací silou jmenovitým tlakem, rychlostí pracovního pohybu apod. Rozměrové parametry pak určují rozměry upínacích ploch, počet etáží, zdvihy aj. [9; 10]



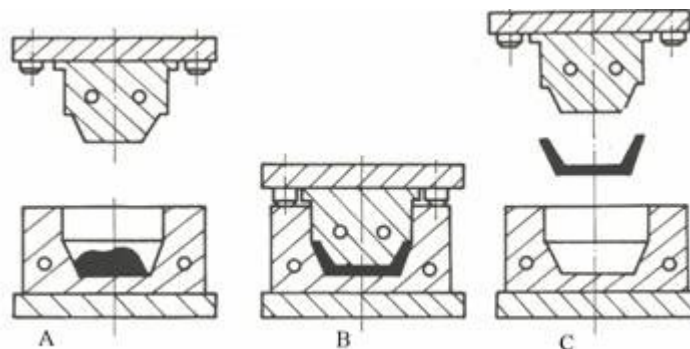
Obr. 14 Schéma hydraulického lisu [10]

Lisovací cyklus

Při procesu lisování se dutina tvárnice naplní určitým množstvím lisovaného materiálu (prášek, drť, granulát). V důsledku vyvozeného tlaku tvárníkem při uzavírání formy dochází k plastikaci polymeru, a tím k vyplnění tvarové dutiny. Po uplynutí doby, po kterou by měl být materiál lisován, se výlisek v ochlazeném stavu vyjme z lisu a celý cyklus se znovu opakuje. [11]

Délka lisovacího cyklu a kvalita výlisku závisí především na zvolených procesních podmínkách. Mezi základní procesní podmínky lisovacího cyklu řadíme:

- Lisovací tlak – ovlivňuje kvalitu povrchu výlisku a jeho smrštění. Lisovací tlak závisí na druhu polymeru, geometrii formy a na teplotě lisování
- Teplota lisování – jedná se o teplotu, která slouží k plastikaci polymeru. Teplota lisování závisí na druhu polymeru a tloušťce výlisku.
- Doba lisování – jedná se o čas nutný k zaplnění formy a zrelaxování polymeru. V případě reaktoplastů mluvíme o době vytvrzování a v případě elastomerů se jedná o dobu vulkanizace. [9]



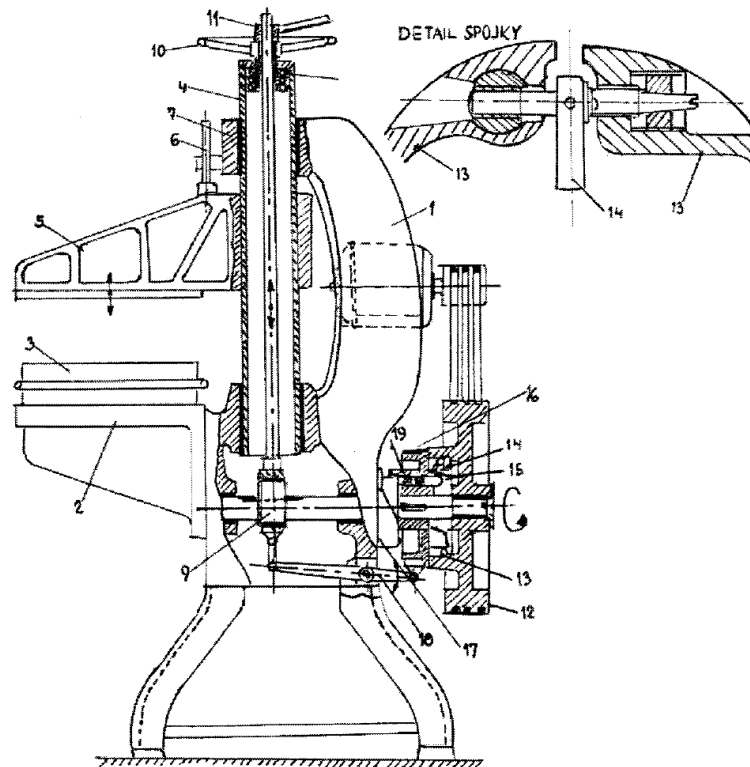
Obr. 15 Schéma lisovacího cyklu [9]

Mezi výhody a nevýhody lisovacího cyklu řadíme:

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> • minimální odpad • nízké vnitřní pnutí • levné formy 	<ul style="list-style-type: none"> • dlouhá doba lisovacího cyklu • malá produktivita práce [11]

3.3 Ramenová sekačka

Jedná se o jednoduché zařízení, které využívá k vyvození sekací síly výstředníkového mechanismu. Na boční straně frémy stroje (1) je upevněn stůl (2), na kterém je uložen sekací klát (3). Klát může být ze dřeva, lepenky, PVC apod. Na klát se ukládají materiály pro sekání a na ně se pak položí sekací nůž. Rameno (5) upevněné na dutém válci (4) se mezitím odklopí stranou. Horizontální pohyb ramene omezuje čep (6) a narážky umístěné na frémě (1). Vertikální pohyb ramene se odvozuje od výstředníku (9) a táhla (7) které je v horní části opatřeno závitem. Táhlo (7) je uloženo v ložisku (8) a vertikální poloha se nastavuje ručním kolem (10). Kolo se zajišťuje pojistnou matkou s rukojetí. Pohyb výstředníku (9) je omezen vždy jen na jednu otáčku. Umožňuje to jednootáčková třecí spojka, zabudovaná v setrvačnicku (12). Spojku tvoří čelisti (13) uchycené na kotouči brzdy (16). Setrvačnick se volně otáčí na hřídeli. Jakmile spouštěcí páka uvolní palec (15), pružina (19) ho posune tak, že se pohne páčka (14) a rozepne čelist (13) šroubem a závitem ve válcovém čepu. Potřebná vůle se nastavuje stavěcím šroubem přes opěrnou kuličku. Poloha stavěcího šroubu se zajišťuje pojistnou maticí se zářezy. Čelisti se při kontaktu se setrvačnickem začnou unášet. Současně palec sleduje čelní vačku (17), která je tak profilována, aby spolehlivě zabezpečovala unášení čelistí setrvačnickem. Zároveň se od pohybu setrvačnicku uvolní brzda (16) přes dvouramennou páku (18). Rameno (5) vykoná příslušný zdvih. Při zvedání ramen se postupně uvolní čelist v setrvačnicku a brzda se znovu utáhne. Výstředníkový mechanismus se opět nastaví do výchozí polohy. Nový zdvih může nastat až při novém stlačení spouštěcí páky. Pro spolehlivou funkci musí být jednootáčková třecí spojka pečlivě seřízena. Sekací síly jsou podle velikosti stroje 50 kN a 200 kN při zdvihu 12 mm, příp. 40 mm.



Obr. 16 Mechanická ramenová sekačka [8]

Ramenové sekačky jsou také hydraulické. Hydraulické sekačky jsou pomalejší, ale pracují klidněji. Z bezpečnostních důvodů musí mít obsluha stroje zaměstnány obě ruce. [8]

4 HODNOCENÍ MATERIÁLŮ

4.1 Zkoušky tvrdosti

Jedná se o nedestruktivní zkoušky kovových i nekovových materiálů. Z tvrdosti lze přibližně určit i jiné vlastnosti materiálu např.: pevnost, obrobitelnost, aj. Zkoušky se provádí na zkušebních vzorcích nebo přímo na hotovém výrobku.

Zkoušky dělíme na statické a dynamické. Jako statické zkoušky tvrdosti lze klasifikovat metody: Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell, IR HD či Shore A, D. Mezi dynamické řadíme metody: Poldiho kladívko, Baumannovo kladívko, Duroskop, Shoreho skleroskop.

Pro potřeby této závěrečné práce si blíže popíšeme metodu měření tvrdosti dle Shore.

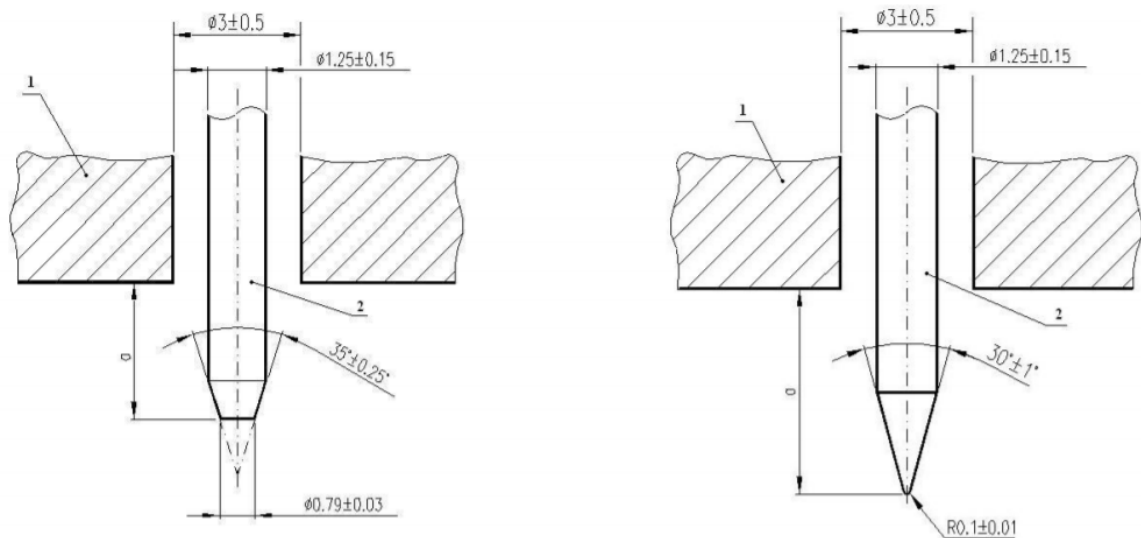
4.1.1 Shore A, D

Jedná se o metodu měření tvrdosti polymerů, která je založena na vtlačování hrotu do zkušebního vzorku. Tato metoda je nejrozšířenější z metod měření tvrdosti polymerů v průmyslové praxi. Metoda měření tvrdosti dle Shore se rozděluje na 2 typy:

- Metoda Shore A (vhodná pro měkčí materiály)
- Metoda Shore D (vhodná pro tvrdší materiály).

Zkušební zařízení

Zkušební zařízení se skládá z opěrné patky, zkušebního hrotu, ukazatele délky a kalibrované pružiny. V opěrné patce (1) je otvor, kterým prochází hrot (2) o určité geometrii, která závisí na použitém typu měření tvrdosti dle Shore.



Obr. 17 Schéma hrotu tvrdoměru Shore A (vlevo) a Shore D (vpravo)

Zkušební tělesa

Zkušební tělesa musí mít tloušťku minimálně 4 mm. Pokud nejsme schopni splnit kritérium pro minimální tloušťku, lze na sebe zkušební tělesa navrstvit pro dosažení požadované tloušťky. V takovém případě se ale výsledky z celistvého zkušební tělesa nemusí shodovat s výsledky navrstvených zkušebních těles, jelikož nelze docílit dokonalého kontaktu mezi jednotlivými vrstvami. Povrch zkušební tělesa musí být hladký a rovný. Patka zkušebního zařízení by měla být v dostatečném kontaktu se zkušebním tělesem (plocha o poloměru nejméně 6 mm od špičky tvrdoměru).

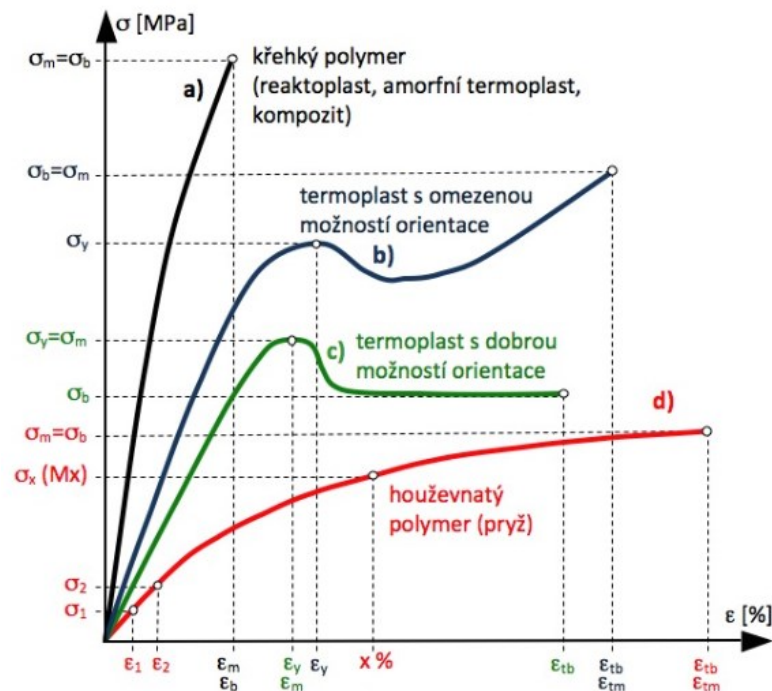
Princip zkoušky

Zkušební těleso se položí na rovný povrch a kolmo na něj se co nejrychleji, ale bez nárazu přitlačí čelo opěrné patky zkušebního zařízení. Po penetraci zkušební tělesa hrotem a dosednutí čela opěrné patky se odpočítává čas, po který zařízení v této poloze setrvává. Pro hodnotu počáteční tvrdosti se zařízení uvolňuje po 1 sekundě. Pro hodnotu maximální tvrdosti se zařízení uvolňuje po patnácti sekundách.

4.2 Zkouška v tahu

Jedná se o nejzákladnější způsob charakterizace mechanických vlastností polymerů. Při této zkoušce je těleso vystaveno jednoosému namáhání v tahu. Průběh tohoto namáhání (deformace) lze sledovat ze závislosti normálového napětí na poměrném prodloužení. Tuto

závislost nazýváme tahovou křivkou, která udává důležité informace o vlastnostech materiálu. V následujícím grafu lze pozorovat tahové křivky různých materiálů.



Obr. 18 Typické tahové křivky polymerů [1]

Tyto závislosti jsou stanovovány experimentálně. Zkušební těleso je umístěno do čelistí stroje a na těleso je nasazen extenzometr. V průběhu měření se zaznamenává závislost působící síly na těleso ve formě napětí (snímané siloměrem) na poměrném prodloužení tělesa (snímané extenzometrem).

Pro výpočet jednotlivých členů této závislosti lze použít rovnici (2) pro výpočet smluvního napětí (σ)

$$\sigma = \frac{F}{S_0} [MPa] \quad (2)$$

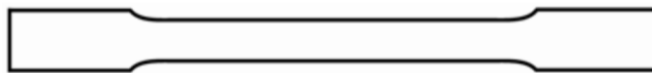
a rovnici (3) pro výpočet poměrného prodloužení (ε) resp. rovnici (4) pro výpočet jmenovitého poměrného prodloužení (ε_t)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

$$\varepsilon_t = \frac{L_t}{L} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

Kde F je velikost síly [N], S_0 je počáteční průřez tělesa [mm^2], L_0 je počáteční délka tělesa [mm], ΔL_0 je zvětšení délky [mm], L je vzdálenost mezi čelistmi [mm] a L_t je zvětšení vzdálenosti mezi čelistmi [mm].

Rozměr a tvar zkušebních těles pro tahovou zkoušku jsou definovány normou. Většinou se jedná o tvar „oboustranných lopatek“. Tento tvar umožňuje pevné uchycení a kontrolu nad působící silou, která je díky tomuto tvaru orientovaná doprostřed vzorku. V případech testování elastomerních materiálů lze místo lopatek použít zkušebních těles ve tvaru kroužků.



