

Testování materiálových vlastností polymerů vhodných pro potravinářský průmysl

Bc. Zdenka Šandová

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav analýzy a chemie potravin
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdenka Šandová**
Osobní číslo: **T11842**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Testování materiálových vlastností polymerů vhodných pro potravinářský průmysl**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení výsledků měření.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

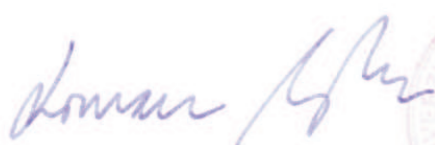
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. David Maňas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **11. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
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, považuji 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 10. 5. 2013

Zdenka Šandová
.....

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 nahlédnutí 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). Odpirá-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 pojednává o testování polymerních materiálů používaných k balení potravin. Teoretická část práce popisuje význam obalů v potravinářském průmyslu a představuje různé typy obalových materiálů. V praktické části byly testovány mechanické vlastnosti tří různých polyolefinů (PP, HDPE a LDPE) pomocí zkoušky tahem a zkouškou mikrotvrdosti. Získané výsledky byly statisticky i graficky vyhodnoceny.

Klíčová slova: Obal, Potraviny, Polymer, Mechanické vlastnosti

ABSTRACT

The thesis deals with testing of polymer materials used for food packaging. The theoretical part of the paper describes the principle and function of packaging in the food industry and presents the different types of packaging materials. In the practical part, the mechanical properties of three different polyolefin were tested by using tensile test and microhardness test. The results were evaluated statistically and graphically.

Keywords: Package, Grocery, Polymer, Mechanical properties

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a za věnovaný čas.

Dále bych ráda poděkovala mému manželovi a rodině za trpělivost, pochopení a morální podporu, kterou mi poskytovali během celé doby studia.

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

Ve Zlíně 10. 5. 2013

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 OBALY.....	12
1.1 HISTORIE	12
1.2 FUNKCE OBALŮ	13
1.2.1 Funkce ochranná.....	13
1.2.2 Funkce racionalizační	13
1.2.3 Funkce komunikační.....	14
1.3 OCHRANA POTRAVIN OBALEM.....	14
1.3.1 Ochrana obalem před mechanickým poškozením	14
1.3.2 Ochrana potravin před změnami vlhkosti	15
1.3.3 Ochrana obalem před oxido-redukčními procesy.....	16
1.3.4 Ochrana potravin obalem před změnami teplot a při tepelných procesech .	17
1.3.5 Ochrana potravin obalem před zářením	17
1.3.6 Ochrana potravin obalem před kontaminací cizorodými látkami	18
1.3.7 Ochrana potravin obalem před mikrobiálním znehodnocením	19
1.3.8 Ochrana potravin obalem před hmyzem a hlodavci	19
1.4 KLASIFIKACE OBALOVÝCH MATERIÁLŮ	20
1.5 OBALOVÉ MATERIÁLY VHODNÉ PRO VÝROBU OBALŮ	21
1.5.1 Dřevo.....	21
1.5.2 Papír	22
1.5.3 Tkaniny	24
1.5.4 Kovové obaly	24
1.5.5 Skleněné obaly.....	25
1.5.6 Požitelné obaly.....	26
1.5.7 Obaly z polymerních materiálů	27
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	28
2.1 STRUKTURA A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI POLYMERŮ.....	28
2.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	30
2.3 TERMOPLASTY	31
2.3.1 Polyolefiny	31
2.3.1.1 Polyetylen (PE).....	31
2.3.1.2 Polypropylen (PP).....	33
2.3.1.3 Polybuten (PB)	33
2.4 MECHANICKÉ TESTOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	34
2.4.1 Tahová zkouška	35
2.4.2 Zkoušky tvrdosti a mikrotvrdosti	35
2.4.3 Ohybová zkouška	36
2.4.4 Rázové zkoušky.....	37
3 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	40
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41

5.1	POUŽITÉ MATERIÁLY	41
5.1.1	Polyetyleny – HDPE, LDPE	41
5.1.2	Polypropylen – PP	42
5.2	ZPŮSOB PŘÍPRAVY VZORKŮ	42
5.2.1	Výroba a příprava zkušebních těles	42
5.2.2	Tvar a rozměry zkušebních těles	43
5.3	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	44
5.3.1	Zkouška mikrotvrlosti	44
5.3.2	Tahová zkouška	45
5.4	ZPŮSOB VYHODNOCOVÁNÍ.....	47
5.4.1	Vyhodnocení výsledků mikrotvrlosti.....	47
5.4.2	Statistické vyhodnocování výsledků.....	47
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	49
6.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	49
6.2	ZKOUŠKA MIKROTVRDOSTI.....	51
6.3	ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	61
7	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM VZORCŮ.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Potraviny jsou baleny do různých druhů obalů již od nepaměti. Jejich prvotní úkol však spočíval pouze v uložení sesbíraných a ulovených surovin. V průběhu lidské vývoje došlo i k vývoji obalů samotných. Prvním průlomem jejich vývoje bylo období, kdy lidé změnili životní styl na kočovný. V této době bylo zapotřebí potraviny nejen uložit, ale i zajistit jejich jednoduchý převoz a ochranu před nepříznivými vlivy. Původní používané materiály měli svůj původ ve volné přírodě, mohly jimi být např. listy. Dalším významným obdobím ve vývoji obalových materiálů byl středověk. Tehdy začali středověcí obchodníci odlišovat své produkty od produktů ostatních označením výrobce a produktu přímo na obal. V této době tedy začali obaly splňovat dnes všechny známé funkce, a to funkci ochrannou, racionalizační a komunikační. Dalším významným mezníkem v oblasti rozvoje obalů se stalo období průmyslové revoluce, která přinesla objev řady nových materiálů vhodných pro výrobu obalů.

V dnešních dobách je role obalových materiálů velmi důležitá v důsledku globalizace obchodu s potravinami a jejich distribuci ze vzdálených míst světa. K hlavním funkcím obalu patří minimalizace znehodnocení potravin, které může být způsobeno následkem vnějších činitelů nebo také obalem samotným. V první řadě je tedy velmi důležité vybírat pro balení potravin prostředky, které jsou zdravotně nezávadné a pro konkrétní potravinu vhodné. Proto jsou ve vyspělých zemích stanoveny hygienické limity pro obalové materiály právními normami. Potraviny však bývají znehodnoceny zejména na základě působení vnějších vlivů. V tomto případě tvoří obal jedinečný prostředek tvořící bariéru mezi vnějším prostředím a potravinou. V dnešní době je možno použít obaly, které jsou schopny na základě svých vlastností společně s balenou potravinou vytvářet vhodné prostředí atmosféry pro lepší skladovatelnost, nebo obaly chránící potraviny před mechanickým poškozením, zářením, před sekundární mikrobiální kontaminací aj.

Obaly lze vyrábět z různých druhů materiálů např. papír, kovy, sklo. Nejvíce používaným materiálem se však staly plasty. Vlastnosti těchto materiálů jsou zkoušeny mnoha testy, z nichž významné jsou testy mechanických vlastností. Mechanické vlastnosti obalů jsou důležité pro tvorbu správné bariéry mezi potravinou a vnějším prostředím. V případě porušení obalu by mohlo dojít k sekundární mikrobiální kontaminaci, napadení hmyzem nebo k porušení vytvořené upravené atmosféry v obalu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBALY

Obaly zaujímají v dnešní době velmi důležité místo v oblasti kvality potravinářských výrobků. Jednou z jejich hlavních funkcí je ochrana balených potravin před nepříznivými vlivy prostředí. [1]

1.1 Historie

Rozvoj balení potravin se vyvíjel současně se změnou životního stylu člověka. Prvotní funkcí obalu byla nejspíš možnost obyčejného uložení případně soustředění úlovku a úrody. Nádoby však nesloužily pouze ke skladování zásob, ale také k jejich ochraně před škůdci. V době, kdy začali lidé žít kočovným způsobem života, vyvstal i problém s přepravou potravin. Nejčastěji používané obaly byly materiály vyskytující se volně v přírodě, např. tykve, mušle a listy, které sloužily k zadržení potravin. Z další volně se vyskytujících materiálů, jako bylo dřevo, trávy a bambus byly pleteny různé druhy košů. K transportu byly používány zejména obaly z kůží. Ovšem tyto obaly představovaly spíše skladovací prostředek, než obal v pravém slova smyslu. Za první obaly vyrobené člověkem by mohly být považovány obaly z keramiky, papíru a skla. První zmínky o keramických a skleněných obalech pochází již z doby 7000 let př. n. l. [2]



Obr. 1. Keramické nádoby z přelomu 6. a 7. století [2]

Až v dobách středověku se začali obaly používat nejen ke skladování a přepravě potravin, ale také jako informační prostředek. Středověcí obchodníci začali na obalech uvádět

nejen názvy svých produktů, ale také své jméno a znaky, čímž zajistili lepší rozeznatelnost mezi produkty svými a konkurentů. V této době tak získal obal všechny potřebné funkce, které se mu dnes připisují a předepisují. Největší rozvoj zaznamenaly obaly v době průmyslové revoluce, která přinesla rozvoj nových výrobních procesů a umožnila využívat pro výrobu obalů nové materiály. Velké množství z nově objevených materiálů však nebylo původně určeno k ochraně potravinářských výrobků. Například kovové nádoby byly původně používány k uchování šňupacího tabáku, které poskytovaly vynikající bariéru k zadržení vlhkosti výrobku, stejně jako poskytnutí ochrany aromatických látek tabáku. Později byly využity Nicholasem Appertem v konzervářských operacích, jako způsob uchování potravin pro armádu Napoleona Bonaparte. [3, 3]

Kolem roku 1800 byla poprvé použita lepenka na výrobu skládacích kartonů. Plasty, včetně nitrocelulózy, styrenu a vinylchloridu byly objeveny v roce 1800, ale k balení potravin byly použity až během druhé světové války. [1,3]

1.2 Funkce obalů

Obal je prostředek, nebo soubor prostředků, které nejen chrání potravinu před poškozením potraviny samotné, ale také by měl zabránit poškození prostředí během manipulace s potravinami, dále by měl zajišťovat lepší manipulovatelnost a ulehčovat odbyt a spotřebu výrobků. Obaly tedy musí mít tři základní funkce, kterými jsou funkce ochranná, racionální a komunikační. [3]

1.2.1 Funkce ochranná

Obal je jedním z prostředků, který umožňuje prodloužit údržnost potravin. Zajišťuje ochranu potraviny před fyzikálními, mechanickými, chemickými a mikrobiologickými vlivy. Současně by měly obaly chránit i prostředí, ve kterém se vyskytují, před nepříznivými vlivy výrobku. [4]

1.2.2 Funkce racionalizační

Racionalizační funkce vyplývá z potřeby vytvoření racionální manipulační jednotky, která je přizpůsobena svými rozměry, množstvím, hmotností, tvarem a konstrukčními úpravami tak, aby byla manipulace, přeprava, skladování, prodej a spotřeba co nejjednodušší a současně i ekonomická. [4]

1.2.3 Funkce komunikační

Komunikační funkce spočívá v produkci takových obalů, které vytváří prostředek vizuální komunikace mezi výrobcem a dopravou, obchodem a spotřebitelem. Základní komunikační funkcí je informovat zákazníka o výrobku. [4]

1.3 Ochrana potravin obalem

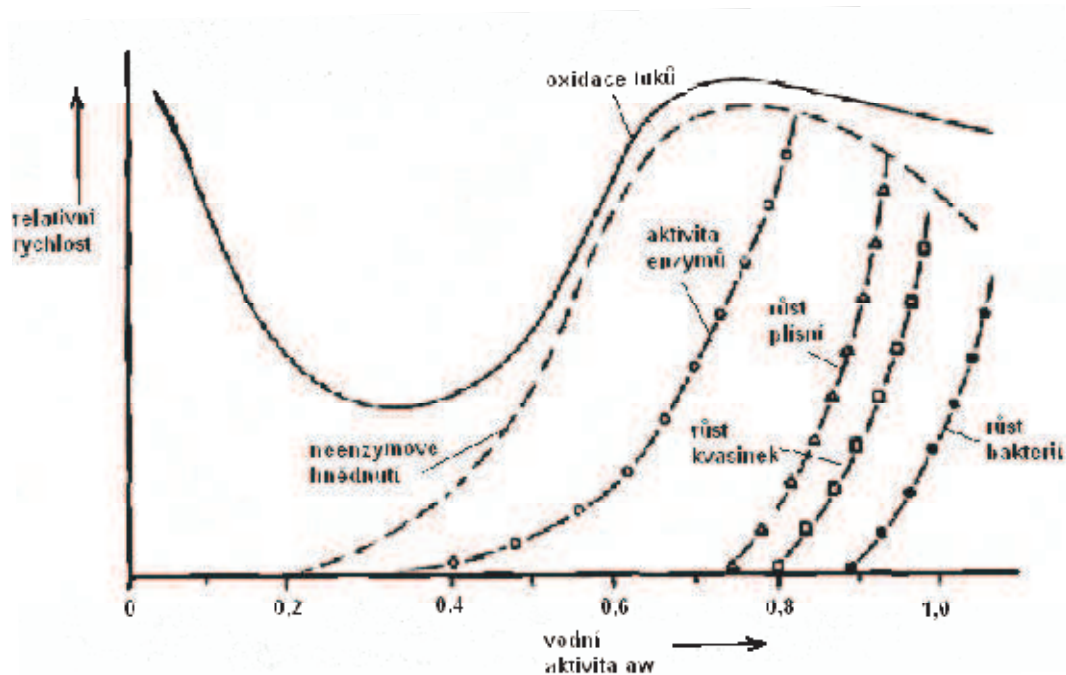
V důsledku globalizace obchodu s potravinami a jejich distribuce z místa zpracování představují obaly významný prvek k zajištění bezpečnosti a kvality potravin. [5] Obal tedy zajišťuje minimalizaci znehodnocení potravin při skladování, přepravě a distribuci. Na základě biochemických vlastností potravinářských výrobků lze předpokládat jejich částečné nebo úplné znehodnocení, a to v poměrně krátké době. Tyto změny mohou být dvojího druhu, mikrobiologické a nemikrobiologické. V případě nemikrobiologického znehodnocení potravin jde o poškození fyzikálního, chemického nebo fyzikálně-chemického charakteru. Mikrobiologické změny jsou způsobeny činností plísní, kvasinek a bakterií. Ochranný účinek obalů je zpravidla dvojího druhu, jedním je tvorba bariéry proti nepříznivým vlivům vnějšího prostředí a druhým je možnost tvorby specifické atmosféry, umožňující lepší podmínky pro skladování potravin. Funkce obalu jako bariéry působí proti nepříznivým a nežádoucím jevům, jako je pronikání vlhkosti, plynů, biologických škůdců a různých druhů záření. V případě mechanické ochrany potravin je velmi důležitým faktorem pevnost obalů, jako zábrana proti působení tlaku, nebo pružnost obalu, která udává odolnost obalu proti nárazům. [3]

1.3.1 Ochrana obalem před mechanickým poškozením

K mechanickému poškození potravin může dojít následkem vnitřního přetlaku a vnějšího tlaku. Rizikovou skupinou náchylnou k mechanickému poškození jsou výrobky kusovité konzistence, popř. výrobky v menších baleních a ve skupinovém obalu. [3] Následkem mechanického poškození dochází u čerstvých plodin ke zrychlené respiraci, dochází k enzymovým změnám a k působení dalších stresových faktorů. Hotové potravinářské výrobky mění následkem mechanického poškození tvar a vzhled, což způsobuje snížení prodejnosti výrobků. [6]

1.3.2 Ochrana potravin před změnami vlhkosti

Změny vlhkosti patří k jedněm z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících kvalitu potravin. Při změnách vlhkosti dochází zejména k hmotnostním ztrátám, morfologickým změnám, změnám konzistence, fyzikálně chemickým změnám (např. krystalizace cukrů, tvorba hydrátů apod.), chemickým a mikrobiologickým změnám. [3] Pro zlepšení udržitelnosti potravin je důležité udržovat obsah vody na úrovni odpovídající vodní aktivitě $a_w = 0,70$, která účinně inhibuje růst mikroorganismů, dochází ke zpomalení ostatních nežádoucích změn a současně nedochází k neakceptovatelným změnám kvality potravin. [6]



Obr. 2. Vliv vodní aktivity v potravine na základní typy změn [6]

Dobré bariérové vlastnosti proti pronikání vlhkosti mají obaly vyrobené ze skla, kovu, z plastů zejména polyolefiny a PVC. Systémy ovlivňující vlhkost v obalu lze rozdělit na systémy absorbující baleným produktem uvolňovanou vodu nebo na systémy regulující vlhkost na povrchu baleného výrobku. První systém obalů je používán zejména při balení porcovaného masa, drůbeže nebo zmrazovaných ryb a mořských produktů ve formě podložek. Do druhé skupiny patří např. sendvičové obalové fólie. Tyto fólie sestávají z vrstvy polypropylenglykolu, který je umístěn mezi dvě fólie polyvinylalkoholu. Tyto fólie jsou používány zejména k balení vlhčích potravin určených ke skladování u konečného spotřebitele. Funkce tohoto typu obalu spočívá ve vysoušení přiléhajícího povrchu potravin a jeho stabilizaci. U dalších typů obalů udržujících optimální vlhkost mohou být využity roztoky látek vhodné vodní aktivity aplikované mezi vrstvy fólií umožňujícími výměnu

vlhkosti. Dalšími typy obalů aktivně ovlivňujícími vlhkost v obalu jsou obalové materiály s antikondenzační úpravou. Principem těchto typů obalů je úprava povrchového napětí a polarit vnitřní strany obalové fólie. Tyto změny způsobí, že vlhkost kondenzující na vnitřní straně fólie nevytváří kapičky, ale souvislý film, který není z vnější strany obalu pozorovatelný. [6]

