

# Biopolymerní fólie pro balení potravin

Romana Hromadová

---

Bakalářská práce  
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Romana HROMADOVÁ**  
Osobní číslo: **T10213**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Biopolymerní fólie pro balení potravin**

Zásady pro vypracování:

V poslední době nabývají stále více na významu biopolymery, tzn. polymery z obnovitelných zdrojů, které jsou mnohdy i biodegradabilní. Použití těchto materiálů je v určitých odvětvích žádoucí. Jedním z nich je balení potravin, a to převážně ve formě fólie. Cílem bakalářské práce je vytvořit ucelený přehled typů biopolymerů vhodných pro balení potravin, jejich výroby, vlastnosti a konkrétního použití. Součástí práce by mělo být také srovnání s běžně používanými polymery v této aplikační oblasti.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **Claus J Weber, Biobased Packaging Materials for the Food Industry ? Status and Perspectives, 2000, The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg, Denmark, 136 s., ISBN 87-90504-07-0.**
2. **Nicoletti-Telis, Vânia Regina, Biopolymer Engineering in Food Processing, 2012, Boca Raton, FL: CRC Press, 398 s. ISBN 978-1-4398-4494-6. and scientific articles**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

**11. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**31. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: HROMADOVA ROMANA

Obor: CHTM

## 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<sup>1)</sup>;
- 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<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> 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<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 23.5.2013

Hromadova Romana

<sup>1)</sup> 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 nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

<sup>2)</sup> 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, ušije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jím dosažených 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 přihlídně k výši výdělků dosažených školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá využitím biopolymerů pro výrobu fólií, které pak nacházejí uplatnění v balení potravin. Využití biopolymerů právě v tomto odvětví je žádoucí a v budoucnu se bude využívat ve stále větší míře. V práci jsou uvedeny nejdůležitější z biopolymerů vhodných pro tyto účely, tedy kyselina polyléčná, polyhydroxyalkanoát, biopolyetylen, biopolymery na bázi škrobu a celulóza. Navíc jsou uvedeny ještě další slibné biopolymery jako kyselina polyglykolová a chitosan. V práci jsou také zmíněny některé nové trendy v obalovém průmyslu jako tzv. chytré obaly či RFID štítky. Rovněž jsou uvedeny hlavní legislativní požadavky na potravinové obaly. V neposlední řadě práce obsahuje popis technologií, které se využívají pro výrobu fólií.

Klíčová slova: biopolymery, fólie, obaly na potraviny

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis is focused on the utilization of biopolymer films for food packaging. The usage of biopolymers in such field is desired and will be applied more in the future. In the work the most important biopolymers suitable for this purpose are mentioned, i.e. polylactic acid, polyhydroxyalkanoate, biopolyethylene, starch based biopolymers and cellulose. Moreover, further promising biopolymers as polyglycolic acid and chitosan are introduced as well. Some new trends in food packaging are discussed, e.g. smart packaging or RFID. Also the main legislative demands on food packaging are mentioned. Finally the work contains the description of technologies used for film processing.

Keywords: biopolymers, films, food packaging

Děkuji Ing. Janě Navrátilové, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za odborné vedení, poskytování cenných rad, připomínek a doporučení. Děkuji jí za ochotu a čas, který mi věnovala při zpracování bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině za morální podporu a pomoc během psaní práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 BALENÍ POTRAVIN</b> .....	<b>11</b>
1.1 LEGISLATIVA.....	13
1.2 AKTIVNÍ A INTELIGENTNÍ OBALY.....	15
1.3 NOVÉ TRENDY .....	16
<b>2 BIOPOLYMERY</b> .....	<b>17</b>
2.1 KYSELINA POLYMLÉČNÁ .....	17
2.2 KYSELINA POLYGLYKOLOVÁ.....	21
2.3 POLYHYDROXYALKANOÁT .....	22
2.4 BIOPOLYETYLEN .....	23
2.5 BIODEGRADABILNÍ SMĚSI NA BÁZI ŠKROBU.....	23
2.6 REGENEROVANÁ CELULOSA .....	24
2.7 CHITOSAN .....	25
<b>3 VÝROBA FÓLIÍ</b> .....	<b>26</b>
3.1 VYTLAČOVÁNÍ .....	26
3.2 VYFUKOVÁNÍ .....	31
3.3 VÁLCOVÁNÍ .....	33
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>36</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>41</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>44</b>