Obr. 19 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku [8]

Z deformační křivky určujeme tyto pevnostní charakteristiky:

Mez úměrnosti

Jedná se o mez, do které platí Hookův zákon, který vyjadřuje, že deformace je přímo úměrná působícímu napětí dle rovnice (5). Z rovnice lze vyjádřit modul pružnosti (E) což je materiálová konstanta vyjadřující jeho tuhost. Čím má materiál vyšší modul pružnosti, tím vyšší je jeho tuhost. Modul pružnosti lze také vyjádřit z tahové křivky. Jedná se o směrnici lunární části, resp. tangentu úhlu svírající lineární část křivky a osu poměrné deformace.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa] \quad (5)$$

Mez pružnosti

Po překročení napětí na mezi pružnosti a uvolnění napětí jsou již deformace tělesa nevratné. Obvykle se příliš neliší od meze úměrnosti.

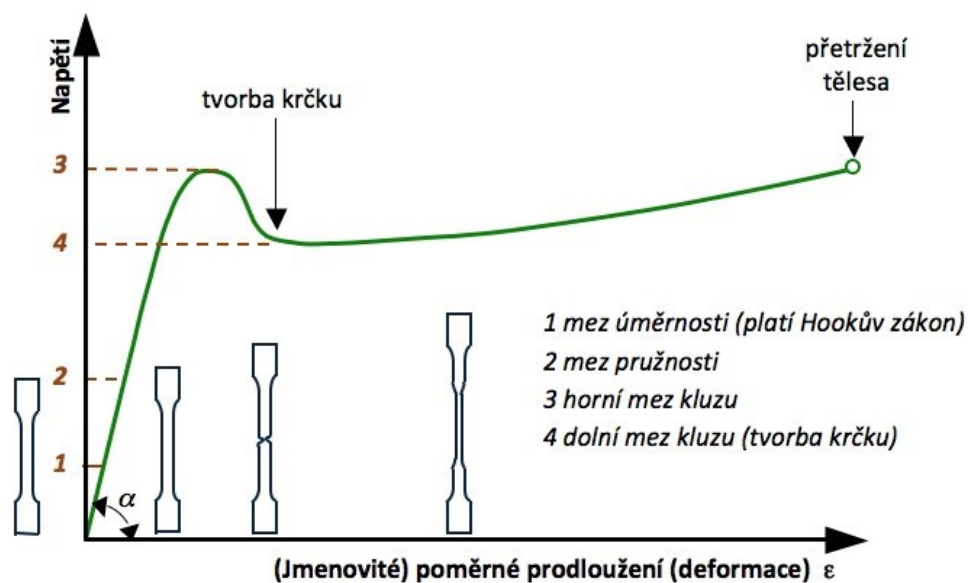
Mez kluzu

Při překročení napětí na mezi kluzu vznikají trvalé deformace poměrně velkého charakteru. Na zkušebním tělese lze pozorovat tvorbu tzv. „krčku“, který se stále rozšiřuje,

aniž by stoupala zatěžující síla. U semikrystalických polymerů je mez kluzu shodná s mezí pevnosti.

Mez pevnosti

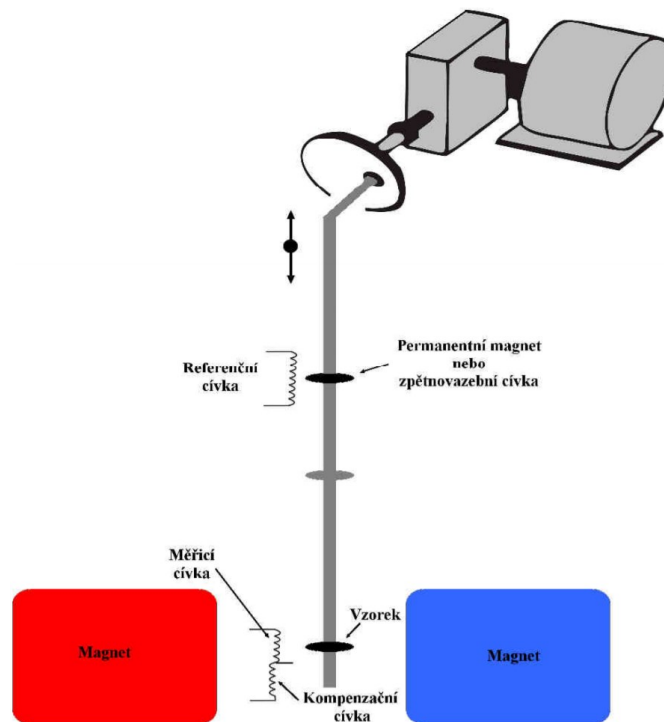
Jedná se o maximální napětí naměřené v průběhu zkoušky, které ovšem nemusí odpovídat napětí v okamžiku přetržení zkušebního tělesa. Jeho hodnota se u čistých polymerů měřených při pokojové teplotě pohybuje v rozmezí 15-100 MPa. [8; 1]



Obr. 20 Příklad tahové křivky pro semikrystalické polymery [1]

4.3 Vibrační magnetometrie

VSM neboli Vibrating Sample Magnetometer je zařízení pro měření magnetizace vzorku. Tato metoda je založena na principu elektromagnetické indukce. VSM pracuje jako gradiometr, který měří rozdíl magnetické indukce se vzorkem a bez něj v prostoru mezi póly magnetu. Princip měření spočívá ve vibrujícím vzorku v soustavě cívek. V cívkách se tímto generuje magnetický moment vlivem vlastní magnetizace vzorku. Z tohoto napětí lze určit magnetický moment zkoumané látky. Existuje i verze vibračního magnetometru s teplotní komorou, ve které se měří vliv teploty na magnetické vlastnosti vzorku.



Obr. 21 Schéma funkce vibračního magnetometru [13]

Vibračním magnetometrem lze měřit vzorky s magnetickým momentem o velikosti až $5 \times 10^{-8} \text{ Am}^{-2}$ ($5 \times 10^{-5} \text{ emu}$) a přesností 2%. [13; 14]

4.4 Optická mikroskopie

Mikroskopie je metoda pozorování objektů, která nám umožňuje pozorovat velmi malé objekty, které by pouhým okem nebyly viditelné. Optický mikroskop se řídí zákony optiky, jelikož využívá viditelného světla. To je bohužel jeho velká nevýhoda, neboť viditelné světlo obsahuje celé spektrum záření s různými vlnovými délkami. Ovšem nespornou výhodou je jeho cenová dostupnost.

Rozlišovací schopnost je jednou z nejdůležitějších vlastností mikroskopu, která závisí na vlnové délce použitého světla a druhu objektivu. Rozlišovací schopnost je definována jako nejmenší vzdálenost dvou bodů, které jsme ještě schopni rozlišit jako dva samostatné objekty. Oko má rozlišovací schopnost cca 0,2 mm, zatímco optický mikroskop má rozlišovací schopnost v řádech mikrometrů. Nejvyšší rozlišovací schopnosti dosahují elektronové mikroskopy s hodnotou v řádech nanometrů.

Dalšími parametry, které ovlivňují kvalitu obrazu, jsou: kontrast, hloubka ostrosti a rozlišení podrobností. Tyto parametry se dají ovlivnit správným zacloněním aparátu.

Správným zacloněním rozumíme dosáhnouti požadovaného zvětšení při ideální hloubce ostrosti a rozlišení s velkým kontrastem.

Mezi základní pojmy a vztahy patří:

- Vlnová délka (λ) – vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění kmitajících ve stejné fázi
- Index lomu (n) – optická hustota prostředí mezi objektivem a preparátem

$$n = \frac{c}{v} \quad (6)$$

kde: c ...rychlost světla ve vakuu

v ...rychlost světla o určité vlnové délce ve zkoumaném prostředí

- Numerická aparatura (N_A)

$$N_A = n \cdot \sin(\alpha) \quad (7)$$

kde: n ...index lomu prostředí

α ...vstupní úhel paprsků do objektivu

- Rozlišovací schopnost (a)

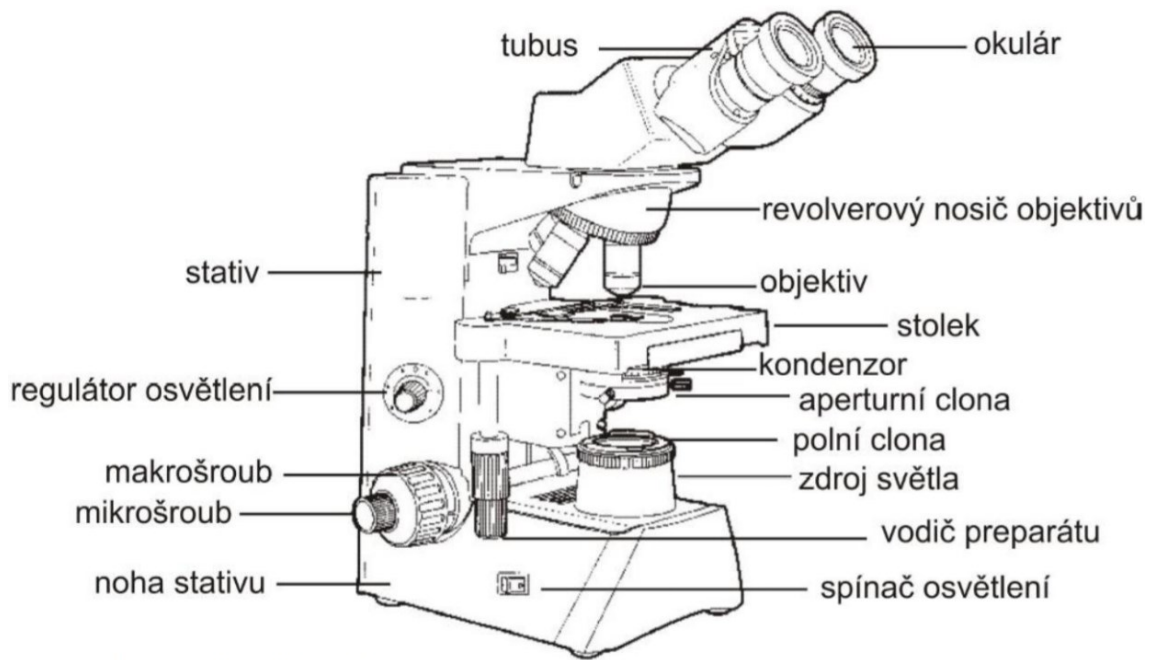
$$a = \frac{0,61 \cdot \lambda}{N_A} \quad (8)$$

kde: λ ...vlnová délka světla

N_A ...numerická aparatura

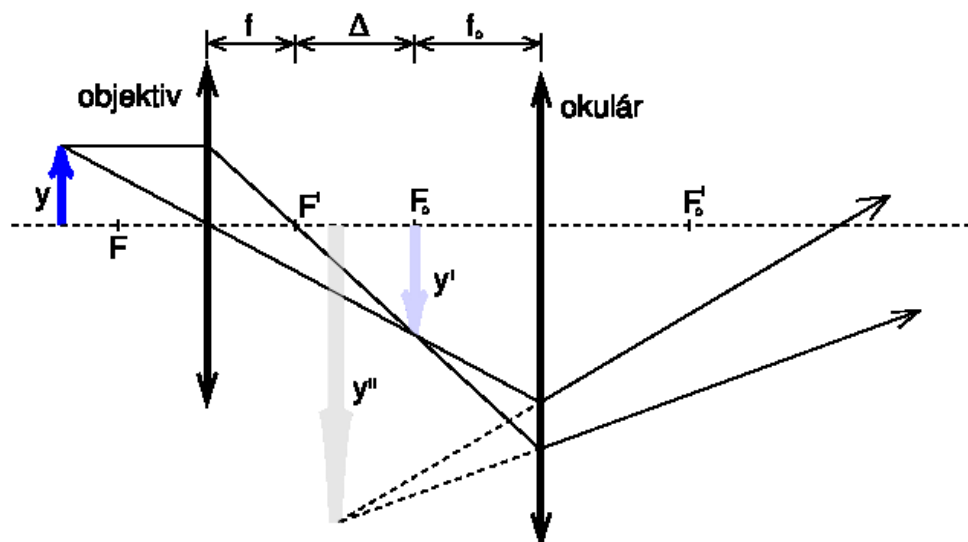
Optický mikroskop se skládá ze tří částí: mechanická část, osvětlovací část a optická část. Tyto části jsou připevněny na stativ s masivní nohou, která zajišťuje stabilitu celého zařízení. Na stativu je upevněný stolek s křížovým posuvem a svorkami pro upnutí vzorku. Na horní části stativu je upevněný tubus s okuláry a na dolní části stativu nalezneme revolverové zařízení s objektivy. Pro vertikální posuv stolku slouží makrometrický šroub, který slouží pro hrubé zaostření a mikrošroub, který slouží pro doostřování.

Srdcem každého optického mikroskopu je osvětlovací zařízení. Toto zařízení existuje buď ve formě otáčivého zrcátka nebo osvětlovací lampy. Nad lampou se nachází polní clona, aperturní irisová clona a kondenzor. Kondenzor zajišťuje lepší prosvětlení díky tomu, že vytváří širší kužel paprsků směřovaných na preparát.



Obr. 22 Stavba optického mikroskopu [15]

Hlavními částmi optického mikroskopu je optika tvořená dvěma soustavami čoček (objektiv a okulár). Objektiv se nachází blíže zkoumanému vzorku a vytváří skutečný, převrácený obraz pozorovaného objektu. Okulár se nachází blíže očím a vytváří neskutečný, převrácený a zvětšený obraz pozorovaného objektu. [15]



Obr. 23 Optické schéma zvětšení objektu [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Vypracování literární rešerše na zadané téma.
- Příprava zkušebních vzorků částicových kompozitních materiálů za různých podmínek přípravy.
- Sledování vlivu koncentrace a otáček hnětiče na výsledné vlastnosti kompozitního systému.
- Hodnocení mechanických, stínících, magnetických a strukturních vlastností.
- Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze.

6 VOLBA MATERIÁLU

Matrice byla volena termoplastická s požadavkem co nejvíce odlišných vlastností, proto byl materiál volen s ohledem na polaritu, nadmolekulární strukturu a tuhost. Z tohoto důvodu byly zvoleny tyto materiály:

- LDPE (ExxonMobil™ LDPE LD 100 Series)
- Surlyn (DuPont™ Surlyn® 8940)



Obr. 24 Termoplastická matrice (zleva: LDPE, Surlyn)

Plnivo bylo voleno funkční částicové, nikoliv vyztužující vláknové. Funkce plniva je v jeho magnetických vlastnostech. Z tohoto důvodu byly zvoleny tyto typy plniv:

- Částice karbonylového železa (BASF SE™ CIP CN)
- Neodymové částice (Unimagnet™ UN-3)
- Feritové částice (Unimagnet™ UN-F1,5)



Obr. 25 Částicová plniva (zleva: karbonylové železo, neodymové částice, feritové částice)

7 VÝROBA MATERIÁLU A ZKUŠEBNÍCH TĚLES

7.1 Homogenizace směsi

Pro přípravu materiálu byl použit hnětič (Brabender® Plasti-Corder). Matrice a plnivo byly míchány ve třech koncentracích a čtyřech rychlostech otáčení hnětadel a to následovně:

Koncentrace:

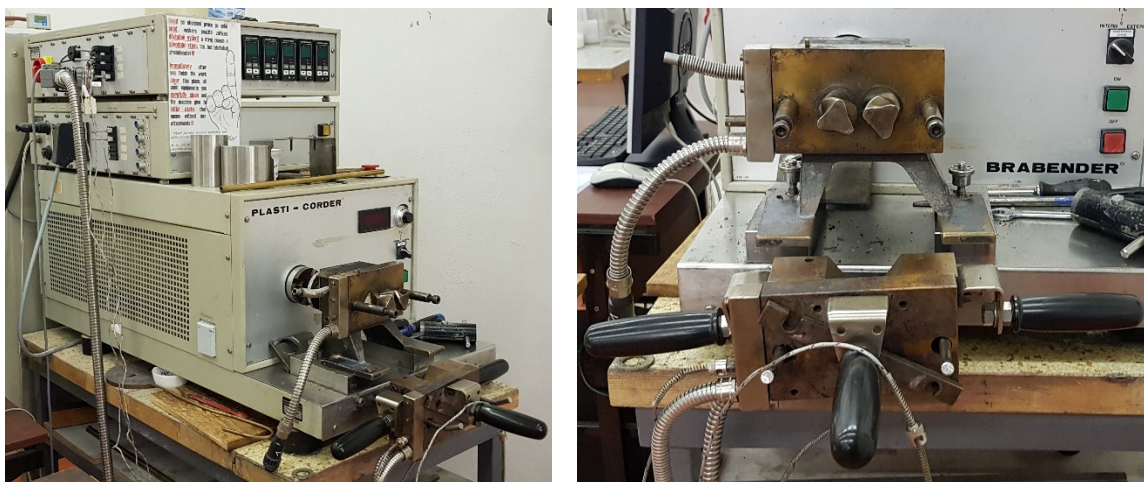
- 40 hm. %
- 50 hm. %
- 60 hm. %

Rychlost:

- 20 ot. /min
- 30 ot. /min
- 40 ot. /min
- 50 ot. /min

Části částicového kompozitního systému byly homogenizovány při teplotě 160 °C pro LDPE a 185 °C pro Surlyn po dobu sedmi minut.