Často používaným materiálem pro výrobu propustných obalů pro plyny, vlhkost a páry organických látek jsou polymery. U polymerních materiálů mohou být plyny a páry transportovány díky pórovitému efektu nebo díky aktivované difuzi způsobující propustnost. Obecně platí, že nepolární polymery jsou výbornou bariérou pro vodu a špatnou pro plyny a naopak polymery obsahující polární (-OH) skupiny jsou výbornou bariérou pro plyny a špatnou pro vodu. Bariérové vlastnosti dále závisí na tuhosti makromolekulární sítě, inertnosti polymeru k permeantu, uspořádáním řetězců, stupněm krystalinity aj. [3,6]

1.3.3 Ochrana obalem před oxido-redukčními procesy

Oxido-redukční procesy patří mezi významné chemické změny negativně ovlivňující kvalitu potravin, a to jak po stránce senzorycké tak také nutriční. Tyto procesy lze významně eliminovat použitím vhodného obalu, který musí splňovat dvě základní vlastnosti. První je možnost regulovat kontakt potravin s atmosférickým kyslíkem a druhou je možnost aktivní i pasivní úpravy atmosféry uvnitř obalu. Aktivní úprava atmosféry v obalu zahrnuje odstranění původní atmosféry a vytvoření vakua uvnitř obalu, nebo nahrazení původní atmosféry definovanou směsí plynů přímo při procesu balení. Pasivní úprava atmosféry je možné využít pouze u potravin se zachovaným systémem metabolických přeměn, nebo u potravin u nichž probíhají fermentační procesy, při kterých je vyžadována výměna plynů s okolím. Ke změně složení atmosféry tedy dochází na základě spotřeby plynů v důsledku respirace anebo fermentace balené potravin a současného pronikání plynů omezeným propustností obalu. K pasivní úpravě atmosféry dochází například při balení čerstvého ovoce a zeleniny. Důležitým faktorem při pasivní úpravě atmosféry je propustnost obalové fólie dané strukturou plastu, difuzivitou obalového materiálu pro plyny, tloušťka filmu, plocha fólie, teplota, gradient koncentrace plynu a v některých případech, u polárnějších plastů, i relativní vlhkost prostředí. Z polymerních materiálů mají dobré bariérové vlastnosti proti pronikání vlhkosti LDPE a PVdC. [6]

1.3.4 Ochrana potravin obalem před změnami teplot a při tepelných procesech

Při ochraně potravin obalem před změnami teplot a při tepelných procesech je důležitým hlediskem obalu prostup tepla obalem z potravin do vnějšího prostředí a naopak. V případě, že jsou obaly používány při tepelných procesech, je kladen důraz na co nejmenší odpor vůči prostupu tepla. Toho je využíváno zejména při sterilacích, zmrazování a ohřevu v obalu, např. mikrovlnný ohřev.



Obr. 3. Miska vyrobená z PP vhodná pro mikrovlnný ohřev [7]

Obaly vhodné konstrukce lze použít jako prostředek chránící balené potraviny před změnami teplot. Tyto typy obalů lze použít jako izolanty. V případě využití obalu jako izolantu je při jeho vývoji kladen důraz na nízký prostup tepla. Tyto obaly se zpravidla vyrábí jako obaly přepravní a jejich funkcí je chránit potraviny před výkyvy teplot a zachovat tak vhodné prostředí během jejich přepravy a skladování a zabránit tak jejich znehodnocení. [6]

1.3.5 Ochrana potravin obalem před zářením

Záření může mít na potraviny jak pozitivní tak i negativní účinky. Mezi pozitivní účinky, technologicky významné, patří např. radiosterilace potravin pomocí záření (např. záření γ , Roentgenovým zářením, UV, viditelné záření aj.), sterilace obalů prostřednictvím UV záření, insekticidní účinky. Na negativních účincích se podílejí téměř všechny druhy záření. Radioaktivní a UV záření i viditelné záření kratších vlnových délek způsobuje oxidačně-redukční změny v potravinách. Se změnami potravin může dojít vlivem zmíněných záření i k nežádoucím změnám obalových materiálů. [3]

V případě, že jsou obaly používány k balení ozařovaných potravin, musí splňovat určité požadavky. Mezi tyto požadavky patří propustnost obalu pro daný typ záření. Obalový materiál musí mít nízkou hustotu a malou tloušťku a současně musí být obalový materiál odolný k použitému druhu záření. Zcela nevhodným obalovým materiálem je sklo, naopak vhodnými materiály jsou kovy a některé plasty. Z kovů je vhodným obalovým materiálem hliník, ocel a olovo, z plastů jsou vhodné materiály s nízkou hustotou, jako jsou PE, PS a celofán. Polymerní materiály je nutné před použitím testovat, neboť při větších dávkách může dojít ke změnám v zesílení polymerů anebo k degradaci makromolekul. Tyto změny způsobují změnu fyzikálních vlastností (barvy a pevnosti) a propustnosti pro páry a plyny. K nežádoucím jevům způsobených UV zářením i krátkovlnným viditelným zářením patří prooxidační účinky. Tyto účinky se projevují zejména u oxidačního žluknutí tuků, oxidace fotosenzibilních pigmentů a vitamínů C a B₂. Z důvodu těchto negativních důsledků zmiňovaných typů záření je potřebné toto záření u citlivých potravin maximálně omezit. Citlivými potravinami na viditelné světlo jsou potraviny s vysokým podílem tuků, např. máslo, rostlinné oleje, mléko, ale také nápoje s obsahem alkoholu, např. pivo a víno. Dobrou bariérou pro viditelné světlo jsou zabarvené obaly. Viditelné světlo kratších vlnových délek, tj. fialové a modré nejlépe absorbují obaly barvy zelené, zelenožluté až oranžové. [6] UV záření je velmi dobře absorbováno kovovými obaly. Jeho absorpce nezabarveným sklem a keramikou je omezená. U obalových materiálů z plastů má nejlepší schopnost pohlcení UV záření PE a PVdC. [3]

1.3.6 Ochrana potravin obalem před kontaminací cizorodými látkami

Cizorodou látkou je každá látka, které se původně v potravině nevyskytuje. Do potravin se dostávají anebo vnikají nepřímým zásahem. Mohou být jak anorganické tak organické povahy. Dle výskytu je lze rozdělit na látky exogenní a endogenní. [3] Exogenními cizorodými látkami jsou látky dostávající se do potraviny z vnějšího prostředí, a to buď záměrně, nebo jako znečištění. Záměrně bývají do potravin přidávána různá aditiva, např. konzervovadla, antioxidanty, barviva. Dále se může do potravin během zpracování i distribuce dostat nežádoucí znečištění tzv. kontaminanty. Během technologických procesů nebo skladování mohou, na základě reakcí jednotlivých složek potraviny, vznikat látky netypické pro danou potravinu, které bývají pro konzumenta neprospěšné. [3]

Ke kontaminaci potravin cizorodými látkami dochází následkem porušení obalu, který tvoří bariéru mezi potravinou a vnějším prostředím. Dalším, velmi závažným hygienickým problémem balení, je kontaminace potraviny složkami obalu. Rizikovými potravinami pro

přestup kontaminujících látek z obalu jsou potraviny tekuté a vlhké, u nichž byla zjištěna rychlost přestupu několikanásobně vyšší než u potravin tuhých. Ke kontaminaci cizorodými látkami z obalu může dojít migrací složek obalu do potravin. Typickým příkladem je přechod látek při korozi z kovových obalů. Riziko koroze se zvyšuje při kontaktu obalového materiálu s agresivními, převážně kyselými potravinami. [6]

K balení potravin by se měly používat materiály vyšší kvality v porovnání s ostatním baleným zbožím. Systém kontroly obalových materiálů ve všech vyspělých zemích, stejně jako v České republice, se řídí platnými právními předpisy. [6]

1.3.7 Ochrana potravin obalem před mikrobiálním znehodnocením

Kontaminace potravin mikroorganismy patří k nejzávažnějším faktorům znehodnocení potravin. Hlavními projevy mikrobiální kontaminace je plesnivění, hniloba a kvašení. Z tohoto hlediska tvoří obal při ochraně potravin tohoto typ prvořadou úlohu, neboť představuje bariéru, překážku oddělující potraviny od vnějšího prostředí, které je přirozeně bohaté na výskyt mikroorganismů. [3] Obal může také ovlivňovat složení vegetace v balených potravinách rozdílnou propustností pro kyslík a vodní páry. Aby obal mohl splňovat ochrannou funkci proti mikroorganismům, nesmí být sám zdrojem kontaminace. Proto jsou obaly pravidelně kontrolovány na přítomnost nežádoucí mikroflóry. V dnešních dobách existují i typy obalů s aktivní antimikrobiální funkcí. K potlačení aerobních forem mikroorganismů se aplikují do obalů velmi účinné absorbéry kyslíku, které vytváří prostředí nevhodné pro růst aerobů. [6]

1.3.8 Ochrana potravin obalem před hmyzem a hlodavci

K častým škůdcům potravin patří hmyz a hlodavci. Hmyz je zastoupen mnoha druhy, které se liší dobou a místem výskytu a schopností napadat různé druhy materiálů. Nejznámějším skladištními škůdci z čeledi hmyzu jsou zavíječ paprikový, zavíječ moučný, kožojed obecný, zavíječ skladištní, pilous černý, různé druhy roztočů aj. Tito škůdci napadají potraviny z důvodu rozmnožování (zpravidla jde o naklazení vajíček) nebo pro ně potravina představuje vhodným substrát pro prodělání části vývoje (např. zakuklení). Hmyz ale může napadat obal i přímo např. termity, rybenky. Odolnost obalu k pronikání hmyzu závisí na fyziologických a morfologických vlastnostech hmyzu a na odolnosti jeho samotného. Z hlediska odolnosti jsou nejvhodnějšími materiály pro balení potravin, náchylných k napadení hmyzem, kov a sklo. Přírodní materiály jako papír a dřevo jsou odolné pouze podmíněně, a to pokud jsou používány ve větších tloušťkách. Odolnost plastů je obdobná jako u materiálů

přírodních. Silné vrstvy jsou dobře odolné, slabší vrstvy jsou málo odolné v případě polyolefinů a vosků, naopak velmi odolné jsou obalové materiály vyrobeny z PVdC a polyestery. Aktivní ochranou proti škůdcům je impregnace měkkých obalů, nebo ošetření jejich částí hygienicky nezávadnými insekticidy a repelenty. [3, 6]

Ochrana potravin před napadením hlodavci je velmi důležitá z hlediska možného zavlečení a přenosu infekčních onemocnění, které představují snad nejzávažnější hygienicko-epidemiologickým problémem. V našich podmínkách není mnoho druhů hlodavců škodících na potravinách, limitující je však jejich vysoké početní zastoupení. Nejznámějšími druhy znehodnocující potraviny u nás je myš domácí, potkan. Tito hlodavci způsobují poškození obalů s následnými požerky potravin. Dokonalou ochranu proti napadení potravin hlodavci tvoří pouze obaly z kovů a ze skla. Ostatní obaly jsou odolné až po aplikaci chemických přípravků s toxickými účinky. [3, 6]

Nejdůležitější v ochraně potravin proti znehodnocení hmyzem a hlodavci je dodržování základních hygienických pravidel. Mezi důležité faktory omezení napadení potravin skladními škůdci patří udržování čistoty, deratizační opatření a aplikace insekticidů, zamezení přístupu hlodavců ze zevních prostor do skladů a dopravních prostředků, v případě hmyzu použít vhodné osvětlení skladů. [6]

1.4 Klasifikace obalových materiálů

Obaly lze klasifikovat na základě mnoha hledisek. Nejčastěji jsou děleny na základě jejich funkce, mechanických vlastností, základních typů a látkového množství. [3]

Podle funkce se obaly dělí na přepravní, skupinové a spotřebitelské.

Charakter způsobu využití udávají obalům a obalovým materiálům jejich mechanické vlastnosti. Podle toho hlediska lze rozdělit obalové materiály na tři hlavní skupiny měkké, polotuhé a tuhé. Měkké obalové materiály se využívají k přímému balení potravin, anebo k výrobě obalů typu sáčků. Mezi měkké obalové materiály patří například papír, tkaniny, fólie z plastů nebo kovů a jejich různé kombinace. Polotuhými obalovými materiály jsou zejména papíry s větší plošnou hmotností, lepenky, případně i tuhé fólie z kovů a plastů, kterých se hojně využívá k výrobě misek a kelímků. Mezi materiály využívané k výrobě tuhých obalů patří sklo, kovy, plasty a dřevo. Tuhými obaly mohou být láhve, sklenice, plechovky a krabice. [3]

Mezi základní typy spotřebitelských obalů, využívaných k potravinářským účelům, patří zejména sáčky, sklenice, krabice, láhve, plechovky, tuby a misky. Přepravní obaly jsou podle základního typu děleny na bedny, sudy, pytle, konve, demižony a žoky.

Důležitým hlediskem pro dělení obalových materiálů a obalů je dělení na základě látkového složení. Toto hledisko umožňuje nejlépe charakterizovat vztah obalu k potravině a tím i určit, zda může přijít obalový materiál do bezprostředního kontaktu s potravinou nebo zda je zapotřebí využít dalších ochranných vrstev. [3]

1.5 Obalové materiály vhodné pro výrobu obalů

Jako obalové materiály jsou využívány nejrůznější látky, které tvoří konstrukční materiál obalů nejrůznějších typů. Mezi základní materiály používané k výrobě obalů patří dřevo, papír, lepenka, tkaniny, kovy, sklo, plasty a požitelné potahové látky či obaly.

1.5.1 Dřevo

Dřevo patří k nejstarším materiálům využívaným k výrobě obalů. V dnešní době je jeho použití na ústupu. Od použití dřeva se ustupuje hlavně z důvodů vyšší pořizovací ceny, ale také z důvodu lepších vlastností ostatních obalových materiálů, jako je např. lehkost lepenkových beden, hygieničnost kovových a plastových přepravek. V potravinářství se dnes využívá při výrobě typických dřevěných obalů, či obalů imitujících tradiční použití a také při výrobě luxusních obalů. [3,4]

Mezi významné vlastnosti dřeva patří snadná zpracovatelnost, dobrá mechanická pevnost při malé specifické hmotnosti, pružnost a tlumivý účinek při vibracích, které umožňují ohyb dřeva a způsobují relativně malou křehkost tohoto materiálu. Dalšími výhodami dřeva jsou dobré tepelné izolační vlastnosti a nízký koeficient tepelné roztažnosti. Dřevo má mimo jiné dobrou chemickou odolnost, a to jak pro kyseliny, tak také zásady. [3,4]

Dřevo má však také vlastnosti nevhodné pro obaly. Mezi tyto nevýhody patří velká nasákavost a schopnost měnit svůj objem v závislosti na vlhkosti. S těmito vlastnostmi také souvisí možnost snadného znehodnocení obalů mikroby. Mechanické vlastnosti dřeva závisí na směru vláken. Tyto materiály nejlépe odolávají tahu a tlaku ve směru let a při namáhání ve stříhu a ohybu jsou nejodolnější, působí-li síla kolmo na vlákna. [3]

Dřevěné obalové materiály jsou nevhodné pro přímý styk s potravinami nejen z důvodu snadného znehodnocení mikroorganismy, ale také pro obsah pryskyřic, tříslovin a hemicelulóz. Tyto látky mohou do potravin přecházet extrakcí, těkáním nebo vyluhováním. Prys-

kyřičné látky, vyskytující se v jehličnanech, mají velmi charakteristický pach. Pachové látky přechází do potravin dvěma způsoby, a to buď extrakcí, nebo těkáním. Pokud jsou v obalovém materiálu přítomny třísloviny, může dojít k jejich vyluhování a vzniku trpké příchutě. K zabránění přechodu nežádoucích látek do potravin se obaly ze dřeva vykládají ochrannou vrstvou. Tato vrstva bývá nejčastěji tvořena plasty. [3]

Mezi charakteristické zástupce obalů ze dřeva patří bedny, polokleče na ovoce a zeleninu, loubkové krabičky, sudy a škopky. Dnes však bývají tyto obalové materiály čím dál častěji nahrazovány obaly z lineárního polymeru. [6]

1.5.2 Papír

Papír představuje jeden z nejstarších a nejpoužívanějších obalových materiálů. Z důvodu nízké ceny a snadné dostupnosti tvoří přes 50 % světové spotřeby obalových materiálů právě materiály z papíru. [9] Své využití našel již před 5.000 lety př. n. l. v Egyptě a Řecku, k prvnímu komerční využití došlo mezi lety 1810 a 1815 v Anglii a Americe ve formě kartonových a lepenkových krabic. V průběhu doby byly papírové obaly zdokonalovány. K významným mezníkům v používání obalových materiálů z papíru patřil začátek výroby vlnité lepenky a zušlechťování papírových obalů látkami, tvořícími bariéru proti vodě. Mezi tyto látky zprvu patřil asfalt, parafín, později se začaly používat mikrovosky a od 70. let 20. století také plasty. [6]



Obr. 4. Papírový sáček na pečivo s PP oknem [8]