## ÚVOD

Jedním z hlavních aplikačních segmentů polymerních materiálů je bezesporu obalový průmysl. Plasty nahrazují původní obalové materiály jako např. sklo, papír či kov, přičemž jsou většinou levnější, lehčí, ekologičtější, lépe se zpracovávají a poskytují i lepší ochranu zabaleného zboží. V poslední době se klade důraz na šetrnost obalu k životnímu prostředí. A také z tohoto důvodu je snaha používat tzv. biopolymery, které se vyrábějí z obnovitelných zdrojů a mnohdy jsou také biologicky odbouratelné. Jedním z nejčastěji používaných biopolymerů v obalovém průmyslu je kyselina polymléčná (PLA). Jedná se o alifatický polyester, který se průmyslově vyrábí od roku 2003, i když byl poprvé syntetizován již v roce 1932 [1]. Dalšími biopolymery, které jsou využívány v obalovém průmyslu, jsou např. biopolyetylen, biodegradabilní směsi na bázi škrobu, polyhydroxyalkanoát (PHA), regenerovaná celulóza a další.

Trh bioplastů vykazuje nadprůměrné pozitivní vývoj výrobních kapacit bioplastů. Podle údajů asociace EuropeanBiolastics bude rok 2011, čítající trh 1,2 mil. t, do roku 2016 pětkrát překonán na pravděpodobných 6 mil. t. Zřetelně nejsilněji roste skupina bioplastů, které nejsou biologicky odbouratelné. Zejména masově vyráběné plasty jako PE a PET, které jsou nyní vyráběny z rostlinných zdrojů a jsou na ně budovány nové kapacity. PET na bázi bio je rozhodující. Již dnes představuje 40 % ze všech výrobních kapacit bioplastů. Také segment biologicky odbouratelných plastů vykáže významný růst. Do roku 2016 stoupne jejich výrobní kapacita o dvě třetiny. Nejvýznamnějším nositelem růstu jsou bioplasty na bázi PLA a PHA [2]. V současné době disponuje celosvětově 25 firem ve 30 závodech výrobní kapacitou více než 180 tis. t PLA. Jednotlivé prognózy plánují současným výrobcům podstatný rozvoj jejich kapacit až na 800 tis. t/r, a to do roku 2020 [2].

Uplatnění biopolymerů v obalovém průmyslu se týká především balení potravin. Vzhledem k tomu, že obal je v kontaktu s potravinou, existuje řada omezení a doporučení. Tato omezení se týkají samotného polymeru, zejména však přísad v něm obsažených. Ty totiž v oblasti zdravotních a hygienických rizik hrají zásadní roli. Základním právním předpisem, kterým je povinen se řídit každý výrobce materiálů nebo předmětů přicházejících do styku s potravinami, je nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 178/2002/ES, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva [3].

Balení potravin, stejně jako biopolymery, jsou značně obsáhlé oblasti, které jsou navíc častým tématem výzkumu a vývoje, proto se poznatky o nich stále rozšiřují a inovují. Cílem této bakalářské práce je proto jen stručný přehled nejdůležitějších biopolymerů, které se využívají pro balení potravin.

## 1 BALENÍ POTRAVIN

Celosvětově stále více vzrůstá význam balení, především v potravinářském průmyslu. Nežádoucí hospodářské škody vznikají znehodnocením potravin při přepravě, skladování a prodeji. Proto se stále více uplatňují nároky hygienické, snahy o zachování biologické hodnoty potravin a v neposlední řadě i snaha prodávat výrobky ve vkusném a pokud možno praktickém obalu.[4]

Procesy uchovávání potravin (konzervování, sterilování, nakládání, pečení) čím dál více závisí na efektivním obalu. Například při mražení nebo sušení se bez ochranného obalu při zpracování nelze obejít, neboť by se proces ztratil účinkem kyslíku, světla, vodní parou, bakteriemi nebo účinkem jiných nečistot. V dnešní době nemá potravinářský obal jen pasivní úlohu při ochraně výrobku, ale už i aktivní roli při zpracování, uchování, bezpečnosti a zachování kvality potravin. Například drůbeží výrobky, či výrobky z mletého nebo surového masa bylo možné v minulosti prodávat pouze zmražené. V současnosti se díky inovaci obalů, jako je použití nových obalových materiálů, které jsou nepropustné pro plyny, nebo úpravě prostředí obalů mohou prodávat i chlazené kvalitní výrobky. Ale i prodej čerstvé zeleniny a ovoce je dnes možný, díky obalům z dýchacích filmů.