Za těchto podmínek byly připraveny dvě navážky po čtyřiceti gramech pro každou kombinaci matrice, plniva, koncentrace a rychlosti otáčení (celkem 144 navážek). Před dalším procesem byl materiál nastříhán na menší, lépe zpracovatelné kusy.



Obr. 26 Hnětič od firmy Brabender

7.2 Polotovar

Základem pro všechny druhy zkušebních těles byla lisovaná deska z předmíchané kompozitní směsi. Tato deska byla lisována za pomoci ručních lisů (plastikace) a hydraulických lisů (chlazení).



Obr. 27 Ruční a hydraulický lis

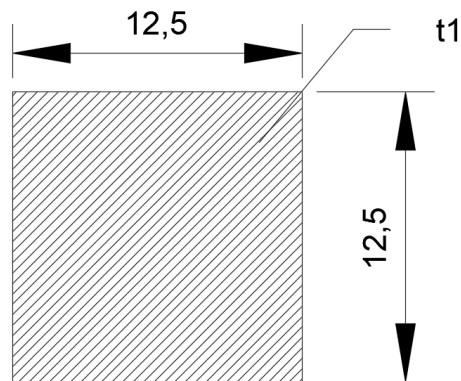
Následující tabulka vyjadřuje množství navážky nutné k výrobě kompozitní desky s částicemi karbonylového železa.

Tab. 2 Množství navážky pro LDPE s karbonylovým železem

	LDPE + karbonylové železo	Surlyn + karbonylové železo
40 hm. %	23 g	28,7 g
50 hm. %	26,5 g	34,8 g
60 hm. %	31 g	36 g

Navážky pro ostatní typy magnetických částic jsou velikostí navážky téměř totožné, a proto zde nejsou uvedeny.

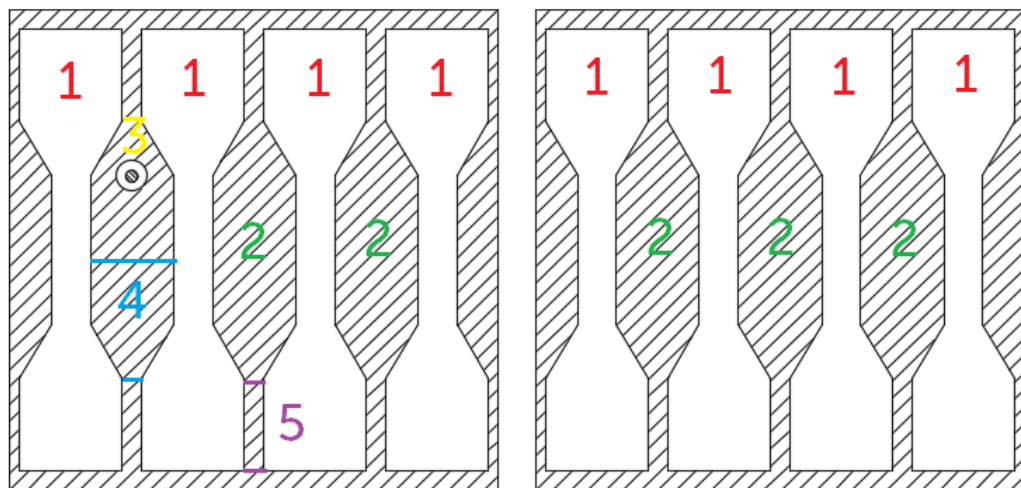
Kompozitní deska s rozměry [12,5x12,5x1] mm byla lisována při teplotě 180 °C pro LDPE a 205 °C pro Surlyn po dobu sedmi minut. Doba chlazení činila pět minut. Za těchto podmínek byly připraveny dvě desky pro každou kombinaci matrice, plniva, koncentrace a rychlosti otáčení. Tyto desky sloužily jako polotovary pro přípravu zkušebních těles.



Obr. 28 Rozměry polotovaru (mm)

7.3 Výroba zkušebních těles

Na základě potřebného počtu zkušebních těles a jejich geometrie byl připraven nástřihový plán pro všechny druhy zkušebních těles.



Obr. 29 Nástřihový plán

Nástřihový plán obsahuje zkušební tělesa pro zkoušku tahem (1), zkoušku tvrdosti dle Shore D (2), měření permeability materiálu (3), měření permitivity materiálu (4) a měření magnetických vlastností na vibračním magnetometru (5).

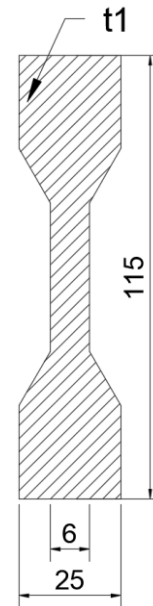
1. Zkouška tahem

Zkušební tělesa pro mechanickou zkoušku tahem byla připravena z polotovaru mechanickou ramenovou sekačkou za pomoci tvarovacího nože v počtu osmi kusů pro každou kombinaci matrice, plniva, koncentrace a rychlosti otáčení (576 zkušebních těles). Mimo to byla ještě připravena zkušební tělesa ve formě čistých matric bez plniva, jakožto

referenční vzorky. Zkušební tělesa byla připravena v souladu s normou ČSN EN ISO 527-1 (640604).



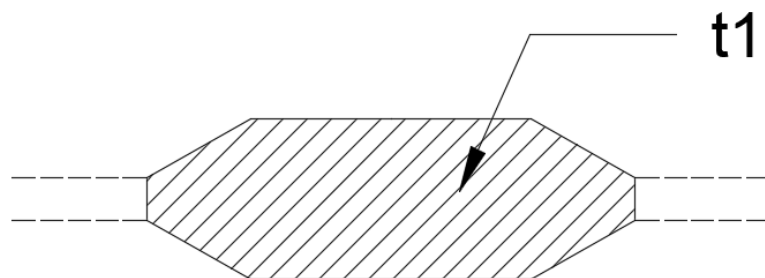
Obr. 30 Ramenová sekačka



Obr. 31 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku tvrdosti (rozměry v mm)

2. Zkouška tvrdosti

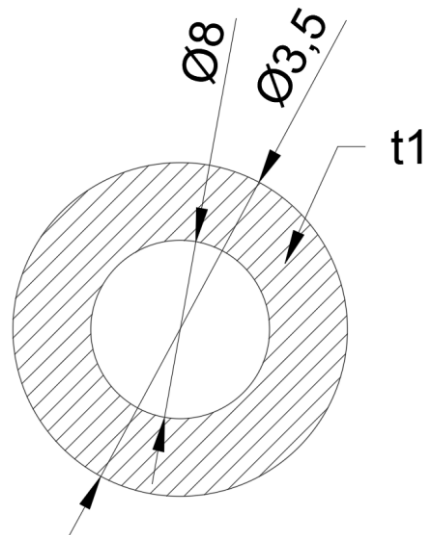
Zkušební tělesa pro zkoušku tvrdosti dle Shore D byla připravena ze zbytkového materiálu polotovaru po vysekání zkušebních těles pro zkoušku tahem. Tímto způsobem bylo připraveno pět kusů zkušebních těles pro každou kombinaci matrice, plniva, koncentrace a rychlosti otáčení (72 zkušebních těles). Mimo to byla ještě připravena zkušební tělesa ve formě čistých matic bez plniva, jakožto referenční vzorky. Zkušební tělesa byla připravena v souladu s normou ČSN EN ISO 868 (640624).



Obr. 32 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku tvrdosti (rozměry v mm)

3. Permeabilita

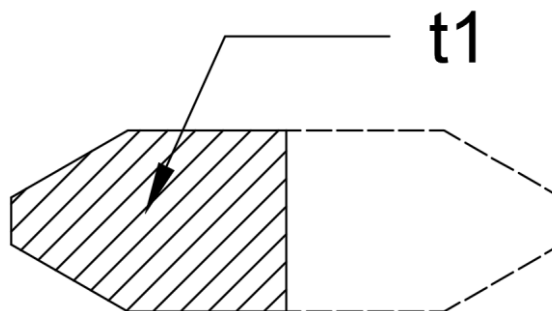
Zkušební tělesa ve tvaru toroidních kroužků pro měření permeability byla připravena z polotovaru za pomoci tvarovacího nože s kladivem a tvarovacích nůžek. Tímto způsobem bylo připraveno šest kusů zkušebních těles pro každou kombinaci matrice a plniva při největší koncentraci (60 hm. %) a nejvyšších otáčkách (50 ot. / min).
(6 zkušebních těles)



Obr. 33 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku permeability (rozměry v mm)

4. Permittivita

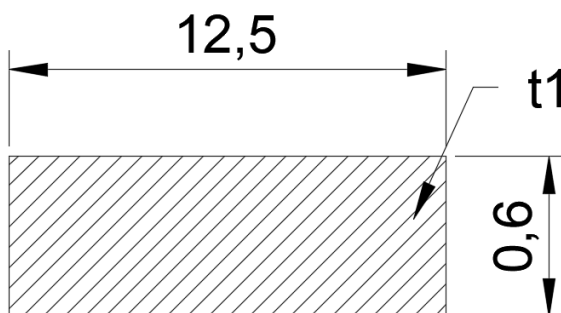
Zkušební tělesa pro měření permitivity byla připravena z polotovaru pomocí ručních nůžek. Tímto způsobem byl připraven jeden kus zkušebního tělesa pro každou kombinaci matrice a plniva při největší koncentraci (60 hm. %) a nejvyšších otáček (50 ot. / min).
(6 zkušebních těles).



Obr. 34 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku permitivity (rozměry v mm)

5. Vibrační magnetometrie

Zkušební tělesa pro měření magnetických vlastností dle vibrační magnetometrie byla připravena z polotovaru pomocí ručních nůžek. Tímto způsobem byl připraven jeden kus zkušební tělesa pro každou kombinaci koncentrace a plniva při nejvyšších otáčkách (50 ot. /min) v matrici LDPE (9 zkušebních těles). Mimo to byla ještě připravena zkušební tělesa ve formě čistých částic bez termoplastické matrice, jakožto referenční vzorky.



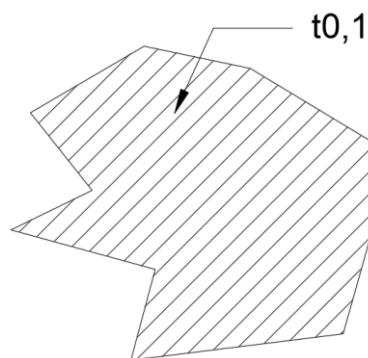
Obr. 35 Schéma zkušebního tělesa pro vibrační magnetometrii (rozměry v mm)

6. Optická mikroskopie

Zkušební tělesa pro zobrazení snímků optické mikroskopie byla připravena na mikrotomu Leica RM2255. Tloušťka řezané vrstvy byla volena na základě dosažení co možná nejlepších optických vlastností. Tímto způsobem byl připraven jeden kus zkušební tělesa pro každé plnivo zamíchané v LDPE matrici při hraničních otáčkách (20 a 50 ot. /min) a koncentraci 50 hm. % (6 zkušebních těles). Mimo to byla ještě připravena zkušební tělesa ve formě čistých částic bez termoplastické matrice, jakožto referenční vzorky.



Obr. 36 Mikrotom Leica RM 2255



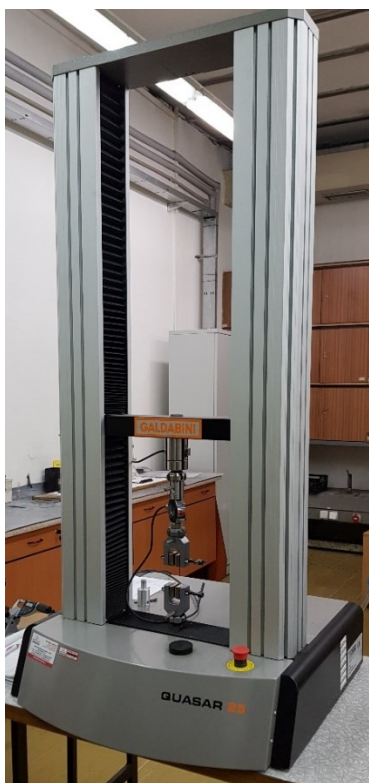
Obr. 37 Schéma zkušebního tělesa pro optickou magnetometrii (rozměry v mm)

8 EXPERIMENT

Pro ohodnocení vlastností kompozitního materiálu byla dle příslušných zkušebních metod použita tato zařízení:

- Tenzometr Galdabini® Quasar 25
- Tvrdoměr Shore D Bareiss®
- Impedanční/materiálový analyzátor Aligant® E4991A RF
- Vibrační magnetometr LakeShore® 8600
- Optický mikroskop Olympus® BX41

8.1 Tahová zkouška



Obr. 38 Tenzometr Galdabini®

Quasar 25

Pro zkoušku tahem byl použit tenzometr Galdabini® Quasar 25. Měření bylo provedeno na zkušebních tělesech lopatkového typu v počtu osmi měření pro každý vzorek při laboratorní teplotě. Měření probíhalo v souladu s normou ČSN EN ISO 868 (640624). Cílem měření bylo stanovení pevnosti v tahu v závislosti na koncentraci plniva a rychlosti míchání.

Mezi základní specifikace patří:

- Maximální síla: 25 kN
- Hodnota předpětí: 10 N
- Vzdálenost extenzometrů: 20 mm

8.2 Zkouška tvrdosti



Obr. 39 Tvrdoměr Shore D Bareiss®

Pro zkoušku tvrdosti byl použit tvrdoměr Shore D Bareiss®. Měření bylo provedeno na pěti zkušebních tělesech pro každý vzorek tak, aby bylo dosaženo minimální tloušťky 6 mm. Bylo také dbáno na to, aby styčná plocha patky a zkušebního tělesa měla poloměr minimálně 6 mm od hrotu. Měření probíhalo při laboratorní teplotě. Tyto a další náležitosti stanovuje norma ČSN EN ISO 868 (640624) dle které byla zkouška tvrdosti provedena. Tímto způsobem bylo změřeno každé zkušební těleso v počtu desíti měření. Cílem měření bylo stanovení tvrdosti v závislosti na koncentraci plniva a rychlosti míchání.