Hlavní surovinou pro výrobu papírových obalů je dřevo, a to zejména jehličnany, jako jsou smrk a jedle. Dřevo listnáčů se používá méně často. Dřevo je tvořeno asi z 50 % celulosy, 30 % ligninu a 20 % hemicelulosy. Ze surového dřeva se obrušováním získává dřevovina,

kteřá se používá zejména k výrobě levnějších obalových materiálům, jako jsou lepenky a levné papíry a spodní vrstvy tzv. skládačkových lepenek. Někdy je dřevovina, spolu s buničinou, odpadovým papírem a textilním odpadem, přidávána do méně kvalitních, tzv. dřevitých papírů, jako tzv. papírenská pololátka. [3,6]

K výrobě kvalitních papírových materiálů se používá buničina. Buničina je získávána ze dřeva chemicky, alkalickým nebo kyselým způsobem. Podstatou těchto procesů je odstranění nežádoucích inkrustujících látek (ligninu, hemicelulosity) z buničiny. V dnešní době je více používán způsob kyselý, čili sulfátový. Tento způsob výroby je šetrný k degradaci celulosy. Při aplikaci této metody nedochází k výraznému zkracování vláken celulosy, a proto je vyrobený papírový materiál pevný. Celulosa získaná alkalickým (nátrovým) způsobem se využívá k výrobě méně kvalitních papírů. Dnes se však prakticky tato metoda nevyužívá. [6]

Papírové obalové materiály se využívají v různých nejrůznějších formách. Mohou se používat přímo jako fóliový materiál, nebo jako hotový materiál. Hotovým materiálem mohou být obaly měkké, mezi které patří různé druhy sáčků a pytlů, nebo tuhé mezi které patří např. skládačky a bedny. Sáčky bývají vyráběny z různých typů papíru a často jsou kombinovány s různými materiály. Analogií sáčků jsou přepravní pytle. Ke zvýšení odolnosti pytlů k vlhkosti případně k chemickým látkám, bývají vložky pytlů impregnovány. K častým impregnačním látkám patří asphalt, parafín a mikrokrystalický vosk. Ne všechny ze jmenovaných látek jsou vhodné pro impregnaci obalových materiálů přicházejících do styku s potravinami. Mezi látky používané k povrchové úpravě papírových obalů, vhodných pro přímý styk s potravinami patří plasty či hliníkové folie. Fóliovým materiálem používaným k přímému balení potravin patří zejména nepromastitelné papíry (pergameny, pergamenová náhrada a pergamín), imitace nepromastitelných papírů (havana bezdřevý a dřevitý, sulfitové papíry, superior bezdřevý a dřevitý, alba atd.) a vrstvené materiály. [3] Pergameny jsou používány k balení tučných potravin, jako jsou např. tuky, maso a sýry. Je však možné je používat i v kombinaci s jinými materiály, např. k vyložení beden, ale také jako krycí materiál pro povrch marmelád, hořčic apod. Pergamenová náhrada má výrazně nižší nepromastitelnost než pergamen, a proto je používána k balení méně tučných a méně vlhkých potravin, např. sušenek. Zvýšené odolnosti pergamenových náhrad a imitací nepromastitelných papírů se často dosahuje podlepováním papírů hliníkovými fóliemi. [3, 6]

Vrstvené materiály se vyrábí v kombinaci s platy nebo hliníkovými fóliemi. Z plastů jsou aplikovány PE, PP či jejich směsí. Dále lze využít nánosu termoplastického laku. Běžně se jako termoplastický lak využívají látky PVdC či PVAC. [6]

1.5.3 Tkaniny

Obaly z tkanin patří mezi tradiční obalový materiál. Mezi jejich pozitiva patří velká pevnost, poddajnost, malá hmotnost, prodyšnost a úplná ohebnost. Z tkanin se vyrábí obaly přepravní i spotřebitelské. Mezi typické představitele přepravních obalů patří pytle a žoky. Síťky a hadicové úplety jsou typickými představiteli obalů spotřebních. Hlavními surovinami pro výrobu obalových tkanin bývají zejména juta a koudel. K výrobě spotřebitelských síťových obalů je používána bavlna. K výrobě některých pytlů se používá i spřádaný papír často v kombinaci s různými druhy příze. K novým materiálům používaným k výrobě tkaninových obalů patří proužky z plastů, především z PE a PP. Plasty mají oproti jutovým tkaninám mimořádně nízkou hmotnost, větší pevnost a vyšší odolnost proti vlhkosti a tím i mikrobům.

Pytle jsou používány tam, kde se vyžaduje určitá prodyšnost a současně pevnost obalového materiálu i ve vlhkém prostředí. Nejčastěji jsou proto používány k balení brambor na poli. Žoky představují tkaninový obal určený zejména k balení lisovaných materiálů, např. chmele, tabáku, sena, slámy. Mohou být vyrobeny z juty, polypropylenové tkaniny i papíru. K balení ovoce a zeleniny se používají síťky, které jsou schopny zachovat styk potravin s vnější atmosférou. Síťky zajišťují dýchaní potravin a předchází tak jejímu možnému znehodnocení. Vyrábí se buď ve formě sáčků, nebo síťových hadic. K výrobě síťek s menší hmotností se používají termoplasty, nejčastěji z PP a PE. [3,6]

1.5.4 Kovové obaly

Historicky první použití kovu jako obalu bylo zaznamenáno již ve středověku, kdy se ze stříbra a zlata vyráběly různé nádoby. I v dnešní době jsou kovy stále významným materiálem pro výrobu spotřebitelských i přepravních obalů různé velikosti od fólií až po kontejnery. [9] V praxi je využíváno pouze několik kovů k výrobě obalů, a to ocel, hliník, cín, chrom, zinek a olovo. Ocel a hliník se používají s různou povrchovou úpravou. Cín se dříve používal jako samostatný obalový materiál, známý pod názvem staniol avšak v důsledku celosvětového deficitu tohoto kovu se od jeho výroby upustilo. Doposud je však nepostradatelný při povrchové úpravě ocelových plechů pro konzervové plechovky. K povrchové úpravě konzervových plechovek se v dnešní době používá i chrom. [6]

Zinek je používán jako ochrana některých plechových přepravních obalů. Olovo je používáno k výrobě tub pro technické účely, jako součást pájek pro plechové obaly, ne však pro obaly určené k potravinářským účelům. [3,4]

Kovové obaly jsou používány pro své výhodné mechanické vlastnosti, dokonalé bariérové vlastnosti a tepelnou vodivost. Při použití těchto obalů se musí brát zřetel i na jejich nevýhodné vlastnosti, kterými jsou zejména možnost koroze působením některých náplní i vlivem atmosférických podmínek. Tomuto aspektu se však dá zabránit vhodnou povrchovou úpravou povrchu. [3, 6]

Hliník je jako kov znám poměrně krátce a své využití v balení potravin našel až v 30. letech minulého století. Nejdříve nahradil hliník deficitní cín ve výrobě fólií a tub a později našel uplatnění i při výrobě plechovek. Jako spotřebitelské obaly se z hliníků vyrábí různé druhy plechovek, tub, aerosolové nádoby, fólie, polotuhé obaly a misky. Kromě toho tvoří hliník důležitou surovinu pro výrobu funkčních součástí jiných druhů obalů, jako jsou víčka. Hliníkové obaly se vyrábí elektrolýzou oxidu hlinitého v tavenině. Z hygienických důvodů jsou v hliníku sledovány příměsi beryllia, arsenu, kadmia a bismutu. Výhodou hliníku je jeho lehkost a měkkost, mezi značné nevýhody patří energetická náročnost výroby, menší mechanická pevnost, malá chemická odolnost a lehká toxicita. [6]

1.5.5 Skleněné obaly

Z historického hlediska jsou skleněné obaly používány již velmi dlouhou dobu. Tento materiál byl znám již ve starém Egyptě, kde z něj byly vyráběny nádoby různých tvarů. Sklo je tedy léty osvědčeným a často používaným obalovým materiálem. [6,9]

Základní surovinou pro výrobu skla je tavenina oxidu křemíku, sodíku a vápníku. Lze však použít i jiné látky. Tento materiál je významný pro svou odolnost vůči teplotám a chemikáliím, pro svou tvrdost a pevnost v tlaku, omyvatelnost a možnost sterilace obalů. Suroviny pro výrobu skleněných obalů jsou stále dostupné a velmi významnou roli hraje i fakt, že skleněné materiály jsou recyklovatelné. Značnou nevýhodou těchto obalů však je jeho křehkost a relativně vysoká hmotnost, menší tepelná vodivost a horší odolnost vůči teplotním změnám. Tyto nevýhody lze do určité míry redukovat vhodným složením skla a řešením obalů. [3, 6]

Skleněné obaly se nejčastěji řadí mezi obaly spotřebitelské. V dnešní době se vyrábí nápojové skleněné obaly a konzervové sklo. [4] Nápojové skleněné obaly jsou charakteristické objemem, který tvoří 0,1 až 2 l, někdy i 5l. Jsou vyráběny v nejrůznějších tvarech. Konzervové obalové sklo zastupují konzervové sklenice. Tyto sklenice jsou širokohrdlé,

s objemem od 150 ml do 5 l. Mají dobrou tepelnou odolnost a jsou odolné přetlaku do 0,3 MPa. [6]

Norma rozlišuje i kategorii velkých skleněných obalů, kterými jsou zásobní láhve, demižony, dupližony a balony. [6]

1.5.6 Poživatelné obaly

V potravinářském průmyslu se běžně používají obalové materiály, jejichž základní vlastností je poživatelnost, tzv. poživatelné obaly. Některé z funkcí obalu mohou plnit i kůrky na pečivu, krusty na uzeném mase, slupky ovoce a zeleniny atd., za obal také může být považována vrstva ledu na potravině, tzv. glazování ledem. [6] Poživatelné obaly mohou být látky přírodní i syntetické a jejich základní složení je zpravidla tvořeno sacharidy, bílkovinami a lipidy. [4]

Poživatelné obaly se zpravidla aplikují ve třech základních formách, a to jako fólie, povlaky a kapsle. Jejich použití může být dvojí. Jednak jsou z poživatelných materiálů vyráběny normální obaly spotřebitelské. V tomto případě se jedná o obaly chránící potraviny před zevním znečištěním a před použitím potraviny je zapotřebí tento obal odstranit. V druhém případě lze poživatelné obaly aplikovat přímo na potravinu, např. ve formě povlaků a ten je společně s potravinou konzumován, proto je nezbytnou podmínkou těchto obalů, kromě zdravotní nezávadnosti také poživatelnost. [6]

Nejčastěji se k výrobě poživatelných materiálů používají přírodní látky, kterými jsou sacharidy, proteiny a lipidy. Kromě přírodních materiálů mohou být použity i materiály syntetické, např. polyvinylalkohol. Výchozími látkami pro výrobu obalů ze skupiny sacharidů jsou amylosa, celuloza, pektin a algináty. Amylosa je získávána frakcionací škrobu a vyrábí se z ní fólie a povlaky, lze ji využít i pro povrchovou úpravu papíru, zajišťující nepromastitelnost. Obaly na bázi amylosy mohou být použity k balení masa, omáček, polévkových přípravků i jako párková střeva. Z celulosy jsou používány zejména její rozpustné poživatelné deriváty metylceluloza a karboxymethylceluloza, z kterých jsou vyráběny povlaky a fólie. Povlaky lze vyrábět i z dalších poživatelných derivátů celulosy, kterými jsou etylceluloza, acetobutyryl celulosy a hydroxypropylceluloza. Pektiny jsou využívány jako povlaky potravin. K těmto účelům se používá nízkoesterifikovaný pektin a jeho soli, nejčastěji vápenaté. Z posledního jmenovaného zástupce sacharidů, alginátu, jsou vyráběny povlaky na vnitřní straně klihovkových střev, které zajišťují lepší loupitelnost obalu. Ze skupiny proteinů se k výrobě obalů používají želatina a klihovková střívka, u nás známá pod názvem Cutisin. Výchozí surovinou pro výrobu klihovkových střívek je štípenková

klihovka, tj. spodní část kůže. Z želatiny se vyrábí obaly ve formě kapslí. Látkami používaných k výrobě obalů ze skupiny lipidů jsou vosky a acetoglyceridy. Z vosků lze vyrábět voskové povlaky a petrolejové vosky. Voskové povlaky se aplikují ve formě emulzí a roztoků na ovoce a zeleninu, aby se zabránilo ztrátám odpařováním, k omezení těkání arómat a jako prevence mikrobiální kontaminace. Petrolejové vosky se aplikují ve formě povlaků na maso, drůbež, sýry a zmrazené výrobky. Acetoglyceridy jsou nanášeny ve formě povlaků na sýry, kde zamezují prorůstání plísní, dále na maso, ryby, drůbež a ovoce. Hlavní význam použití tohoto materiálu je zabránění vysychání potravin při chladírenském a mrazírenském skladování. [3, 6]

1.5.7 Obaly z polymerních materiálů

Velmi široké uplatnění našly v obalové technice polymerní materiály. Použití polymerů bylo zaznamenáno již v roce 1820, kdy byla na tkaniny, určené pro armádní použití, aplikována guma tvořící ochrannou povrchovou vrstvu. Jako obalový materiál se začaly plasty používat až v 2. polovině 20. století. Období mezi rokem 1950 a 1970 lze označit jako zlatý věk obalové techniky. Právě v tomto období došlo k objevu hlavních principů výroby obalových materiálů a obalů na bázi plastů a k rozvoji polymerních obalových materiálů. Vývoj směřoval přes výrobu fólií z PVC a fólií na bázi polyamidu až po vývoj PET lahví určených k balení nápojů. Polymerní obalové materiály byly nejdříve používány pouze jako náhražky tradičních obalových materiálů, dnes jsou však již využívány jejich charakteristické vlastnosti. [6] Mohou být používány buď přímo jako obaly, nebo jako ochranné povlaky, lepidla, výplňový materiál aj. [3]



Obr. 5. Obalové materiály z PP [22]

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály (polymery) jsou chemické látky s velkým množstvím vlastností. Jejich struktura sestává z molekul obsahujících atomy uhlíku, vodíku a kyslíku. Historicky prvními průmyslově využívanými polymery byl přírodní polymer, kaučuk. [10, 11]

Polymerní materiály lze klasifikovat dle různých systémů: [6]

Podle původu:

- přírodní
- modifikované (polosyntetické)
- syntetické

Podle typu reakce vzniku

- kondenzační produkty
- polymerační produkty
- přírodní produkty

Podle vlastností

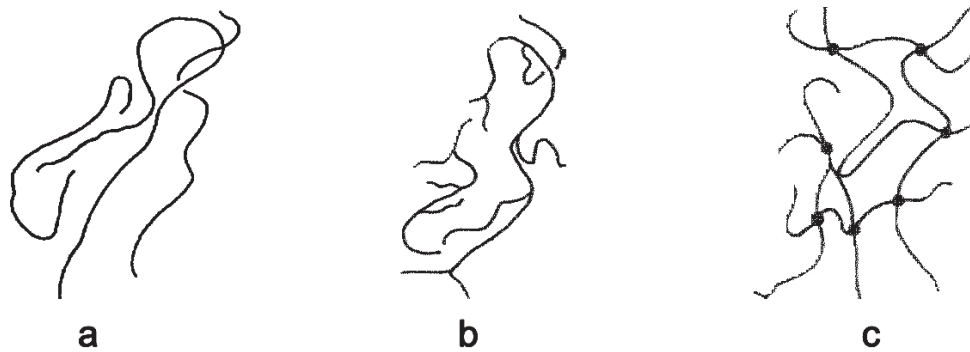
- termoplasty
- termosety

Nejvíce se při výrobě obalových materiálů z plastů používají termoplasty. Za vyšších teplot je lze zpracovávat tvarováním, vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním, nanášením atd. Z plastů lze vyrábět obaly spotřebitelské i přepravní o nejrůznějších tvarech a funkcích. Tohoto nelze u jiného obalového materiálu docílit. [6]

2.1 Struktura a základní vlastnosti polymerů

Široká škála možných aplikací polymerních materiálů je dána jejich rozmanitými vlastnostmi. Ty jsou obecně ovlivněny třemi hlavními faktory, kterými jsou chemické složení, molekulová hmotnost a fázový stav. [6, 10]

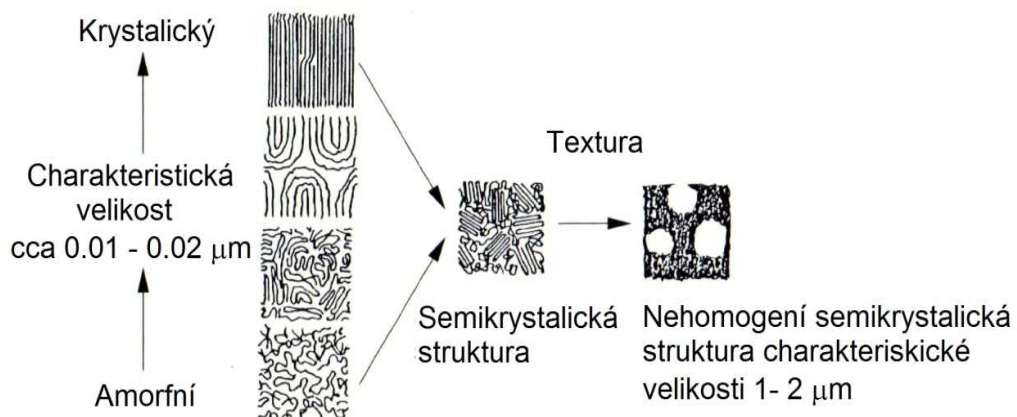
Struktura makromolekulárních řetězců může být lineární, rozvětvená nebo uspořádaná do prostorové sítě. Tyto řetězce mohou vlivem pohybu jednotlivých segmentů vytvářet různé konformace. [10]



