

Optimalizace složení plněných plastů pro výrobu vyfukovaných obalů

David Jaška

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Jaška**
Osobní číslo: **T14099**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace složení plněných plastů pro výrobu vyfukovaných obalů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii zabývající se využitím plněných polymerů pro výrobu plastových obalů technologií vyfukovaného vytlačování.
2. Připravte zkušební tělesa z plastů obsahujících různá plniva v různé koncentraci.
3. Provedte experimentální vyhodnocení fyzikálně-mechanických vlastností připravených vzorků.
4. Na základě získaných výsledků vyhodnoťte nejvhodnější složení plněných plastů pro výrobu vyfukovaných obalů.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Lee, Norman. (2006). Practical Guide to Blow Moulding. Smithers Rapra Technology.
2. Vasile, Cornelia Pascu, Mihaela. (2005). Practical Guide to Polyethylene. Smithers Rapra Technology.
3. Rotheron, Roger N.. (2003). Particulate-Filled Polymer Composites (2nd Edition). Smithers Rapra Technology.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

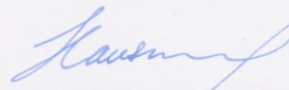
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2017**

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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


Příjmení a jméno: JAŠKA DAVID Obor: 3201R001
Technologická zařízení

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 14.5.2014


.....

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 nevydávlečně 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 nahlížení 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, užíje-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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Školní dílo (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

ABSTRAKT

Práce se zabývá vývojem plněného polymerního materiálu na bázi vysokohustotního polyetylenu a vápence, který by měl sloužit k výrobě vyfukovaných plastových obalů. V teoretické části jsou popsány materiály na výrobu obalů a způsoby jejich zpracování. Dále jsou zmíněny typy plniv a jejich význam při použití v kombinaci s plastem. Praktická část popisuje přípravu materiálů s různým zastoupením plniv a jejich mechanické vlastnosti

a chemickou odolnost. Pozornost je též věnována mikrostruktuře připravených plněných plastů. Výsledky ukázaly, že vysokohustotní polyetylen plněný mikromletým vápencem může být vhodnou materiálovou alternativou k neplněným polyetylenům používaných pro vyfukované obaly.

Klíčová slova: polyetylen, plnivo, vápenec, vyfukování, obaly

ABSTRACT

The Bachelor's Thesis is focused on the development of filled polymeric material based on high-density polyethylene and a limestone, which is supposed to be processed into blow-molded plastics containers. The theoretical part describes the materials used in a production of plastics packaging and the technologies of their processing. Then the various types of fillers are discussed, in particular their use in combination with plastics. The experimental part describes preparation of the materials with various content of the fillers and their mechanical properties and a chemical resistance. The attention is also paid to the microstructure of the prepared filled plastics. The results showed that the high-density polyethylene filled with micro-ground limestone might be a suitable material alternative for neat polyethylenes used for blow-molded containers.

Keywords: polyethylene, filler, limestone, blow molding, packaging

Nejprve bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D, za odborné vedení, vlídný a osobitý přístup. Děkuji také Ing. Tomáši Holoubkovi za možnost realizace projektu ve firmě Greiner Packaging s.r.o. Poděkování také patří mé rodině a přátelům za morální podporu v době celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 PLASTY PRO VÝROBU OBALŮ	12
1.1 POLYOLEFINY.....	12
1.1.1 Polyetylen.....	12
1.1.2 Polypropylen	13
1.2 STYRENOVÉ POLYMERY	14
1.2.1 Polystyren.....	14
1.2.2 Kopolymery styrenu.....	15
1.2.2.1 Houževnatý polystyren (HIPS).....	15
1.2.2.2 Terpolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS).....	15
1.2.2.3 Kopolymer styrenu s akrylonitrilem (SAN)	15
1.3 PLNĚNÉ PLASTY.....	16
1.3.1 Plniva.....	16
1.3.2 Plněný polypropylen	16
1.3.3 Plněný polyetylen.....	17
2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PLASTOVÝCH OBALŮ	18
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	18
2.1.1 Princip technologie vstřikování.....	18
2.1.2 Vstřikovací stroje	19
2.1.2.1 Vstřikovací a plastikační jednotka.....	19
2.1.2.2 Uzavírací jednotka	19
2.1.2.3 Řídící jednotka.....	20
2.2 TVAROVÁNÍ.....	20
2.2.1 Negativní tvarování	20
2.2.1.1 Mechanické předtvarování.....	21
2.2.2 Pozitivní tvarování	22
2.2.2.1 Pneumatické předtvarování.....	22
2.3 VYTLAČOVÁNÍ	23
2.3.1 Proces vytlačování	23
2.3.2 Vytlačovací stroje a jejich části.....	23
2.3.3 Vytlačovací vyfukování	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	27
3.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI GREINER PACKAGING SLUŠOVICE S.R.O.	27
3.2 CÍLE PRÁCE	28
4 PŘÍPRAVA VZORKŮ	29
4.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	29
4.2 LISOVÁNÍ	30
5 ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	32
6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	33

6.1	ZKOUŠKA TAHEM	33
6.2	ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	35
7	CHEMICKÉ ZKOUŠKY	37
7.1	STANOVENÍ ÚČINKU KAPALIN.....	37
8	VÝSLEDKY A DISKUZE	39
8.1	ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	39
8.2	VÝSLEDKY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK	43
8.2.1	Zkouška tahem	43
8.2.2	Zkouška vrubové houževnatosti.....	47
8.3	VÝSLEDKY CHEMICKÝCH ZKOUŠEK.....	48
8.3.1	Účinek HCl.....	48
8.3.2	Účinek NaOH.....	49
8.3.3	Účinek xylenu	50
8.4	STATISTICKÁ ANALÝZA ROZPTYLU.....	50
9	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	61

ÚVOD

V dnešní době jsou plasty čím dál rozšířenějšími a používanějšími materiály. Setkáváme se s nimi v každodenním životě a svět bych bez nich teď již takřka nemohl existovat. Plasty se stále vyvíjejí a úspěšně nahrazují ostatní materiály. V dnešní době je jich již typově takové množství, že z nich dokážeme podle potřeby vybrat konkrétní polymer pro konkrétní účel podle požadovaných mechanických a chemických vlastností. Jejich nespornou výhodou je také cena a možnost recyklace.

Další z výhod je také to, že se jejich mechanické i chemické vlastnosti dají upravovat přidáním určitých přísad, například plniv. Tím se také zabývá tato bakalářská práce. Teoretická část přináší obecný přehled o plastech a plněných plastech používaných při různých způsobech výroby obalových řešení. Experimentální část je zaměřena na přípravu, mechanické chování a chemickou odolnost různě plněného vysokohustotního polyetyleny, přičemž jsou použity různé koncentráty na bázi uhličitanu vápenatého. Snahou je předpovědět, jak by se tyto variace materiálů zachovaly v určitých podmínkách při použití v praxi. Volba právě těchto zvolených materiálů je účelová, neboť z kombinace právě zmíněného polymeru a koncentrátů plniva se pomocí metody vytlačovacího vyfukování ve firmě Greiner Packaging s.r.o. vyrábí různé lahve a kanystry.

I. TEORETICKÁ ČÁST

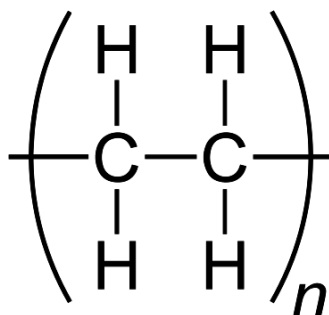
1 PLASTY PRO VÝROBU OBALŮ

1.1 Polyolefiny

Jsou největší skupinou synteticky vyráběných polymerů. Označujeme tak homopolymery a kopolymery alkenů, tj. uhlovodíků, které ve svých molekulách obsahují jednu dvojnou vazbu. Mezi největší zástupce patří Polypropylen a Polyetylen, dále pak Poly-1-buten, Polyisobutylem, Poly-4-methyl-1-penten. Vyznačují se snadnou zpracovatelností, chemickou odolností a zdravotní nezávadností. Využívají se pro výrobu obalů, vláken, medicínských výrobků a v neposlední řadě také v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. [1]

1.1.1 Polyetylen

Polyetylen byl objeven již v roce 1933 a dnes je to jeden z nejpoužívanějších polymerů na světě. Jedná se o univerzální materiál, který má širokou škálu využití. Polyetylen se vyrábí řetězovou polymerací etylenu při různých teplotách a tlacích za přítomnosti katalyzátorů, v závislosti na požadovaných vlastnostech konečného použití produktu.

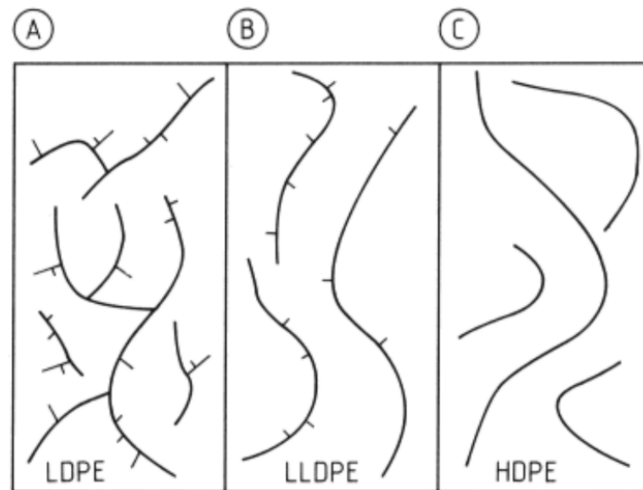


Obr. 1.: Chemický vzorec polyethylenu [2]

Vyrábí se v několika modifikacích, z nichž nejdůležitější jsou:

- LLDPE - lineární nízkohustotní polyetylen
Pevný polyetylen oblíbený v oblasti výroby obalového řešení. Typickým příkladem jsou tenkostěnné filmy (sáčky, tašky, pytle).
- LDPE - nízkohustotní polyetylen
Měkký, ohebný a pevný druh polyethylenu s rozvětvenou strukturou. Možnosti využití jsou široké. Vyrábí se z něj různé nádrže, nádoby a kanystry. Další oblíbenou aplikací je výroba fólií a pytlů.

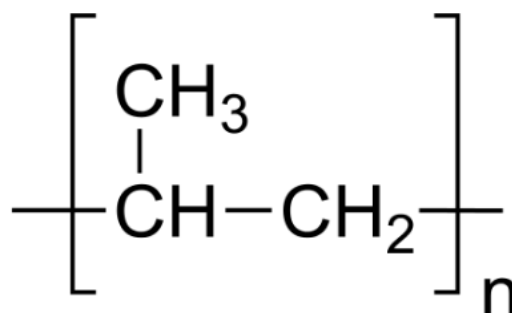
- HDPE - vysokohustotní polyetylen
Lineární polyetylen, který je ze všech modifikací nejtvrdší a naopak nejméně ohebný. Používá se pro výrobu lahví, kanystrů, potrubí apod. [3]



Obr. 2.: Struktura řetězců polyetylenů [4]

1.1.2 Polypropylen

Polypropylen byl vynalezen v roce 1953. Komerčně se začal používat v roce 1957, kdy byl znám pod názvem Moplen. Vyrábí se řetězovou polymerací. Oproti polyetylenů je přívěsek vodíku nahrazen methylovou skupinou, díky které má odlišné vlastnosti. Prostorové uspořádání makromolekul polypropylenu se může lišit podle polohy této methylové skupiny. Díky tomu se propylen dělí na isotaktický, syndiotaktický a ataktický, z nichž pouze isotaktický propylen má potřebné vlastnosti pro praktické využití.



Obr. 3.: Chemický vzorec polypropylenu [5]

Polypropylen bývá označován jako technický plast s nízkou cenou. Klíčovými vlastnostmi PP je dobrá tuhost a odolnost proti zvýšeným teplotám (zejména v porovnání s PE). Kromě toho má PP dobrou chemickou odolnost, odolnost proti únavě a korozi. V otázce zpracování jsou jeho možnosti takřka neomezené. Polypropylen můžeme najít

v mnoha průmyslových odvětvích. Denně se setkáváme například s kelímky, kbelíky, v domácnosti

s hračkami, krabicemi a nádobami na potraviny, venku se zahradním nábytkem, v automobilovém průmyslu se z něj vyrábí nárazníky, spoilery nebo palubní desky. [4]

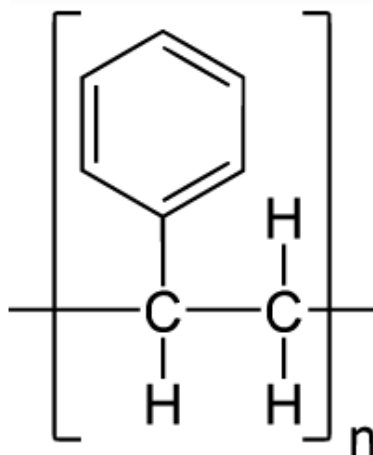
1.2 Styrenové polymery

Styrenové termoplasty jsou látky, které vznikají chemickou reakcí z homopolymereu styrenu na bázi statických kopolymerů s různými monomery. Mezi nejvýznamnější zástupce řadíme Polystyren (PS), terpolymer Akrylonitril-Butadien-Styren (ABS) a kopolymer Styren-Akrylonitril (SAN). [6]

1.2.1 Polystyren

Polystyren je jeden z nejstarších syntetických polymerů. První zmínky jsou známy již z roku 1831. Na praktické využití si ale počkal ještě celé další století. Průmyslově vyrábět se začal až v roce 1938.

Připravuje se mnoha různými postupy - radikálovou, iontovou, roztokovou i emulzní polymerací styrenu. Nejčastěji se však volí polymerace radikálová suspenzní.