V posledních pár letech se kvůli zvýšení nároků na bezpečnost výrobku, životnosti, ceně, či s ohledem na životní prostředí a spotřebitele výrazně rozvinulo balení potravin. V laboratořích po celém světě se vyvíjí nové technologie obalů pro zlepšení kvality a bezpečnosti potravin s méně či žádnými přísadami a konzervačními látkami, aby se omezilo plýtvání potravin, otrava jídlem, či alergeny. Hlavně se inovují či regulují prostředí v obalech a rozvíjí se aktivní a inteligentní systémy balení. Potravinovým cílem je navrhnout optimální obaly tak, aby splňovaly legislativní, marketingové a funkční požadavky.[5]

Obalová technika disponuje nejrůznějšími materiály vhodnými pro obaly. Rozlišují se tyto druhy: dřevo, papír a lepenka, tkaniny, kovy, sklo a plasty.[6] Díky svým užitným vlastnostem si plastové obaly vydobily vedoucí postavení na trhu obalů. Moderní obalové prostředky s využitím plastů mohou být nositeli dalších funkcí obalu (např. jako tzv. aktivní obaly, inteligentní obaly). Avšak kvůli dlouhé době rozpadu polymerních materiálů a možného vlivu na kontaminaci krajiny se mění i směrnice o obalových odpadech. Mnohé plastové obaly lze úspěšně recyklovat a využívat opakovaně pro výrobu obalů nebo dalších produktů (tepelné izolace, protihlukové stěny, plastové ploty apod.). Zejména recyklace polyetylentereftalátu (PET) se provádí ve velké míře, a to jak fyzikální, tj. regranulace, tak i

chemická, tj. rozklad zpět na monomer. Chemická recyklace PET bývá označována jako tzv. bottle-to-bottle (láhev za láhev) a znamená, že již použité potravinové láhve se opět použijí na stejný výrobek, tedy láhev pro potravinové účely.

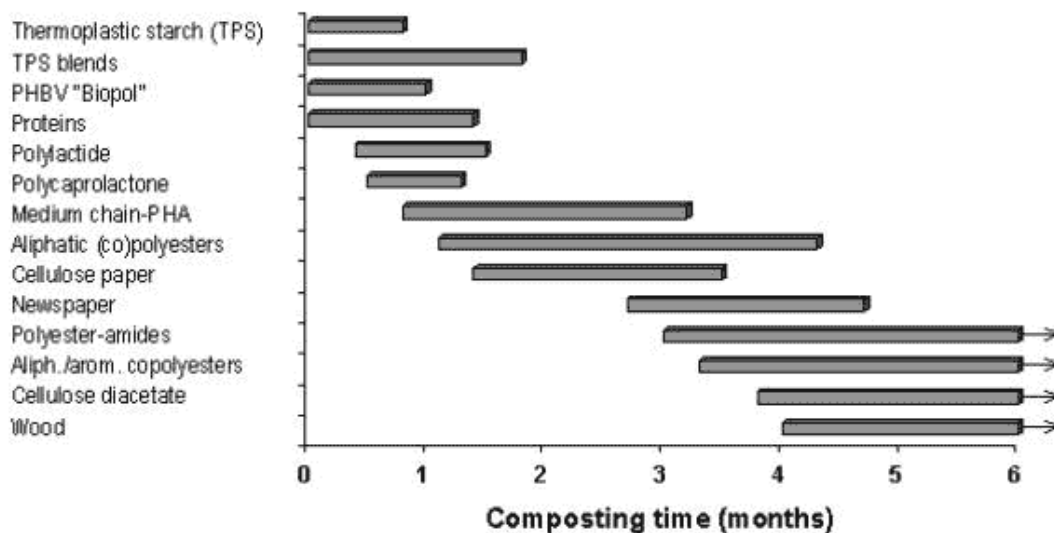
Velká očekávání jsou vkládána do výzkumu a vývoje biodegradovatelných materiálů (tzv. nová generace obalů), které dlouhou dobu rozpadu současných polymerů podstatně zkrátí.[7]

Nové generace obalů se dále rozvíjejí v oblasti nanotechnologií, informačních technologií a biopolymerů, čili bioplastů. Biopolymery se čím dál více prosazují jako možná náhrada konvenčních polymerů vyráběných z ropy. Jejich velkou výhodou je, že jsou vyráběny z obnovitelných zdrojů. Při výrobě biopolymerů se používají suroviny, jako jsou kukuřice, brambory, cukrová řepa a zejména jejich geneticky modifikované varianty. Běžně se již používají v USA, Austrálii a Japonsku, ale v Evropě se s nimi teprve začíná. Ve Velké Británii nebo v Německu se již prosadily, u nás se prozatím objevily v obchodním řetězci Tesco ve formě „organic“ tašek. Přesný termín biopolymerů prozatím v EU není definován. Pod tímto názvem se mohou nacházet například biopolymerní obaly, které jsou vyrobené z rostlin a rozpadnou se v kompostu bez ekologické zátěže. Označují se jako přirozeně rozložitelné. Dále se pod tímto názvem mohou skrývat plasty, které jsou vyrobené z ropy (PE), ale s přídavkem oxodegradabilních aditiv. Ty se také rozpadnou v kompostu, rovněž bez ekologické zátěže. Přitom za biodegradabilní obal lze označit obal, který splňuje normu CEN 13432 z roku 2000, eventuálně její českou verzi ČSN EN 13432.