Obr. 6. Schematické znázornění makromolekul lineárního (a), rozvětveného (b), sesíťovaného (c) polymeru[10]

Bod varu polymerních materiálů je díky vysoké molekulové hmotnosti značně vysoký a ve většině případů se nachází nad teplotou jejich rozkladu. Z tohoto důvodu se polymery nevyskytují v plynném stavu. Vyskytují se pouze ve stavu kapalné nebo tuhé. V tuhé fázi lze dle geometrického uspořádání makromolekulárních řetězců rozlišit vysoce uspořádaný stav krystalický a neuspořádaný stav sklovitý. Pro polymery je navíc charakteristický přechodový stav mezi stavem sklovitým a kapalným, tzv. stav kaučukovitý. Tento děj je důležitý z hlediska možnosti deformovat polymer poměrně malou silou, při které však nedochází k nevratným změnám. Polymery tedy mohou existovat ve čtyřech různých fázových stavech: [10]

- krystalický
- amorfní:
 - sklovité
 - kaučukovité
 - plastické



Obr. 7. struktura polymerů[10]

O tom, v jakém stavu se budou polymerní materiály vyskytovat, rozhoduje jejich chemické složení a molekulová hmotnost. [10]

Základním vlastnostem polymerů patří i jejich schopnost nebo neschopnost krystalizace. Podle této schopnosti jsou polymery rozeznávány na polymery se sklonem k samovolné krystalizaci, samovolně nekystalizující a nekystalizující polymery za žádných okolností. O krystalizačních schopnostech polymerů rozhoduje polarita skupin polymerního řetězce, jeho geometrická pravidelnost, objem substituentů vázaných na řetězci a ohebnost řetězce. Vlastnosti polymerních materiálů závisí mimo jiné také na jejich molekulové hmotnosti. Molekulová hmotnost rozhoduje o chování polymeru za různých podmínek. Např. významné mechanické pevnosti nabývá polymer až po překročení rozmezí polymeračního stupně, který je dán počtem 40 až 80 merů v makromolekule. [10]

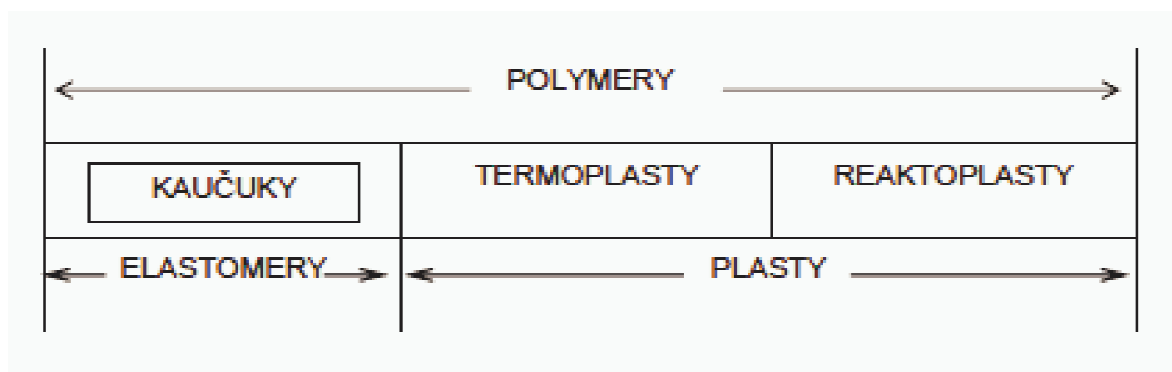
Obecně platí, že čím více je struktura makromolekul pravidelná, tím bude polymer tužší, tepelně odolnější a méně propustný. V praxi je pravidelnost ve struktuře u polymerních obalových prostředků ovlivňována stupněm krystalinity, změkčováním a orientací. [6]

Další významnou vlastností polymerů je plasticita. Této vlastnosti dosahují za vyšších teplot a využívá se jí při tvarování a zpracování polymerů na měkké obaly. Základními způsoby tvarování plastů při výrobě obalových prostředků jsou extruzní vyfukování, využívané při výrobě fólií, tvarování vyfukováním, vstřikováním, termoplastické tvarování, válcování, rotační tvarování, lisování a lití. Plasticita umožňuje i tepelné svařování a spojování plastů. [6]

Značnou výhodou polymerních obalových prostředků oproti jiným obalovým materiálům je jejich pružnost a odolnost vůči mechanickým rázům. [6]

2.2 Základní rozdělení polymerních materiálů

Polymerní materiály lze rozdělit do dvou základních skupin, a to na elastomery a plasty.



Obr. 8. Základní klasifikace polymerů z hlediska chování za běžné a zvýšené teploty [10]

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které mohou být za běžných podmínek značně deformovány bez porušení malou silou. Do této podskupiny polymerů jsou zařazovány kaučuky. Na rozdíl od elastomerů jsou plasty za běžných podmínek zpravidla tvrdé a často také křehké, avšak při vyšších teplotách se tyto polymery stávají plastickými a lehce tvarovatelnými. Změna z plastického stavu do stavu tuhého může být vratná, takové plasty se označují jako termoplasty, anebo nevratná. Příčinou nevratné změny je uskutečněná chemická reakce, probíhající často za zvýšené teploty. Tyto plasty jsou označovány jako reaktoplasty. [10]

2.3 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní látky, které lze termickým účinkem uvést ze stavu tuhého do stavu plastického, přičemž je tato změna nevratná. [10]

2.3.1 Polyolefiny

Významnou skupinou termoplastů jsou polyolefiny, které tvoří téměř 25 % světové produkce plastů. Jejich významnými vlastnostmi z hlediska potravinářského jsou dobrá tepelná svařovatelnost, výborné bariérové vlastnosti vůči vlhkosti a také velmi dobrá propustnost pro permanentní plyny a aromatické látky. [6] Prvním polyolefinem použitým v potravinářském průmyslu se stal v roce 1940 polyetylen. [12]

Polyolefiny jsou vyráběny jako homopolymery a kopolymery olefinů, neboli alkenů, tj. uhlovodíků obsahujících ve svých molekulách jednu dvojnou vazbu. [6, 13] Získávají se polymerací etylenu nebo propylenu nebo kopolymerací těchto látek nejvýše s 25 % vyšších homologů nebo karboxylových kyselin nebo esterů. Určité materiály mohou být směsí polyolefinů. Do polymerů se přidává určitý počet přísad, aby se optimalizovaly jejich chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti, aby se tyto polymery přizpůsobily pro určené použití. [13]

2.3.1.1 Polyetylen (PE)

Pojem polyetylen zahrnuje velkou skupinu látek s rozmanitými vlastnostmi. Jedná se o homopolymer etylenu a jeho kopolymery s malým obsahem komonomeru. Vlastnosti polyethylenu jsou závislé na molekulové hmotnosti, prostorovém uspořádání a stupni krystalinity. [10, 11]

Na základě struktury polymeru lze polyetylen rozdělit na dva základní typy, a to na lineární a rozvětvený. Lineární polyetylen je dnes označován jako typ o vysoké hustotě (HDPE) a rozvětvený jako typ o nízké hustotě (LDPE). Kromě těchto dvou základních typů dále existuje i polyetylen o střední hustotě (MDPE), lineární polyetylen o velmi nízké hustotě (LLDPE) a polyetylen o velmi vysoké molekulové hmotnosti (UHMWPE). [10] Rozdíly ve struktuře jednotlivých forem etylenu způsobují rozdíly ve funkčních vlastnostech, kterými jsou vlastnosti mechanické, tepelná odolnost a propustnost. [6, 12]



Obr. 9. Polyetylen [10]

Za běžných teplotních podmínek polyetylen dobře odolává vodě, neoxidujícím chemikáliím včetně kyselin, zásad a solí a jejich roztoků a polárním rozpouštědlům. Odolnost polyetylenu nepolárním rozpouštědlům je omezena a do značné míry ovlivněna okolní teplotou. Chemická odolnost polyetylenu je dána krystalinitou. S rostoucí krystalinitou se chemická odolnost zvyšuje. [10]

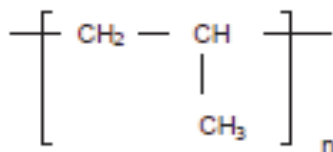
V potravinářství se využívá k výrobě obalů nízkohustotní i vysokohustotní PE. Druh jejich využití je dán fyzikálními vlastnostmi. Z důvodu výborných mechanických vlastností a vyšší tepelné odolnosti je nízkohustotní polyetylen používán k výrobě varných sáčků. V důsledku uspořádané struktury jsou zajištěny lepší bariérové vlastnosti tohoto polymerního materiálu. Praktické využití nachází při výrobě přepravních obalů, ve formě přepravek, sudů a kontejnerů. Polyetylen je také široce využíván k výrobě spotřebitelských obalů. Zástupcem spotřebních obalů jsou fólie známé mimo jiné pod komerčním názvem mikroten, ale také orientované HDPE fólie, lahve a misky. Z LDPE jsou vyráběny zejména fólie, které jsou měkčí než fólie z HDPE, dále sáčky, smrštitelné fólie, laminované fóliové materiály. Povrchy polyolefinových fólií bývají v některých případech upravovány antikondenzačními látkami. [6]

Radikálovou kopolymerací se za vysokých teplot a tlaků vyrábí kopolymeru etylenu s řadou jiných monomerů. [10] Kopolymerací etylenu a vinylacetátu vzniká etylenvinylacetátový kopolymer. Tento kopolymer našel své uplatnění ve formě průtažných a smrštitelných fólií pro balení potravin. Tyto fólie jsou velmi ohebné a pružné i při nízkých teplotách a jsou používány jako náhražka měkčeného PVC. [6, 11] Významnou schopnost zesílení kovy I. a II. skupiny má kopolymer etylenu a vinylkarboxylových kyselin (kys. akrylová,

kys. metakrylová) tzv. ionomery. [6] Zavedením kovových iontů tvořící mezimolekulární vazby do struktury krystalického polyetyleny se získá polymerní materiál, který je houževnatý, elastický, méně propustný a na rozdíl od chemicky zesíťovaných materiálů si zachovává i termoplasticitu, takže může být tvářen a tvarován jako běžné termoplasty. [10]

2.3.1.2 Polypropylen (PP)

Polypropylen se získává polymerací monomeru propylenu. Komerčně je dostupný ve formě monomeru, nebo kopolymeru. [12] Polypropylen je polymerním materiálem mající podobné vlastnosti jako polyetylen. Má prakticky nepolární skupiny. Z důvodů stupně krystalinity, která činí 60 % až 75 % je neprůhledný, teplota tání obchodních forem polypropylenu se pohybuje v rozmezí od 160°C do 170°C. Od lineárního polyetyleny se liší nižší hustotou, menší odolností vůči mrazu, oxidaci a povětrnosti, ale větší pevností, tvrdostí a odolností vůči oděru. Oproti polyetyleny je však méně propustný pro plyny a páry. K chemikáliím je odolnější než polyetyleny, a to obzvláště při vyšších teplotách. [10]



Obr. 10. Polypropylen

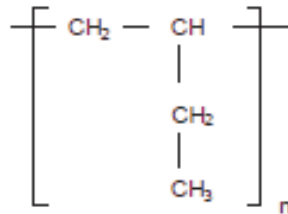
Vzhledem ke svým vlastnostem je mimo jiné polypropylen vhodný i k výrobě obalů zahřívaných v autoklávech. Při výrobě obalů dochází k problémům se svařováním tohoto materiálu, který bývá řešen koextruzí PE nebo lakováním. Nejvíce je tento obalový materiál využíván k výrobě orientovaných fólií (BOPP). Tyto fólie svými vlastnostmi, zejména tuhostí, připomínají celofán. Dalšími aplikacemi využívajícími vlastnosti PP, jako jsou odolnost vůči vlhkosti a vyšší tepelná odolnost, je výroba kelímků, misek a přepravních obalů. Přepravní obaly představují obdobu HDPE a jsou vyráběny zejména v podobě přepravek a vázacích pásek. [6]

2.3.1.3 Polybuten (PB)

Polybuten patří k novějším typům plastů. Jeho výroba byla poprvé zavedena v 60. letech 20. století v Německu. Oproti HDPE má desetkrát větší molekulovou hmotnost.

Může existovat ve třech krystalických formách. Ochlazením taveniny vzniká nestabilní forma, která během deseti dnů samovolně přejde do formy stabilní.

Polybuten je mimořádně odolný vůči korozi za napětí a tečení díky vysoké molekulové hmotnosti ve spojení s krystalinitou. Chemická odolnost je podobná jako u polyetylenu a polypropylenu.

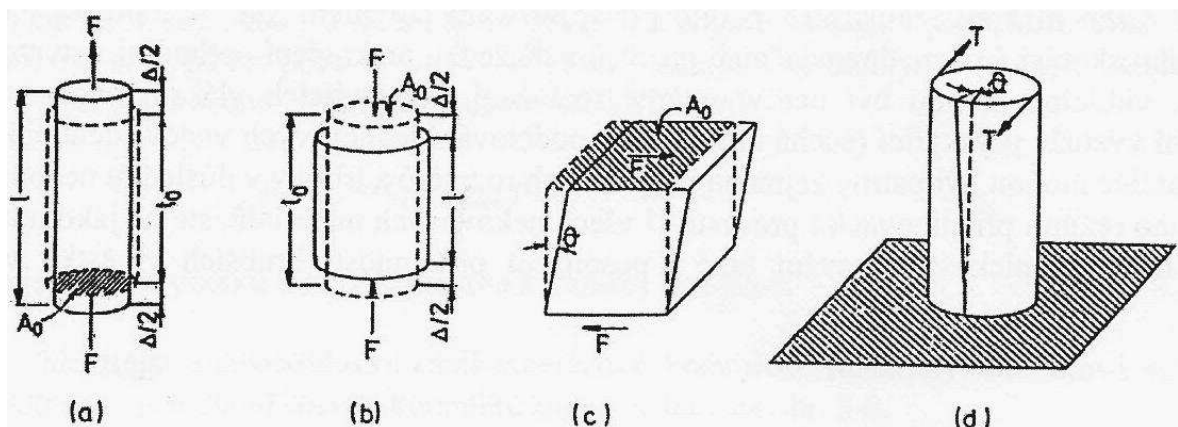


Obr. 11. Polybuten [10]

Oproti polypropylenu je za běžných teplot houževnatější a je schopen dlouhodobě odolávat teplotě 90°C [10]. V potravinářství je využíván polyisobutylen, a to většinou jako kopolymer s PE, kterému dodává pružnost. [6]

2.4 Mechanické testování polymerních materiálů

Testování polymerních materiálů je různorodé. Mezi základní prakticky využívané testy patří testy mechanických, chemických a fyzikálních vlastností. K výběru správného typu materiálu jsou používány zejména testy mechanické, hodnotící chování materiálu za působení vnějších mechanických sil. [14]



Obr. 12. Schéma různých způsobů zatěžování- (a) tah, (b) tlak, (c) stříh, (d) krut [15]

Základními mechanickými vlastnostmi jsou pevnost, plasticita, pružnost a houževnatost. Pevnost je charakterizována jako odpor materiálu proti deformaci a porušení vnějšími silami. Pevnost lze rozlišit dle způsobu namáhání na pevnost v tahu, tlaku, ohybu, krutu, stříhu, ale tečení a únavě. Další mechanickou vlastností polymerních materiálů je pružnost, která udává schopnost materiálu vykazovat před porušením pružnou deformaci.