Obr. 4.: Chemický vzorec polystyrenu [7]

Polystyren je velmi tvrdý, ale zároveň křehký materiál, jehož řetězce mají nerozvětvenou strukturu. Je amorfní. V neupraveném stavu je lesklý, téměř transparentní, dá se ale snadno dobarvit na požadovaný odstín. Díky jeho značné křehkosti se používá pro nenáročné produkty, jako jsou hračky, mísy a různý doplňkový sortiment. Velké oblibě se dostává

i pěnové formě polystyrenu, jež se používá jako tepelná a zvuková izolace. [8]

1.2.2 Kopolymery styrenu

Kopolymery styrenu můžeme nazvat modifikovanými polystyreny. V některých případech řeší základní nedostatek polystyrenu - jeho nízkou houževnatost, tedy křehkost. [9]

1.2.2.1 Houževnatý polystyren (HIPS)

Jedná se o kopolymer styrenu s kaučukovou složkou. Nejčastěji se jedná o butadien. Obsah této kaučukové složky se pohybuje okolo 5 %, v některých případech i více. Kaučuk se do materiálu přidává primárně za účelem zvýšení houževnatosti. Ostatní mechanické vlastnosti se příliš nemění. Díky tomu se HIPS může používat na složitější operace. Zpracovává se nejčastěji vstřikováním, ale i vytlačováním a tvarováním. Typickým příkladem je výroba kelímků, jež se vyrábějí metodou vakuového tvarování s mechanickým předtvarováním. HIPS není oproti čistému polystyrenu transparentní, díky kaučukové složce je bílý. [1]

1.2.2.2 Terpolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS)

ABS je terpolymer, což je látka, jejíž polymerní řetězce jsou tvořeny mery trojího druhu, a to akrylonitrilem, butadienem a styrenem. Každý z těchto monomerů pak zajišťuje některou z klíčových vlastností ABS. Akrylonitril zlepšuje tepelnou a chemickou odolnost, butadien má za následek mnohem lepší houževnatost a pomocí styrenu se ABS velice dobře zpracovává. Díky těmto vlastnostem můžeme ABS řadit mezi konstrukční materiály, které jsou dobře zpracovatelné všemi běžnými technologickými postupy. Proto je jeho uplatnění velmi široké, hlavně v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví nebo v obalové technice. Výrobky z ABS je snadné galvanicky pokovovat, takže pak mohou nahrazovat některé kovové součásti. [1] [9]

1.2.2.3 Kopolymer styrenu s akrylonitrilem (SAN)

Je polymer složený z monomeru styrenu (73-78 %) a akrylonitrilu, přičemž optimální poměr by měl být 75hm%:25hm%. Vyrábí se roztokovou polymerací. SAN má vyšší pevnost, tvrdost, je lesklý a transparentní, naopak houževnatostí nepřekypuje. SAN má horší elektroizolační vlastnosti a sklony ke žloutnutí. Ze všech styrenových plastů je však chemicky nejodolnější. V největším měřítku se používá na výrobky vyztužené skleněnými vlákny, například kryty projektorů. V automobilovém průmyslu se používá na kryty světel. [1] [9]

1.3 Plněné plasty

Plniva se do plastů přidávají ze dvou hlavních důvodů. Tím prvním je úprava mechanických vlastností polymerů dle požadavků na konkrétní výrobek a druhým důvod je ekonomická úspora, neboť plniva jsou několikanásobně levnější než samotný plast. Nejpoužívanějšími plnivy jsou mastek, uhličitán vápenatý a kalcinovaný kaolin. [9]

1.3.1 Plniva

Plniva jsou látky organického nebo anorganického původu, které můžeme vidět v podobě granulátu, prášku nebo vláken různých délek. Z hlediska vlivu na mechanické chování se plniva dělí na vyztužující a nevyztužující. V technické praxi se nejčastěji používají následující minerální plniva:

- Uhličitán vápenatý (CaCO_3) - hojně používané plnivo, je zdravotně nezávadný, dobře se rozptýluje v polymeru a má nízký obsah vlhkosti. Reaguje s kyselinami. Nemá ale příliš výrazný vliv na změnu mechanických vlastností, používá se především pro zlevnění. V některých případech se používá až 60 % plnění.
- Kaolin (slída) - jedná se o hydratovaný křemičitan hlinitý. U výrobku zvyšuje odolnost proti deformacím. Zvyšuje tvrdost a pevnost. Je odolnější vůči poškrábání, je žáruvzdorný. Plnění se volí mezi 20-40 %, ve výjimečných případech i více.
- Mastek (talek) - nejčastěji se přimíchává do polypropylenu. Mimo snížení ceny ovlivňuje pevnost a rozměrovou stabilitu, zvyšuje tepelnou a chemickou stabilitu. [9]

1.3.2 Plněný polypropylen

Jeden z dalších důvodů, proč se do polypropylenu přidává plnivo, je kromě ekonomického hlediska také zvýšení tuhosti. Tato vlastnost je ovlivněna právě množstvím anorganické složky. Modul pružnosti jakéhokoliv anorganického plniva je vyšší než u samotného polymeru. Modul pružnosti pak roste téměř lineárně s množstvím plniva.

Nejčastěji se polypropylen plní mastkem - velice rozšířeným plnivem za nízkou cenu. Prakticky se ale používá u produktů, u kterých není vyžadována velká houževnatost a velká zátěž. Takto upravený polypropylen se používá například na výrobu krytů vzduchových filtrů, nebo dávkovačů v pračkách a myčkách. Mastek také ovlivňuje výslednou barvu PP, dodá mu transparentnost. Dalším používaným plnivem je uhličitán vápenatý, který má vliv na tuhost a rázovou houževnatost, ostatní vlastnosti ale nejsou výrazně

ovlivněny. Naopak od mastku dodá uhličitan vápenatý materiálu bílou barvu a neprůhlednost. Tento typ plniva hlavně snižuje výrobní cenu výrobků, příkladem může být zahradní nábytek. [10]

1.3.3 Plněný polyetylen

LDPE, LLDPE i HDPE se v drtivé většině plní uhličitanem vápenatým. Ten se do polyetylenu přidává buď samostatně, nebo v kombinaci s nějakými pigmenty. Nejčastěji se jedná o TiO_2 a saze. Tyto směsi ovládají trh s výrobou tenkých filmů (pytle, pásy, fólie apod.). Konkrétně například u LLDPE zvyšuje mletý uhličitan vápenatý rychlost chlazení vyfukovaných výrobků, zlepšuje potiskovatelnost a zvyšuje tvrdost povrchu filmu. Plněné HDPE se nejvíce používá pro produkty vyrobené technologií vyfukování (lahve, nádoby).

Další minerální látky se používají k vytváření specifických vlastností. Coldický jíl (druh kaolínu, porcelán) se používá k eliminaci rozpínání, ke snížení prokluzu. Mastek, oxid křemičitý, hlinitokřemičitany nebo třeba kalcinovaný kaolin jsou používány v množství pouze 0,1-1 hm% a ovlivňují tvar, čistotu, a barvu. [10]

2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PLASTOVÝCH OBALŮ

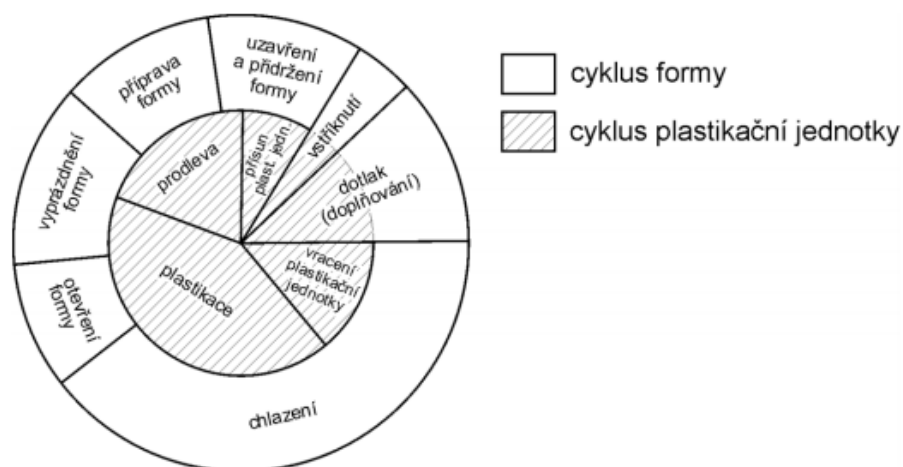
2.1 Vstřikování

Technologie vstřikování je nejrozšířenější metodou zpracování termoplastů, ale i termoplastických elastomerů, polymerních směsí, kaučuků a reaktoplastů. Jde o cyklický proces výroby, vyznačující se vysokou rozměrovou a tvarovou přesností a velmi kvalitním povrchem výrobků. Vstřikování se používá u velkosériové výroby, kde se počítá s vysokou reprodukovatelností výrobků. [11]

2.1.1 Princip technologie vstřikování

Vstřikování je způsob výroby, při kterém se potřebná dávka taveniny vstříkne pomocí šneku nebo pístu vysokou rychlostí a tlakem do dutiny formy. Materiál zde chladne, díky tomu ztuhne a zaujme finální tvar výrobku. [11]

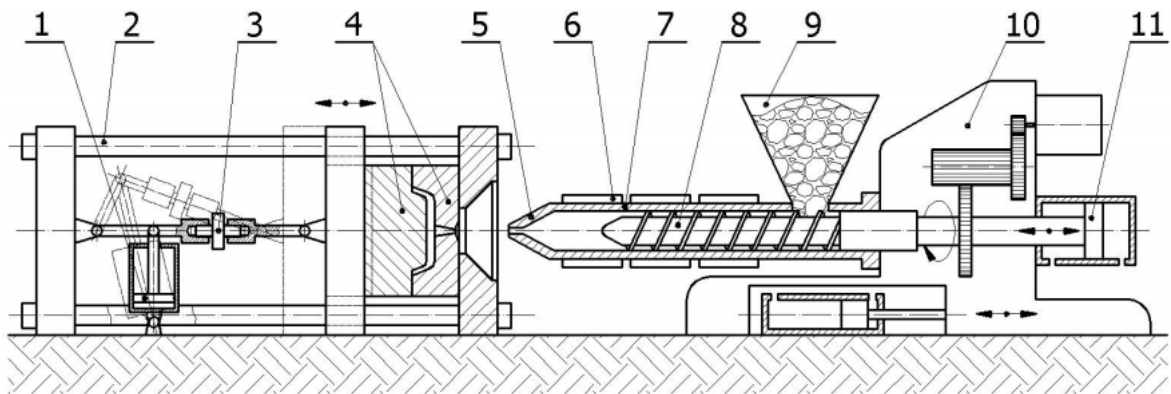
Plast, nejčastěji ve formě granulátu, se nasype do násypky, odkud si šnek (nebo píst) při každém pracovním cyklu odebere potřebné množství materiálu. Plast se posouvá do tavicí komory, kde se za pomoci tepla a tření stává taveninou. Ta se za pomoci vstřikovací jednotky dopraví vysokou rychlostí do dutiny formy, kterou zaplní. Následuje dotlak, který zaručí rozměrovou stabilitu a sníží smrštění. Chladnější forma mezitím odebírá teplo horkému materiálu. Po zchlazení výrobku se forma otevře a dojde k jeho vyjmutí. V tu dobu již probíhá plastifikace nové dávky plastu. Vstřikovací cyklus se cyklicky opakuje, jak ukazuje obr. 5. [12]



Obr. 5.: Vstřikovací cyklus[13]

2.1.2 Vstříkovací stroje

Moderní vstříkovací stroje jsou velice nákladnou záležitostí, jsou plně automatizované a dosahují vysoké produktivity. Skládají se ze tří hlavních částí - vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. Bývají doplněny o další příslušenství, jako temperovací zařízení, roboty sloužící k odebrání hotových výrobků z dutiny formy apod.



Obr. 6.: Vstříkovací stroj: 1- hydraulický válec, 2- vodící sloup, 3- závěrný mechanismus, 4-vstříkovací forma, 5- tryska vstříkovací jednotky, 6 -odporové topné pásy, 7- pracovní válce, 8- šnek, 9-násypka, 10- převodová skříň, 11- vstříkovací píst [13]

2.1.2.1 Vstříkovací a plastikační jednotka

Plastikační jednotky jsou buď pístové, nebo šnekové. První jmenované se již téměř nepoužívají a nahradily je modernější jednotky šnekové, jež zajišťují lepší homogenizaci taveniny, spolehlivou plastifikaci, přesnější dávkování a snadné čištění při změně materiálu. Úkolem plastikační jednotky je přeměnit plastový granulát do taveniny, vstříkovací jednotka zajistí rychlé dopravení materiálu do formy. To vše pokud možno v co nejkratší možné době, aby nedocházelo k degradaci materiálu vlivem dlouhého působení tepla na plast.

Při plastikaci se šnek otáčí, čímž nabírá materiál z násypky, stlačuje ho a dopravuje do přední části pracovního válce, přičemž se současně posouvá axiálně dozadu. Po plastifikaci potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek fungující jako píst vstříkne taveninu do dutiny formy. [12]

2.1.2.2 Uzavírací jednotka

Hlavní úkolem uzavírací jednotky je otevírání a zavírání formy podle výrobního cyklu. Na dnešních moderních uzavíracích jednotkách se dá spolehlivě nastavovat velikost

přítlačné síly, jež zajišťuje, že se forma při vstřikování vlivem vysokého tlaku taveniny neotevře. Uzavírací mechanismy se vyrábějí buďto hydraulické, hydraulicko-mechanické nebo elektromechanické. [12]

2.1.2.3 Řídící jednotka

Vstřikovací stroje se řídí a ovládají z jednoho počítačového panelu na stroji. Na dnešních moderních dotykových displejích se dá snadno zasahovat do procesu výroby a opravovat a nastavovat technologické parametry (teplota taveniny, tlak, dotlak, rychlost vstřikování, čas chlazení atd.). [12]

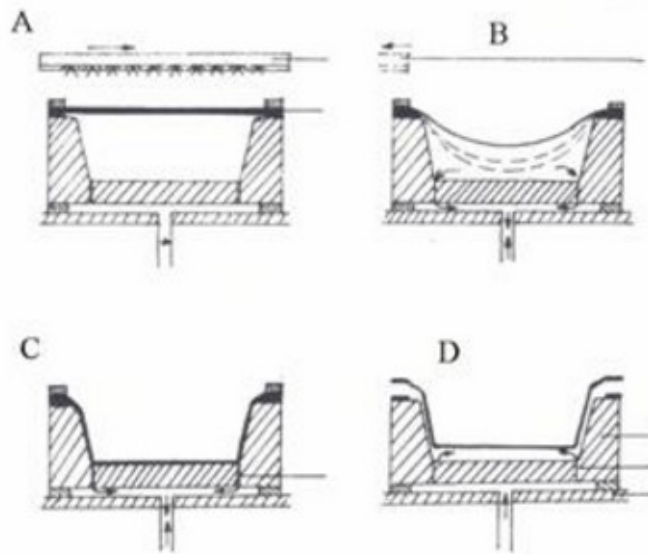
2.2 Tvarování

Tvarování je způsob výroby, při kterém se polotovar ve formě folie nebo desek tvaruje do požadovaného tvaru, nejčastěji za působení tepla. Největším rozdílem oproti tváření je, že při tvarování nedochází k většímu transportu hmoty. Proto se touto metodou vyrábí pouze jednoduché a tvarově nenáročné výrobky. K tvarování se používají pouze termoplasty připravené ve formě folií s minimální tloušťkou 0,1 mm a desky s maximální tloušťkou

10 mm. K hlavním přednostem patří rychlá výroba a menší finanční náročnost, oproti vstřikování. [14]

2.2.1 Negativní tvarování

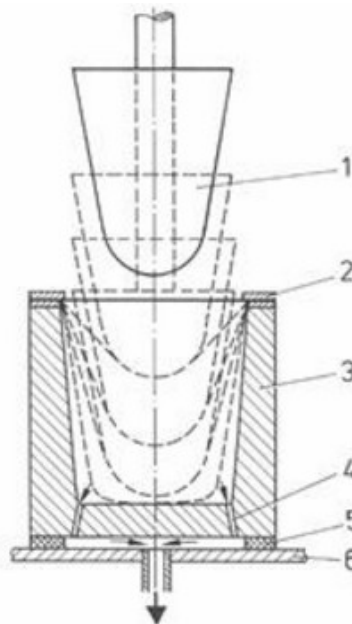
Negativní tvarování je nejstarší a nejjednodušší metodou tvarování. Deska nebo folie se položí na negativní formu a zajistí upínacím rámem. Nad materiál přijede topné zařízení, které ho zahřeje na zpracovatelskou teplotu. Následně se podtlakem odsaje vzduch mezi materiálem a formou díky čemuž se deska (folie) přisaje na dutinu formy a získá její tvar. Tato metoda je velice jednoduchá a levná, nevýhodou však je, že má výrobek v závislosti na hloubce různou tloušťku stěn. Nejtenčí vrstva je na dně výrobku a v jeho rozích, což není vhodné pro příliš hluboké dílce. [15]



Obr. 7.: Princip negativního tvarování [15]