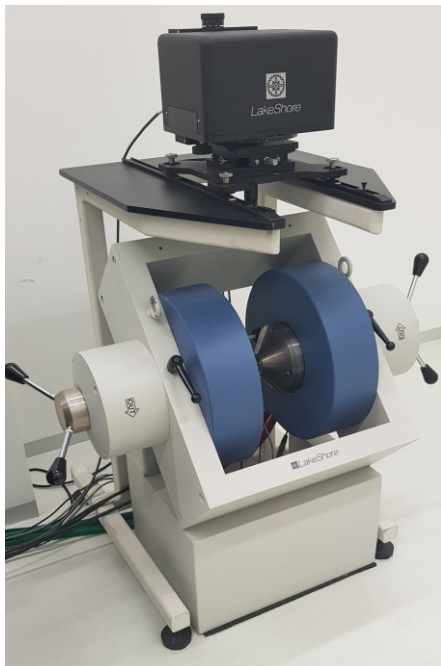
8.3 Dielektrická spektroskopie



Obr. 40 Impedanční/materiálový analyzář Agilent® E4991A RF

Pro zkoušku dielektrické spektroskopie byl použit impedanční/materiálový analyzář Agilent® E4991A RF. Tyto komplexní magnetické vlastnosti byly měřeny v rozsahu frekvencí od 1 MHz do 3 GHz pomocí impedanční metody při laboratorní teplotě. Cílem měření bylo stanovení komplexní permitivity a permeability.

8.4 Magnetometrie



*Obr. 41 Vibrační magnetometr
LakeShore®*

Pro zkoušku magnetických vlastností byl použit vibrační magnetometr LakeShore® 8600. Měření bylo provedeno na jednom zkušebním tělese pro každý vzorek. Před měřením byl přístroj řádně kalibrován, aby se předešlo případným odchylkám od skutečných hodnot. Pro měření byla nastavena intenzita magnetického pole na 5 kOe. Měření probíhalo při laboratorní teplotě. Cílem měření bylo stanovení hysterezních křivek, z kterých byly odečteny hodnoty koercitivní intenzity, remanentní indukce, a maximální intenzity.

8.5 Optická Mikroskopie



*Obr. 42 Optický mikroskop
Olympus® BX41*

Pro pořízení mikroskopických snímků byl použit optický mikroskop Olympus® BX41. Měření bylo provedeno na jednom zkušebním tělese pro každý vzorek. Zkušební tělesa musela mít co nejmenší tloušťku, aby je bylo možno je dostatečně prosvítit. Pro snímání byl použit objektiv se zvětšením 10x. Při pořizování snímku byly vyhledávány nejostřejší a nejvíce prosvícené oblasti. Po pořízení snímků byl nasnímán také objektivový mikrometr, na jehož základě byly do snímků vloženy měřítka. Cílem měření bylo stanovit tvar a rozměr plniva a jeho dispergaci v matrici.

9 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

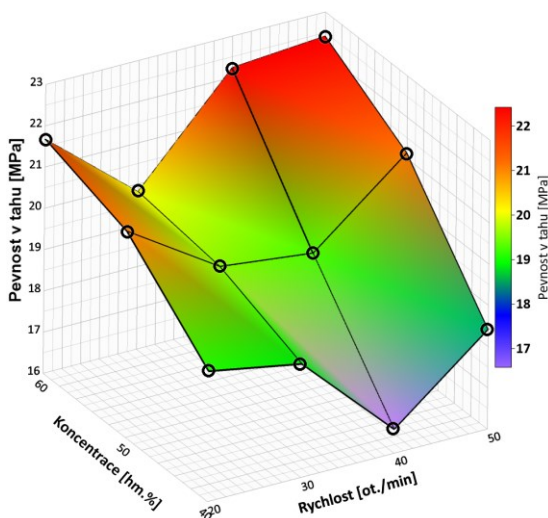
V následující kapitole jsou stanoveny otázky pro každou metodu měření, na jejichž výsledcích jsou otázky zodpovězeny. Tyto odpovědi slouží jako diskuze k příslušným zkouškám materiálu.

9.1 Tahová zkouška

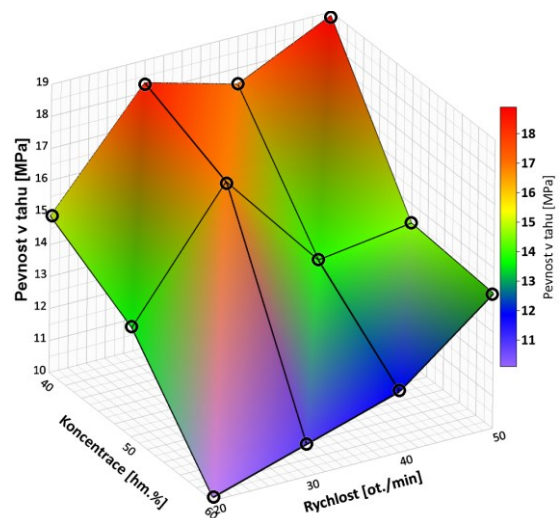
Otázka:

- Zvyšuje feromagnetické částicové plnivo v termoplastickém kompozitním systému pevnost v tahu?

Pozn.: Grafy níže nezobrazují lineární závislost pevnosti v tahu na koncentraci a rychlosti míchání

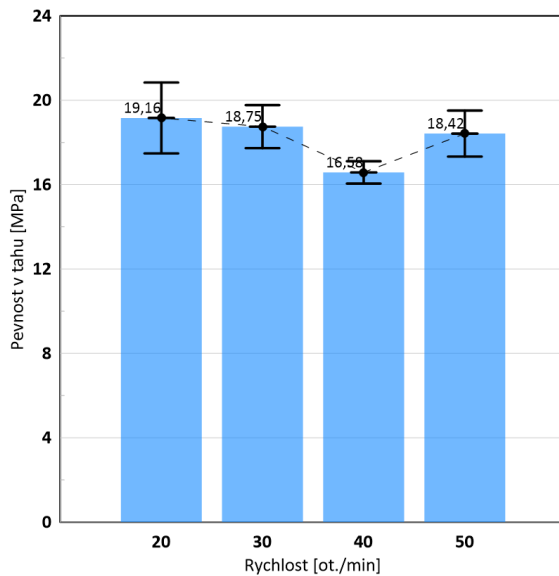


Obr. 43 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci plniva a rychlosti míchání feritových částic v LDPE

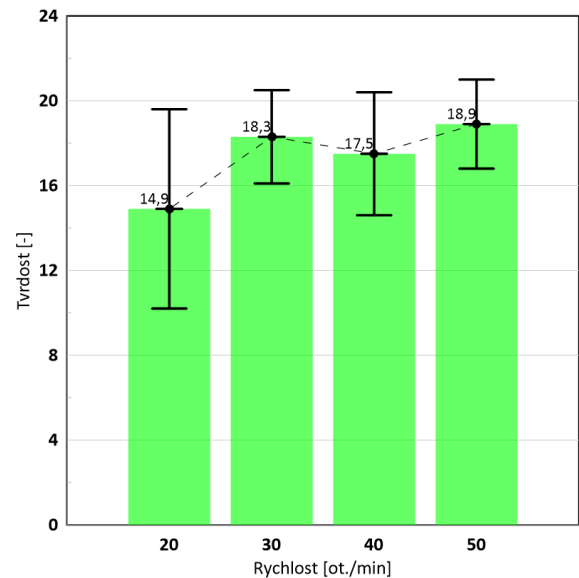


Obr. 44 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci plniva a rychlosti míchání feritových částic v Surlynu

Následující grafy zobrazují závislost pevnosti v tahu na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % feritových částic v LDPE a v Surlynu. Z grafů je patrné, že hodnoty pevnosti v tahu vykazují téměř totožné hodnoty pro všechny rychlosti míchání. Tyto závislosti platí podobně pro kombinaci s jiným plnivem dle tab. 3. Vybrané rychlosti míchání tedy nemají vliv na výslednou pevnost v tahu zkoumaných kompozitních materiálů. Toto tvrzení podporují také výsledky z optické mikroskopie.

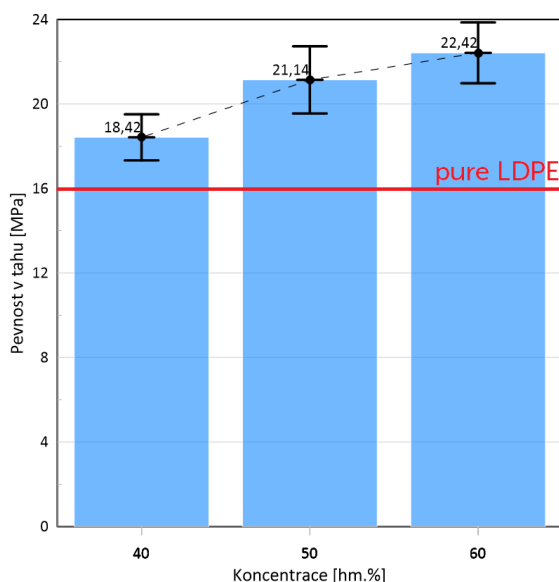


Obr. 45 Závislost pevnosti v tahu na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % feritu v LDPE

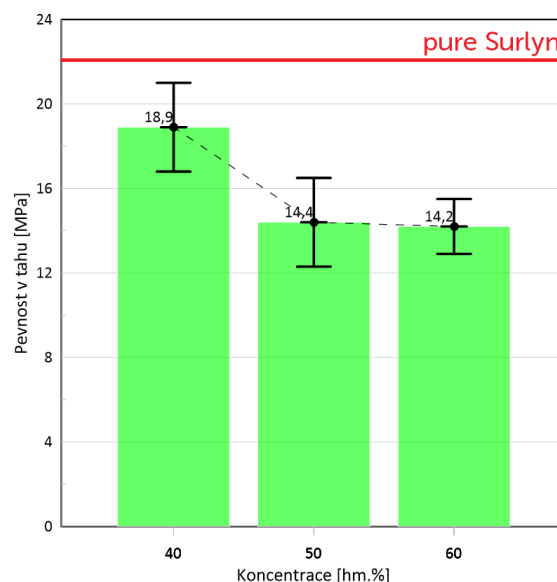


Obr. 46 Závislost pevnosti v tahu na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % feritu v Surlynu

Následující grafy zobrazují závislost pevnosti v tahu na koncentraci feritových částic v LDPE a v Surlynu při rychlosti míchání 50 ot. /min. Z grafů je patrné, že částice dispergované v LDPE matrici vykazují růst pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací těchto částic. Naopak je tomu u částic dispergovaných v Surlynové matrici. Tyto částice vykazují pokles pevnosti v tahu s rostoucí koncentrací těchto částic. Nicméně růst a pokles pevností v tahu je pouze nepatrný. Tyto závislosti platí podobně pro kombinaci s jiným plnivem dle tab. 3. Vybrané koncentrace tedy mají vliv na výslednou pevnost v tahu zkoumaných kompozitních materiálů.



Obr. 47 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci feritu v LDPE při rychlosti míchání 50 ot. /min



Obr. 48 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci feritu v Surlynu při rychlosti míchání 50 ot. /min

V následující tabulce jsou veškerá data z měření tahové zkoušky. Každá průměrná hodnota byla vypočítána z osmi měření.

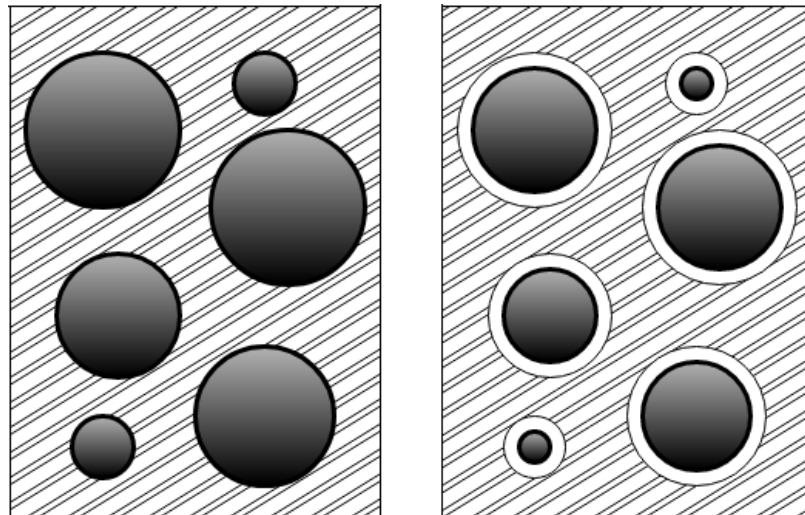
Tab. 3 Data z tahové zkoušky

LDPE	Pevnost v tahu = 15,9 MPa											
LDPE+karb. žel.	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	18,22	18,35	19,32	17,1	18,28	19,37	18,8	18,39	20,52	19,25	21	19,77
	1,38	1,75	1,24	0,85	1,45	2,08	0,89	1,75	1,99	1,63	1,28	1,47
Deformace [%]	80,04	133,97	105,69	119,68	75	78,61	74,23	83,93	37,71	38,32	57,88	44,97
	21,93	54,52	45,59	32,26	18,15	25,35	20,21	20,63	9,85	2,32	23,98	11,9
Modul [MPa]	74,66	47,29	79,82	24,57	69,73	82,41	86,81	58,51	172,35	124,26	147	113,09
	31,75	26,27	12,78	12,18	22,19	34,67	26,03	32,61	57,76	29,74	53,91	52,45
LDPE+ferit	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	19,16	18,75	16,58	18,42	20,99	19,55	19,29	21,14	21,68	19,82	22,24	22,42
	1,68	1,02	0,53	1,09	1,99	0,66	0,95	1,59	1,77	1,82	1,6	1,44
Deformace [%]	114,18	51,68	87,84	95,53	49,41	47,12	38,67	43,15	23,93	22,71	24,87	23,57
	75,57	24,06	28,15	19,62	7,92	14,49	5,05	11,19	4,88	7,4	4,94	6,16
Modul [MPa]	98,28	82,13	19,61	69,8	133,05	99,94	109,97	135,96	209,84	159,81	205,02	241,28
	35,4	31,84	16,16	21,09	35,34	22,48	21,94	34,1	54,19	55,42	48,95	34,05
LDPE+neodym	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	16,17	17,11	16,64	17,53	16,35	15,08	15,5	17,38	14,44	17,75	15,64	19,74
	1,08	0,91	0,37	1,29	1,19	1,3	0,93	1,09	0,57	1,16	0,71	2,17
Deformace [%]	122,31	79,05	94,52	64,39	100	75,45	74,79	55,83	73,93	38,19	40,74	27,23
	50,34	17,45	19,35	18,27	35,5	17,44	28,45	13,06	10,64	14,97	7,54	5,32
Modul [MPa]	21,87	69,1	47,76	54,59	75,26	39,84	54,45	107,36	37,3	185,59	111,24	233,55
	18,39	22,3	11,42	24,37	25,93	25,12	37,47	25,65	16,24	49,01	18,49	58,79
Surlyn	Pevnost v tahu = 22,1 MPa											
Surlyn+karb. žel.	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	20,00	20,2	16,2	18,7	17,1	16,6	15,4	17,9	13,8	15,5	16	11,1
	4,5	2,8	3,6	2,2	2,7	3,9	4,4	3,3	4,6	4,2	2,7	0,9
Deformace [%]	412,21	314,78	387,95	406,92	409,06	298,4	290,5	306,83	357,14	394,63	343,41	256,69
	26,29	32,09	83,87	24,49	34,14	36,67	37,42	29,81	88,29	31,78	41,8	68,63
Modul [MPa]	120,67	205,75	85,76	98,93	95,75	332,49	283,14	201,14	115,58	147,33	207,05	128,53
	44,66	114,7	30,64	60,24	64,14	231,33	173,51	124,21	75,14	81,27	151,53	53,24
Surlyn+ferit	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	14,9	18,3	17,5	18,9	13,4	17,2	14	14,4	10,1	11	11,9	14,2
	4,7	2,2	2,9	4,1	2,5	1,6	3,7	2,1	1,3	2,9	2,1	1,3
Deformace [%]	454,26	428,3	417,14	438,19	382,28	419,96	392,2	419,31	336,21	334,35	312,43	353,76
	25,71	25,84	41,77	21,65	53,05	32,55	78,39	22,43	74,75	80,34	100,09	38,26
Modul [MPa]	70,28	75,71	119,07	123,25	207,4	207,08	94,83	140,65	157,25	179,45	180,04	133,72
	51,88	32,75	52,4	55,94	118,29	86,81	27,04	115,83	100,16	177,8	122,7	54,9
Surlyn+neodym	40 hm. %				50 hm. %				60 hm. %			
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
Pevnost [MPa]	14,5	15,5	18	15,3	14,5	13,6	14,1	14,3	12,5	11,6	11,3	10,7
	1,3	0,9	1,2	0,6	1	1,2	0,3	0,3	1,1	1,4	1,3	1,5
Deformace [%]	397,63	411,96	286,57	392,54	379,99	400,53	384,98	399,99	366,2	360,92	315,77	346,77
	18,56	14,84	14,04	18,81	30,58	29,49	15,96	8,64	21,81	23,88	77,7	39,83
Modul [MPa]	77,55	75,54	105,26	75,38	105,03	64,94	143,16	71,83	126,41	106,56	118,79	136,01
	28,43	47,52	70,21	28,21	40,62	13,66	70,07	39,65	87,61	38,82	34,76	51,29

tučně = průměr
šitile = odchylka

Odpověď:

- Částicové plnivo obecně zvyšuje hodnoty pevnosti v tahu. U plniva dispergovaného v Surlynové matrici nastala ale opačná situace a pevnost v tahu tohoto kompozitního systému klesá s rostoucí koncentrací magnetického plniva. Tato situace může být zapříčiněna nekompatibilitou Surlynu s magnetickými částicovými plnivy. V materiálu mohou vznikat mikroskopické trhliny, které mají za následek pokles pevnosti v tahu v závislosti na rostoucí koncentraci plniva díky neprovázanosti částicového plniva s matricí. Vyřešit tento problém by mohlo potáhnutí částic polární látkou pro oba materiály. Následující schéma popisuje danou situaci pomyslným řezem kompozitního systému.