K vyhodnocování této vlastnosti se běžně využívá modul a mez pružnosti a energie elastické napjatosti. Schopností materiálu zachovat trvalé deformace vyvolané účinkem vnějších sil je plasticita. Houževnatost udává schopnost materiálu odolávat velkým napětím bez porušení. Tato vlastnost je tedy závislá na pevnosti a plasticitě. K tomu aby bylo možné reprodukovat a porovnávat vlastnosti materiálů, se musí mechanické zkoušky řídit přesně definovanými postupy a podmínkami. Mezi základní mechanické zkoušky patří tahová zkouška, ohybová zkouška a zkoušky rázové. [15]

2.4.1 Tahová zkouška




Tahová zkouška patří mezi zkoušky statické. Její průběh je dán normami ČSN EN ISO 527-1 a ČSN ISO 527-2. Prostřednictvím této zkoušky jsou u polymerních materiálů zjišťovány krátkodobé mechanické vlastnosti. Princip zkoušky spočívá v natahování zkušebních těles silou ve směru své podélné osy při konstantní rychlosti posuvu čelistí. [16] Zpravidla se měření provádí na univerzálních testovacích strojích instrumentovaných pro tahovou zkoušku. [17] Nejdůležitějším měřeným parametrem je modul pružnosti v tahu. Tento parametr je materiálovou konstantou, která je odvozena od sklonu křivky grafu „napětí- deformace“ v lineární oblasti. [14]

2.4.2 Zkoušky tvrdosti a mikrotvrdosti

Jednou z důležitých vlastností polymerních materiálů je tvrdost, která je definována jako odpor proti deformaci povrchu materiálu vyvolané působením cizího tělesa. Zkoušek tvrdosti existuje celá řada a lze je rozdělit na základě použitého principu na metody vrypové, odrazové a vnikací. Dále lze tyto zkoušky rozdělit na statické a dynamické. V případě, že je hodnocena tvrdost materiálu jako celku jde o makrotvrdost, pokud se stanovují pouze lokální vlastnosti, jde o mikrotvrdost. Podstatou vrypových zkoušek je vytvoření vrypu diamantovým tělesem určitého tvaru na vyleštěném povrchu. Tato zkouška je označena jako Martensova zkouška. Při odrazových zkouškách se hodnotí výška odrazu závaží dopadajícího z určité výšky na zkoušený materiál. Toto těleso musí mít přesně definovaný tvar a hmotnost. Tento typ zkoušky je označován jako Shoreho zkouška. Nejvýznamnějšími a nejčastěji používanými zkouškami jsou zkoušky vnikací. Na základě těchto zkoušek se stanovuje hodnota tvrdosti pomocí vyhodnocení tvarů a rozměrů vniklého vtisku, který je do materiálu vlačován vhodným indentorem předepsanou silou. Mezi tyto zkoušky patří Brinellova, Vickersova, Knoopova a Rockwelova zkouška. Tyto zkoušky se mezi sebou

vzájemně liší typem použitého indentoru, kterými mohou být kulička, jehlan nebo kužel. [15]

Tab. 1. Základní vnikací metody měření tvrdosti [15]

Zkouška tvrdosti	Indentor	Vtisk
Brinellova	kulička	
Vickersova	jehlan	
Knoopova	jehlan	
Rockwellova	kužel, kulička	

Pro zjištění tvrdost velmi malých součástí, tenkých vrstev a povlaků, určitých míst a vlastností strukturálních složek byly zavedeny metody měření tzv. mikrotvrdosti, které jsou principiálně shodné s Viskersovou metodou, a to při zatížení od 4 mN až 2N. Vnikající tělíčka mohou být ve formě Vickersova jehlanu nebo také Knoopova indentoru. [15]

Princip měření tvrdosti dle Vickerse podléhá normě ČSN EN ISO 6507-1. [19] Hodnoty tvrdosti jsou nepřímo úměrné hloubce vtláčení hrotu a závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu. [17]

2.4.3 Ohybová zkouška

Ohybová zkouška se řídí normou ČSN EN ISO 178. Patří mezi zkoušky statické a v praxi se využívá jen výjimečně. Zpravidla se využívá k ověření vlastností svárových spojů nebo ke stanovení modulu pružnosti křehkých materiálů, kterými jsou i plasty. [15] Tento typ zkoušky se provádí na universálních testovacích strojích určených pro ohybové zkoušky. Princip metody spočívá v ohybu testovacího tělesa uloženého na dvou podporách a v působení zatěžující síla v ose mezi podporami do momentu rozlomení nebo do dosažení stanovené hodnoty. Charakteristickými hodnotami vyhodnocujícími ohybovou zkoušku je modul pružnosti v tahu, pevnost v ohybu, průhyb aj. [17]

2.4.4 Rázové zkoušky

Normě ČSN EN ISO 179 podléhá provádění rázové zkoušky. Tato zkouška patří mezi zkoušky dynamické. Během těchto zkoušek se zjišťuje potřebná práce k přeražení zkušebního tělesa kladivem, nebo kyvadlem. Existují dva typy rázových zkoušek, a to Izod a Charpy. Principem Izod zkoušky je přeražení zkušebního tělesa, které je umístěno vertikálně tak, aby byl vrub nad okrajem upínacích čelistí a proti pohybu kyvadla. Naopak je tomu při Charpyho zkoušce, kdy je zkušební těleso umístěno horizontálně tak, aby byl vrub v ose a ve směru pohybu kyvadla. Tento typ zkoušky se běžně provádí na speciálních testovacích strojích opatřených kyvadlem, nebo kladivem. [17]

3 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zabývá významem obalů v potravinářském průmyslu a testováním jejich mechanických vlastností.

První kapitola této práce pojednává o základních funkcích obalů, které jsou důležité z hlediska zachování hygienické nezávadnosti potravin, předávání informací spotřebitelům o konkrétním potravinovém výrobku a jejich snadné manipulaci, přepravě a skladování. Dále je v této kapitole shrnut význam ochranné funkce obalů, která dává komplexní pohled na úlohu obalů v potravinářském průmyslu. Část kapitoly je věnována základní charakteristice obalových materiálů, které jsou více či méně používány k výrobě obalů.

Další kapitola se zabývá nejvíce používaným materiálem pro výrobu obalů, polymery. V obecné rovině je zde shrnutá základní charakteristika polymerů, jejich struktura a základní dělení. Na tuto podkapitulu navazuje část zabývající se konkrétními zástupci z řad polymerů, které zaujímají velmi významné místo v obalové technologii. Poslední část je zaměřena na problematiku mechanických vlastností polymerů společně s uvedením základních testů, které jsou ke zjišťování mechanických vlastností běžně používány.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjistit mechanické vlastnosti polymerních materiálů běžně používaných v potravinářském průmyslu. Prvním krokem je výroba zkušebních těles na vstříkacím stroji Arburg 420 C Allrounder. Rozměry a tvary těles budou odpovídat příslušným normám ČSN ISO EN 527-2 a 6507-1. Na těchto tělesech budou testovány mechanické vlastnosti polymerů (LDPE, HDPE a PP), a to prostřednictvím tahové zkoušky a zkoušky mikrotvrdomosti. Tahová zkouška bude provedena na univerzálním stroji Zwick 1456 a mikrotvrdomost na mikrotvrdoměru MICRO- COMBI TESTER od firmy CSM. U každé zkoušky budou diskutovány výsledky, které budou doplňovat tabulky s hodnotami a příslušné grafy.

Cíle diplomové práce:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení výsledku měření.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Použité materiály

K testování mechanických vlastností byly zvoleny polymerní materiály běžně používané k výrobě obalů určených k balení potravin, polyetyleny (LDPE a HDPE) a polypropylen.

5.1.1 Polyetyleny – HDPE, LDPE

Polyetyleny patří mezi semikrystalické plasty do skupiny polyolefinů. Vyznačují se nižší pevností a tuhostí, ale velkou houževnatostí. [17]

Dle způsobu výroby jsou rozeznávány dva základní typy:

- rozvětvený LDPE (Low-DensityPolyethylen) – vyráběn vysokotlakou polymerací
- lineární HDPE (High-DensityPolyethylen)- vyráběn nízkotlakou polymerací

Vzhledem i omakem se tyto materiály podobají parafínu, jsou mléčně zakalené, měkčí konzistence a jsou lehčí než voda. [17]

Struktura LDPE je silně rozvětvená, na řetězci se vyskytují jak krátké tak dlouhé větve. Krátké větvení způsobuje snížení krystalinity, což ovlivňuje mechanické i fyzikální vlastnosti. K základním charakteristikám LDPE patří teplota tání, modul pružnosti, mez pevnosti a houževnatost. K důležitým aspektům LDPE patří tokové vlastnosti, díky kterým se dobře zpracovává. Proto je vhodným materiálem pro výrobu obalových fólií a láhví. LDPE je zpracováván metodami vyfukovacími, vstřikovacími a vytlačovacími. Značnou nevýhodou tohoto polymerního materiálu jsou nízké mechanické vlastnosti a náchylnost ke korozi pod napětím. Struktura HDPE je lineární, jeho výroba probíhá při nízkých nebo středních tlacích. [17]

Tab. 2. Charakteristické vlastnosti LDPE, HDPE [10]

Vlastnost	HDPE	LDPE
Hustota [kg m^{-3}]	do 960	do 930
Krystalinita [%]	do 93	do 64
Pevnost v tahu [MPa]	do 25	do 10
Tažnost [%]	do 1000	do 1000

Polymery LDPE a HDPE použité při testech byly dodány firmou Dow Chemical a byly určeny pro zpracování pomocí technologie vstřikování.

5.1.2 Polypropylen – PP

Dalším zástupcem polyolefinů je polypropylen. Tento polyolefin je semikrystalický, středně pevný, tuhý a houževnatý. Jeho vzhled je mléčně zakalený, je lehčí než voda a tužší než polyetylen. PP je středně pevný až tuhý materiál. Teplota použití se pohybuje kolem 130°C. Tento materiál je hořlavý, velmi dobře se barví, ale nelze jej lepit. Výrobky z polypropylenu jsou průhlednější než z polyetyleny. Polypropylen je čím dál víc používanějším materiálem z důvodu nízké ceny a užitných vlastností. Za velkou nevýhodu tohoto materiálu lze považovat křehkost pod bodem mrazu a snadná oxidace. [20]

Tab. 3. Charakteristické vlastnosti PP [20]

Hustota [kg m^{-3}]	do 960
Krystalinita [%]	do 93
Pevnost v tahu [MPa]	do 25
Tažnost [%]	do 1000

Použitý neplněný polypropylen byl dodán firmou PTS Plastics Technologie Servis a byl určen pro zpracování pomocí technologie vstřikování.

5.2 Způsob přípravy vzorků

5.2.1 Výroba a příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa byla zhotovena na vstřikovací stroji Arburg 420C Allrounder Advanced v souladu s příslušnou normou ČSN EN ISO 527-2.



Obr. 13. Arburg 420C Allrounder Advanced

Hydraulický vstřikovací stroj Arburg Allrounder lze optimálně dimenzovat pro všechny známé technologie vstřikování. Pomocí volně programovatelného řízení SELOGICA umožňuje integraci nejrůznějšího periferního vybavení. [21]

Tab. 4. Technické parametry ARBURG 420 C Allrounder Advanced [17]

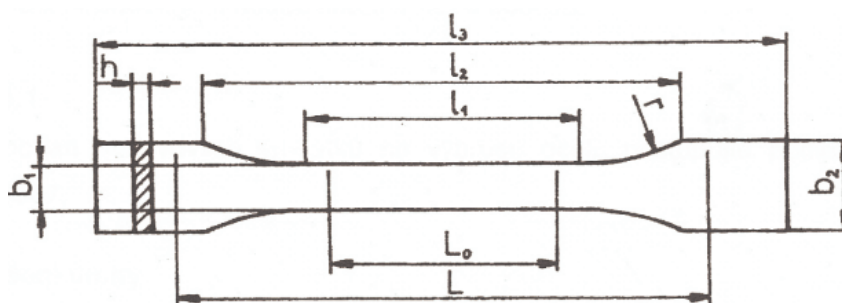
maximální uzavírací síla	1000 kN
maximální otevření	500 mm
minimální výška vstřikovací formy	250 mm
maximální světlost mezi upínacími deskami	750 mm
vzdálenost mezi vodícími sloupky	420 x 420 mm
velikost upínací desky	570 x 570 mm
maximální vyhazovací síla	40 kN
maximální zdvih vyhazovače	175 mm
poměr šneku L/D	20
průměr šneku	40 mm
maximální objem dávky	182 cm ³
maximální vstřikovací tlak	2120 bar
maximální krouticí moment šneku	550 Nm
maximální přítláčná síla trysky	60 kN

Podmínky vstřikování byly stanoveny na základě materiálových listů dodaných k testovaným polymerním materiálům.

Po výrobě zkušebních těles a před jejich měřením bylo zapotřebí odstranit vtokové systémy. Tato úprava byla provedena prostým odlomením nebo odstřížením nůžkami.

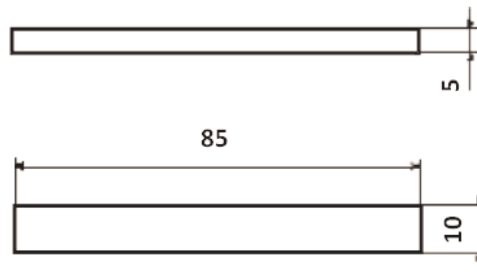
5.2.2 Tvar a rozměry zkušebních těles

Zkušební tělíska určena pro tahovou zkoušku byla vyrobena podle normy ČSN EN ISO 527-2.



Obr. 14. Schematické znázornění zkušební tělesa pro tahovou zkoušku [15]

Zkušební tělíska byla navstříkováána v počtu 30 ks od každého polymeru. Tvary a rozměry tělísek pro zkoušku mikrotvrlosti odpovídaly normě ČSN EN ISO 6507-1.



Obr. 15. Schematické znázornění zkušební tělíska mikrotvrlost

5.3 Mechanické zkoušky

Na výše uvedených polymerních materiálech byla provedena zkouška mikrotvrlosti a tahová zkouška. Tyto zkoušky se prováděly v laboratorních místnostech za normální teploty (21°C).

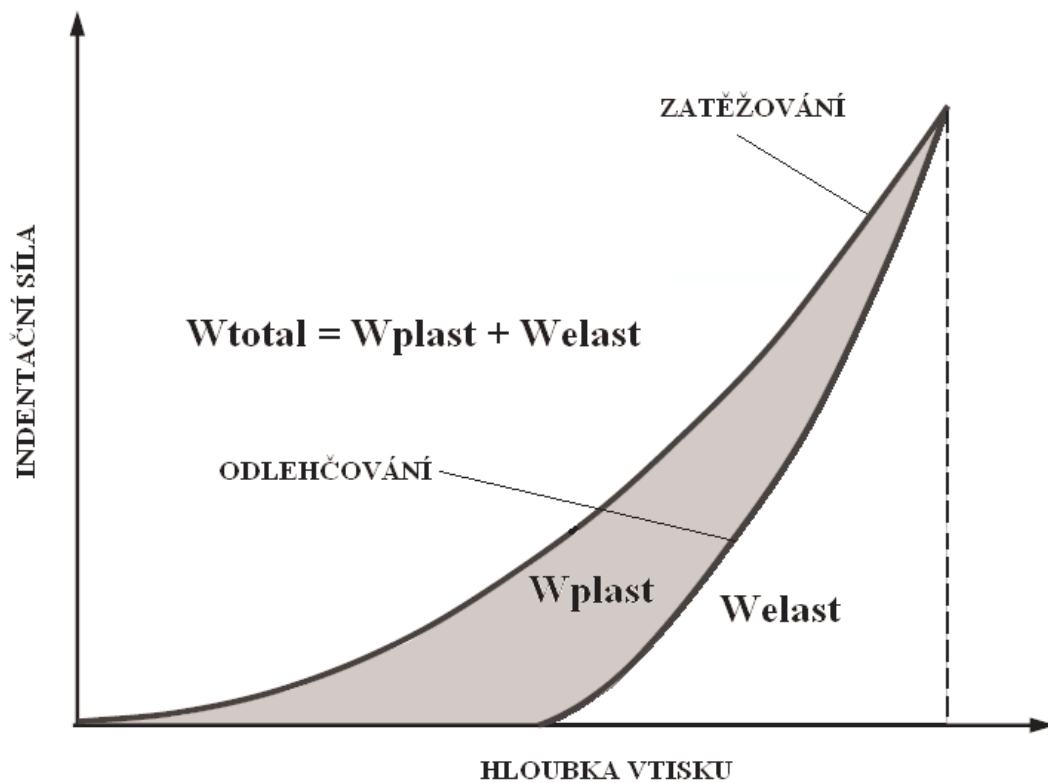
5.3.1 Zkouška mikrotvrlosti

Zkouška mikrotvrlosti byla provedena na přístroji MICRO-COMBI TESTER od firmy CSM. Postup měření byl proveden na základě normy ČSN EN ISO 6507-1.



Obr. 16. Mikrotvrdoměr MICRO-COMBI TESTER

Pro samotnou zkoušku mikrotvrdomosti bylo aplikováno zatížení 0,5 N a 1 N při výdrži 90 s. Zatěžující a odtěžující rychlost byla použita 2 N/min. Měření bylo provedeno metodou DSI (Depth Sensing Indentation – metoda Oliver & Pharr), pro niž byl zvolen český ekvivalent “Instrumentovaná vnikací zkouška tvrdosti”.



Obr. 17. Graf závislosti síly na hloubce vtisku

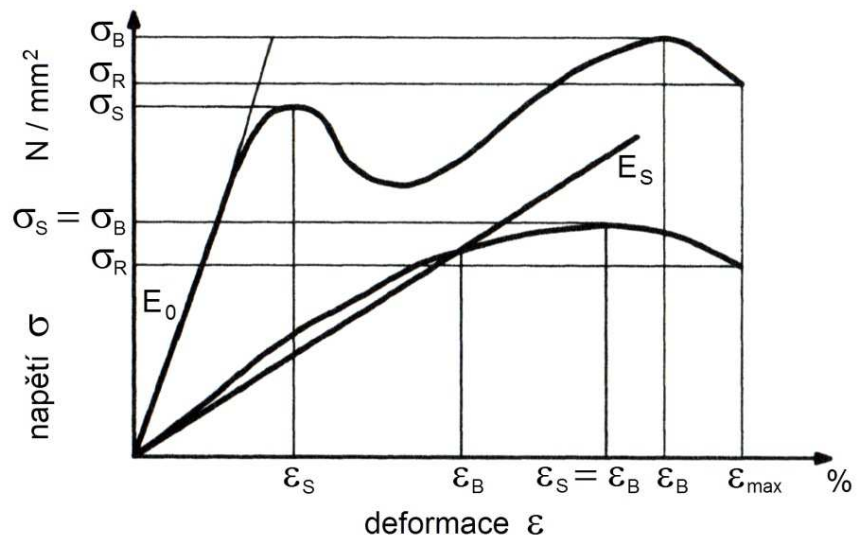
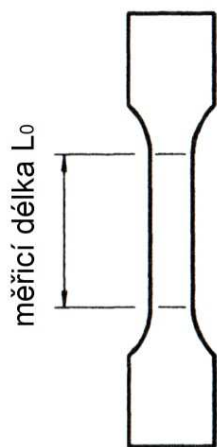
Poissonovo číslo bylo odhadnuto na hodnotu 0,3 z důvodu, že nebylo možné změřit jeho hodnotu u testovaných zkušebních těles. Celkem bylo testováno 10 vzorků z každého materiálu pro zatížení 0,5 N a stejný počet vzorků od každého materiálu pro zatížení 1 N.