2.2.1.1 Mechanické předtvarování

Problém s nerovnoměrnými tloušťkami stěn řeší mechanické předtvarování. V principu jde o to, že je v celém procesu přítomna i horní část formy, ve které jsou připraveny tvárníky. Po ohřátí folie na zpracovatelskou teplotu se folie nejprve předtvaruje tvárníky, ihned po poté se podtlakem odsaje vzduch, a tím získáme konečnou podobu výrobku. Tato metoda je velmi rozšířená a produktivní. Typickým příkladem je tvarování kelímků. [15]

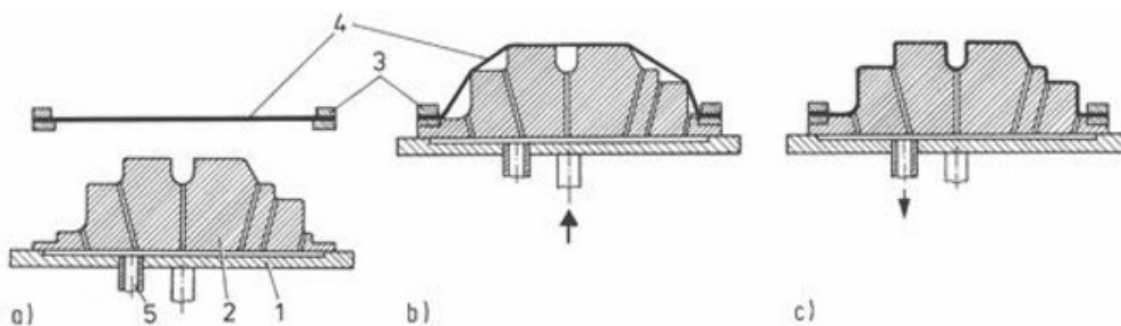


Obr. 8.: Princip negativního tvarování s mechanickým předtvarováním [15]

1 – tvárník, 2 – rám stroje, 3 – tvárnice, 4 – odsávací otvory, 5 - rozpěrka, 6 – stůl

2.2.2 Pozitivní tvarování

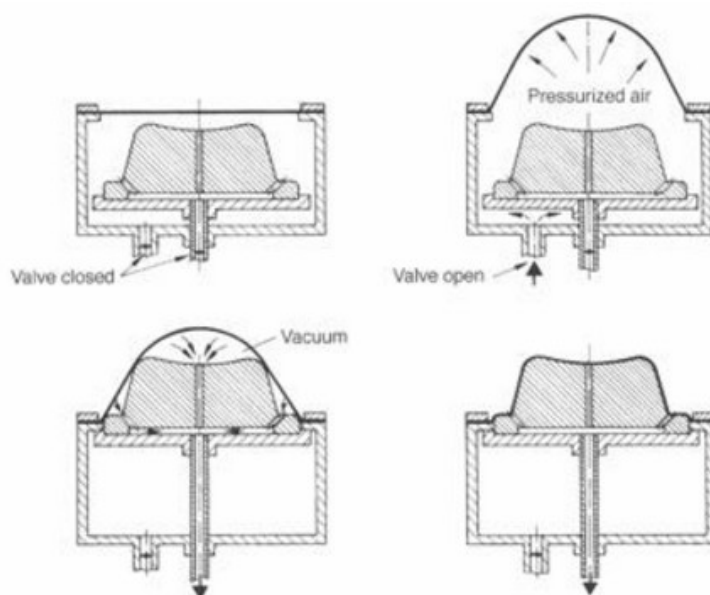
V tomto případě forma zastává roli tvárníku a má pozitivní tvar výrobku. Postup je obdobný jako tvarování negativního. Tvárník začne tlačit do zahřáté desky (folie), čímž se mechanicky předtvaruje, vytvoření vakua mezi deskou a formou zajistí výslednou podobu výrobku. Zvolením této metody zajistíme rovnoměrné rozložení materiálu. [14]



Obr. 9.: Princip pozitivního podtlakového tvarování
1 – stůl stroje, 2 – tvárník, 3 - rám stroje, 4 - deska [15]

2.2.2.1 Pneumatické předtvarování

Zvláštní metodou pozitivního tvarování je pneumatické předtvarování. To probíhá tlakem vzduchu působícího na ohřátou folii ve směru nahoru (podle obr. 10). Rovnoměrným natáhnutím folie stlačeným vzduchem docílíme stejné tloušťky materiálu v celém objemu, což nám dovolí zpracovávat mnohem hlubší výlisky. Postup je poté stejný jak u pozitivního tvarování. [15]



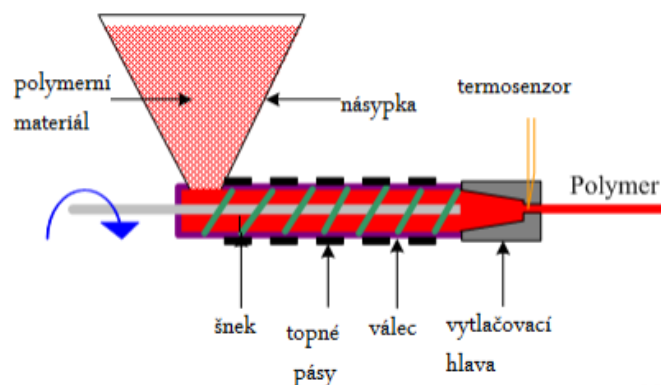
Obr. 10.: Princip pozitivního tvarování s pneumatickým předtvarováním [15]

2.3 Vytlačování

Vytlačování je kontinuální technologická operace, při níž se roztavený plast vytlačuje vytlačovací hlavou do volného prostoru. Používá se na výrobu trubek, profilů, folií, desek, popřípadě opláštování apod. K tomu se využívá výrobních linek, jejichž hlavní součástí je nejčastěji používaný šnekový vytlačovací stroj. [16]

2.3.1 Proces vytlačování

Materiál ve formě granulátu, popřípadě prášku, se umístí do násypky, odkud se dále přivádí do topného válce, ve kterém je šnek. Ten zajišťuje posun materiálu k vytlačovací hlavě. Je důležité zvolit správné teploty, aby se plast šnekem posouval, nikoliv otáčel. Materiál se nejprve stlačí a zhutní. Zpracovávaná hmota pak plastikuje, až se roztaví a homogenizuje. To vše za podpory tepla ze stěny komory a disipovaného tepla způsobeného třením a hnětením hmoty. Homogenizace končí u výstupní části, kde se plast vytlačuje požadovaným profilem vytlačovací hlavy do volného prostoru. Výrobek je ale tvárný a má tendenci se deformovat, proto se musí jeho tvar zafixovat chlazením a rozměry profilu zkalibrovat. [17]



Obr. 11.: Proces vytlačování [17]

2.3.2 Vytlačovací stroje a jejich části

Základní součástí každého vytlačovacího stroje je plastikační komora s pracovním členem, vytlačovací hlava a kontrolní a řídicí jednotka. Vhodným zvolením těchto částí musíme zajistit rovnoměrné prohřátí polymeru a rovnoměrnou dopravu taveniny, která bude dokonale promíchaná a homogenní. S ohledem na použití materiálu se proto volí ideální pracovní člen v plastikačním válci. [18]

Z konstrukčního hlediska se vytlačovací stroje dělí na jednošnekové, vícešnekové, pístové a diskové. Nejčastěji používané jsou stroje šnekové, které pak rozlišujeme na rychloběžné a pomaloběžné. Rychlost otáček 250 až 1000 za minutu u rychloběžného šnekového stroje způsobí velmi intenzivní tření plastu, díky čemuž nemusíme polymer zahřívat v celé délce plastikační jednotky, ale pouze na jejím začátku. Na rozdíl od plastikačních jednotek pomaloběžných, které se musí vyhřívat v celé délce. Díky tomu bývají tyto jednotky mnohem delší, a to až 30 D, na rozdíl od rychloběžných jednotek, které dosahují délek pouze 15-17 D. Pístové vytlačovací stroje jsou konstrukčně podobné těm šnekovým, liší se pouze jiným pracovním členem, tedy pístem. Tyto stroje se v praxi často nevyužívají, nepracují totiž kontinuálně, ale cyklicky. [18]

Vytlačovací hlavy umožňují tváření termoplastického materiálu do požadovaného tvaru. Hlava bývá připevněna na výstupním konci komory objímkou nebo otočnými šrouby tak, aby šla snadno odpojit, když se mění druh výrobku nebo se stroj čistí. Mezi konec šneku a začátek vytlačovací hlavy se vkládá tzv. lamač, který zlepšuje homogenizaci hmoty, zachycuje její nedokonalosti (nečistoty, neroztavené částice) a udržuje stálý tlak v komoře. [19]

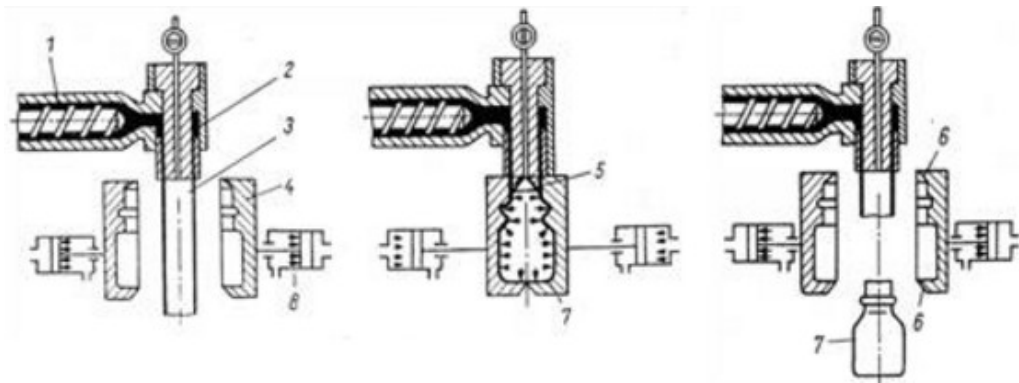
Z konstrukčního hlediska se vytlačovací hlavy dělí na tři základní typy, podle polohy osy hlavy k ose šneku.

- Přímá vytlačovací hlava je souosá s osou šneku. Používá se pro běžné vytlačování uzavřených profilů, jako jsou například hadičky a trubky.
- Nepřímé vytlačovací hlavy jsou příčné (hlava osy kolmá k ose šneku) a šikmé (úhel mezi osou hlavy a osou šneku 30 až 60°). Využívají na opláštění vodičů. Mohou se vytlačovat pouze plasty s dobrými tokovými vlastnostmi, protože materiál musí měnit směr, což je doprovázeno nerovnoměrnostmi toku taveniny.
- U širokoštěrbinových hlav se materiál rozvádí pomocí kanálku do široké štěrbin. Množství taveniny na výstupu se řídí stavěcími šrouby. Tato hlava je vhodná pro vytlačování fólií. [17] [19]

2.3.3 Vytlačovací vyfukování

Vytlačovací vyfukování je nejrozšířenějším způsobem výroby dutých těles a velmi produktivní technologií z důvodu minimalizace odpadního materiálu. Plast musí být zahřátý do visko-elastického stavu, ve kterém si drží potřebnou soudržnost, ale vykazuje požadovanou tvarovatelnost. Pro tuto metodu výroby se nejčastěji používá PP, PE a PET. Po-

stup výroby můžeme vidět na obr. 12. Vytlačovací stroj s příčnou vytláčovací hlavou vytlačí polotovar ve tvaru hadice (parizon). Po vytlačení potřebného množství materiálu jednoduchá forma odštíhne a oddělí parizon, který se uzavře ve vyfukovací formě a ihned vylisuje tvar hrdla. Poté se do formy přivede stlačený vzduch, vznikne přetlak a dojde k vyfouknutí plastu do tvaru formy. Po vyfouknutí se výrobek zchladí a vyjme z formy. Technologie je používána pro výrobu lahví, kanystrů, nádrží a podobných dutých dílců. [14] [20]



Obr. 12.: Postup vytlačovacího vyfukování: 1 – vytlačovací stroj, 2 – příčná hlava, 3 – parizon, 4 – vyfukovací forma, 5 – vzduch, 6 – svařovací hrany, 7 – výrobek, 8 – uzavírací mechanismus [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

3.1 Představení společnosti Greiner Packaging Slušovice s.r.o.

Firma Greiner Packaging Slušovice s.r.o. je dceřinou společností firmy Greiner packaging GmbH sídlící v rakouském Kremsmünsteru. Greiner Packaging je pak součástí mezinárodního holdingu Greiner Group, rodinné společnosti založené v roce 1868 v Německu. Od jejích začátků se společnost stále rozrůstá a nyní provozuje po celém světě více než 133 závodů.

Greiner Packaging je jeden z předních hráčů na trhu v oblasti potravinářských i nepotravinářských obalů. Patří mezi nejvýznamnější výrobce plastových a kombinovaných obalů v České republice i na Slovensku. V celosvětovém měřítku pak působí v 19 zemích. Greiner Packaging se dělí do tří divizí:

- Provoz K - divize se zaměřuje na produkci obalů ve formě plastových kelímků a víček, vyrobených převážně metodou tvarování
- Kavo - divize Kavo vytváří obaly vyráběné převážně vyfukováním. Produkty ve formě lahví a nádob se dodávají pro řadu trhů, jako je zdravotnictví, potraviny, kosmetika nebo chemický průmysl.
- Assistec - nabízí širokou škálu produktů v oblasti kancelářských potřeb, domácnosti, zahradničení, automobilů apod. K výrobě takových produktů se nejčastěji využívá výrobní metody vstřikování.



Obr. 13.: Struktura společnosti Greiner group [interní materiály]

3.2 Cíle práce

Na středisku KAVO se pomocí vyfukování vyrábí z čistého HDPE mnoho výrobků - lahve, nádoby a kanystry. V zájmu firmy i zákazníka je snížení ekonomických nákladů. Výrobní náklady se odrážejí na konečné prodejní ceně produktu. Proto se do čistého materiálu přimíchávají koncentráty na bázi minerálního plniva, které jsou několikanásobně levnější než samotný polyetylen. Plnivo však ovlivňuje jak mechanické, tak chemické vlastnosti výrobku. Firma proto hledá ideální koncentrát, který bude moct používat spolu s HDPE v optimálním poměru.

Pro účely bakalářské práce firma dodala vedle čistého HDPE také tři různé koncentráty minerálního plniva na bázi CaCO_3 . Vlastnosti jednotlivých koncentrátů jsou uvedeny v tab. 1.

	Granic 742	Schulacarb 380	Schulacarb 382W
Polymer nesoucí CaCO_3	HDPE	PE	LLDPE
Průměrná velikost částic D_{50}	2,3 μm	1,6 μm	3 μm
Horní mez velikosti částic D_{95}	-	-	10,8 μm
Index toku taveniny MFI	1,6 g/10 min	0,5 - 2,5 g/10 min	<1 g/10 min
Hustota	2 g/cm ³	1,95 g/cm ³	2 g/cm ³
Obsah vlhkosti	300 ppm	<400 ppm	<400 ppm

Tab. 1.: Technické parametry koncentrátů [interní materiály]

Cílem bakalářské práce je zjistit, který koncentrát a jaká maximální koncentrace v HDPE je nejvhodnější, za předpokladu, že se výrazně nezhorší mechanické ani chemické vlastnosti.

4 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Firma dodala vysokohustotní polyetylen Liten BB od výrobce Unipetrol a koncentráty minerálního plniva značek Granic 742 od výrobce GCR Group a Schulacarb 380 a Schulacarb 382W od výrobce A. Schulman.