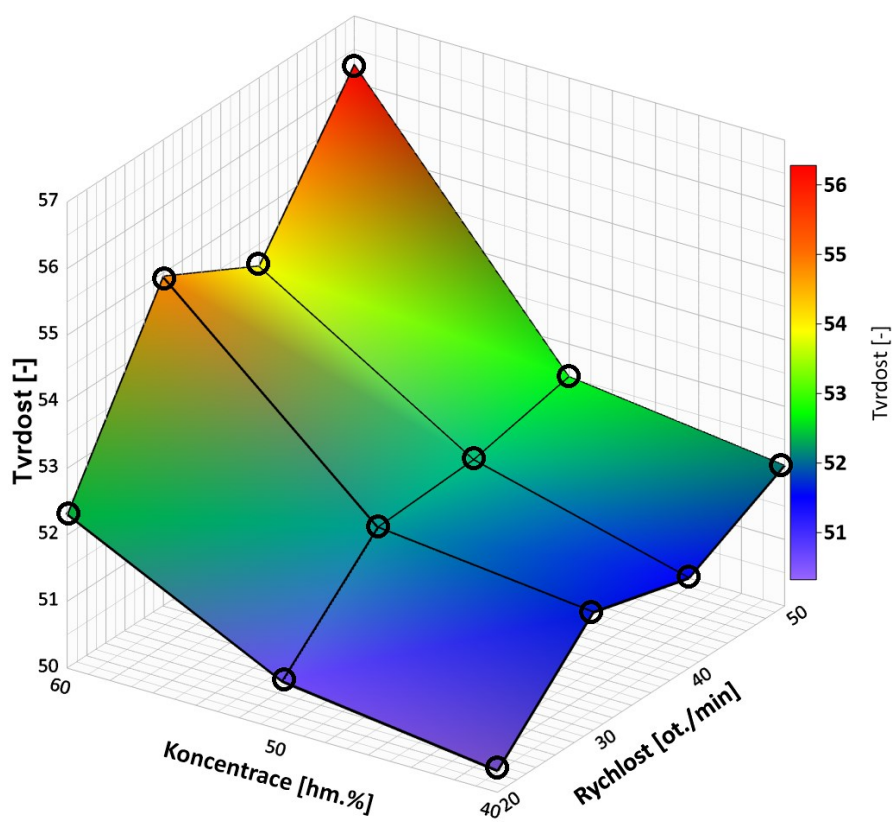
*Obr. 49 Schéma řezu LDPE matricí s plnivem (vlevo)
a Surlynovou matricí s plnivem (vpravo)*

9.2 Zkouška tvrdosti

Otázka:

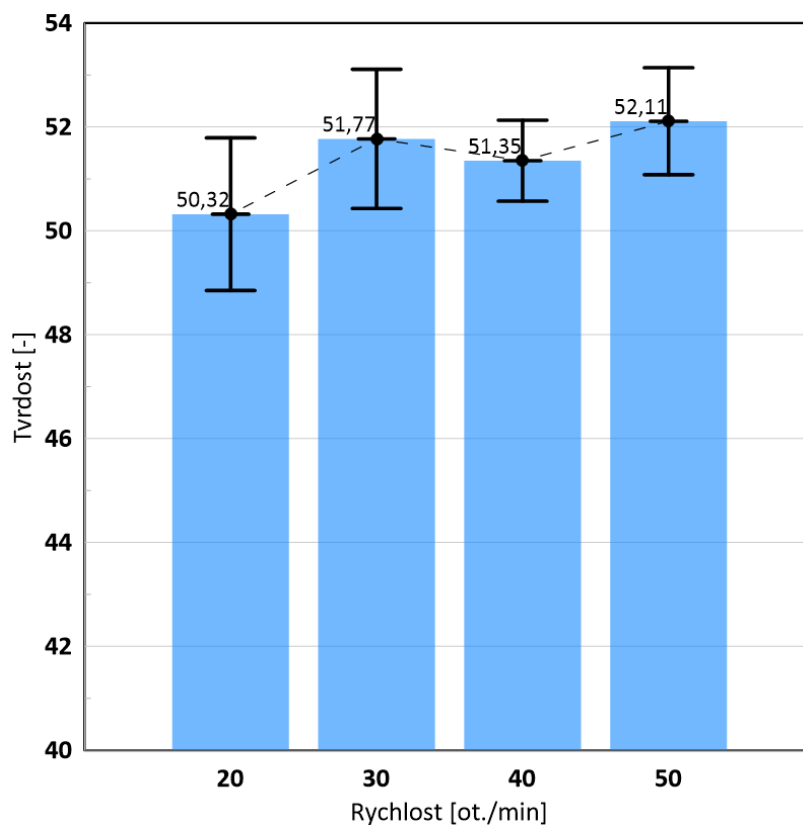
- Zvyšuje částicové plnivo v kompozitním systému tvrdost kompozitu za předpokladu, že plnivo vykazuje vyšší tvrdost než matrice, ve které je rovnoměrně dispergované?

Pozn.: Graf níže nezobrazuje lineární závislost tvrdosti na koncentraci a rychlosti míchání



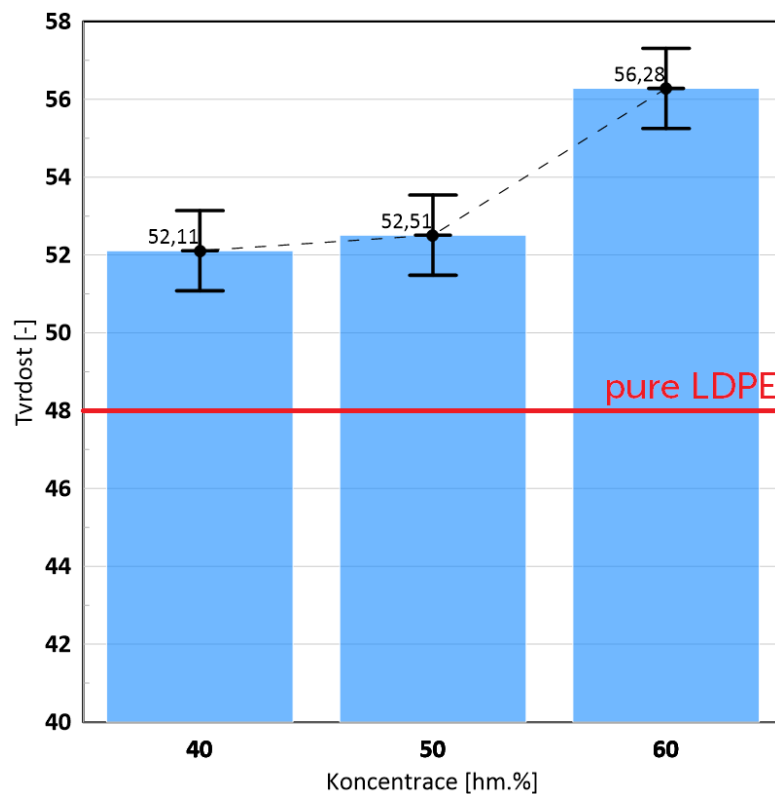
Obr. 50 Závislost tvrdosti na koncentraci plniva a rychlosti míchání neodymových částic v LDPE

Následující graf zobrazuje závislost tvrdosti na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % neodymových částic v LDPE. Z grafu je patrné, že hodnoty tvrdosti vykazují téměř totožné hodnoty pro všechny rychlosti míchání. Tato závislost platí podobně pro kombinaci jiné matrice s plnivem dle tab. 4. I v tomto případě vybrané rychlosti míchání tedy nemají vliv na výslednou tvrdost zkoumaných kompozitních materiálů. Toto tvrzení podporují také výsledky z optické mikroskopie.



Obr. 51 Závislost tvrdosti na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % neodymu v LDPE

Následující graf zobrazuje závislost tvrdosti na koncentraci neodymových částic v LDPE při rychlosti míchání 50 ot. /min. Z grafu je patrné, že hodnoty tvrdosti rostou v závislosti na rostoucí koncentraci plniva. Nicméně růst tvrdosti je pouze nepatrný. Tato závislost platí podobně pro kombinaci jiné matrice s plnivem dle tab. 4. Vybrané koncentrace tedy mají vliv na výslednou tvrdost zkoumaných kompozitních materiálů.



Obr. 52 Závislost tvrdosti na koncentraci neodymu v LDPE při rychlosti míchání 50 ot. /min

Odpověď:

- Za zvolených procesních podmínek částicové plnivo zvyšuje tvrdost celého kompozitního systému bez ohledu na použitou rychlost otáčení hnětadel.

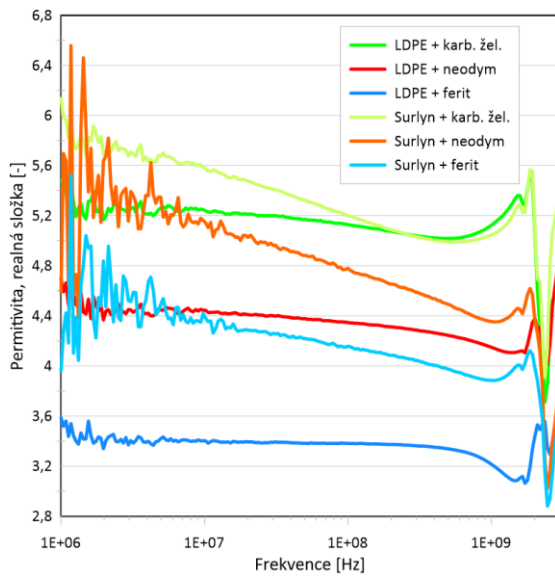
Tab. 4 Data pro zkoušku tvrdosti

Koncentrace (%)	40 hm. %			50 hm. %			60 hm. %					
	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50	V20	V30	V40	V50
LDPE	48,07											
	0,78											
LDPE + karb. žel	53,96	52,2	51,77	51,74	51,78	53	54,96	53,53	56,22	55,92	53,51	56,46
	0,58	0,75	1,15	0,44	0,78	0,87	0,76	0,62	0,66	0,82	0,47	0,54
LDPE + ferit	54,42	55,35	55,88	55,3	57,44	56,76	55,88	55,34	58,42	58,3	58,8	58,21
	1,07	0,69	0,82	1,62	0,68	0,59	0,48	1,52	0,72	1,39	1,32	1,25
LDPE + neodým	50,32	51,77	51,35	52,11	50,73	52,11	52,19	52,51	52,31	54,95	54,17	56,28
	1,47	1,34	0,78	1,03	0,72	0,68	0,92	1,03	0,53	1,02	0,92	1,03
Surlyn	38,2											
	0,33											
Surlyn + karb. žel	43,38	43,72	46,11	44,59	43,45	44,7	45,08	46,54	43,54	45,6	48,95	49,16
	0,54	0,72	0,57	0,72	1,03	0,89	0,74	0,82	1,72	1,04	1,36	0,74
Surlyn + ferit	43,54	40,95	42,91	42,07	44,26	44,52	45,28	45,7	46,85	46,18	49,32	48,22
	1,03	0,88	0,61	0,89	1,39	0,49	0,82	0,65	1,16	0,47	0,94	0,43
Surlyn + neodým	40,57	38,29	38,07	39,56	40,65	39,28	41,28	42,12	43,52	43,87	45,19	43,88
	0,82	1,32	0,72	0,94	0,79	0,73	0,94	0,75	1,12	0,77	0,52	1,52

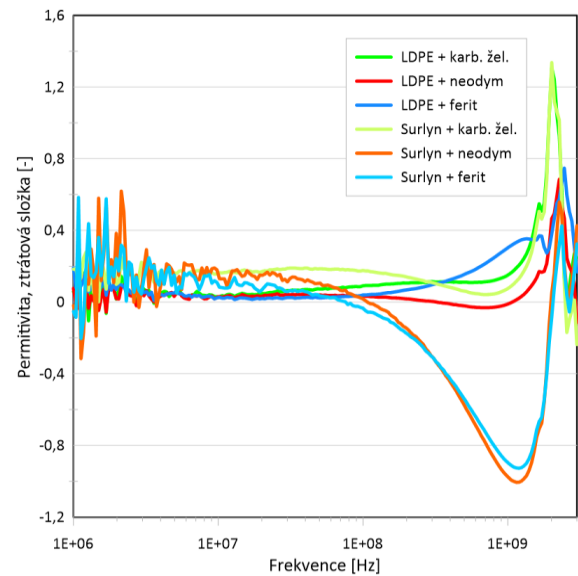
tučně = průměr
tence = odchylka

9.3 Dielektrická spektroskopie

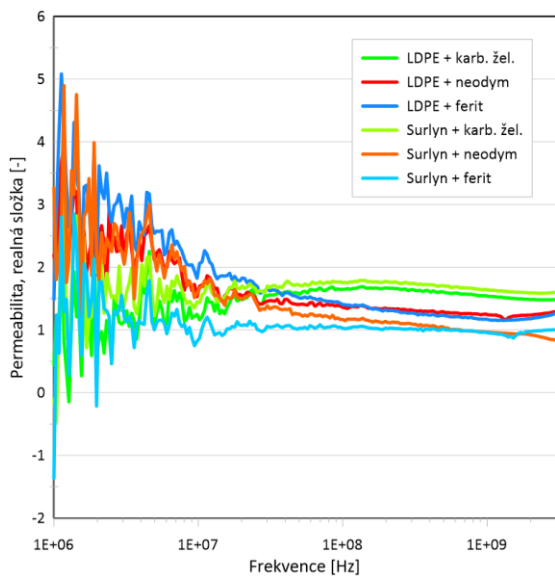
Otázka: Má kompozitní materiál s magnetickým plnivem dobré stínící vlastnosti v rozsahu frekvencí do 3 GHz?