5.3.2 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456. Princip měření se řídil dle normy ČSN EN ISO 527-1 a 527-2.

Zkušební tělíska byla upnuta do samosvorných kleštin testovacího stroje. Po upnutí byla zahájena zkouška jednoosým tahem. Průběh zkoušky a výsledky získané prostřednictvím stroje ZWICK 1456 byly zaznamenány programem testXpert II.

tahové
zkušební těleso



Obr. 18. Tahová zkouška [18]



Obr. 19. Zwick 1456

5.4 Způsob vyhodnocování

5.4.1 Vyhodnocení výsledků mikrotvrdomosti

Při zkouškách mikrotvrdomosti se nejčastěji vyhodnocuje vtisková tvrdost H_{IT} , vtiskový modul pružnosti E_{IT} , tvrdost podle Vickerse HV a vtiskový creep C_{IT} .

Vtisková tvrdost H_{IT} : vyjadřuje odpor k trvalé deformaci anebo poškození.

$$H_{IT} = \frac{F_{max}}{A_p} \quad (1)$$

Kde:

A_p – průmět kontaktní plochy indentoru

F_{max} – maximální zatěžující síla

Tvrdomost podle Vickerse HV: je určena poměrem vlačovací síly F a povrchu vtisku.

$$HV = \frac{F_{max}}{9,81 \cdot A_c(h_c)} \quad (2)$$

Vtiskový modul pružnosti E_{IT} :

$$E_{IT} = E^* \cdot (1 - \nu_s^2) \quad (3)$$

Kde:

ν_s - Poissonův poměr zkušební tělesa

E^* - je komplexní modul

Vtiskový creep C_{IT} : popisuje tečení materiálu během konstantního zatížení

$$C_{IT} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \cdot 100 \% \quad (4)$$

5.4.2 Statistické vyhodnocování výsledků

U jednotlivých zkoušek bylo pro každý materiál provedeno deset měření. Výsledky měření byly vyneseny do tabulek a byl u nich stanoven aritmetický průměr (5) a směrodatná od-

chylka (6). Získané hodnoty byly převedeny do podoby grafů, ve kterých byly porovnány použité materiály.

Aritmetický průměr: udává odhad střední hodnoty výběrového statistického souboru dat.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (5)$$

Směrodatná odchylka: udává, o kolik se naměřené hodnoty průměrně odchylojí od odhadu aritmetického průměru.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (6)$$

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

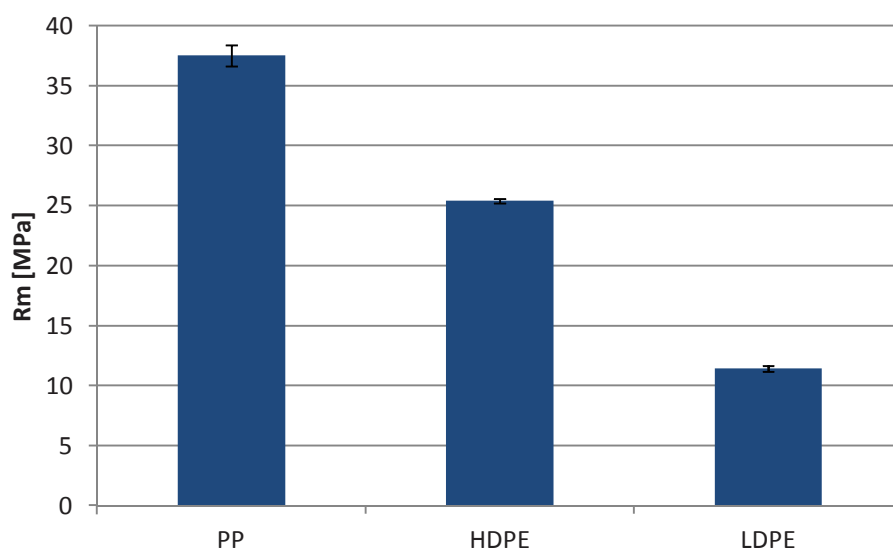
K experimentu byly vybrány tři typy polymerních materiálů, které se běžně používají k výrobě obalů určených k balení potravin. Všechny vybrané materiály patří mezi polyolefiny – PP, LDPE, HDPE. K porovnání mechanických vlastností materiálů bylo využito dvou typů mechanických zkoušek (tahová zkouška a zkouška mikrotvrdosti), které tyto vlastnosti popisují v makro i mikro pohledu.

6.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška představuje makro pohled na mechanické vlastnosti testovaných materiálů. Jsou zde vyhodnocovány dvě materiálové veličiny – modul pružnosti v tahu (E) a pevnost v tahu (R_m). Obě veličiny jsou běžně využívány konstruktéry a technologi při výběru vhodného materiálu pro nové výrobky. Navíc jsou důležitými parametry pro pevnostní a strukturální simulace při konstrukci výrobku a jeho dimenzování na požadované vlastnosti.

Pevnost v tahu- R_m

Z naměřených výsledků vyplývá, že nejvyšších hodnot pevnosti v tahu (R_m) dosáhl materiál PP. Naproti tomu nejnižších hodnot nabývá materiál LDPE, jehož hodnoty pevnosti materiálu dosahují přibližně 30 % materiálu PP. Hodnoty naměřené u materiálu HDPE odpovídají PP z necelých 68 %.



Obr. 20. Porovnání pevností v tahu R_m .

Tab. 5. Pevnost v tahu- R_m [MPa].

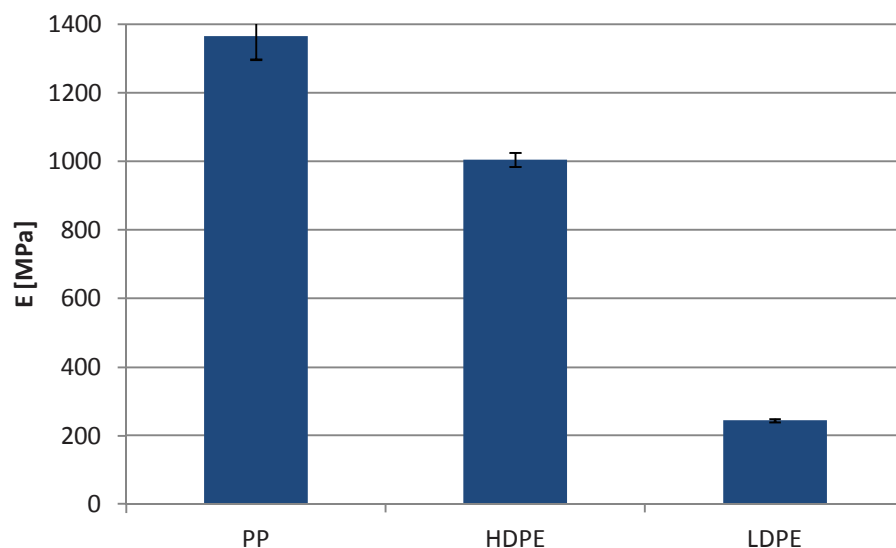
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	37,5	0,870
HDPE	25,4	0,181
LDPE	11,4	0,234

Modul pružnosti v tahu- E [MPa]

Z naměřených výsledků vyplývá, že nejvyšších hodnot modulu pružnosti (E) dosáhl materiál PP. Naproti tomu nejnižších hodnot nabývá materiál LDPE, jehož hodnoty tuhosti materiálu nedosahují ani 20 % materiálu PP. Hodnoty naměřené u materiálu HDPE odpovídají PP přibližně ze 74 %.

Tab. 6. Modul pružnosti v tahu- E [MPa].

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	1365,1	68,190
HDPE	1004,8	20,054
LDPE	244,6	4,762

Obr. 21. Porovnání modulů pružností v tahu. E .

6.2 Zkouška mikrotvrdomosti

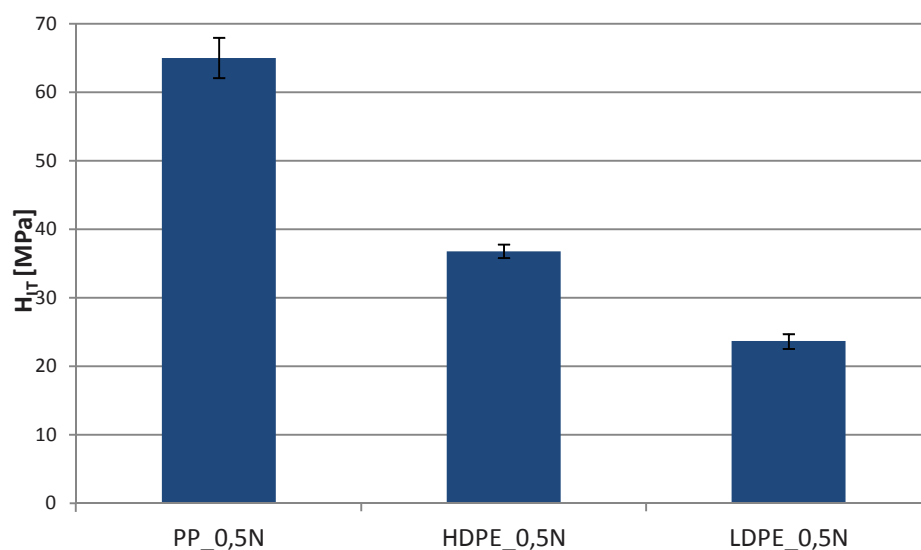
Zkouška mikrotvrdomosti představuje mikro pohled na mechanické vlastnosti testovaných materiálů. Mikro pohled je důležitý z důvodu možného poškození povrchových vrstev polymeru. Mikrotrhliny nebo škrábance bývají zárodkem pro vznik větších defektů, které později mohou způsobit kontaminaci uchovávané potraviny. Z těchto důvodů byla vyhodnocována nejen samotná tvrdost dle Vickerse, ale také vtisková tvrdost, vtiskový modul pružnosti, vtiskový creep a práce vynaložená na vtisk.

Vtisková tvrdost H_{IT} [MPa] při aplikovaném zatížení 0,5N a 1 N

Naměřené hodnoty vtiskové tvrdosti H_{IT} se při zatížení 0,5 N a 1 N liší minimálně (do 5 %). Nejvyšší odpor k vniknutí indentoru vykázal materiál PP, který vykázal téměř o 50 % vyšší tvrdost než HDPE a o téměř 70 % v případě LDPE.

Tab. 7. Vtisková tvrdost H_{IT} [MPa] při zatížení 0,5 N.

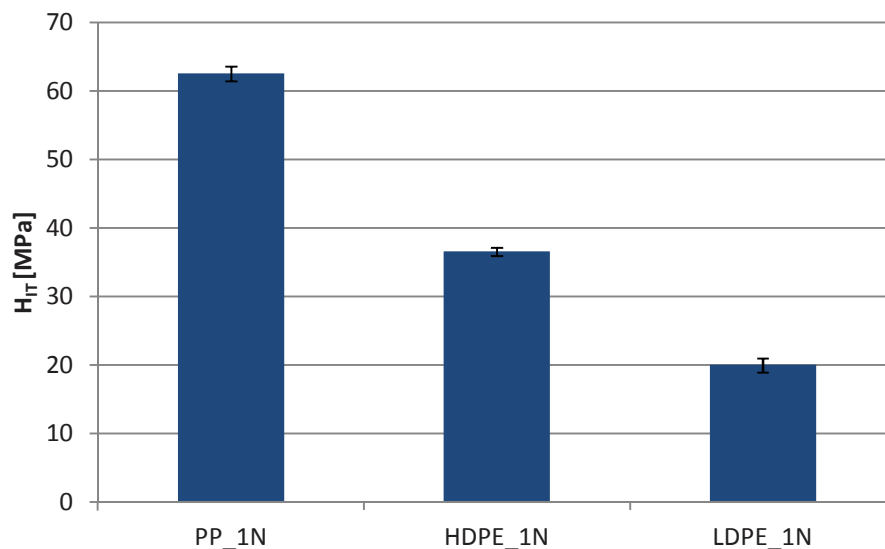
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	65,0	2,924
HDPE	36,8	0,987
LDPE	21,1	1,085



Obr. 22. Porovnání vtiskových tvrdostí H_{IT} při zatížení 0,5N.

Tab. 8. Vtisková tvrdost H_{IT} [MPa] při zatížení 1 N.

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	62,6	1,054
HDPE	36,6	0,594
LDPE	20,0	1,011

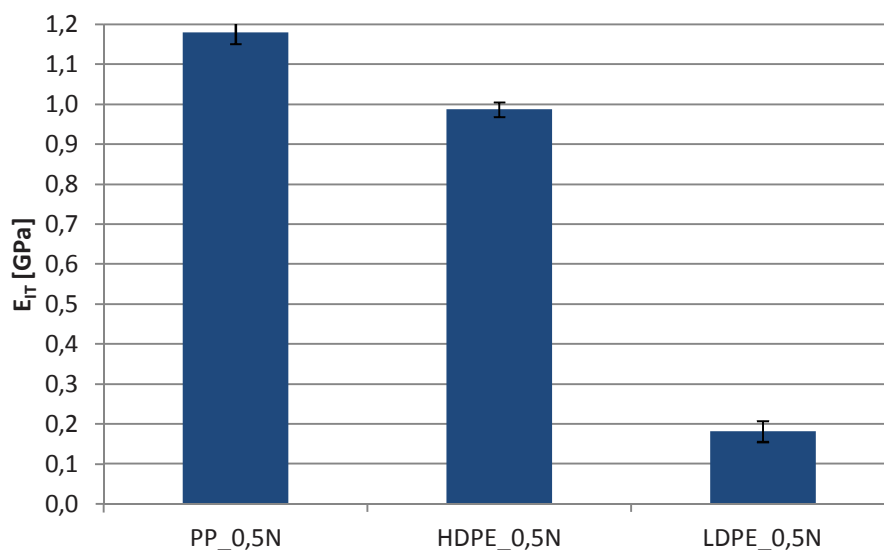
Obr. 23. Porovnání vtiskových tvrdostí H_{IT} při zatížení 0,5N.

Vtiskový modul pružnosti E_{IT} [GPa] při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Stejně jako u vtiskové tvrdosti (H_{IT}), také u vtiskového modulu pružnosti (E_{IT}) se naměřené hodnoty při zatížení 0,5 N a 1 N liší minimálně (do 2 %), pouze u LDPE je rozdíl přibližně 7%. Nejtuzším materiálem byl PP, ale HDPE vykazovalo pouze o přibližně 16 % nižších hodnot. Zatímco LDPE dosáhlo jen na 15 % tuhosti PP, což vypovídá o elasticitě tohoto materiálu.

Tab. 9. Vtiskový modul pružnosti- E_{IT} [GPa] při zatížení 0,5 N

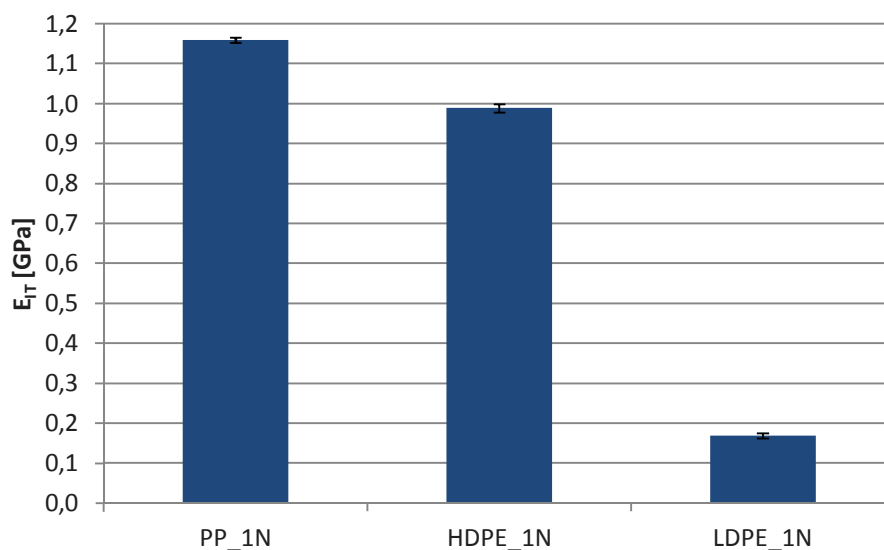
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	1,18	0,029
HDPE	0,99	0,018
LDPE	0,18	0,026



Obr. 24. Porovnání vtiskových modulů pružnosti E_{IT} při zatížení 0,5 N

Tab. 10. Vtiskový modul pružnosti- E_{IT} [GPa] při zatížení 1 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	1,16	0,007
HDPE	0,99	0,011
LDPE	0,17	0,006



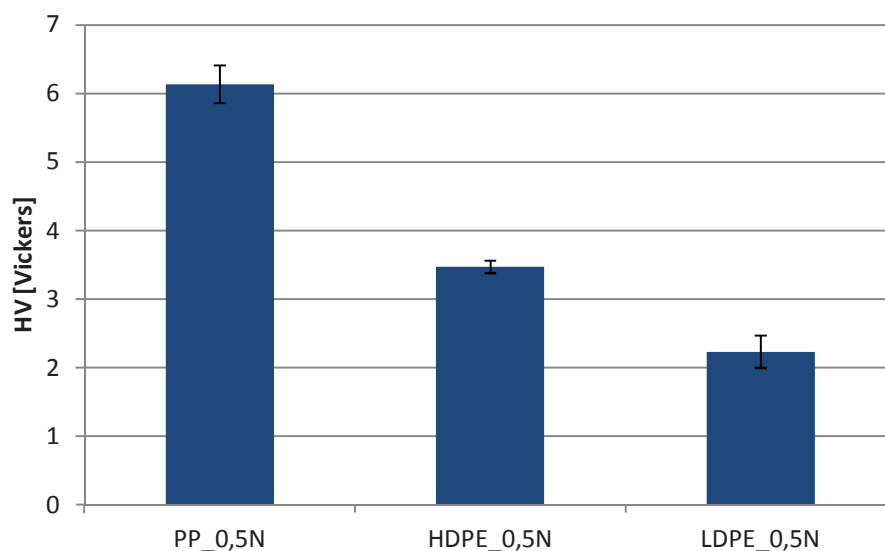
Obr. 25. Porovnání vtiskových modulů pružnosti E_{IT} při zatížení 1 N

Tvrdość podle Vickerse HV při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Rozdíly naměřených hodnot při zatížení 0,5 N a 1 N jsou stejné s předchozími výsledky – PP a HDPE do 4 % a v případě LDPE do 7 %. Tvrdość podle Vickerse (HV) tendenčně kopíruje vtiskovou tvrdość (H_{IT}). Nejvyšší tvrdości dosáhl PP a v dosažených hodnotách téměř o 50 % předčil HDPE a o téměř 70 % LDPE.