Z těchto materiálů ve formě granulátu se připravila směs HDPE s plnivem o třech různých koncentracích. Každý z koncentrátů se spolu s HDPE navážil v poměru HDPE:plnivo 75hm%:25hm%, 50hm%:50% a 25hm%:75hm%. Vážení materiálů bylo provedeno na kalibrované digitální váze KERN. Celkem bylo připraveno deset různých materiálů (čistý HDPE plus tři plniva o třech koncentracích). Z takto navážených směsí se vyrobily zkušební vzorky technologií vstřikování.

4.1 Vstřikování

Připravené směsi HDPE s plnivem byly zpracovány na vstřikovacím stroji Demag egrotech 50-200.



Obr. 14.: Vstřikovací stroj

Pro vstřikování zkušebních vzorků byly zvoleny procesní parametry a teploty, které zobrazuje tabulka č. 2.

	Teplota [°C]	Parametr	Nast.
Plnění	50	Vstřík. rychlost [mm/s]	20
MH1	180	Čas dotlaku [s]	20
MH2	195	Dotlak [bar]	600
MH3	210	Čas chlazení [s]	10
Tryska	220		

Tab. 2.: Nastavení teplot a parametrů vstřikování

4.2 Lisování

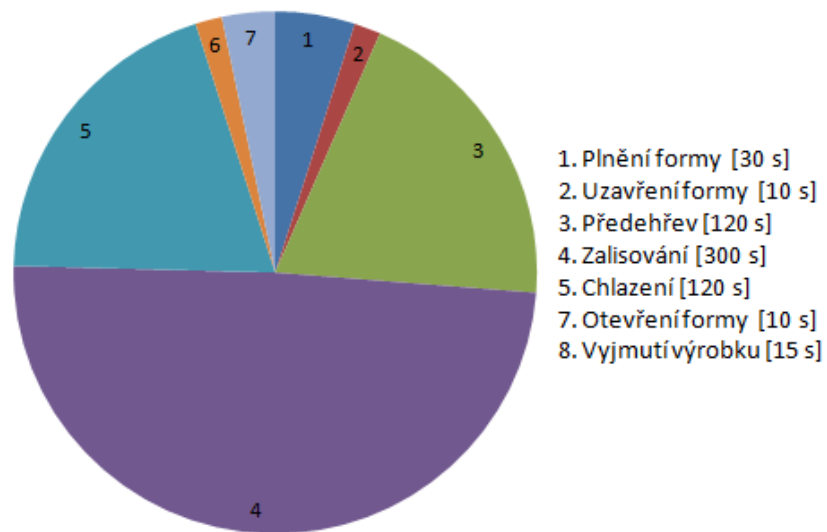
Pro správné stanovení účinků kapalin bylo potřeba část vstříkovaných vzorků nejdříve rozlisovat, aby se zvětšil jejich povrch a měření odpovídalo normě ČSN ISO 1817. Podle této normy jsme připravili od každého materiálu 3 vzorky. Lisování se provádělo na stroji od společnosti IGTT a.s. (obr. 15).



Obr. 15.: Lis

Do lisu vyhřátého na pracovní teplotu 150 °C se daly nahřát lisovací desky. Jakmile desky dosáhly požadované teploty, byly vytaženy z lisu na pracovní plochu. Na desku se položila separační folie, rámeček o tloušťce 1 mm, následně se přidal materiál, na něj se dala opět folie a vrchní deska. Takto nachystaná forma se dala do lisu, kde se nechal materiál určitou dobu předeřhát (viz obr. 16) a následně se forma uzavřela. Po daném čase byla forma přesunuta k ochlazení do mechanického lisu, dokud neklesla teplota pod asi 50 °C.

Následně se systém rozebral a vyjmul hotový výlisek. Tento postup se cyklicky opakoval až do vyrobení potřebného počtu kusů.



Obr. 16.: Časová náročnost lisování

5 ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE

Snímací elektronová mikroskopie byla použita za účelem sledování fázové struktury připravených plněných materiálů a taktéž za účelem ověření informací udávaných výrobcem koncentrátů v materiálových listech. Výrobce udává, že každá částice plniva je obalena tenkým filmem z termoplastu, který zabraňuje aglomeraci částic a usnadňuje další dispergaci částic vápence v konečném materiálu. Vedle dispergace byla sledována velikost částic a její distribuce. Lze taktéž sledovat, do jaké míry se plnivo spojí s HDPE.

Ke zjištění a ověření těchto kritérií byl použit elektronový mikroskop Phenom Pro z Laboratorního centra Fakulty technologické. Ten umožňuje několikanásobně větší přiblížení než mikroskop optický. To je zapříčiněné podstatně kratší vlnovou délkou proudu elektronů, oproti fotonům, částicím, jež používá mikroskop optický.

Vstříkovaná tělíska byla nejprve zchlazena pomocí kapalného dusíku a poté přelomena. Lomové plochy byly místem pro elektronovou mikroskopii. Fotografie povrchů byly snímány při 1000x a 5000x zvětšení.



Obr. 17.: Elektronový mikroskop

6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

U všech materiálů byly provedeny mechanické zkoušky. Cílem bylo zjistit, jak jednotlivá plniva o různých koncentracích ovlivní mechanické vlastnosti materiálu. Byla provedena zkouška tahem a zkouška vrubové houževnatosti.

6.1 Zkouška tahem

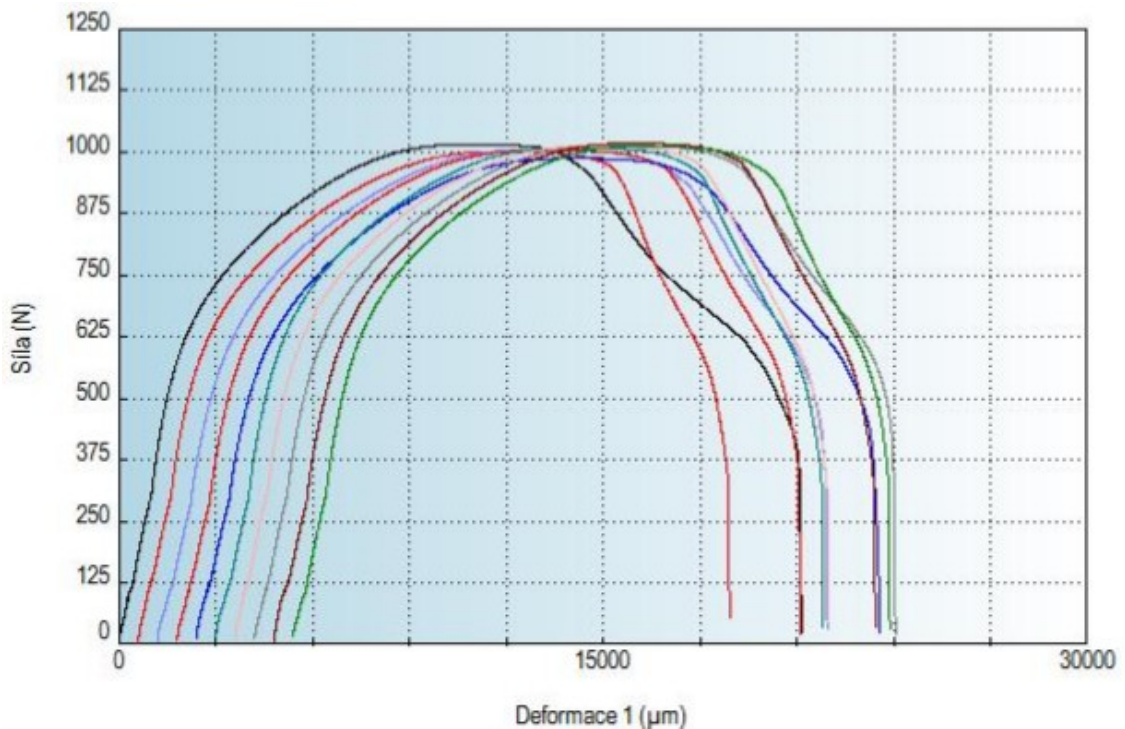
K provedení tahové zkoušky byl použit přístroj Quasar 25 od firmy Galdabini, nacházející se v jedné z laboratoří Laboratorního centra Fakulty technologické. K přístroji byl připojen počítač, na kterém byly nastaveny veškeré zkušební parametry. Počítač pak sloužil také ke zprostředkování naměřených dat.



Obr. 18.: Přístroj Quasar 25

Tahové vlastnosti polymerů jsou jedny z nejdůležitějších charakteristik, které se zjišťují. Zkoušený vzorek se upne do čelistí, přičemž se musí dbát na to, aby při zkoušce nedošlo k jeho prokluzu. Spodní čelist je pevná, horní čelist pak zajišťuje jednoosý tah, jímž je vzorek namáhán. Zkouška končí po přetržení materiálu. Výstupem zkoušky je tzv. deformační křivka, což je graf, na kterém je vykreslen průběh poměrného prodloužení na normálovém napětí. Průběh zkoušky je zobrazen na obr. 19. Konkrétně se jedná o směs 75hm% HDPE

a 25hm% koncentrátu Granic 742. V grafu je zobrazená celá série, tedy 10 měření tohoto materiálu.



Obr. 19.: Průběh tahové zkoušky

Samotná zkouška měla dvě fáze, jež se lišily rozdílnou rychlostí posuvu horní čelisti. V první fázi se zjišťoval modul pružnosti v tahu, který se měřil v intervalu poměrného prodloužení 200 - 1000 μm. Do konce tohoto intervalu byla rychlost posuvu čelistí 1 mm/min. V druhé fázi se rychlost zvětšila a čelisti se od sebe posouvaly rychlostí 10 mm/min až do samotného přetržení, kdy se zkouška ukončila. Postup zkoušky probíhal stejně pro všechny série vzorků.

6.2 Zkouška vrubové houževnatosti

Dynamická zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na Charpyho kladivu v laboratoři Centra polymerních systémů. Na zkušebním tělese opatřeném vrubem se zjišťuje kinetická energie kyvadlového rázového kladiva, potřebná k přelomení zkušebního tělesa, podle vztahu:

$$KU = G (h_1 - h_2) [J] \quad (1)$$

Kde:

KU ... spotřebovaná rázová práce

G gravitační konstanta (9,81)

h_1 výchozí výška kladiva

h_2 konečný výška kladiva

Vrubová houževnatost se pak spočítá ze vztahu:

$$KCU = \frac{KU}{S} \left[\frac{J}{cm^2} \right] \quad (2)$$

kde:

KCU ... vrubová houževnatost

KU spotřebovaná rázová práce

S původní průřez zkušebního tělesa

Před samotnou zkouškou bylo potřeba upravit vzorky vyfrézováním 2 mm hlubokého vrubu typu U, za účelem iniciace lomu v místě vrubu, tedy uprostřed. Každý vzorek se musel před zkouškou změřit a jeho rozměry zapsat do počítače. Díky přesně naměřeným rozměrům všech těles se mohla zkouška vyhodnotit s větší přesností. Takto připravené těleso se vložilo mezi dvě podpory tak, aby vrub ležel na opačné straně, než na kterou kladivo narází, a zároveň, aby byl vrub v ose dopadu kladiva. Následně se kladivo spustilo z výchozí polohy a přerazilo vzorek. Software poté zkoušku vyhodnotil a spočítal spotřebovanou rázovou práci i samotnou vrubovou houževnatost.



Obr. 20.: Charpyho kladivo



Obr. 21.: Vrubovačka

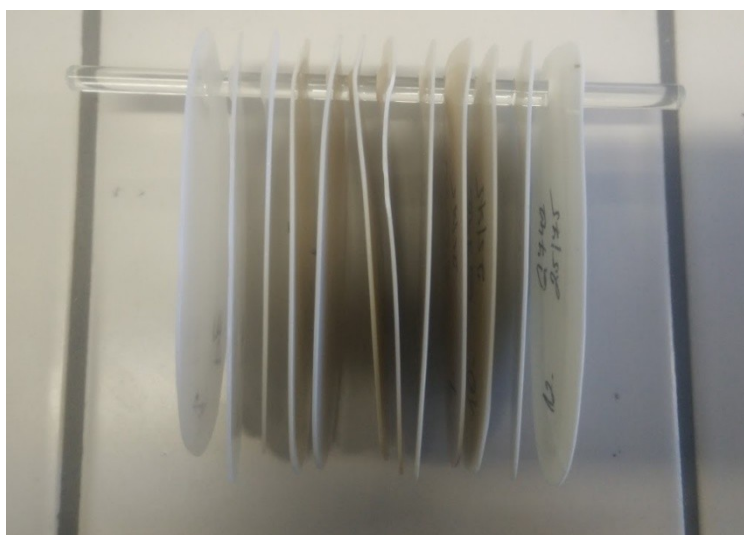
7 CHEMICKÉ ZKOUŠKY

Vzhledem k tomu, že zamýšlené obaly z plněného HDPE jsou využívány na uchování rozličných kapalin, bylo potřeba zjistit, jak na směs HDPE s plnivem působí různé kapalné látky.

7.1 Stanovení účinku kapalin

Podstatou experimentu bylo zjistit, jaké účinky mají zvolené kapaliny na připravené směsi HDPE s koncentráty. Vzorky byly testovány ve třech prostředích. Kyselina chlorovodíková zastupovala kyseliny, hydroxid sodný zásady a jako nepolární organické rozpouštědlo byl zvolen xylen. Kyselina chlorovodíková byla čistá, koncentrovaná na 35 %. Hydroxid sodný v pevném skupenství jsme rozpustili v takovém množství destilované vody, aby vznikl nasycený roztok.

Test byl proveden dle ČSN EN ISO 175. Podle této normy bylo třeba zajistit, aby měly vzorky plochu přibližně 7200 mm², čehož bylo dosaženo lisováním. Takto byly připraveny vždy tři vzorky od každé koncentrace. Do vzorků byly děrovačkou vyseknuty díry. Navlečením na skleněnou tyčinku bylo dosaženo toho, aby se vzorky vzájemně nedotýkaly.



Obr. 22.: Vzorky připravené k experimentu

Připravená zkušební tělesa se vložila do skleněné nádrže a zalila zkušební kapalinou. Ta se nechala působit po stanovený čas.