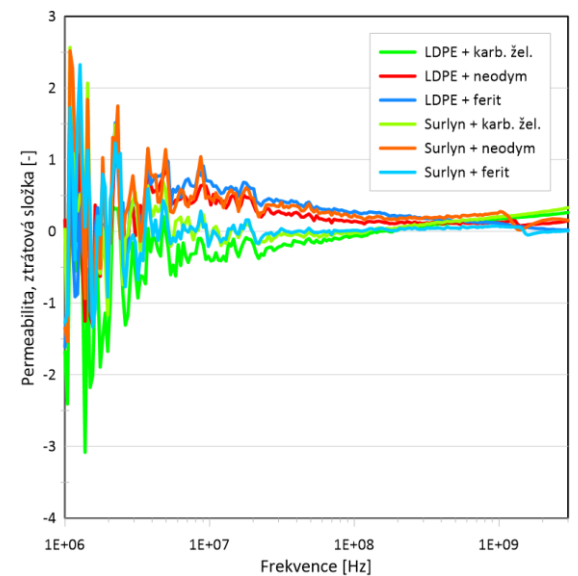
Obr. 53 Závislost reálné složky permitivity na frekvenci



Obr. 54 Závislost ztrátové složky permitivity na frekvenci



Obr. 55 Závislost reálné složky permeability na frekvenci



Obr. 56 Závislost ztrátové složky permeability na frekvenci

Pozn.: Chaotické chování hodnot je zapříčiněno možnostmi zkušebního zařízení.

Grafy výše uvádí reálnou a ztrátovou složku permitivity a permeability pro všechny kombinace matrice a plniva při nejvyšší koncentraci (60 hm. %) a nejvyšších rychlostech míchání (50 ot. /min). Grafy byly před odečtem permitivity a permeability proloženy křivkou lokální regrese pro zjemnění křivek v oblasti nejnižších a nejvyšších hodnot frekvence. Hodnoty permitivity a permeability jsou klíčové v kalkulaci reflexního koeficientu podle následujících vztahů.

Nejprve byly vypočítány hodnoty komplexních permitivit a permeabilit dle rovnic (9) a (10) na jejichž základě byla stanovena impedance dle vztahu (11). Konečně, z komplexní permitivity byly stanoveny hodnoty reflexních koeficientů dle (12).

$$\varepsilon_k = \varepsilon' - \varepsilon'' \quad (9)$$

$$\mu_k = \mu' - \mu'' \quad (10)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_k}{\varepsilon_k}} \tan\left(\frac{2\pi f}{c} \sqrt{\mu\varepsilon} d\right) \quad (11)$$

$$R = 20 \log \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| [dB] \quad (12)$$

Kde: ε_k ... komplexní permitivita

ε' ...reálná část permitivity

ε'' ...ztrátová část permitivity

μ_k ...komplexní permeabilita

μ' ...reálná část permeability

μ'' ...ztrátová část permeability

f...frekvence

d...tloušťka vzorku

c...rychlost světla

Z...impedance vrstvy

Z_0 ... impedance volného prostoru

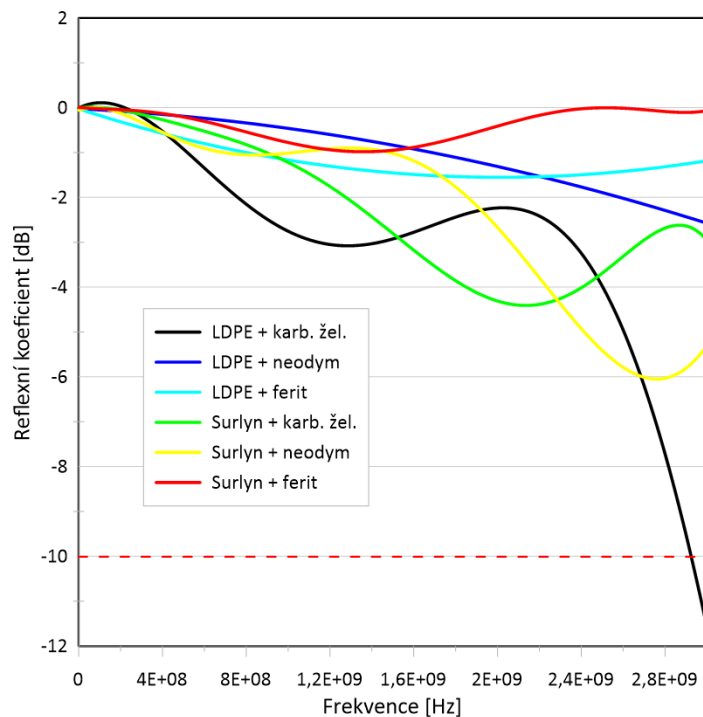
R...reflexní koeficient

Veškeré výsledky se se nachází ve frekvenčním rozsahu do 3 GHz. V tomto rozsahu pracují např. Wi-Fi routery, technologie Bluetooth, rádia, aj.



Obr. 57 Frekvenční oblasti

V následujícím grafu je uvedena závislost reflexního koeficientu na frekvenci elektromagnetického záření. Jako hraniční hodnota reflexního koeficientu je grafu zvýrazněna hodnota -10 dB. Po překročení této hranice lze materiál považovat za stínící (odrazuschopný), jelikož je schopen odrazit 90 % veškerého elektromagnetického záření v příslušném frekvenčním pásmu.



Obr. 58 Závislost reflexního koeficientu na frekvenci

Z grafu je patrné, že hranici -10 dB překročil pouze kompozit z LDPE a karbonylového železa ve frekvenčním pásmu 2,9 GHz

Důležitým faktorem je taky tzv. matching thickness. Jedná se o minimální tloušťku materiálu, při které je reflexní koeficient nejvyšší. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty těchto tloušťek.

Tab. 5 Hodnoty matching thickness

	LDPE			Surlyn		
	karb. žel.	ferit	neodym	karb. žel.	ferit	neodym
matching thickness [cm]	2,582	1,073	2,084	1,36	1,387	2,142

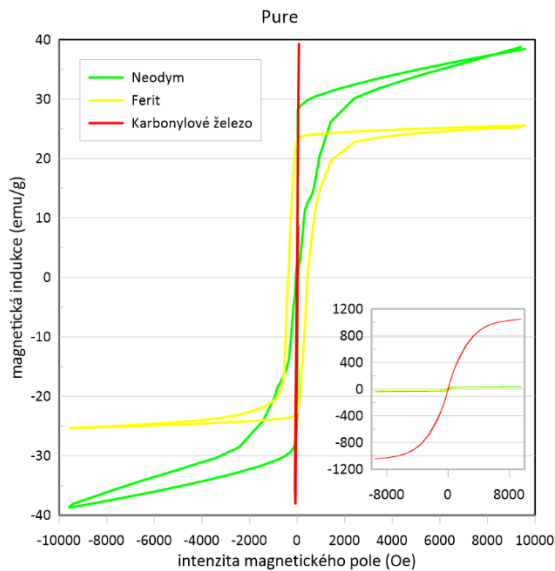
Odpověď:

- Ne, v tomto frekvenčním rozsahu bohužel kompozitní systém (až na LDPE s karbonylovým železem) nedokáže odrazit dostatečné množství elektromagnetického záření.

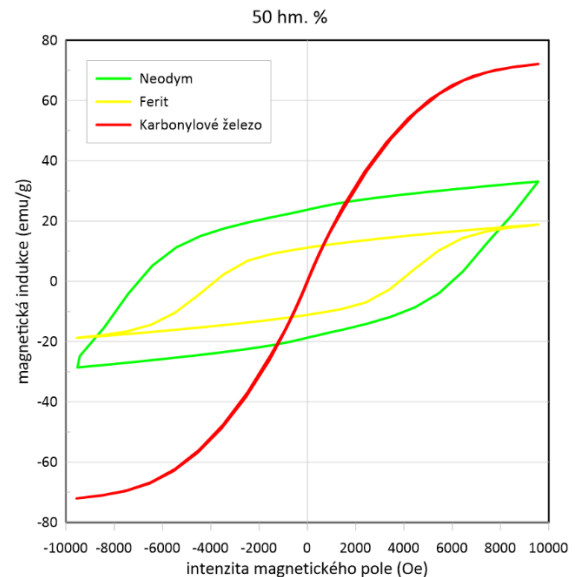
9.4 Magnetometrie

Otázka:

- Roste se stoupající koncentrací feromagnetických částic také míra magnetizace kompozitního systému, ve kterém jsou rovnoměrně dispergovány?



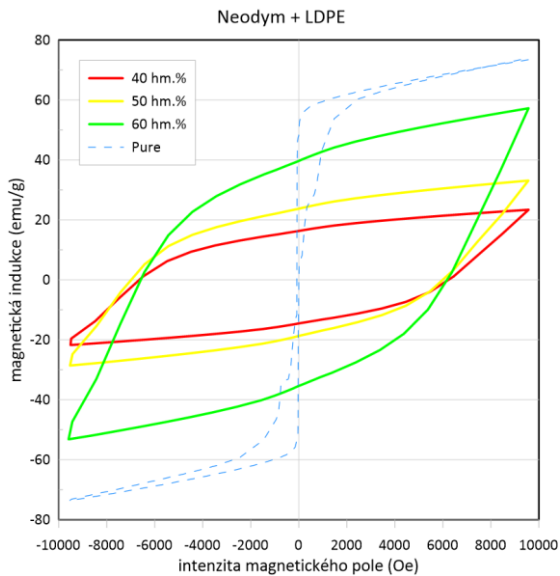
Obr. 59 Hysterezní křivka čistých částic



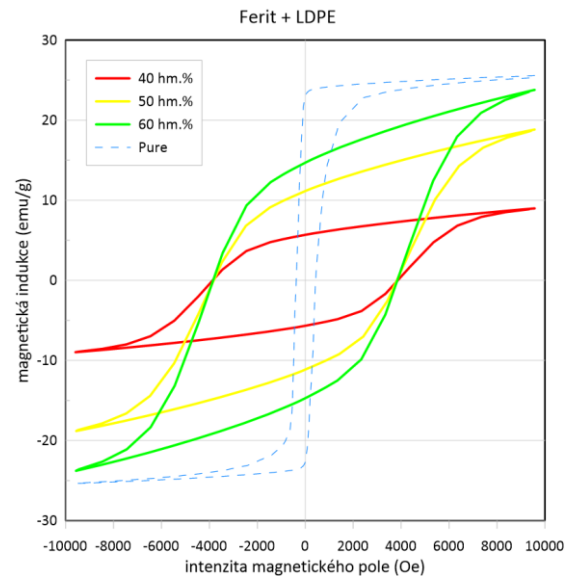
Obr. 60 Hysterezní křivka 50 hm. % částic dispergovaných v LDPE matrici

V závislostech výše můžeme pozorovat, že nemagnetická polymerní matrice výrazně ovlivňuje výsledné magnetické vlastnosti kompozitních systémů. Magnetické částice v polymerní matrici vykazují nižší hodnoty remanentní magnetizace a maximální magnetické indukce, než je tomu u magnetických částic bez polymerní matrice.

Neodymové částice vykazují v kompozitním systému nejvyšší hodnoty magnetizace. Jedná se tedy společně s feritovými částicemi o feromagnetické látky. Vzhledem k úzké distribuci hysterezní křivky karbonylového železa lze konstatovat, že se jedná o paramagnetickou (nemagnetickou) látku. Avšak tyto částice vykazují nejvyšší hodnotu maximální magnetické indukce.

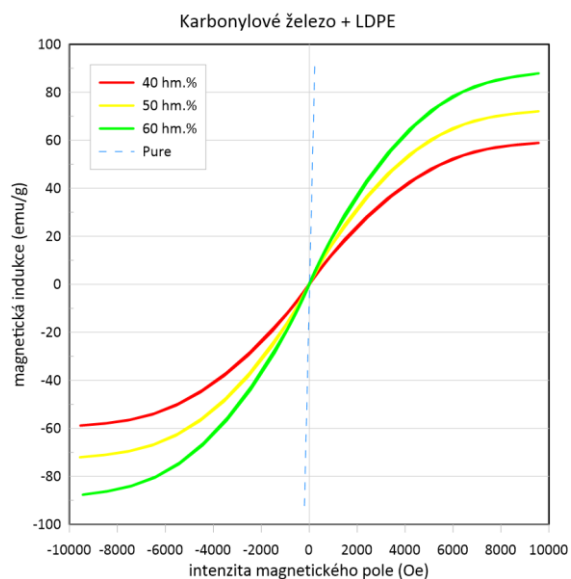


Obr. 61 Hysterezní křivka neodymových částic dispergovaných v LDPE matrici



Obr. 62 Hysterezní křivka feritových částic dispergovaných v LDPE matrici

Se zvyšující se koncentrací feromagnetických částic, roste remanentní magnetizace i maximální magnetická indukce kompozitního systému obsahující magnetické částice. Zajímavým faktem vyplývajícím z hysterezních křivek je, že nezáleží na koncentraci magnetických částic v kompozitním systému, jelikož na odmagnetování je potřeba vždy stejné koercitivní intenzity.



Obr. 63 Hysterezní křivka částic karbonýlového železa dispergovaných v LDPE matrici

Částice karbonylového železa ovlivňují pouze maximální magnetickou indukci, a to tak, že s rostoucí koncentrací částic roste i maximální hodnota magnetické indukce. Remanentní indukce zůstává téměř v nulových hodnotách vlivem paramagnetického (nemagnetického) charakteru látky.

Odpověď:

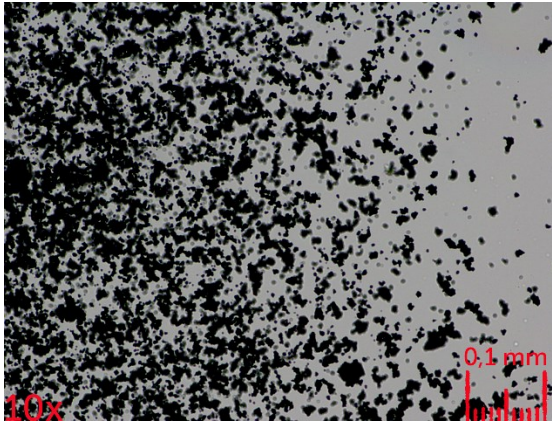
- Ano, se stoupající koncentrací feromagnetických částic roste také míra magnetizace kompozitního systému, ve kterém jsou rovnoměrně dispergovány. V případě karbonylového železa se nejedná o feromagnetickou látku.

9.5 Optická Mikroskopie

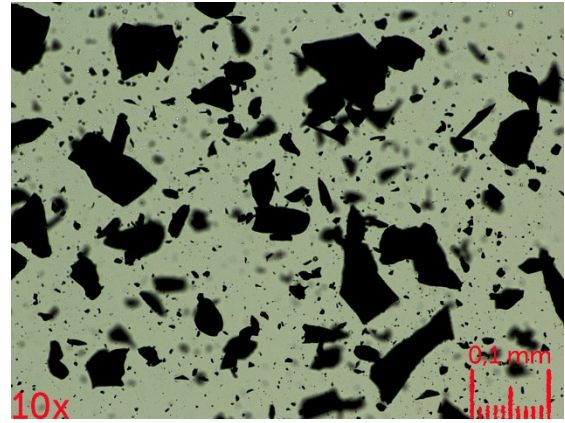
Otázka:

- Má vyšší rychlost míchání za následek lepší dispergaci částic v kompozitním systému při stejném času hnětení?

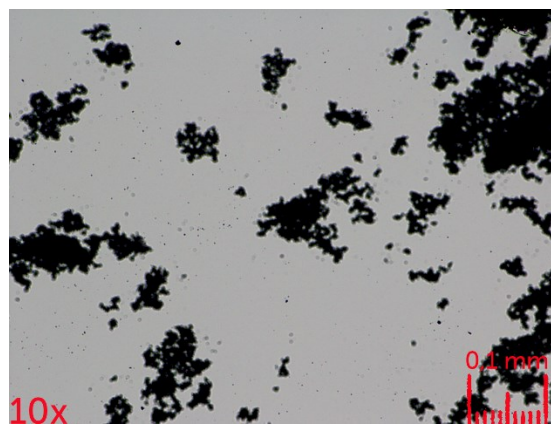
Aby bylo možno ohodnotit míru dispergace částic v kompozitním systému, byly v první řadě zkoumány částice bez matrice. Díky těmto snímkům lze také klasifikovat velikost částic, jejich tvar a míru různorodosti.