Tab. 11. Tvrdość podle Vickerse- HV při zatížení 0,5 N

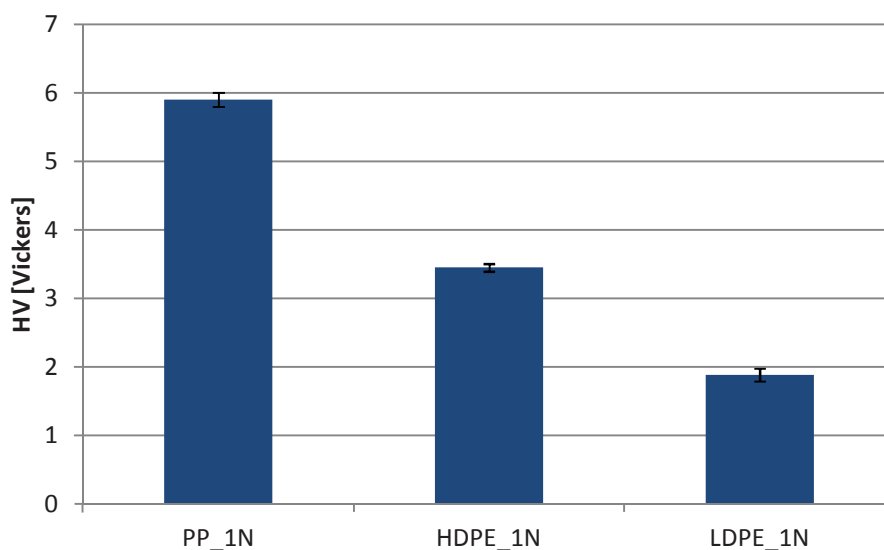
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	6,14	0,276
HDPE	3,48	0,093
LDPE	2,03	0,235



Obr. 26. Porovnání tvrdoostí podle Vickerse HV při zatížení 0,5 N

Tab. 12. Tvrdość podle Vickerse- HV při zatížení 1 N

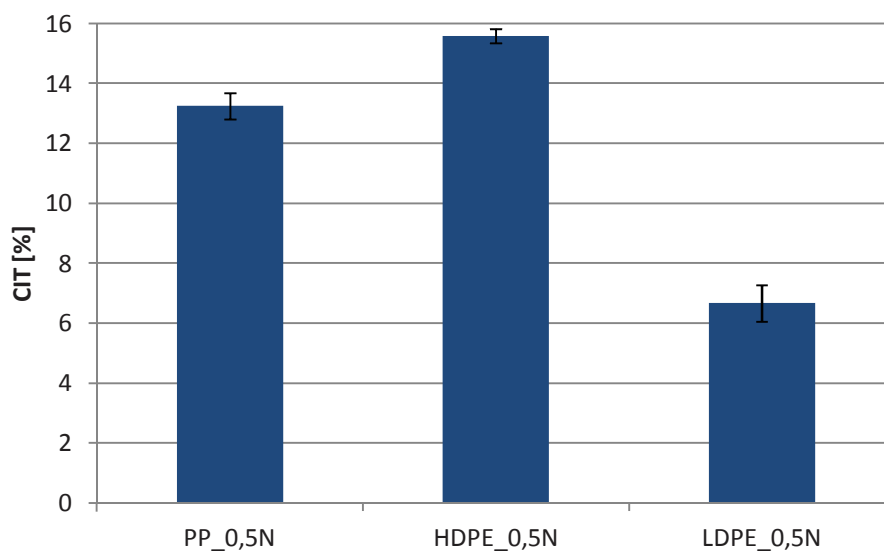
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	5,90	0,099
HDPE	3,45	0,056
LDPE	1,89	0,095



Obr. 27. Porovnání tvrdostí podle Vickerse HV při zatížení 0,5 N

Vtiskový creep C_{IT} [%] při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Rozdíly naměřených hodnot při zatížení 0,5 N a 1 N jsou minimální (do 3%). Materiálem nejvíce náchylným ke creepu (k tečení) byl dle měření HDPE, který dosáhl až o 17 % vyšších hodnot než PP a o 57 % vyšších hodnot než LDPE.



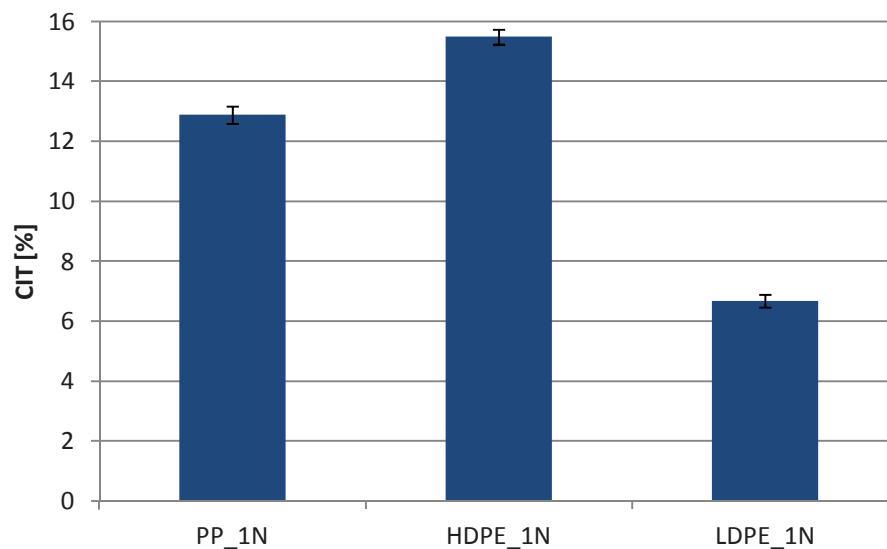
Obr. 28. Porovnání vtiskových creepů C_{IT} při zatížení 0,5 N

Tab. 13. Vtiskový creep- C_{IT} [%] při zatížení 0,5 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	13,2	0,436
HDPE	15,6	0,241
LDPE	6,7	0,612

Tab. 14. Vtiskový creep- C_{IT} [%] při zatížení 1 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	12,9	0,292
HDPE	15,5	0,254
LDPE	6,7	0,217

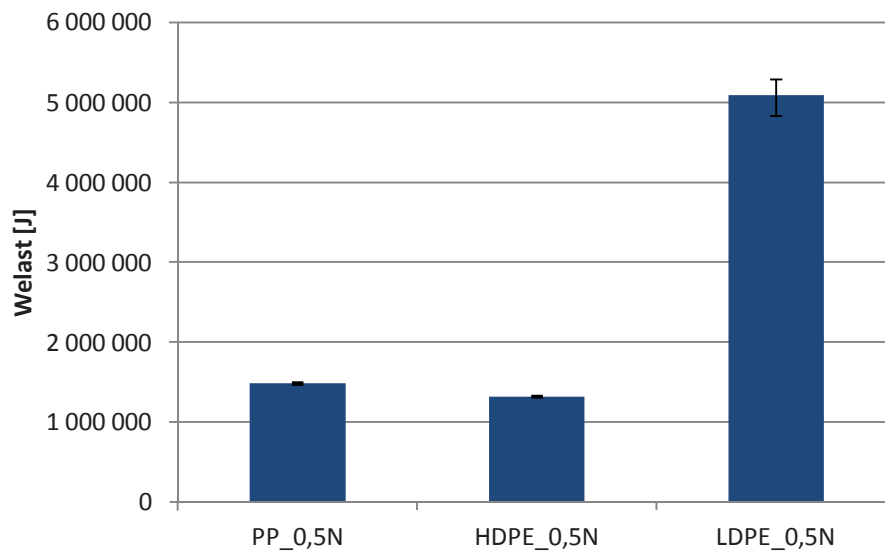
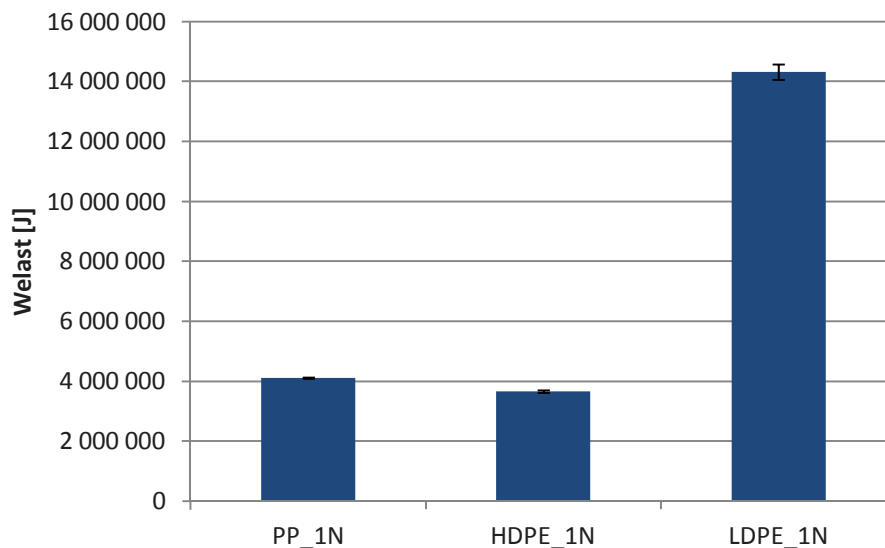
Obr. 29. Porovnání vtiskových creepů C_{IT} při zatížení 1 N

Elastická složka práce W_{elast} [J] při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Zjištěné rozdíly naměřených hodnot při zatížení 0,5 N a 1 N jsou u všech materiálů necelých 65 %, avšak stejně jako u předešlých vyhodnocovaných veličin jsou naměřené hodnoty tendenčně stejné. Materiálem s nejvyšší elastickou prací byl LDPE, který výrazně převyšil další dva testované materiály. HDPE i PP dosáhly elasticity LDPE z necelých 30 %.

Tab. 15. Elastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 0,5 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	1486400	14676,
HDPE	1321934	11290
LDPE	5086404	204561

Obr. 30. Porovnání elastické složky práce W_{elast} při zatížení 0,5 NObr. 31. Porovnání elastické složky práce W_{elast} při zatížení 1 N

Tab. 16. Elastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 1 N

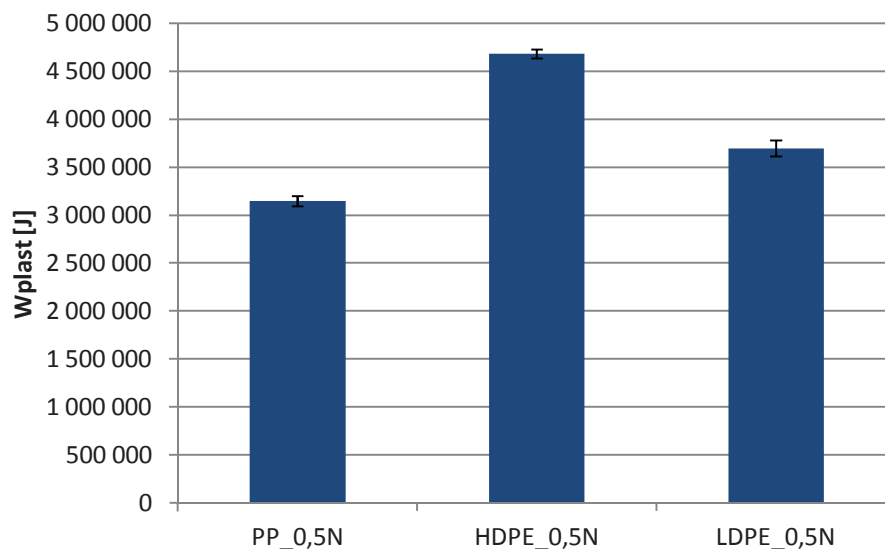
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	4115079	16399
HDPE	3666077	46876
LDPE	14319155	252277

Plastická složka práce W_{plast} [J] při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Zjištěné rozdíly naměřených hodnot při zatížení 0,5 N a 1 N jsou u všech materiálů necelých 65 %. I zde jsou naměřené hodnoty tendenčně stejné. HDPE byl materiálem s největší plastickou prací. LDPE dosáhl 79 % a PP jen 67 % v porovnání s HDPE.

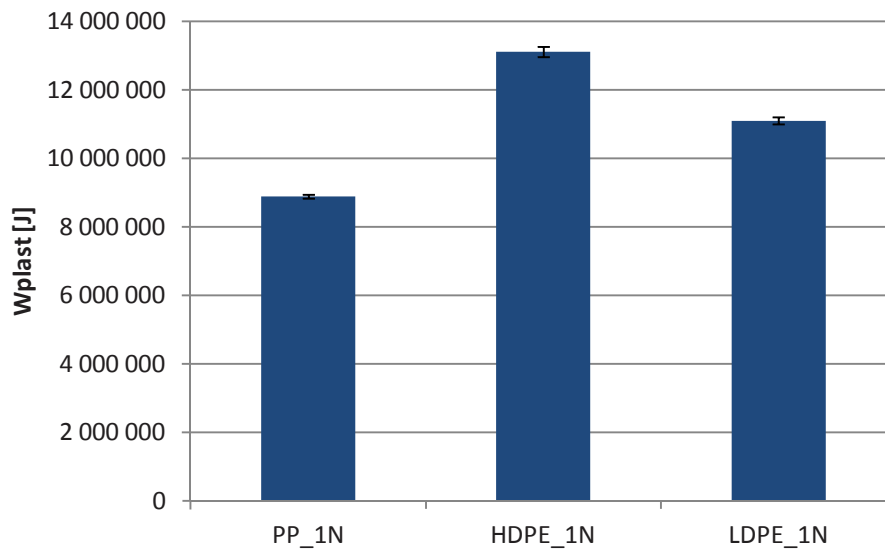
Tab. 17. Plastická složka práce- W_{plast} [J] při zatížení 0,5 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	3145802	52649
HDPE	4684396	46195
LDPE	3696370	83145

Obr. 32. Porovnání plastické složky práce W_{plast} při zatížení 0,5 N

Tab. 18. Plastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 1 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	8892416	55506
HDPE	13113124	147158
LDPE	11096050	98788

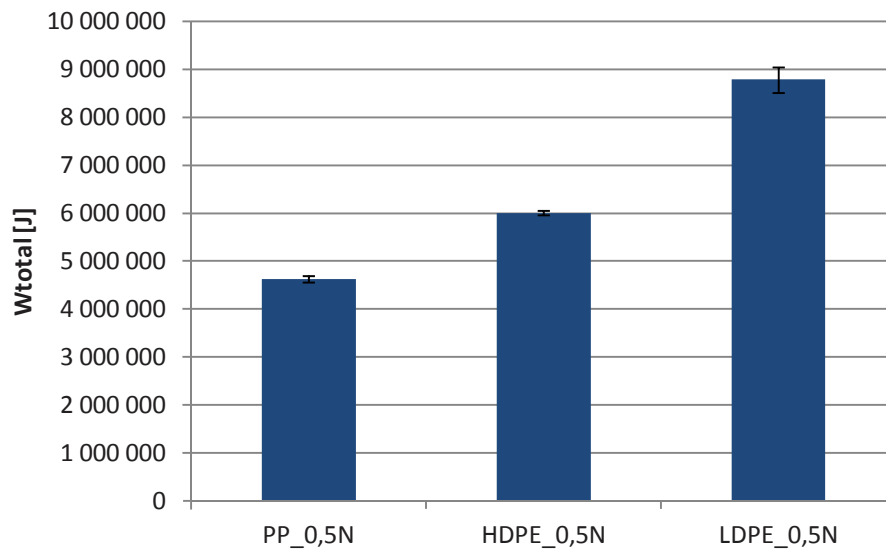
Obr. 33. Porovnání plastické složky práce W_{elast} při zatížení 1 N

Celková práce W_{total} [J] při aplikovaném zatížení 0,5 N a 1 N

Rozdíly naměřených hodnot při zatížení 0,5 N a 1 N jsou stejné jako u W_{elast} a W_{plast} (cca 65 %). Sečtení elastické a plastické složky práce ukázalo, že nejvíce elastickým materiálem byl LDPE. Naopak PP byl nejužším materiálem, u kterého bylo spotřebováno pouze 52 % práce v průběhu indentačního cyklu v porovnání s LDPE. U materiálu HDPE to bylo jen 68 % celkové práce.