Od každého materiálu jsme testovali tři zkušební vzorky. Test jsme vyhodnocovali podle vztahu:

$$m = \left(\frac{m_i}{m_0} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde:

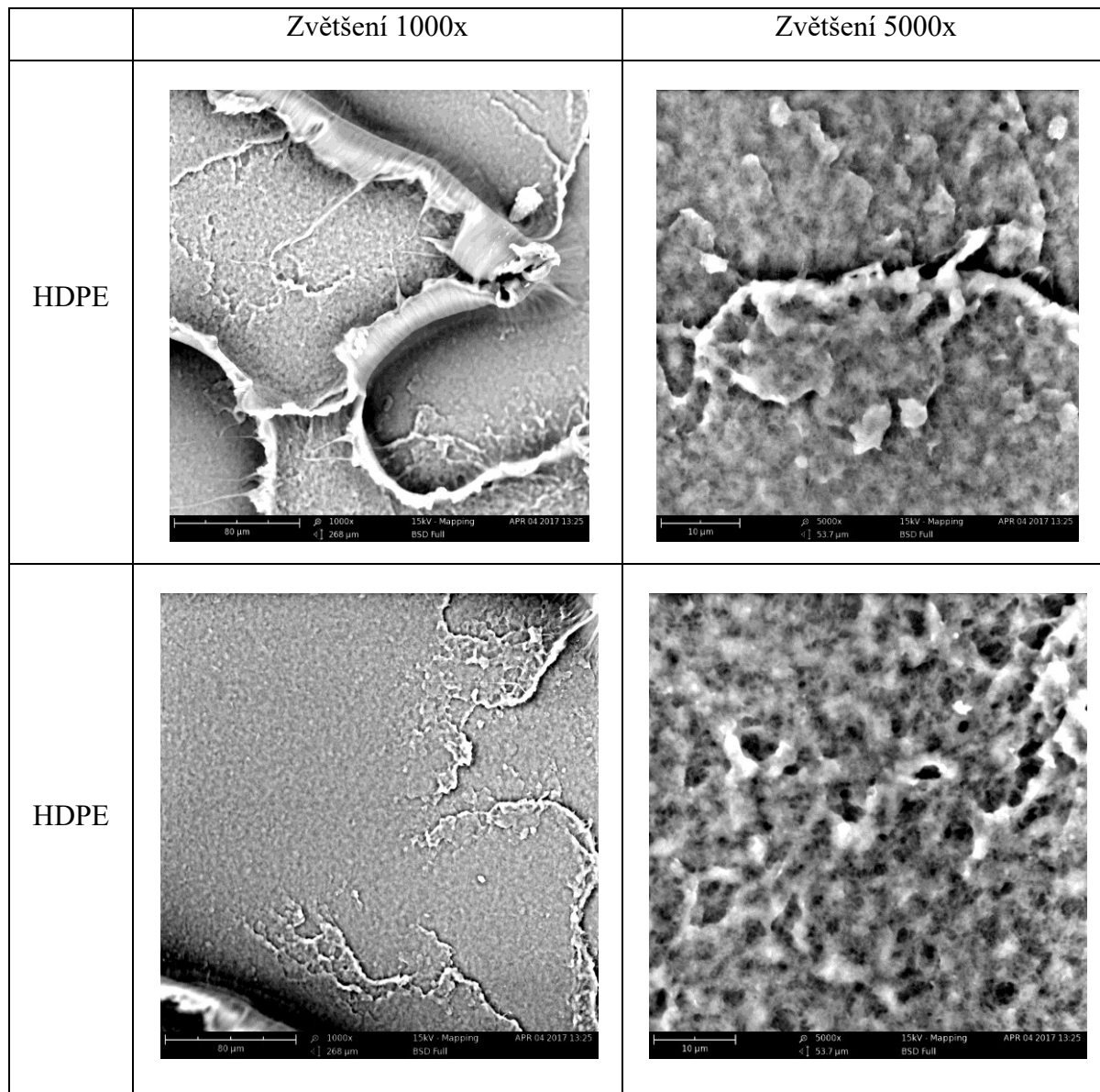
m_i ... konečná hmotnost vzorku

m_0 ... počáteční hmotnost vzorku

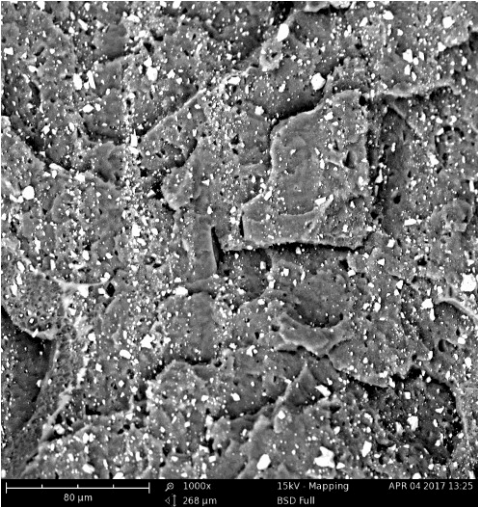
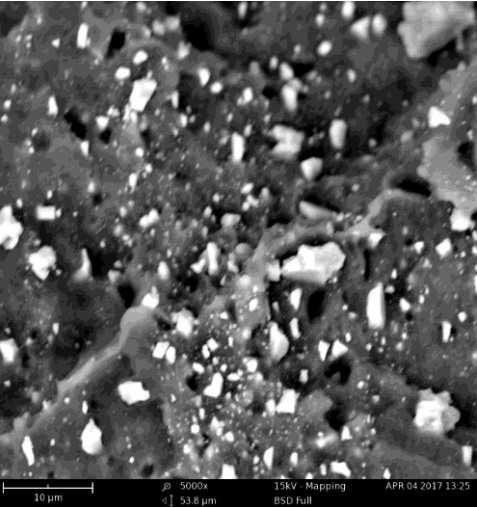
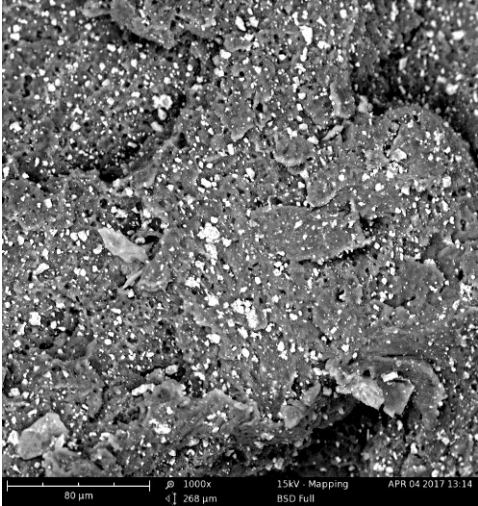
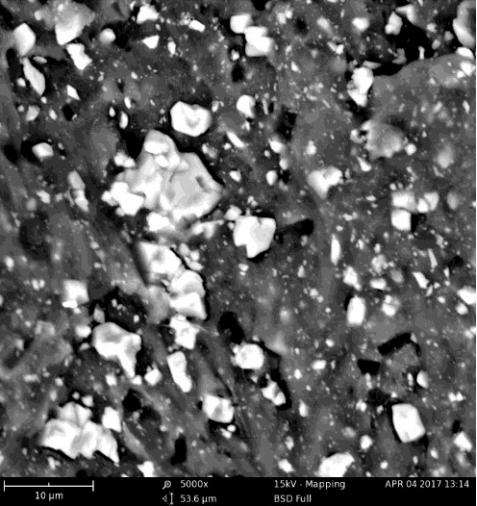
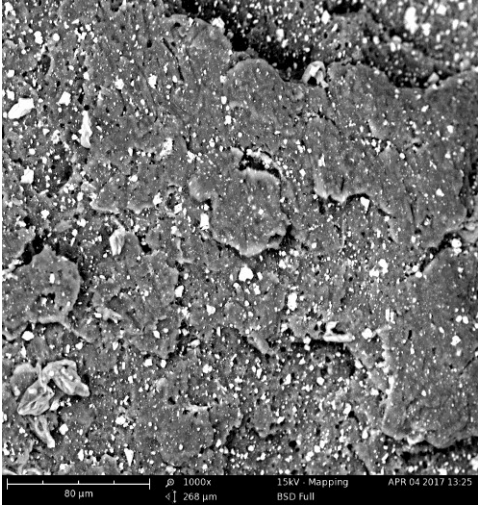
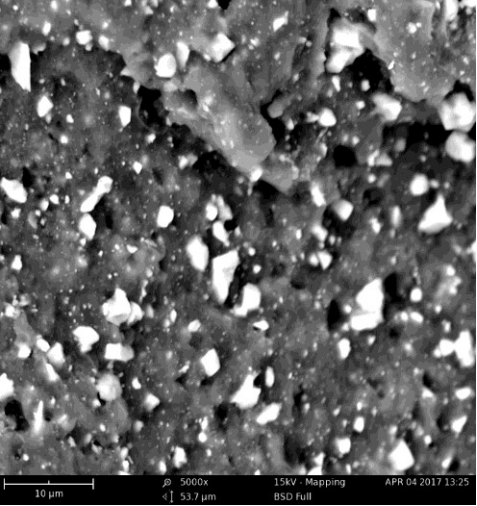
Za výsledek se považuje medián tří výsledků jednoho materiálu.

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

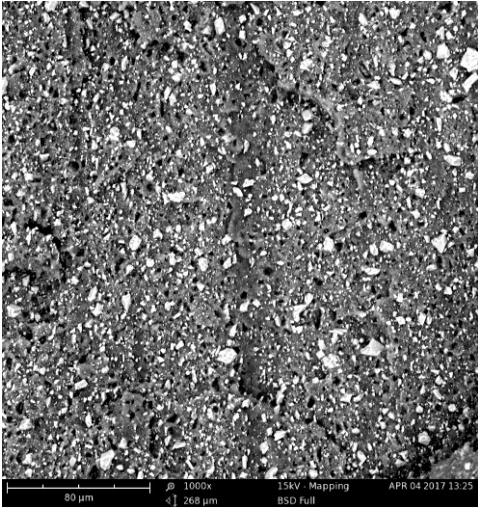
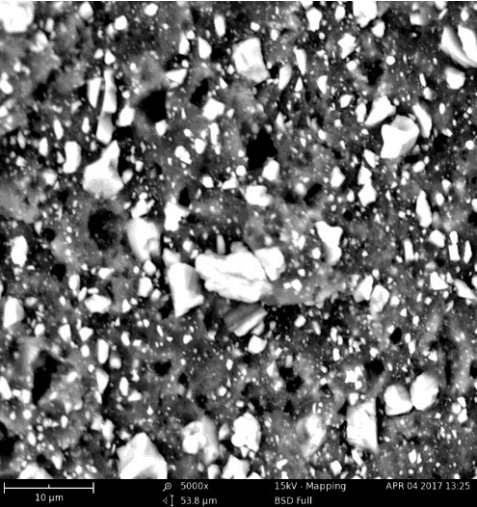
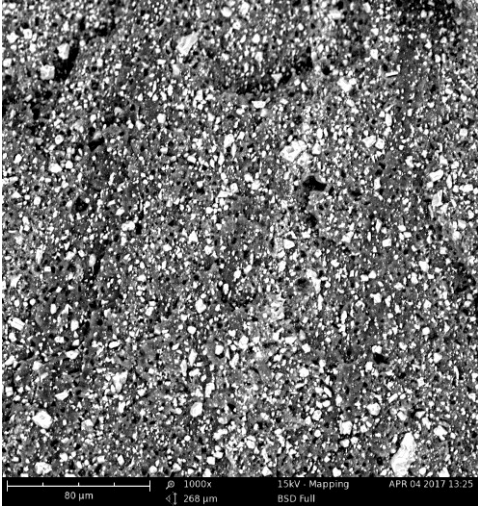
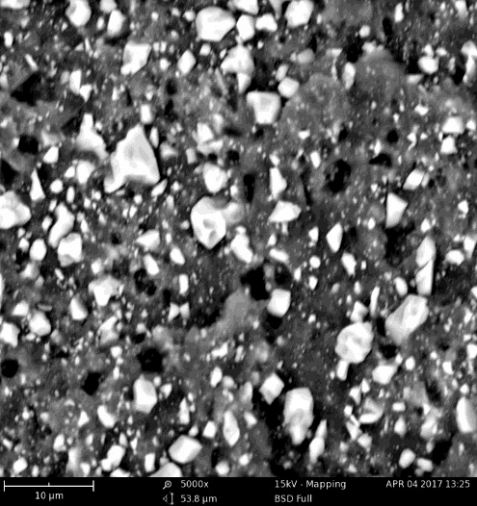
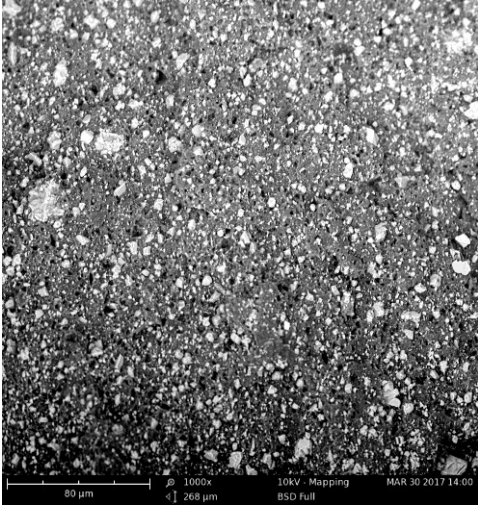
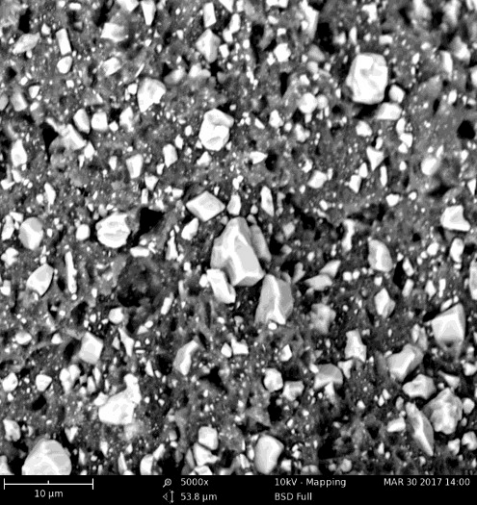
8.1 Elektronová mikroskopie



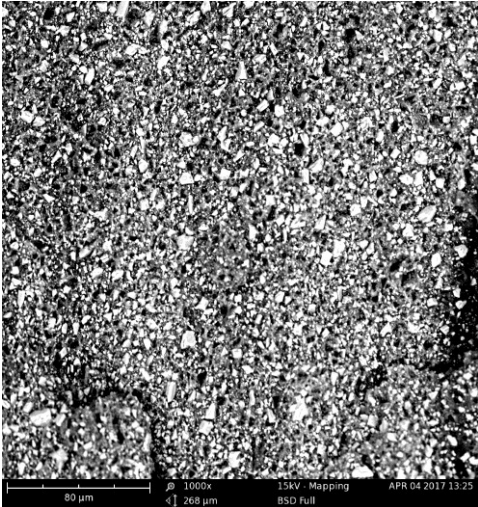
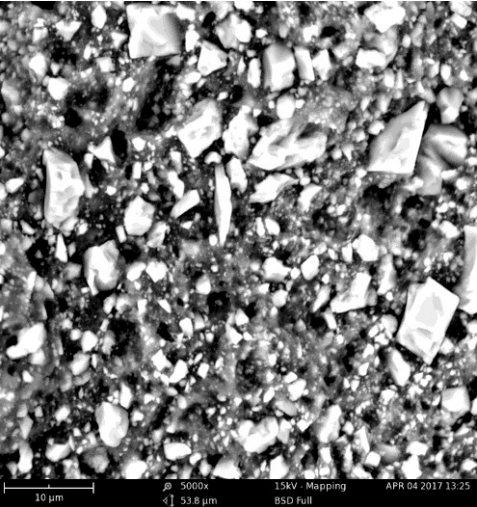
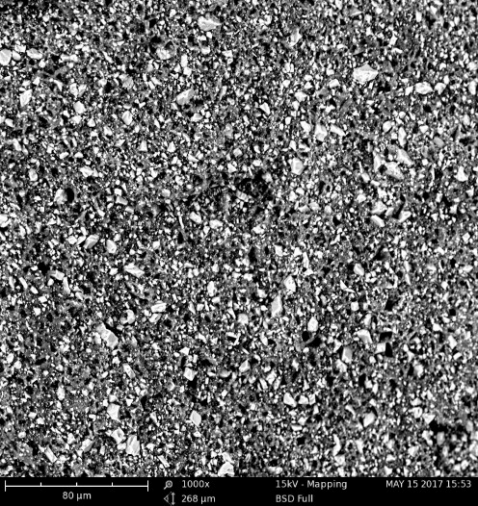
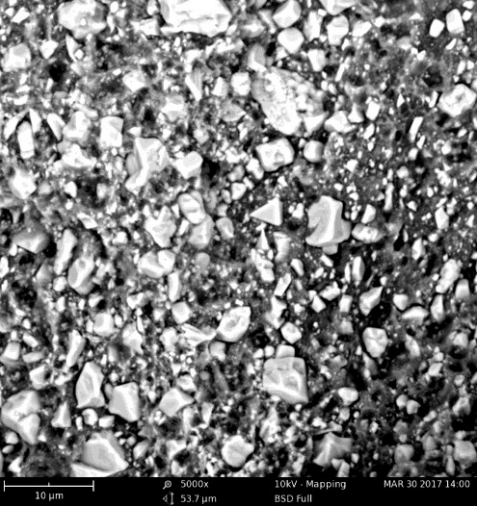
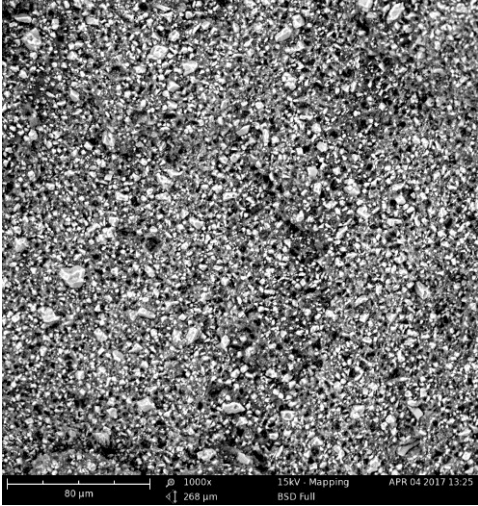
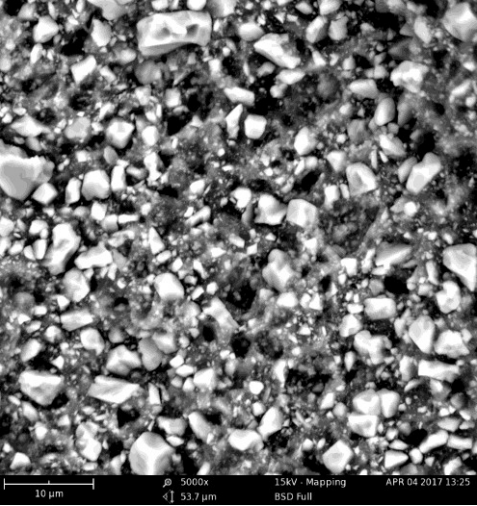
Obr. 23.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 100hm% HDPE