Obr. 64 Částice karbonylového železa

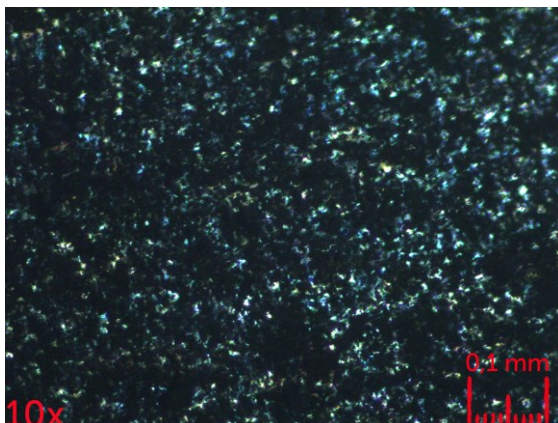


Obr. 65 Neodymové částice

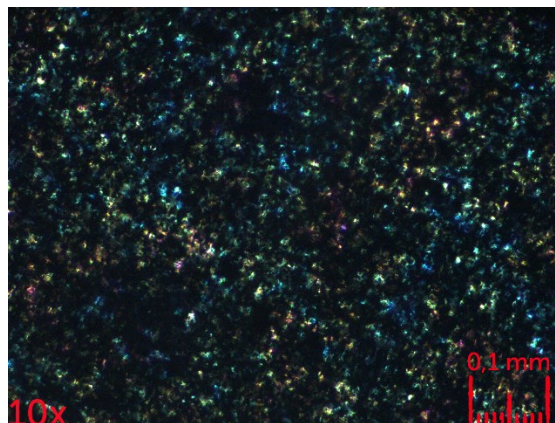


Obr. 66 Feritové částice

Částice karbonylového železa mají tvar kuliček, které mají rozměr 1-5 μm a vykazují malou míru různorodosti. Částice neodymu mají nepravidelný tvar s rozměrem 0,01-0,1 mm. Částice tedy vykazují velkou míru různorodosti zapříčiněnou výrobním procesem nebo přirozeným tvarem částic, ze kterých jsou neodymové částice tvořeny. Feritové částice mají tvar kuliček, které mají rozměr 1-5 μm a vykazují malou míru různorodosti. Částice se jeví hydrofilně díky tvorbě aglomerátu ze vzdušné vlhkosti. Tato vlastnost může mít negativní vliv na výrobní proces kompozitního systému a jeho vlastnosti.

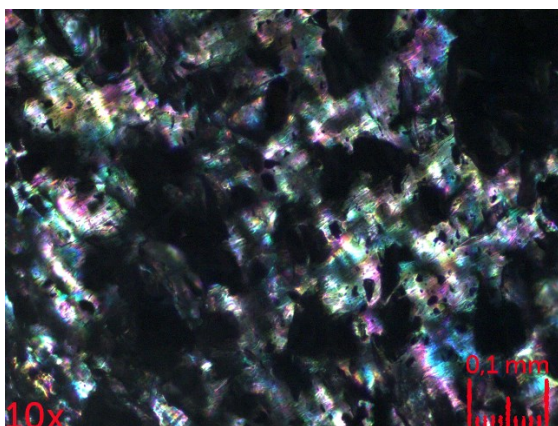


Obr. 67 LDPE + 50 hm. % karbonylového železa při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut

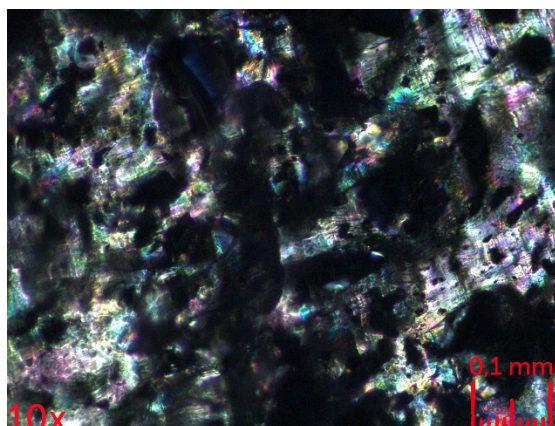


Obr. 68 LDPE + 50 hm. % karbonylového železa při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut

Na obrázcích výše lze pozorovat 50 hm. % částic karbonylového železa (tmavé segmenty) dispergovány v LDPE matrici (světlé segmenty) při rychlosti hnětení 20 a 50 ot. /min po dobu sedmi minut. Lze konstatovat, že míra dispergace je v obou případech vyhovující.

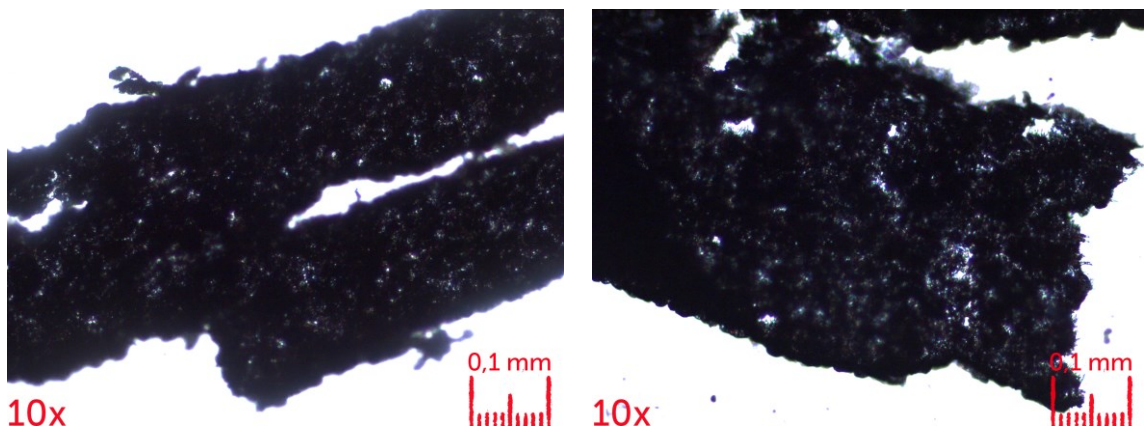


Obr. 69 LDPE + 50 hm. % neodymových částic při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut



Obr. 70 LDPE + 50 hm. % neodymových částic při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut

Na obrázcích výše lze pozorovat 50 hm. % neodymových částic (tmavé segmenty) dispergovány v LDPE matrici (světlé segmenty) při rychlosti hnětení 20 a 50 ot. /min po dobu sedmi minut. Lze konstatovat, že míra dispergace je v obou případech vyhovující.



Obr. 71 LDPE + 50 hm. %feritových částic při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut

Obr. 72 LDPE + 50 hm. %feritových částic při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut

Na obrázku výše lze pozorovat 50 hm. % feritových částic (tmavé segmenty) dispergovaných v LDPE matrici (světlé segmenty) při rychlosti hnětení 20 a 50 ot. /min po dobu sedmi minut. Lze konstatovat, že míra dispergace je v obou případech vyhovující, i když feritové částice tvoří nepatrné aglomeráty o rozměru maximálně 0,05 mm.

Odpověď:

- V případě tohoto výzkumu nelze jednoznačně určit, zda má vyšší rychlost míchání za následek lepší dispergaci částic, jelikož rovnoměrné dispergace bylo docíleno již při nejnižších otáčkách (20 ot. /min) po dobu sedmi minut.

ZÁVĚR

Na základě vypracované teoretické části diplomové práce byla zpracována praktická část ve formě komplexní studie částicových kompozitních materiálu obsahující dva typy polymerní matrice (LDPE a Surlyn) a tři druhy magnetických částic (neodymové částice, feritové částice a částice karbonylového železa). Kompozity byly připraveny s různou koncentrací magnetického plniva, v hnětiči, při různých rychlostech míchání. Kombinací těchto procesních parametrů byl kompozitní materiál hodnocen z hlediska jeho mechanických (pevnost, tvrdost), magnetických (hysterezní křivka), stínících (reflexní koeficient) a strukturních vlastností (optická mikroskopie).

Díky snímkům z optického mikroskopu byla stanovena velikost částic a jejich míra dispergace v polymerní matrici. Částice karbonylového železa a feritu mají tvar kuliček s hodnotou velikosti částic 1-5 μm . Neodymové částice mají tvar různorodých destiček o velikosti 0,01-0,1mm. Míra dispergace byla dostačující u všech zkoumaných kompozitů při okrajových rychlostech míchání 20 a 50 ot. /min. po dobu sedmi minut. Přínos snímků je klíčový pro objasnění výsledků ostatních metod zkoušení kompozitních materiálů.

První metodou pro hodnocení mechanických vlastností byla zvolena tahová zkouška. Z tahové zkoušky byla zjišťována hodnota maximálního napětí tzv. hodnota pevnosti v tahu. Bylo zjištěno, že s rostoucím podílem všech zkoumaných částic v LDPE matrici roste také hodnota pevnosti v tahu. Opačného chování bylo zjištěno u všech zkoumaných částic v Surlynové matrici. Toto chování může být způsobeno nekompatibilitou zkoumaných částic s matricí a tvorbu mikrotrhlin, mající za následek pokles hodnoty pevnosti v tahu. Každopádně růst a pokles pevnosti v tahu byl spíše nepatrný. Dále bylo zjištěno, že zvolené rychlosti míchání nemají vliv na pevnost v tahu soudě z podobnosti hodnot pevnosti v tahu měřených při různých rychlostech míchání. Toto tvrzení dokazují výsledky z optické mikroskopie, které zobrazují dostatečnou dispergaci částic při všech rychlostech míchání.

Druhou metodou pro hodnocení mechanických vlastností byla volena zkouška tvrdosti dle Shore D. Bylo zjištěno, že s rostoucím podílem všech zkoumaných částic v obou matricích roste také hodnota tvrdosti kompozitu. Volené rychlosti míchání opět nemají vliv na tvrdost. Toto tvrzení opět dokazují výsledky z optické mikroskopie, které zobrazují dostatečnou dispergaci částic při všech rychlostech míchání.

U zkoumání magnetických vlastností bylo zjištěno, že polymerní matrice výrazně negativně ovlivňuje magnetické vlastnosti zkoumaného kompozitu. A to tak, že s klesající

koncentrací částic klesají také hodnoty magnetických vlastností. Tyto vlastnosti byly zkoumány na základě remanentní indukce (zbytkový magnetizmus), koercitivní intenzita (intenzita nutná pro odmagnetování) a maximální magnetické indukce. Neodymové částice vykazují v kompozitním systému nejvyšší hodnoty magnetizace následovány částicemi feritovými. Částice karbonylového železa se chovají jako paramagnetikum (nemagnetická látka) vzhledem k úzké distribuci hysterezní křivky. Z hysterezních křivek také vyplynulo, že nezáleží na koncentraci magnetických částic v kompozitu, jelikož na odmagnetování je zapotřebí vždy stejné koercitivní intenzity.

Na závěr byly stanovovány stínící vlastnosti podle hodnot reflexních koeficientů ve frekvenčním pásmu 1 MHz až 3 GHz. Reflexní koeficienty byly kalkulovány na základě měření permitivity a permeability. Jediným kompozitem, který dosáhl hodnoty reflexního koeficientu – 10 dB (odraz 90 %) byl LDPE s 60 hm. % částic karbonylového železa, a to pouze pro frekvenci od 2,9 GHz. Tloušťky, při kterých dosahoval reflexní koeficient nejvyšších hodnot, se pohybovaly v rozmezí 1-2,5 cm. Lze tedy konstatovat, že připravené kompozity nejsou dobrými stínícími materiály v daném frekvenčním pásmu.

Studovaný kompozitní materiál se hodí například na aplikaci jako těsnění do ledniček vzhledem ke své nízké tvrdosti, relativně dobré pevnosti, a magnetickým vlastnostem. Z dostupných částic bych volil feritové částice, vzhledem k poměru relativně dobrých vlastností k ceně.

Dalším pokračováním výzkumu z hlediska uvedené aplikace doporučuji zkoumat trvalou deformaci v tlaku, opakování měření při odlišných koncentracích či zavedení vlivu teploty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 1. vydání. Svitavi: publi.cz, 2016 [cit. 2019-03-21]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II: Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [3] HUSÁREK, Josef. *Makromolekulární látky, syntetické polymery* [online]. b.r. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/studijni_texty/vyukova_temata/plasty_text.pdf
- [4] RODA, Jan a Jan MERNA. *Výroba polymerů: Trojúhelník klasifikace plastů* [online]. b.r. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11132398/>
- [5] BŘÍŽĎALA, Jan. *Syntetické makromolekulární látky: Aditiva* [online]. b.r. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/synteticke-makromolekularni-latky>
- [6] *Fyzikální základy vědy o materiálu: Keramika, kompozity, polymery*. [online]. b.r. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [7] BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users*. 1. vydání. Oxford: Elsevier, 2007. ISBN 978-1-85617-478-7.
- [8] MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektrotechnické materiály I.: Magnetické materiály* [online]. Praha: publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-02]. ISBN 978-80-88058-90-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/Cover.html>
- [9] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 2. přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 1996. Učebnice pro střední školy. ISBN 80-719-6006-3.
- [10] *Magnetické vlastnosti látek: Rozdělení magnetických látek* [online]. b.r. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/elektrina-a-magnetismus/stacionarni-magneticke-pole/magneticke-vlastnosti-latek>

- [11] MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. *Výrobní stroje a zařízení*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
- [12] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [13] LENFELD, Petr. *Technologie II: Lisování a přetlačování plastů* [online]. b.r. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm
- [14] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 1. vydání. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2019-04-27]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z:
<https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [15] JANČÁŘ, Josef a Eva NEZBEDOVÁ. *Zkoušení plastů* [online]. První. Brno: Vysoké učení technické, 2007 [cit. 2019-04-11]. ISBN 978-80-214-3452-3. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/E_Nezbedova/publication/40381569_Zkouseni_plastu/links/59d5d4f20f7e9b7a7e49a177/Zkouseni-plastu.pdf
- [16] ČUDA, Jan. *Měření makroskopických magnetických veličin pomocí magnetometrů* [online]. b.r. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z:
<http://nanosystemy.upol.cz/upload/10/cuda-mereni.pdf>
- [17] SCHÁNILEC, Vojtěch. *Magnetická fázová přeměna v prostorově omezených strukturách* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=131021.
Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Vojtěch Uhlíř.
- [18] HEJTMÁNEK, Milan. *Úvod do světelné mikroskopie*. 5. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001. ISBN 80-244-0333-1.
- [19] POKORNÝ, Pavel. *Světelná mikroskopie a její aplikace* [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27255.
Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Martin Lošťák.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