Tab. 19. Celková práce- W_{total} [J] při zatížení 0,5 N

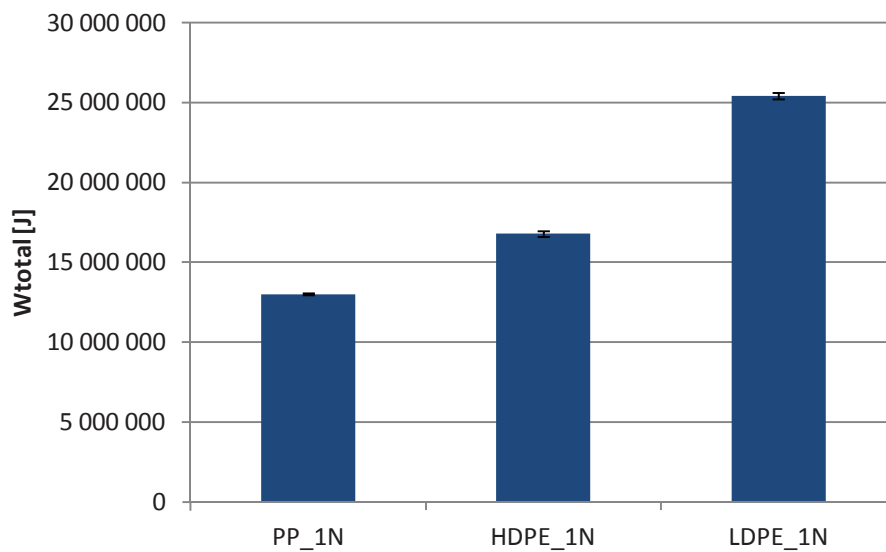
Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	4632202	65055
HDPE	6006330	46571
LDPE	8782774	264324



Obr. 34. Porovnání celkové práce W_{total} při zatížení 0,5 N

Tab. 20. Celková práce- W_{total} [J] při zatížení 1 N

Polymer	Průměr	Směr. odchylka
PP	13007495	60648
HDPE	16779201	169372
LDPE	25415204	206641



Obr. 35. Porovnání celkové práce W_{total} při zatížení 1 N

6.3 Zhodnocení naměřených výsledků

Tahová zkouška, která představuje makro pohled na vlastnosti testovaných materiálů, ukázala, že nejvíce pevnostně i tuhostně únosným materiálem je polypropylen (PP). Ten v porovnání s testovanými polyetyleny (HDPE, LDPE) dosahuje minimálně o 30 % vyšších hodnot tuhosti i pevnosti. Ze všech testovaných polyolefinů se také jedná o materiál, který se svými vlastnostmi blíží technickým plastům.

Z těchto důvodů je polypropylen z makroskopického hlediska vhodný k použití na nejvíce namáhané a mechanicky exponované díly, např. přepravky, ochranné a výztužné kostry obalů apod. Oproti tomu polyetyleny (HDPE, LDPE) jsou svými vlastnostmi vhodné spíše na obaly ve formě fólií nebo méně namáhané díly.

Zkouška mikrotvrdomosti ukázala rozdíly z pohledu náchylnosti nebo naopak odolnosti testovaných materiálů vůči povrchovému poškození (vznik mikrotrhlin, škrábance aj.). Povrchová odolnost je u potravinových obalů důležitá nejen z důvodu vnějšího poškození obalu od okolních vlivů, ale také možnosti poškození obalu „zevnitř“ od samotné potraviny.

V tomto srovnání se ukázalo, že materiálem s nejvyšší mikrotvrdomostí, tedy s nejvyšším odporem proti vniknutí cizího tělesa, byl polypropylen (PP). Dosáhl o 50 % vyšší tvrdosti než vysokohustotní polyetylen (HDPE) a o 70 % vyšší tvrdosti než nízkohustotní varianta polyetyleny (LDPE). Vtiskový modul pružnosti (E_{IT}) udávající tuhost materiálu měl nejvyšší PP, avšak HDPE dosáhl jen o 16 % nižších výsledků. Naproti tomu LDPE byl nejméně tuhým materiálem s pouhými 15 % tuhosti PP. Z pohledu dlouhodobého konstantního zatížení, tedy vtiskového creepu C_{IT} , byl nejcitlivější HDPE a PP s o 17 % nižšími výsledky. Nejvyšší odolnost vůči creepu byla zjištěna u LDPE, kde byly naměřené hodnoty o 57 % nižší v porovnání s HDPE. V průběhu indentačního cyklu byla pro vytvoření vtisku potřeba největší práce u materiálu LDPE, u kterého byla zároveň naměřena nejvyšší elastická složka práce. V případě PP bylo pro vtisk potřeba 52 % a u HDPE 68 % práce potřebné na vtisk do LDPE. Oba tyto materiály také vykazaly pouze třetinovou elastickou složku práce v porovnání s LDPE.

Z mikroskopického hlediska je určení použitelnosti testovaných polymerů obtížné. Polypropylen (PP) vykázal nejvyšší tvrdost, ale pokud by v praxi síla dosáhla kritické hodnoty, tak u něj bude snadné vytvořit vtisk. LDPE je pak přesným opakem PP. Materiálem, který se u vyhodnocovaných veličin vždy blížil požadovaným vlastnostem a zároveň nedosáhl extrému, byl HDPE.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá mechanickým testováním vybraných polymerů vhodných pro obalové materiály v potravinářském průmyslu. Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou. V teoretické části je popsána podstata obalů a balení potravin. Je definována funkce obalů, jejich ochranná funkce při balení potravin. Dále jsou uvedeny používané materiály, z nichž jsou v samostatné kapitole podrobněji představeny polymerní materiály včetně možností jejich testování. V praktické části jsou v jednotlivých kapitolách plněny cíle této práce. Experimentální část představuje testované materiály (polyolefiny – PP, HDPE, LDPE), způsob přípravy vzorků a použité mechanické zkoušky. V závěrečné kapitole praktické části jsou pak představeny a diskutovány získané výsledky.

Testování materiálů bylo provedeno zkouškou tahem a zkouškou mikrotvrdomosti. Tahová zkouška představuje makro pohled na mechanické vlastnosti testovaných materiálů. To je důležité při výběru materiálu pro ty části nebo typy obalů, které musí nejvíce odolávat vnějším vlivům. Zde se jako nejvhodnější materiál ukázal polypropylen (PP).

Druhým pohledem na mechanické vlastnosti materiálů je mikro pohled. Ten byl realizován pomocí zkoušky mikrotvrdomosti a hodnotí vlastnosti povrchu. Z výsledků mikrotvrdomosti je patrné, jak jsou výrazné rozdíly v mechanických vlastnostech povrchových vrstev materiálů používaných k balení potravin. Jedná se o jeden z opomíjených faktorů, které mohou mít vliv na kvalitu balených potravin. Nejen vnější poškození povrchu, ale také poškození od samotné potraviny může vést ke vzniku mikrotrhlin a škrábanců. Tyto i další povrchové vady pak bývají zárodkem kontaminace potravin a narušení obalu v makroskopickém měřítku. Zde se jako nejvhodnější ukázal vysokohustotní polyetylen (HDPE).

Výsledky této diplomové práce poukázaly na nutnost výběru obalového materiálu nejen podle mechanických vlastností získaných makro testováním, ale také mikro testováním. Potvrdil se výrazný vliv okolního prostředí na povrchové vrstvy testovaných polymerních materiálů. Získané výsledky mohou být základem pro další testování, např. za zvýšených nebo snížených teplot.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RISCH, Sara J. Food Packaging History and Innovations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2009-09-23, vol. 57, issue 18, s. 8089-8092 [cit. 2013-05-09]. DOI: 10.1021/jf900040r. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf900040r>
- [2] DVOŘÁK, Martin. Dokumenty pro studenty/dvořák martin/3. Středověk/Velká Morava/2. Užité umění. *HFS ~ HTTP File Server* [online]. 12.1.2010. 2010 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://217.115.252.254:1572/dokumenty%20pro%20studenty/dvořák%20martin/3.%20Středověk/Velká%20Morava/2.%20Užité%20umění/>
- [3] ČURDA, Dušan. *Balení potravin*. první. Praha: SNTL, ALFA, 1982.
- [4] KAČEŇÁK, Igor. *Obaly a obalová technika*. 1. vyd. Bratislava: SVŠT, 1990. ISBN 80-227-0301-X.
- [5] APENDINI, Paola a Josef H. HOTCHKISS. Review of antimicrobial food packaging. *ScienceDirect.com: Innovative Food Science & Emerging Technologies - Review of antimicrobial food packaging* [online]. 2002, Volume 3, Issue 2 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856402000127>
- [6] DOBIÁŠ, Jaroslav a Dušan ČURDA. *BALENÍ POTRAVIN*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/B/B.pdf
- [7] Obaly / Misky pro hotová jídla / PAPIRNY BRNO a. s. *Papírenské zboží pro školu a kancelář* / PAPIRNY BRNO a. s. [online]. 2008 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.papirnybrno.cz/index.php?/obaly/misky-pro-hotova-jidla>
- [8] *Internetový obchod firmy Vipor v.o.s* [online]. 1999 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://obchod.vipor.cz>
- [9] MARSH, Kenneth a Betty BUGUSU. Food Packaging? Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*. 2007, vol. 72, issue 3, R39-R55. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- [10] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [11] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 8085920727.
- [12] VALENTAS, Kenneth J, Enrique ROTSTEIN a R SINGH. *Handbook of food engineering practice*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c1997, 718 p. ISBN 08-493-8694-2.
- [13] *Lékopis - Polyolefiny* [online]. 2000 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: http://www.lekopis.cz/Kap_3_1_3.htm
- [14] HYLTON, Donald C. *Understanding plastics testing*. Munich: Hanser Publishers, c2004, xi, 93 s. ISBN 1-56990-366-2.
- [15] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Strojírenské materiály*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 204 s. ISBN 80-010-2798-8
- [16] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu: cvičení*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 89 s. ISBN 80-010-2901-8
- [17] ŠANDA, Štěpán. *Vliv vlastností polymerů a kvality tokových kanálů na zatékavost taveniny: The influence of polymer properties and runner quality on melt fluidity : teze disertační práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 32 s. ISBN 978-80-7454-204-6.

- [18] PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. *Injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, x, 246 s. ISBN 978-1-56990-419-0.
- [19] ČSN EN ISO 6507-1. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [20] Index of /cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. 2008 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf
- [21] *Hydraulické stroje řady ALLROUNDER*. 2012. Dostupné z: http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Prospekte/ARBURG_hydraulic_ALLROUNDERS_680480_cz.pdf
- [22] *Obaly a obalové materiály - Jaroslav Novotný - Jarico* [online]. 2000 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.jarico.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_c	Plocha povrchu vnikacího tělesa
BOPP	orientovaných fólie
C_{IT}	Vtiskový creep [%]
ČSN	Česká technická norma
DSI	Instrumentová vnikací zkouška tvrdosti
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
E^*	Komplexní modul
E_{IT}	Vtiskový modul pružnosti [GPa]
F_{max}	Maximální vlačovací síla [N]
HDPE	Polyetylen o vysoké hustotě
H_{IT}	Vtisková tvrdost [MPa]
HV	Tvrdost podle Vickerse
LDPE	.Polyetylen o nízké hustotě
LLDPE	Lineární polyetylen o velmi nízké hustotě
MDPE	Polyetylen o střední hustotě
PB	Polybuten
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PVAC	Polyvinylacetát
PVC	Polyvinylchlorid.
PVdC	.Polyvinylidenchlorid
R_m	Maximální pevnost v tahu [MPa]
s	Směrodatná odchylka
UHMWPE	Polyetylen o velmi vysoké molekulové hmotnosti

UV	Ultrafialové záření
ν_s	Poissonův poměr
W _{elast}	Elastická složka práce [J]
W _{plast}	Plastická složka práce [J]
W _{total}	Celková práce [J]
\bar{x}	Průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Keramické nádoby z přelomu 6. a 7. století [2]	12
Obr. 2. Vliv vodní aktivity v potravině na základní typy změn [6]	15
Obr. 3. Miska vyrobená z PP vhodná pro mikrovlnný ohřev [7].....	17
Obr. 4. Papírový sáček na pečivo s PP oknem [8]	22
Obr. 5. Obalové materiály z PP [22]	27
Obr. 6. Schematické znázornění makromolekul lineárního (a), rozvětveného (b), sesíťovaného (c) polymeru[10].....	29
Obr. 7. struktura polymerů[10]	29
Obr. 8. Základní klasifikace polymerů z hlediska chování za běžné a zvýšené teploty[10].....	30
Obr. 9. Polyetylen [10]	32
Obr. 10. Polypropylen	33
Obr. 11. Polybuten [10]	34
Obr. 12. Schéma různých způsobů zatěžování- (a) tah, (b) tlak, (c) stříh, (d) krut [15]	34
Obr. 13. Arburg 420C Allrounder Advanced	42
Obr. 14. Schematické znázornění zkušební tělesa pro tahovou zkoušku[15].....	43
Obr. 15. Schematické znázornění zkušební tělíska mikrotvrdost	44
Obr. 16. Mikrotvrdoměr MICRO-COMBI TESTER.....	44
Obr. 17. Graf závislosti síly na hloubce vtisku	45
Obr. 18. Tahová zkouška [18].....	46
Obr. 19. Zwick 1456.....	46
Obr. 20. Porovnání pevností v tahu R_m	49
Obr. 21. Porovnání modulů pružností v tahu. E	50
Obr. 22. Porovnání vtiskových tvrdostí H_{IT} při zatížení 0,5N.....	51
Obr. 23. Porovnání vtiskových tvrdostí H_{IT} při zatížení 0,5N.....	52
Obr. 24. Porovnání vtiskových modulů pružnosti E_{IT} při zatížení 0,5 N.....	53
Obr. 25. Porovnání vtiskových modulů pružnosti E_{IT} při zatížení 1 N.....	53
Obr. 26. Porovnání tvrdostí podle Vickerse HV při zatížení 0,5 N	54
Obr. 27. Porovnání tvrdostí podle Vickerse HV při zatížení 0,5 N	55
Obr. 28. Porovnání vtiskových creepů C_{IT} při zatížení 0,5 N.....	55
Obr. 29. Porovnání vtiskových creepů C_{IT} při zatížení 1 N	56
Obr. 30. Porovnání elastické složky práce W_{elast} při zatížení 0,5 N	57

Obr. 31. Porovnání elastické složky práce W_{elast} při zatížení 1 N	57
Obr. 32. Porovnání plastické složky práce W_{elast} při zatížení 0,5 N	58
Obr. 33. Porovnání plastické složky práce W_{elast} při zatížení 1 N	59
Obr. 34. Porovnání celkové práce W_{total} při zatížení 0,5 N	60
Obr. 35. Porovnání celkové práce W_{total} při zatížení 1 N	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní vnikací metody měření tvrdosti [15].....	36
Tab. 2. Charakteristické vlastnosti LDPE, HDPE [10]	41
Tab. 3. Charakteristické vlastnosti PP [20]	42
Tab. 4. Technické parametry ARBURG 420 C Allrounder Advanced [17]	43
Tab. 5. Pevnost v tahu- R_m [MPa].....	50
Tab. 6. Modul pružnosti v tahu- E [MPa].....	50
Tab. 7. Indentační tvrdost H_{IT} [MPa] při zatížení 0,5 N.....	51
Tab. 8. Indentační tvrdost H_{IT} [MPa] při zatížení 1 N.	52
Tab. 9. Vtiskový modul pružnosti- E_{IT} [GPa] při zatížení 0,5 N	52
Tab. 10. Vtiskový modul pružnosti- E_{IT} [GPa] při zatížení 1 N.....	53
Tab. 11. Tvrdost podle Vickerse- HV při zatížení 0,5 N	54
Tab. 12. Tvrdost podle Vickerse- HV při zatížení 1 N	54
Tab. 13. Indentační creep- C_{IT} [%] při zatížení 0,5 N.....	56
Tab. 14. Indentační creep- C_{IT} [%] při zatížení 1 N.....	56
Tab. 15. Elastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 0,5 N	57
Tab. 16. Elastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 1 N	58
Tab. 17. Plastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 0,5 N	58
Tab. 18. Plastická složka práce- W_{elast} [J] při zatížení 1 N	59
Tab. 19. Celková práce- W_{total} [J] při zatížení 0,5 N.....	59
Tab. 20. Celková práce- W_{total} [J] při zatížení 1 N	60

SEZNAM VZORCŮ

- (1) Rovnice výpočtu vtiskové tvrdosti
- (2) Rovnice výpočtu tvrdosti podle Vickerse
- (3) Rovnice výpočtu vtiskového modulu pružnosti
- (4) Rovnice výpočtu vtiskového creepu
- (5) Rovnice výpočtu aritmetického průměru
- (6) Rovnice výpočtu směrodatné odchylky

SEZNAM PŘÍLOH

P I – CD disk