Plnivo	Zvětšení 1000x	Zvětšení 5000x
G742		
S380		
S382W		

Obr. 24.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 75hm% HDPE:25hm% koncentrát

Plnivo	Zvětšení 1000x	Zvětšení 5000x
G742		
S380		
S382W		

Obr. 25.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 50hm% HDPE:50hm% koncentrát

Plnivo	Zvětšení 1000x	Zvětšení 5000x
G742		
S380		
S382W		

Obr. 26.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 25hm% HDPE:75hm% koncentrát

Jak můžeme vidět na obrázcích 24, 25 a 26, při porovnání jednotlivých fotografií nelze vypořádat žádný signifikantní rozdíl. Struktura všech značek plniv je velice podobná. U všech koncentrátů je rovnoměrná distribuce a takřka žádná aglomerace. Rozmístění částic je rovnoměrné a nikde nedochází k jejich shluku a spojování. U fotografie směsi materiálu 75hm% HDPE/25hm% Schulacarb 380, která byla snímána s 5000x zvětšením, nicméně lze vidět větší množství plniva na jednom místě blízko u sebe. Přesto očividně nedochází ke spojování částic, nejspíš právě díky tenkému filmu z termoplastu, kterými jsou obalené. Větší hustota částic na jednom místě je způsobena náhodou, neboť při pohledu na fotografii při zvětšení 1000x takový shluk již nikde nenajdeme.

Dalším sledovaným parametrem byla velikost částic. Materiálové listy (viz tab. 1) předepisují pro každý typ koncentrátu jinou velikost částic. Například u koncentrátu Granic 742, údaj $D_{50} = 2,3 \mu\text{m}$ znamená, že 50 % částic bude menších, než $2,3 \mu\text{m}$. Tento parametr je uvedený u všech typů koncentrátů. Výrobce Granic 742 pak také navíc udává další důležitý údaj, $D_{95} = 10,8 \mu\text{m}$. Tím garantuje, že pouze 5 % částic může být větších než $10,8 \mu\text{m}$. Na každé fotce je v dolní části měřítko. Při pohledu na fotografie při větším zvětšení tedy lze porovnat měřítko s velikostmi částic. Je těžko hodnotit, kolik procent má jakou velikost částic, přesto lze tvrdit, že se na obrázcích nevyskytuje mnoho částic, které by se blížily velikosti měřítka, tedy $10 \mu\text{m}$.

8.2 Výsledky mechanických zkoušek

8.2.1 Zkouška tahem

Sledovanými parametry byly modul pružnosti, mez pevnosti a poměrné prodloužení v místě maximálního zatížení.

	E [Mpa]									
	100% PE	Granic 742			Schulacarb 380			Schulacarb 382W		
		75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE
1.	525	778	945	1156	586	748	915	647	891	930
2.	539	740	959	1189	566	732	904	596	862	943
3.	556	766	980	1145	616	733	887	617	873	939
4.	529	766	939	1153	624	749	900	645	880	971
5.	544	766	950	1172	611	773	833	617	851	933
6.	541	754	922	1127	617	772	843	629	862	939
7.	502	753	979	1094	596	777	839	618	870	970
8.	537	760	970	1098	615	714	920	651	843	980
9.	541	742	956	1148	657	748	897	637	840	936
10.	528	784	978	1147	617	757	826	614	867	960
Průměr	534	761	958	1143	611	750	876	627	864	950
Smoch.v	14	14	19	30	24	20	37	18	16	18
Chyba	5	4	6	9	8	6	12	6	5	6

Tab. 3.: Naměřené hodnoty modulu pružnosti E

V tabulce naměřených hodnot je již spočítaný aritmetický průměr každé série, jejich směrodatná odchylka výběru a chyba, tedy nejistota měření typu A, spočítaná vzorcem:

$$u_A = \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

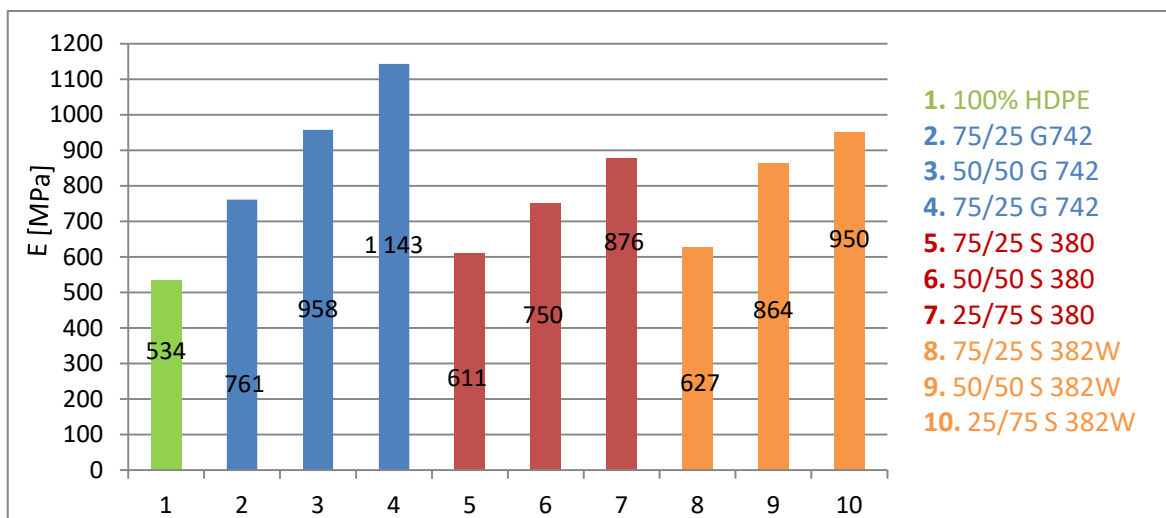
kde:

u_A ... nejistota měření typu A

\bar{s} směrodatná odchylka výběru

n počet měření

Po vynesení aritmetických průměrů do sloupcového grafu se získá následující srovnání materiálů:



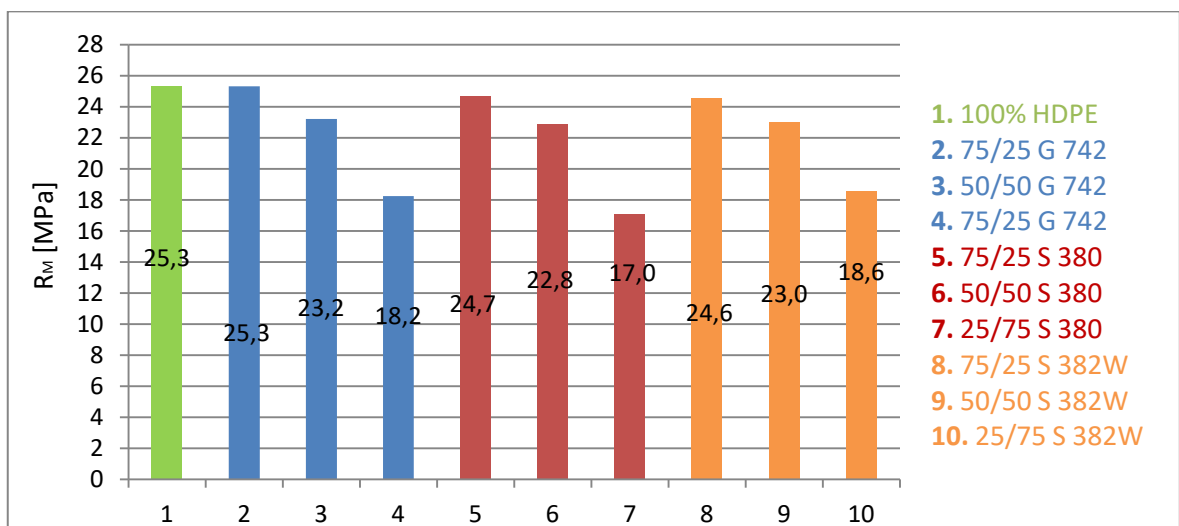
Obr. 27.: Srovnání výsledků modulu pružnosti E

Cílem je, aby byla hodnota modulu pružnosti koncentrované směsi co nejbližší k hodnotě čistého HDPE. Tuto podmínku nejlépe splňuje směs 75hm% HDPE a 25hm% koncentrátu Schulacarb 382W. Při vyšších koncentracích je pak lepší zvolit plni-vo Schulacarb 380. U Granic 742 byly u všech koncentrátů naměřeny nejvyšší hodnoty.

Stejným způsobem bylo postupováno i při vyhodnocení meze pevnosti v tahu.

	R_M [MPa]									
	100% PE	Granic 742			Schulacarb 380			Schulacarb 382W		
		75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE
1.	25,4	25,4	23,5	18,6	24,7	22,5	17,1	24,8	23,3	17,8
2.	25,4	25,6	23,3	18,5	24,5	23,0	16,6	24,8	22,9	18,5
3.	25,4	25,5	23,2	17,9	24,6	22,7	17,5	24,3	22,9	19,0
4.	25,4	25,4	22,6	18,3	24,8	22,7	17,5	24,6	23,1	19,0
5.	25,5	25,3	24,3	18,1	24,8	22,7	15,5	24,6	23,4	17,8
6.	25,5	24,8	22,3	18,6	24,9	22,4	16,7	24,5	23,2	19,8
7.	25,1	25,2	23,2	18,4	24,8	22,7	19,2	24,4	23,0	17,9
8.	25,4	25,2	23,5	17,8	24,3	23,8	16,8	24,7	22,4	17,8
9.	25,0	25,2	23,2	18,1	24,7	23,4	17,5	24,7	22,5	19,0
10.	25,2	25,5	23,2	18,2	24,7	22,5	16,1	24,3	23,2	19,1
Průměr	25,3	25,3	23,2	18,3	24,7	22,8	17,0	24,6	23,0	18,6
Smodch.v	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2	0,4	1,0	0,2	0,3	0,7
Chyba	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2

Tab. 4.: Naměřené hodnoty meze pevnosti R_M



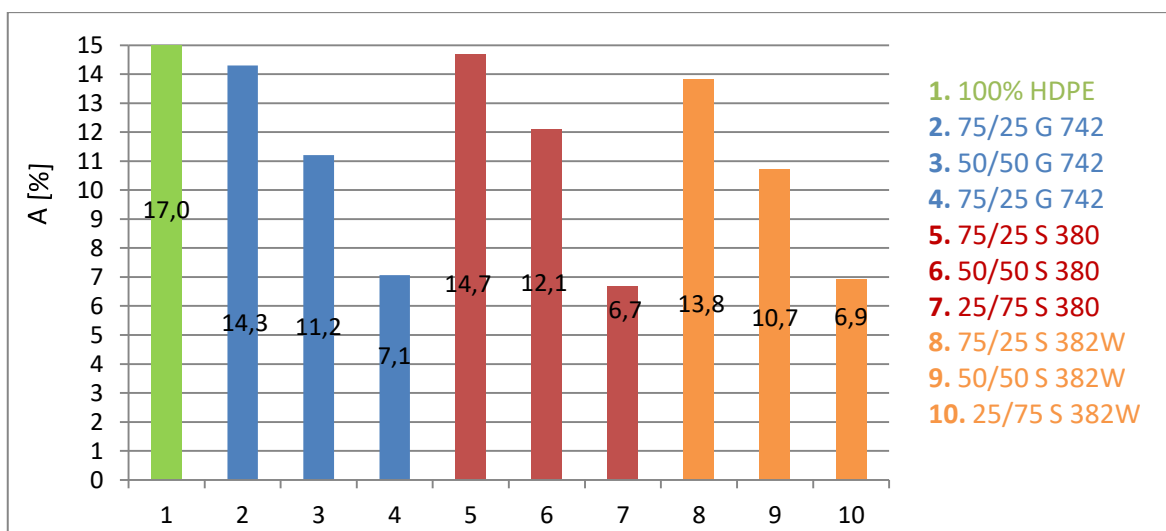
Obr. 28.: Srovnání výsledků meze pevnosti R_M

Z grafu je jasně patrné, že se mez pevnosti v tahu u materiálu s 25 % koncentrátu nijak zvlášť neodchyluje od výsledků měření čistého HDPE. 25 % koncentrátu ve směsi

tedy nemá na maximální pevnost materiálu vliv. Pevnost začíná klesat až při větším procentu koncentráту ve směsi. Při srovnání jednotlivých značek koncentrátů je zřejmé, že hodnotami se k čistému HDPE nejvíce blíží Granic 742. Rozdíly však nejsou natolik velké, aby tento parametr měl zásadní vliv na volbu koncentráту.