μm	mikrometr
cm	centimetr
dB	decibel
g	gram
GHz	gigahertz
HDPE	vysokohustotní polyetylen
hm. %	hmotnostní procenta
kN	kilonewton
kOe	kilooersted
LDPE	nízkohustotní polyetylen
LLDPE	lineární typ nízkohustotního polyetylenu
MHz	megahertz
mm	milimetr
N	newton
Oe	oersted
ot. /min	otáčky za minutu
PE	polyetylen
PVC	polyvinilchlorid
UHMWPE	polyetylen s ultravysokou molekulovou hmotností
UV	ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Řetězec makromolekuly [1]	12
<i>Obr. 2</i> Dělení dle deformace a chování při zvýšené teplotě	13
<i>Obr. 3</i> Příklady výrobků z termoplastů [1]	14
<i>Obr. 4</i> Příklady výrobků z reaktoplastů [1]	14
<i>Obr. 5</i> Příklady výrobků z elastomerů [1]	15
<i>Obr. 6</i> Příklady výrobků z termoplastických elastomerů [1]	16
<i>Obr. 7</i> a) lineární řetězec, b) rozvětvený řetězec, c) zesíťovaný řetězec [3]	17
<i>Obr. 8</i> Rozdělení polymeru dle nadmolekulární struktury a postavení na trhu [4]	18
<i>Obr. 9</i> Křivka prvotní magnetizace [8]	28
<i>Obr. 10</i> Hysterezní křivka magnetizace [8]	29
<i>Obr. 11</i> Tvary hysterezních smyček [8]	30
<i>Obr. 12</i> Schéma hnětiče [8]	32
<i>Obr. 13</i> Typy hnětacích částí rotorů [8]	33
<i>Obr. 14</i> Schéma hydraulického lisu [10]	33
<i>Obr. 15</i> Schéma lisovacího cyklu [9]	34
<i>Obr. 16</i> Mechanická ramenová sekačka [8]	36
<i>Obr. 17</i> Schéma hrotu tvrdoměru Shore A (vlevo) a Shore D (vpravo)	38
<i>Obr. 18</i> Typické tahové křivky polymerů [1]	39
<i>Obr. 19</i> Zkušební těleso pro tahovou zkoušku [8]	40
<i>Obr. 20</i> Příklad tahové křivky pro semikrystalické polymery [1]	41
<i>Obr. 21</i> Schéma funkce vibračního magnetometru [13]	42
<i>Obr. 22</i> Stavba optického mikroskopu [15]	44
<i>Obr. 23</i> Optické schéma zvětšení objektu [16]	44
<i>Obr. 24</i> Termoplastická matrice (zleva: LDPE, Surlyn)	47
<i>Obr. 25</i> Částicová plniva (zleva: karbonylové železo, neodymové částice, feritové částice)	47
<i>Obr. 26</i> Hnětič od firmy Brabender	48
<i>Obr. 27</i> Ruční a hydraulický lis	49
<i>Obr. 28</i> Rozměry polotovaru (mm)	50
<i>Obr. 29</i> Nástřihový plán	50
<i>Obr. 30</i> Ramenová sekačka	51
<i>Obr. 31</i> Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku tvrdosti (rozměry v mm)	51

<i>Obr. 32 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku tvrdosti (rozměry v mm).....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 33 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku permeability (rozměry v mm).....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 34 Schéma zkušebního tělesa pro zkoušku permitivity (rozměry v mm).....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35 Schéma zkušebního tělesa pro vibrační magnetometrii (rozměry v mm).....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 36 Mikrotom Leica RM 2255.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 37 Schéma zkušebního tělesa pro optickou magnetometrii (rozměry v mm)</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 38 Tenzometr Galdabini® Quasar 25.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 39 Tvrdoměr Shore D Bareiss®.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 40 Impedanční/materiálový analyzátor Agilent® E4991A RF.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 41 Vibrační magnetometr LakeShore®.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 42 Optický mikroskop Olympus® BX41.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 43 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci plniva a rychlosti míchání feritových částic v LDPE.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 44 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci plniva a rychlosti míchání feritových částic v Surlynu.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 45 Závislost pevnosti v tahu na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % feritu v LDPE.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 46 Závislost pevnosti v tahu na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % feritu v Surlynu.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 47 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci feritu v LDPE při rychlosti míchání 50 ot. /min.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 48 Závislost pevnosti v tahu na koncentraci feritu v Surlynu při rychlosti míchání 50 ot. /min.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 49 Schéma řezu LDPE maticí s plnivem (vlevo) a Surlynovou maticí s plnivem (vpravo).....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 50 Závislost tvrdosti na koncentraci plniva a rychlosti míchání neodymových částic v LDPE.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 51 Závislost tvrdosti na rychlosti míchání při koncentraci 40 hm. % neodymu v LDPE.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 52 Závislost tvrdosti na koncentraci neodymu v LDPE při rychlosti míchání 50 ot. /min.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 53 Závislost reálné složky permitivity na frekvenci.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 54 Závislost ztrátové složky permitivity na frekvenci.....</i>	<i>66</i>

<i>Obr. 55 Závislost reálné složky permeability na frekvenci.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 56 Závislost ztrátové složky permeability na frekvenci</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 57 Frekvenční oblasti</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 58 Závislost reflexního koeficientu na frekvenci</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 59 Hysterezní křivka čistých částic</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 60 Hysterezní křivka 50 hm. % částic dispergovaných v LDPE matrici.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 61 Hysterezní křivka neodymových částic dispergovaných v LDPE matrici</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 62 Hysterezní křivka feritových částic dispergovaných v LDPE matrici</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 63 Hysterezní křivka částic karbonylového železa dispergovaných v LDPE matrici</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 64 Částice karbonylového železa</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 65 Neodymové částice</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 66 Feritové částice</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 67 LDPE + 50 hm. % karbonylového železa při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68 LDPE + 50 hm. % karbonylového železa při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 69 LDPE + 50 hm. % neodymových částic při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 70 LDPE + 50 hm. % neodymových částic při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 71 LDPE + 50 hm. % feritových částic při rychlosti hnětení 20 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 72 LDPE + 50 hm. % feritových částic při rychlosti hnětení 50 ot. /min po dobu sedmi minut.....</i>	<i>75</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Výhody a nevýhody polymerů</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2 Množství navážky pro LDPE s karbonylovým železem</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 3 Data z tahové zkoušky.....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 4 Data pro zkoušku tvrdosti.....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 5 Hodnoty matching thickness</i>	<i>69</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: LDPE DATASHEET

PŘÍLOHA P II: SURLYN DATASHEET

PŘÍLOHA P III: KARBONYLOVÉ ŽELEZO DATASHEET

PŘÍLOHA P IV: NEODYM DATASHEET

PŘÍLOHA P V: FERIT DATASHEET

PŘÍLOHA P I: LDPE DATASHEET

Product Datasheet



ExxonMobil™ LDPE LD 100 Series Low Density Polyethylene Resin

Product Description

LD 100 series are LDPE grades, offering a good balance of optical and mechanical properties. Several additive packages are available according to the required surface properties.

General

Availability ¹	• Africa & Middle East	• Asia Pacific	• Europe
Additive	• LD 100BR: Antiblock: 1000 ppm; Slip: 750 ppm; Thermal Stabilizer: Yes • LD 100BW: Antiblock: No; Slip: No; Thermal Stabilizer: Yes • LD 100AC: Antiblock: 450 ppm; Slip: 500 ppm; Thermal Stabilizer: Yes		
Applications	• Blend Partner • Cast Film • Compounding • Foams • Food Packaging	• Form Fill And Seal Packaging • Freezer Film • Lamination Film • Light Duty Shrink Film • Liners	• Mail Bag • Produce Bags • Shoppers • Textile Packaging • Tough Medium Sized Molding
Revision Date	• 03/01/2013		

Resin Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Density	0.923 g/cm ³	0.923 g/cm ³	ASTM D1505
Melt Index (190°C/2.16 kg)	2.0 g/10 min	2.0 g/10 min	ASTM D1238
Peak Melting Temperature	230 °F	110 °C	ExxonMobil Method

Film Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Strength at Yield MD	1600 psi	11 MPa	ASTM D882
Tensile Strength at Yield TD	1600 psi	11 MPa	ASTM D882
Tensile Strength at Break MD	3600 psi	25 MPa	ASTM D882
Tensile Strength at Break TD	3200 psi	22 MPa	ASTM D882
Elongation at Break MD	330 %	330 %	ASTM D882
Elongation at Break TD	550 %	550 %	ASTM D882
Secant Modulus MD - 1% Secant	30000 psi	210 MPa	ASTM D882
Secant Modulus TD - 1% Secant	33000 psi	230 MPa	ASTM D882
Dart Drop Impact	80 g	80 g	ASTM D1709A
Elmendorf Tear Strength MD	150 g	150 g	ASTM D1922
Elmendorf Tear Strength TD	120 g	120 g	ASTM D1922

Optical Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Gloss (45°)	63	63	ASTM D2457
Haze	6.1 %	6.1 %	ASTM D1003

Legal Statement

This product is not intended for use in medical applications and should not be used in any such applications.

Contact your ExxonMobil Chemical Customer Service Representative for potential food contact application compliance (e.g. FDA, EU, HPFB).

Processing Statement

Film (1.5 mil/38.1 micron) made from LD 100.BW resins on a 2.5 inch (63.5 mm) blown film line with a 2.5:1 blow-up ratio, a melt temperature of 340-360°F (171-182°C), a 30 mil (0.76 mm) die gap at a rate of 8 lbs/hr/in die circumference (1.43 kg/hr/cm).

Notes

Typical properties: these are not to be construed as specifications.

¹ Product may not be available in one or more countries in the identified Availability regions. Please contact your Sales Representative for complete Country Availability.

PŘÍLOHA P II: SURLYN DATASHEET

DuPont Packaging & Industrial Polymers



The miracles of science®

DuPont Packaging & Industrial Polymers

Surlyn® resins



DuPont™ Surlyn® 9970

Description

Product Description

DuPont™ Surlyn® 9970 thermoplastic resin is an advanced ethylene/methacrylic acid (E/MAA) copolymer, in which the MAA acid groups have been partially neutralized with zinc ions. The amount of MAA and neutralization levels for this grade result in excellent clarity, good tear resistance and a high melt flow index (14) compared with other grades of Surlyn®. The resin can be injection molded. It complies with the provisions of U.S. Food and Drug Administration (FDA) Title 21 Code of Regulations 177.1330.

Product Characteristics

Processing Method	* Injection Molding
Material Status	* Commercial: Active
Availability	* Globally
Cation Type	* Zn
Uses	* not yet determined
Manufacturer / Supplier	* DuPont Packaging & Industrial Polymers

Properties

Physical	Nominal Values	Test Method
Density	0.94g/cm ³	ASTM D792 – ISO 1183
Melt Flow Rate (190°C/2.16kg)	14g/10 min	ASTM D1238 – ISO 1133
Thermal	Nominal Values	Test Method
Brittle Temperature	not yet determined	ASTM D746
Melting Point (DTA)	190°F (88°C)	ASTM D3418 – ISO 3146
Vicat Softening Point (Rate B)	142°F (61°C)	ASTM D1525 – ISO 306
CLTE, Flow (-20°C to 32°C)	140µm/m/°C	ASTM D696
Freezing Point (DTA)	156°F (69°C)	ASTM D3418
Mechanical	Nominal Values	Test Method
Abrasion Resistance	120NBS Index	ASTM D1630
Flexural Modulus (73° F)	190MPa (27557psi)	ASTM D790
Flexural Modulus (-4° F)	not yet determined	ASTM D790
	3000cycles	ASTM D1052

PŘÍLOHA P III: KARBONYLOVÉ ŽELEZO DATASHEET

Overview CIP product range								
Grade	application	type	Fe min. (%)	C max. (%)	N max. (%)	O max. (%)	d50 value (microns)	coating
CIP EM	Electronic Components	hard	97.0	0.65–0.85	0.6–0.8	0.1–0.3	4.5–6	
CIP SQ	Electronic Components	soft	99.5	0.05		0.22	3.9–5.0	
CIP SQ-I	Electronic Components	soft	98.5	0.03		0.7	3.8–5.4	yes
CIP SW-S	Electronic Components	soft		0.4			3.0–4.5	yes
CIP SP-I	Electronic Components	soft	99.5	0.05			6–10	yes
CIP EW	Electronic Components & Microwave Absorption	hard	97.0	0.9	0.9		3.0–4.0	
CIP ER	Microwave Absorption	hard	97.0	1.0	1.0	0.8	4.5	
CIP ES	Microwave Absorption	hard	97.4	1.1	1.2	0.6	3.4–4.5	
CIP EW-I	Microwave Absorption	hard	97.0	0.9			3.0–4.0	yes
CIP OM	Metal Injection Molding	hard	97.8	0.75–0.90	0.65–0.90	0.15–0.40	3.9–5.2	
CIP OS	Metal Injection Molding	hard	97.5	0.7–0.9	0.5–0.9	0.6–0.9	3.4–4.4	
CIP CC	Metal Injection Molding & powder Metallurgy	soft	99.5	0.05	0.01	0.18–0.35	3.8–5.3	
CIP CM	Powder Metallurgy	soft	99.5	0.03	0.01	0.1–0.25	7.0–9.5	
CIP CS	Powder Metallurgy	soft	99.5	0.03	0.01	0.12–0.30	6.0–7.0	
CIP CN	Powder metallurgy & Diamond Synthesis/ Tools	soft	99.5	0.03	0.01	0.10–0.25	6.5–8.0	
CIP SM	Diamond Tools	soft	99.0	0.1	0.1	0.55	3.5	
CIP EN	Diamond Tools	hard	97.5	0.9	1.0	0.6	3.9–5.2	
CIP OF	Nutritional Supplement	hard	97.0	1.3	0.3	1.4	5.2	
CIP CF	Nutritional Supplement	soft	99.5	0.03	0.01	0.23	9.5	
ZVI MICROS-PHERES 200	Groundwater Remediation	hard	97.5	1.0	1.0	0.5	5.2	
CIP FM	Other	hard	97.5	1.0	1.0	0.5	2.5	
CIP HF	Other	hard	97.7	0.9	0.9	0.5	2.5	
CIP HQ	Other	hard	97.8	0.6–0.9	0.6–0.9	0.3–0.5	2.0	
CIP HS	Other	hard	97.5	1.0	1.0	0.5	1.8–2.3	

CIP Product overview: G-CAM/CIP_0312_PO_e_01

For information, please send an e-mail to:

inorganics@basf.com

Visit our website at:

www.carbonylironpowder.com

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. (03/2012)

® = Registered trademark of BASF SE

PŘÍLOHA P IV: NEODYM DATASHEET

Injection Molding NdFeB Magnet

Grade	Residual Induction		Coercive Force		Intrinsic Coercive Force		Max Energy Product		Average Reversl	Max Working Temp.	Density
	Br		Hcb		Hcj		(BH)max			Tm	
	mT	kGs	kA/m	kOe	kA/m	kOe	kJ/m3	MGOe	%/°C	°C	g/cm3
UN-3	200-300	2.0-3.0	160-240	2.0-3.0	480-640	6.0-8.0	12-24	1.5-3.0	-0.11	120	3.9-4.4
UN-4	350-450	3.5-4.5	240-320	3.0-4.0	560-720	7.0-9.0	24-36	3.0-4.5	-0.11	120	4.2-4.9
UN-5	450-550	4.5-5.5	304-360	3.8-4.5	640-800	8.0-10.0	36-44	4.5-5.5	-0.11	120	4.5-5.1
UN-6	500-600	5.0-6.0	328-384	4.1-4.8	640-800	8.0-10.0	44-52	5.5-6.5	-0.11	120	4.7-5.2
UN-7	550-650	5.5-6.5	344-400	4.3-5.0	640-800	8.0-10.0	52-60	6.5-7.5	-0.12	120	4.7-5.3
UN-5H(SR)	450-550	4.5-5.5	320-400	4.0-5.0	880-1120	11.0-14.0	36-44	4.5-5.5	-0.11	180	4.8-5.3
UN-6H(SR)	500-600	5.0-6.0	320-400	4.0-5.0	880-1120	11.0-14.0	44-52	5.5-6.5	-0.11	180	4.9-5.4

PŘÍLOHA P V: FERIT DATASHEET

Injection Molding Ferrite Magnet

Grade	Residual Induction		Coercive Force		Intrinsic Coercive Force		Max Energy Product		Density
	Br		Hcb		Hc		(BH)max		
	mT	kGs	kA/m	kOe	kOe	kA/m	kJ/m3	MGOe	g/cm3
UN-F1.5	220-240	2.2-2.4	160-167	2.00-2.10	231-240	2.90-3.00	11.6-12.4	1.45-1.55	3.25
UN-F1.9	270-290	2.7-2.9	180-186	2.25-2.33	216-228	2.70-2.85	14.8-15.6	1.85-1.95	3.63
UN-F2.0	280-290	2.8-2.9	184-200	2.30-2.50	216-246	2.70-3.10	15.6-16.4	1.95-2.05	3.70
UN-F2.1	280-290	2.8-2.9	190-204	2.38-2.55	224-249	2.80-3.12	16.4-17.2	2.05-2.15	3.75
UN-F1.7 (PPS)	250-260	2.5-2.6	167-175	2.10-2.20	208-216	2.60-2.70	13.6-14.0	1.70-1.75	3.56