	A [%]									
	100% PE	Granic 742			Schulacarb 380			Schulacarb 382W		
		75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE
1.	17,7	13,8	10,9	7,2	15,3	11,9	6,2	13,9	10,8	4,8
2.	16,9	13,9	12,0	6,8	15,1	12,3	5,6	13,9	10,6	6,6
3.	16,7	14,2	10,8	6,8	14,4	11,8	7,4	13,9	10,4	8,3
4.	17,2	14,2	11,1	6,9	14,2	12,2	7,3	13,9	10,7	7,6
5.	16,0	13,7	12,3	7,2	14,9	11,4	6,2	13,9	11,1	6,4
6.	16,5	14,8	11,4	6,9	15,3	11,9	5,9	13,5	10,7	8,2
7.	17,2	14,8	10,8	7,5	14,9	11,8	9,4	13,9	10,5	5,9
8.	16,7	15,3	10,9	7,1	14,4	13,4	5,6	13,5	10,8	5,6
9.	17,1	14,5	11,0	6,9	13,8	12,5	8,1	13,9	10,5	7,3
10.	17,6	13,9	10,8	7,2	14,5	11,5	4,9	14,1	11,2	8,3
Průměr	16,9	14,2	11,2	7,1	14,7	12,1	6,7	13,8	10,7	6,9
Smodch.v	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,6	1,4	0,2	0,3	1,2
Chyba	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4

Tab. 5.: Naměřené hodnoty poměrného prodloužení A



Obr. 29.: Srovnání výsledků meze poměrného prodloužení A

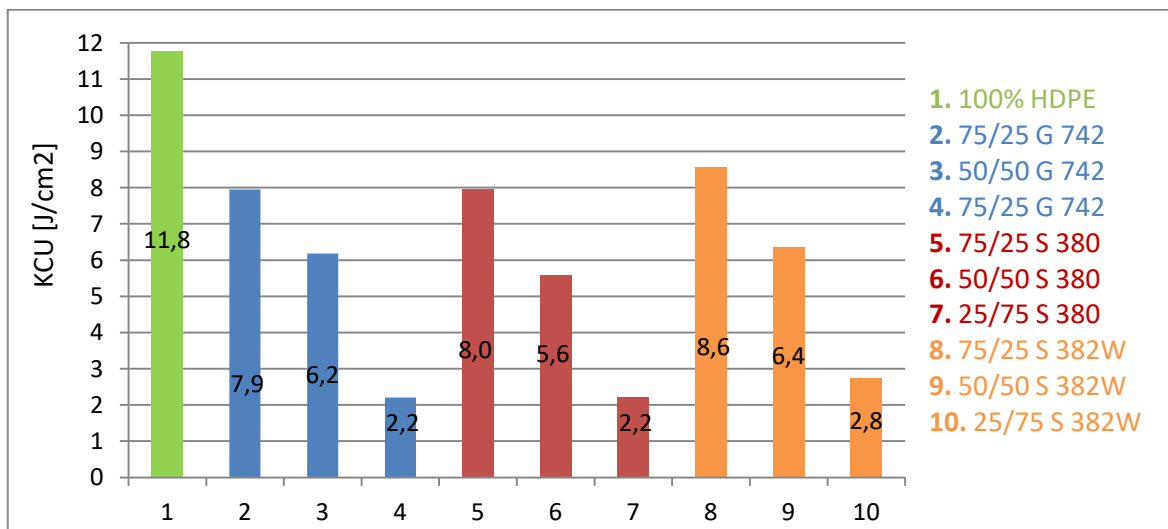
Výsledky poměrného prodloužení jsou vztaženy k hodnotám maximální zatěžující síly. U směsi s 25 % koncentráту je poměrné prodloužení jen o něco málo menší než u čistého HDPE. Znatelně menší prodloužení zaznamenáváme až u více koncentrovaných

směsí. Ze všech koncentrátů nejlépe vychází Shulacarb 380, jež se se svými výsledky blíží k čistému HDPE nejvíce.

8.2.2 Zkouška vrubové houževnatosti

	KCU [J/cm ²]									
	100% PE	Granic 742			Schulacarb 380			Schulacarb 382W		
		75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE	75%PE	50%PE	25%PE
1.	11,8	8,1	6,0	2,1	7,8	6,0	2,5	8,4	6,5	3,2
2.	11,8	7,9	6,9	3,3	8,0	5,8	2,1	9,0	6,3	3,6
3.	11,8	8,0	5,7	2,2	8,2	5,6	2,9	8,6	6,1	2,3
4.	11,7	7,8	6,1	2,1	8,0	5,6	2,0	8,5	6,0	2,2
5.	12,1	7,8	6,2	2,8	8,0	6,1	1,9	8,3	6,4	3,6
6.	12,5	8,2	6,0	1,7	8,4	5,5	2,2	8,8	6,3	2,7
7.	11,7	8,4	6,1	2,5	8,0	5,3	1,9	8,8	6,4	2,9
8.	11,7	7,5	6,5	1,7	7,6	5,7	2,1	7,7	6,7	2,8
9.	12,0	7,6	6,2	1,8	7,9	5,5	2,0	8,8	6,3	1,8
10.	10,9	8,1	6,2	1,8	7,7	4,8	2,7	9,1	6,5	2,5
Průměr	11,8	8,0	6,2	2,2	8,0	5,6	2,2	8,6	6,4	2,8
Smodch.v	0,4	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6
Chyba	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

Tab. 6.: Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti KCU



Obr. 30: Srovnání výsledků vrubové houževnatosti KCU

Obr. 30 ukazuje, že vrubová houževnatost se s rostoucím množstvím plniva rapidně snižuje. Materiál se tedy stává zdatně křehčím. Ze všech materiálů má nejlepší odolnost vůči porušení směs s koncentrátem Schulacarb 382W.

8.3 Výsledky chemických zkoušek

8.3.1 Účinek HCl

č. vzorku	Materiál	m ₀ [g]	m ₁ [g]	m ₃ [g]	m ₇ [g]	m [%]	Medián [%]
1.	100% HDPE	2,9935	2,9895	2,9896	2,9898	99,88	99,38
2.	100% HDPE	2,9997	2,9858	2,9818	2,9812	99,38	
3.	100% HDPE	3,0225	2,9878	2,9885	2,9868	98,82	
4.	75/25 Granic 742	3,5228	3,4917	3,5025	3,5145	99,76	100,47
5.	75/25 Granic 742	3,4978	3,4790	3,4914	3,5232	100,73	
6.	75/25 Granic 742	3,5369	3,5274	3,5398	3,5535	100,47	
7.	50/50 Granic 742	3,8351	3,8310	3,8428	3,825	99,74	97,03
8.	50/50 Granic 742	4,1625	4,1244	4,1040	4,0387	97,03	
9.	50/50 Granic 742	4,1956	4,1505	4,1346	4,064	96,86	
10.	25/75 Granic 742	5,0837	4,1810	4,1934	4,1156	80,96	80,10
11.	25/75 Granic 742	5,0289	4,0725	4,0796	4,0281	80,10	
12.	25/75 Granic 742	5,0633	4,1347	4,1323	4,0081	79,16	
13.	75/25 Schulacarb 380	3,5909	3,5704	3,5833	3,5964	100,15	100,24
14.	75/25 Schulacarb 380	3,5659	3,5464	3,5605	3,5743	100,24	
15.	75/25 Schulacarb 380	3,4971	3,4788	3,4921	3,5071	100,29	
16.	50/50 Schulacarb 380	4,1791	4,1489	4,1520	4,1339	98,92	98,95
17.	50/50 Schulacarb 380	4,1971	4,1649	4,1676	4,1530	98,95	
18.	50/50 Schulacarb 380	4,1278	4,1017	4,1029	4,0906	99,10	
19.	25/75 Schulacarb 380	5,2565	3,9613	3,9512	3,9242	74,65	81,90
20.	25/75 Schulacarb 380	5,0517	4,2227	4,1921	4,1373	81,90	
21.	25/75 Schulacarb 380	4,7411	4,3752	4,3488	4,2894	90,47	
22.	75/25 Schulacarb 382W	3,4910	3,4970	3,5001	3,5229	100,91	100,91
23.	75/25 Schulacarb 382W	3,4763	3,4812	3,4903	3,5069	100,88	
24.	75/25 Schulacarb 382W	3,4792	3,4846	3,4939	3,5297	101,45	
25.	50/50 Schulacarb 382W	4,0715	4,0575	4,0674	4,0645	99,83	99,75
26.	50/50 Schulacarb 382W	4,0439	4,0307	4,0393	4,0338	99,75	
27.	50/50 Schulacarb 382W	4,0835	4,0651	4,0727	4,0720	99,72	
28.	25/75 Schulacarb 382W	5,0932	4,0846	4,0706	4,0660	79,83	82,02
29.	25/75 Schulacarb 382W	5,0654	4,1775	4,1607	4,1548	82,02	
30.	25/75 Schulacarb 382W	4,9734	4,2375	4,2186	4,2097	84,64	

Tab. 7.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku HCl

Kyselina chlorovodíková byla čistá, koncentrovaná na 35 %. Výsledky účinku HCl jsou velmi zajímavé. 25 % a 50 % zastoupení koncentrátu ve směsi totiž nemá tak značný vliv na změnu hmotnosti, jako směs se 75 % koncentrátu. Test trval po dobu sedmi dní, za tu dobu klesla hmotnost u nejvíce koncentrované směsi na 80,1 – 82 % původní hmotnosti, hmotnost vzorků se tedy snížila téměř o pětinu. Ztráta hmotnosti je způsobena reakcí částic vápníku s kyselinou na povrchu vzorku. K úbytku hmotnosti mohlo také dojít díky tomu,

že částice plniva jsou u nejvíce koncentrované směsi mnohem blíže u sebe, kyselina tak mohla prostoupit z částice na částici hlouběji do materiálu. Chemická reakce probíhala podle rovnice $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Voda se tedy uvolňovala do kyseliny, bublinky CO_2 bylo možné sledovat, jak vystupují z materiálu směrem na hladinu. U materiálů s 25 % zastoupením koncentrátu se hodnoty dostaly mírně nad 100 % původní hmotnosti. To je způsobeno nejspíše nedokonalým vysušením vzorků.

8.3.2 Účinek NaOH

č. vzorku	Materiál	m_0 [g]	m_1 [g]	m_3 [g]	m_7 [g]	m [%]	Medián [%]
1.	100% HDPE	2,9741	2,9729	2,9736	2,9735	99,98	99,98
2.	100% HDPE	2,9640	2,9623	2,9631	2,9624	99,95	
3.	100% HDPE	2,9789	2,9783	2,9779	2,9790	100,00	
4.	75/25 Granic 742	3,5179	3,5162	3,5167	3,5160	99,95	99,94
5.	75/25 Granic 742	3,4908	3,4886	3,4878	3,4888	99,94	
6.	75/25 Granic 742	3,4856	3,4840	3,4832	3,4829	99,92	
7.	50/50 Granic 742	4,1269	4,1254	4,1235	4,1223	99,89	99,89
8.	50/50 Granic 742	4,1288	4,1249	4,1236	4,1224	99,84	
9.	50/50 Granic 742	3,9635	3,9628	3,9613	3,9613	99,94	
10.	25/75 Granic 742	5,0231	5,0212	5,0185	5,0164	99,87	99,87
11.	25/75 Granic 742	5,0527	5,0509	5,0478	5,0457	99,86	
12.	25/75 Granic 742	5,0710	5,0695	5,0674	5,0654	99,89	
13.	75/25 Schulacarb 380	3,4789	3,4772	3,4755	3,4771	99,95	99,98
14.	75/25 Schulacarb 380	3,5335	3,5323	3,5312	3,5327	99,98	
15.	75/25 Schulacarb 380	3,5022	3,5017	3,5010	3,5016	99,98	
16.	50/50 Schulacarb 380	4,1864	4,1708	4,1693	4,1686	99,57	99,85
17.	50/50 Schulacarb 380	4,1031	4,1019	4,0998	4,0996	99,91	
18.	50/50 Schulacarb 380	4,2147	4,2109	4,2086	4,2082	99,85	
19.	25/75 Schulacarb 380	5,1243	5,1236	5,1222	5,1223	99,96	99,98
20.	25/75 Schulacarb 380	5,0943	5,0919	5,0910	5,0940	99,99	
21.	25/75 Schulacarb 380	5,0313	5,0296	5,0282	5,0302	99,98	
22.	75/25 Schulacarb 382W	3,4662	3,4569	3,4562	3,4568	99,73	99,65
23.	75/25 Schulacarb 382W	3,5452	3,5334	3,5316	3,5328	99,65	
24.	75/25 Schulacarb 382W	3,6300	3,5772	3,5752	3,5770	98,54	
25.	50/50 Schulacarb 382W	4,0870	4,0534	4,0516	4,0516	99,13	99,77
26.	50/50 Schulacarb 382W	4,1103	4,1048	4,1042	4,1044	99,86	
27.	50/50 Schulacarb 382W	4,1485	4,1406	4,1397	4,1390	99,77	
28.	25/75 Schulacarb 382W	5,0933	5,0889	5,0903	5,0910	99,95	99,91
29.	25/75 Schulacarb 382W	5,0059	5,0028	5,0023	5,0013	99,91	
30.	25/75 Schulacarb 382W	4,8703	4,8625	4,8615	4,8610	99,81	

Tab. 8.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku NaOH

Chemická reakce CaCO_3 s NaOH by mohla probíhat podle rovnice $\text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$. V případě provedeného experimentu reakce probíhala tak pomalu, že na směsi neměla téměř žádný vliv a úbytek materiálu lze sledovat pouze v řádech setin procent. Hydroxid sodný nemá v tak krátké zkušební době téměř žádný vliv na úbytek, dokonce nezávisí ani na procentuálním zastoupení koncentrátů ve směsích.

8.3.3 Účinek xylenu

	Materiál	m_0	m_7	m_{18}	m [%]	Medián
1.	100% HDPE	2,9671	3,0678	3,1317	105,55	105,55
2.	100% HDPE	2,9894	3,0840	3,1551	105,54	
3.	100% HDPE	2,9633	3,0695	3,1394	105,94	
4.	25/75 Granic 742	5,0566	5,1134	5,1430	101,71	101,71
5.	25/75 Granic 742	5,0485	5,0944	5,1352	101,72	
6.	25/75 Granic 742	5,0300	5,0699	5,1088	101,57	
7.	25/75 Schulacarb 380	5,1154	5,1638	5,2204	102,05	102,05
8.	25/75 Schulacarb 380	4,5351	4,6010	4,6545	102,63	
9.	25/75 Schulacarb 380	5,1330	5,1822	5,2373	102,03	
10.	25/75 Schulacarb 382W	4,9902	5,0453	5,1025	102,25	102,25
11.	25/75 Schulacarb 382W	4,9760	5,0294	5,0853	102,20	
12.	25/75 Schulacarb 382W	5,0060	5,0674	5,1218	102,31	

Tab. 9.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku xylenu

Xylenu byly vystaveny pouze na směsi s největší koncentrací plniv a čisté HDPE. Jak lze vidět v tab. 9, při tomto testu dochází k nárůstu hmotnosti. U koncentrovaných směsí zhruba o 2 % oproti původní hmotnosti, u čistého materiálu to je ale o víc než 5 %. Xylen tedy difunduje do HDPE, který botná. Pokud by obaly měly sloužit pro uchování nepolárních rozpouštědel, bude vhodné použít koncentráty plniva. Z testovaných koncentrátů vyšel nejlépe Granic 742, u kterého došlo k nárůstu hmotnosti po osmnácti dnech pouze o 1,71 %.

8.4 Statistická analýza rozptylu

Výsledky materiálových směsí se stejným procentem různého koncentráty jsou velice podobné. Proto je na místě otázka, jestli nejsou koncentráty z hlediska srovnání mechanických vlastností totožné. Za tohoto předpokladu by byly rozdíly mezi výsledky náhodné. Tuhle problematiku spolehlivě řeší analýza rozptylu ANOVA. Ta jedním testem zjistí, zda je možné námi porovnávané střední hodnoty v souboru považovat za shodné či nikoliv.

Jako nulová hypotéza H_0 byl vzat předpoklad, že jsou koncentráty totožné. Hladina významnosti byla zvolena na $\alpha = 0,05$; $0,01$ a $0,001$. Byly porovnány mechanické vlastnosti materiálů se stejnou koncentrací plniv. Provedena byla analýza dat za použití jednofaktorové ANOVY v programu Microsoft Excel a zjištěna hodnota p . Výsledek $p > \alpha$ by znamenal potvrzení nulové hypotézy a tvrzení, že mezi koncentráty nejsou rozdíly, by bylo správné. Za předpokladu, že $p < \alpha$, je nulová hypotéza o shodě středních hodnot zamítnuta. Lze tedy tvrdit, že koncentráty jsou od sebe odlišné. Hodnota α říká, na kolik procent je tvrzení pravděpodobné.

E				
%PE/%plnivo	p	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
75/25	$1,53 \times 10^{-16}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
50/50	$2,45 \times 10^{-19}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
25/75	$1,79 \times 10^{-17}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$

Tab. 10.: Analýza rozptylu modulu pružnosti

Rm				
%PE/%plnivo	p	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
75/25	$5,25 \times 10^{-9}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
50/50	0,194	$p > \alpha$	$p > \alpha$	$p > \alpha$
25/75	$1,71 \times 10^{-4}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$

Tab. 11.: Analýza rozptylu meze pevnosti

A				
%PE/%plnivo	p	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
75/25	$5,93 \times 10^{-4}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
50/50	$3,34 \times 10^{-6}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
25/75	0,716	$p > \alpha$	$p > \alpha$	$p > \alpha$

Tab. 12.: Analýza rozptylu poměrného prodloužení

KCU				
%PE/%plnivo	p	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
75/25	$7,68 \times 10^{-5}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
50/50	$1,44 \times 10^{-5}$	$p < \alpha$	$p < \alpha$	$p < \alpha$
25/75	$3,89 \times 10^{-2}$	$p < \alpha$	$p > \alpha$	$p > \alpha$

Tab. 13.: Analýza rozptylu vrubové houževnatosti

Ve většině případů vyšlo, že $p < \alpha_{0,001}$. Z toho vyplývá, že v těchto případech můžeme s pravděpodobností 99,9 % zamítnout nulovou hypotézu. Koncentráty tedy nejsou totožné. Potvrzení nulové hypotézy vyšlo pouze u výsledků maximální pevnosti v tahu u 50 % směsi a u výsledků poměrného prodloužení, kde se nulová hypotéza potvrdila u směsi se 75 % podílem koncentrátu. Zajímavý je výsledek nejvíce koncentrované směsi

u vrubové houževnatosti, kde nulovou hypotézu můžeme vyvrátit, ale pouze s pravděpodobností 95 %. Z celkového hlediska lze konstatovat, že různé typy koncentrátů jsou od sebe odlišné a podobné výsledky mechanických zkoušek nejsou zapříčiněné náhodnou chybou.

9 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla provedena mikroskopická, mechanická a chemická analýza materiálů na bázi vysokohustotního polyethylenu a mikromletého vápence, které by mohly rozšířit materiálové portfolio firmy Greiner Packaging s.r.o. Mikroskopická analýza se prováděla za účelem ověření, jestli se zjištěné poznatky shodují s tím, co výrobci uvádějí v materiálových listech. Mechanickými a chemickými zkouškami bylo zjišťováno, jak se plněné směsi budou vlastnostmi lišit od čistého HDPE.

Po zhodnocení fotek pořízených pomocí elektronového mikroskopu lze potvrdit, že parametry garantované výrobcí koncentrátů v technických listech jsou založeny na reálných základech. Velikosti částic nejsou větší, než jaké uvádí výrobce. Taktéž nedochází k aglomeraci částic vápence. Distribuce částic je rovnoměrná.

Z mechanických zkoušek byla provedena zkouška tahem a test vrubové houževnatosti na Charpyho kladivu. U zkoušky tahem byly zjišťovány tři parametry, a to modul pružnosti, mez pevnosti v tahu a poměrné prodloužení při maximálním zatížení. Cílem bylo připravit směs s vlastnostmi blízkými vlastnostem čistého HDPE. U modulu pružnosti tuhle podmínku splňuje koncentrát Schulacarb 380, kde hodnoty modulu pružnosti vychází nejnižší, tedy nejbliže k hodnotě $E = 534,2$ MPa, jež byly naměřeny u čistého HDPE. Moduly pružnosti ostatních plniv jsou vyšší. Zvyšováním podílu koncentráту v HDPE se pak modul pružnosti značně zvětšuje. Naopak mez pevnosti se se zvětšujícím procentem plniva snižuje. V případě tohoto parametru jsou ale výsledky natolik podobné, že není možné doporučit konkrétní plnivo. Nepatrně lépe si však vedla směs s koncentrátem Granic 742, jehož mez pevnosti u nejméně plněné směsi vyšla dokonce stejně jako u čistého HDPE, tedy

$R_m = 25,3$ MPa. Poměrné prodloužení je u nejméně plněné směsi jen o trochu menší než u čistého HDPE. Při vyšších koncentracích se ale prodloužení značně snižuje. Nejlepších výsledků nejspíše dosahuje Schulacarb 380, avšak pouze v případě s 25% a 50% podílem koncentráту. Nejvíce koncentrovaná směs naopak ze všech koncentráту vykazuje výsledky nejhorší. Výsledky vrubové houževnatosti nám ukazují, že se odolnost proti porušení s větším procentem koncentráту v materiálu rapidně snižuje. Nejlepších výsledků dosáhl Schulacarb 380, jenž se svými výsledky nejvíce blíží k hodnotám vrubové houževnatosti čistého HDPE. Přesto jsou ale rozdíly. Například při 50 % zastoupení koncentráту v HDPE

je odolnost proti nárazu zhruba poloviční, oproti nekonzentrovanému HDPE, který má $KCU = 11,8 \text{ J/cm}^2$.

Chemická odolnost proti účinku kapalin byla testována ve třech prostředích. Nejzajímavějších výsledků bylo dosaženo při použití kyseliny chlorovodíkové. Ještě i u 50 % směsi byl zaznamenán úbytek v řádech několika málo procent, nejvíce u koncentrátu Granic 740 a to necelé 3 % z původní hmotnosti. Při 75% koncentraci plniva v HDPE ale dochází k rapidnímu úbytku materiálu, kde si lze povšimnout téměř pětínového úbytku hmotnosti, a to za pouhých 7 dní. Co se týče působení hydroxidu sodného, dochází k úbytku materiálu pouze v řádech desetin procent, navíc nezávisle na procentu použitého koncentrátu v materiálu. Množství koncentrátu tedy nemá na působení hydroxidem sodným velký vliv, neboť nedochází k žádné reakci, nebo k ní dochází velice pomalu. U experimentu s xylenem jako u jediné kapaliny zaznamenáváme nárůst hmotnosti. V tomto případě má ale množství plniva ve směsi pozitivní význam. Xylen totiž difunduje do HDPE, který botná. U HDPE tedy dochází k největší změně hmotnosti, a to až o 5,55 % oproti původní váze. Nejlépe si v tomto případě vede koncentrát Granic 742, při jehož použití se hmotnost zvyšuje nejméně a to pouze o 1,71 %.

Když se porovnají jednotlivá procentuální zastoupení koncentrátů, lze dojít k závěru, že použití 25hm% HDPE spolu se 75hm% jakéhokoliv koncentrátu je v podstatě nereálné, protože mechanické vlastnosti jsou nedostačující. Kvůli velmi malé vrubohé houževnatosti by mohlo snadno dojít k prasknutí lahve, například při pádu z výšky. Tomuto také nahrává fakt, že plnivo je několikrát těžší než HDPE. Při zachování stejné hmotnosti by tedy měl produkt příliš tenkou stěnu, což by pak nenahrávalo ani odolnosti proti chemikáliím, zvláště pak kyselinám.

50% zastoupení koncentrátu ve směsi se může použít u lahví, které se používají na plnění rozpouštědly, popřípadě zásaditými látkami. I v tomto případě se ale musí počítat se značně horšími mechanickými vlastnostmi. I takové množství plniva je v praxi ojedinělé. Výsledky experimentu s rozpouštědlem ale dokazují, že větší množství koncentrátu se pro použití produktu pro tento typ kapaliny může vyžadovat.

Při kladení důrazu na mechanické vlastnosti vychází nejlépe nejméně koncentrovaná směs materiálu, kde bylo použito 25hm% koncentrátu. Tato směs je vhodná snad pro všechny účely, zvláště pak pro kyseliny, kde při této koncentraci nedochází téměř k žádné

reakci. Výjimkou pak mohou být již zmíněná rozpouštědla, u kterých má větší množství plniva kladný význam.

Ze srovnání jednotlivých koncentrátů lze konstatovat, že z pohledu mechanických vlastností vychází nejlépe Schulacarb 380. Pouze při použití lahví pro rozpouštědla vyšel v testu lépe koncentrát Granic 742.

Jelikož jsou výsledky testů pro různé typy koncentrátů velmi podobné, lze očekávat, že při výběru koncentrátu budou hrát roli i další vlivy, jako například cena a dostupnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ducháček V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [2] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>
- [3] Vasile, Cornelia Pascu, Mihaela. (2005). Practical Guide to Polyethylene. Smithers Rapra Technology. Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPGP00011/practical-guide-polyethylene/practical-guide-polyethylene>
- [4] Tripathi, Devesh. (2002). Practical Guide to Polypropylene. Smithers Rapra Technology. Online version available at:<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPGP00002/practical-guide-polypropylene/practical-guide-polypropylene>
- [5] Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>
- [6] P. Švec, L. Rosík, Z. Horák, F. Večerka, Polystyren a jeho modifikace, SNTL, 368 s, 1. vydání, Praha, 1985
- [7] Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Polystyren>
- [8] Fry, Bill. (1999). Working with Polystyrene - Speaking of Plastics Manufacturing Series. Society of Manufacturing Engineers (SME). Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWSPMS1U/working-with-polystyrene/working-with-polystyrene>
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. [online]. Liberec, 2014 [cit. 2016-01-17]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [10] Rotheron, Roger N.. (2003). Particulate-Filled Polymer Composites (2nd Edition). Smithers Rapra Technology. Online version available at:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPFPCE001/particulate-filled-polymer/particulate-filled-polymer>
- [11] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování. [online]. 2016. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [12] ŠTĚPEK, Jiří. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Praha: SNTL, 1989.

- [13] Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14954/jarcovjak_2011_bp.pdf http-
- [14] AUSPERGER, Aleš. Technologie zpracování plastů. [online]. 2016. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [15] AVERY, J.: Injection Molding Alternatives, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [16] HLUCHÝ, M. A KOL.: Strojírenská technologie 2. SNTL Praha, 1979.
- [17] JARCOVJÁK, Petr. *Linka na vytlačování hadiček*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 55 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/14954>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Kyas, Kamil.
- [18] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. [online]. 2016. ISBN 978-80-88058-71-7
- [19] CRAWFORD R.J. : *Plastics Engineering*, Pergsmon Press, England. 1987.
- [20] CHARKOV, V. A.: *Theory and Practice of Deep Drawing*. MEP London, 1995
- [21] Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm#072

Seznam použitých symbolů a zkratek:

LLDPE	Lineární nízkohustotní polyetylen
LDPE	Nízkohustotní polyetylen.
HDPE	Vysokohustotní polyetylen
PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PS	Polystyren
SAN	Kopolymer Styren-Akrylonitril
HIPS	Houževnatý polystyren
ABS	Terpolymer akrylonitril-butadien-styren
D	Průměr
PET	Polyetylentereftalát
MFI	Melt Flow Index
ppm	Parts per Milion
nast.	Nastavený
mat.	Materiál
G742	Granic 742
S380	Schulacarb 380
S382W	Schulacarb 382W
Smodch.v	Výběrová směrodatná odchylka
E	Modul pružnosti v tahu
Rm	Mez pevnosti v tahu
A	Poměrné prodloužení
KCU	Vrubová houževnatost

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.: Chemický vzorec polyetylenu [2]</i>	12
<i>Obr. 3.: Chemický vzorec polypropylenu [5]</i>	13
<i>Obr. 2.: Struktura řetězců polyetylenu [4]</i>	13
<i>Obr. 4.: Chemický vzorec polystyrenu [7]</i>	14
<i>Obr. 5.: Vstřikovací cyklus[13]</i>	18
<i>Obr. 6.: Vstřikovací stroj [13]</i>	19
<i>Obr. 7.: Princip negativního tvarování [15]</i>	21
<i>Obr. 8.: Princip negativního tvarování s mechanickým předtvarováním [15]</i>	21
<i>Obr. 9.: Princip pozitivního podtlakového tvarování [15]</i>	22
<i>Obr. 10.: Princip pozitivního tvarování s pneumatickým předtvarováním [15]</i>	22
<i>Obr. 11.: Proces vytlačování [17]</i>	23
<i>Obr. 12.: Postup vytlačovacího vyfukování [21]</i>	25
<i>Obr. 13.: Struktura společnosti Greiner group [interní materiály]</i>	27
<i>Obr. 14.: Vstřikovací stroj</i>	29
<i>Obr. 15.: Lis</i>	30
<i>Obr. 16.: Časová náročnost lisování</i>	31
<i>Obr. 17.: Elektronový mikroskop</i>	32
<i>Obr. 18.: Přístroj Quasar 25</i>	33
<i>Obr. 19.: Průběh tahové zkoušky</i>	34
<i>Obr. 20.: Charpyho kladivo</i>	36
<i>Obr. 21.: Vrubovačka</i>	36
<i>Obr. 22.: Vzorky připravené k experimentu</i>	37
<i>Obr. 23.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 100hm%HDPE</i>	39
<i>Obr. 24.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 75hm% HDPE:25hm% koncentrát</i>	40
<i>Obr. 25.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 50hm% HDPE:50hm% koncentrát</i>	41
<i>Obr. 26.: Fotografie pořízené mikroskopem, materiál 25hm% HDPE:75hm% koncentrát</i>	42
<i>Obr. 27.: Srovnání výsledků modulu pružnosti E</i>	44
<i>Obr. 28.: Srovnání výsledků meze pevnosti R_M</i>	45
<i>Obr. 29.: Srovnání výsledků meze poměrného prodloužení A</i>	46

Obr. 30: Srovnání výsledků vrubové houževnatosti KCU 47

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.: Technické parametry koncentrátů [interní materiály]</i>	28
<i>Tab. 2.: Nastavení teplot</i>	30
<i>Tab. 3.: Naměřené hodnoty modulu pružnosti E</i>	44
<i>Tab. 4.: Naměřené hodnoty meze pevnosti R_M</i>	45
<i>Tab. 5.: Naměřené hodnoty poměrného prodloužení A</i>	46
<i>Tab. 6.: Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti KCU</i>	47
<i>Tab. 7.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku HCl</i>	48
<i>Tab. 8.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku NaOH</i>	49
<i>Tab. 9.: Naměřené hodnoty a výsledky účinku xylenu</i>	50
<i>Tab. 10.: Analýza rozptylu modulu pružnosti</i>	51
<i>Tab. 11.: Analýza rozptylu meze pevnosti</i>	51
<i>Tab. 12.: Analýza rozptylu poměrného prodloužení</i>	51
<i>Tab. 13.: Analýza rozptylu vrubové houževnatosti</i>	51