Značnou výhodou biopolymerů je jejich často rostlinný (obnovitelný) původ a snadné zkompostování v odpadu. Předními českými obalovými společnostmi, které se zabývají výrobou obalů z biodegradabilních materiálů, jsou Granitol – výroba a vývoj vysoce transparentních degradovatelných fólií nebo Tart Brno – výroba bioplastů, které se po naplnění biologicky rozložitelným odpadem dají zpracovat kompostováním (biofólie, biosáčky, které propouštějí vlhkost a bioplytle vhodné například k ukládání zahradního odpadu).

Polymery, které se rozloží oxodegradací jsou cenově i technicky dostupnější. Při změně v odpad, již nezatěžují dále životní prostředí. Dají se kompostovat i se svým obsahem. [8] Na Obr. 1 je znázorněna doba potřebná pro kompostování různých přírodních a syntetických polymerních materiálů. Jde o čas potřebný k dosažení přijatelné úrovně strukturální dezintegrace materiálu. Nejde o čas potřebný k úplné biodegradaci materiálu. Z obrázku je

patrné, že biomateriály z obnovitelných zdrojů, např. škrobu a bílkovin degradují mnohem rychleji než konvenční materiály, např. polyesteramidy. [9]



Obr. 1 Doba potřebná pro kompostování různých přírodních a syntetických polymerních materiálů [9]

Biopolymery mají velmi podobné mechanické vlastnosti jako konvenční plasty. Například pevnost v tahu a pružnost závisí na vstupní surovině a na výrobním postupu. Polymery jako polystyren (PS) a PET jsou relativně pevné materiály, ale PE je pružný. Zatímco biopolymer PLA (na bázi polymléčné kyseliny) se dá různě změkčovat. Získají se mechanické či bariérové vlastnosti podobné konvenčním polymerům (nízkohustotní polyetylen PE-LD, lineární nízkohustotní polyetylen PE-LLD a PS). Používá se například při balení jogurtů.

## 1.1 Legislativa

Nejdůležitějším předpisem z hlediska národní legislativy je zákon č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích. Uvádí základní požadavky na označování pro balené výrobky, nebalené výrobky, nebo i pro potraviny, kde byly potraviny zabaleny mimo provozu výrobce a bez přítomnosti spotřebitele. Uvádí základní informace na obalu určené pro spotřebitele, které musí být srozumitelné, tj. nekódované (výjimkou šarže, před kódem písmeno "L"). Mezi povinné údaje se řadí název, výrobce (sídlo, místo výroby, atd.), typ výrobku (není ve vyhlášce č. 324/1997 Sb.), množství (přípustná záporná odchylka, sym-

bol “e”, nemusí být na potravinách vážených), datum minimální trvanlivosti nebo datum použitelnosti (+ podmínky skladování), údaje o způsobu použití, složení (výčet surovin v sestupné řadě, přísady E kód, pro některé typy nutriční hodnota), nutriční složení, použité suroviny, výslovný zákaz některých typů klamných údajů, specifické informace typu “nevhodné pro...” (není ve vyhlášce č. 324) a pro malé obaly lze některé informace uvést na skupinovém obalu. Jako volný údaj se řadí způsob použití a recepty (např. skládačkové etikety). Tento zákon doplňuje provádějící vyhláška č. 113/2005 Sb. o způsobu označování potravin a tabákových výrobků. Upravuje způsob označování výrobků. Pojednává o detailech a podmínkách označující množství potraviny, data minimální trvanlivosti, data použitelnosti, způsobu použití, či o složkách potravin. Základní text z roku 1997 byl již několikrát novelizován, nejrozsáhlejší novelizace proběhly v roce 2000 (zákon č. 306/2000 Sb.) a v roce 2004 (zákon č. 316/2004 Sb.) – reakce na vstup ČR do EU – dovršení a dokončení harmonizace potravinového práva ČR se základními principy potravinového práva ES; úplné znění zákona – č. 456/2004 Sb. V ustanovení § 6 se uvádí informace o balených potravinách, ustanovení § 7 o zabalených potravinách a ustanovení § 8 jsou informace nebalených potravinách. [10, 11]

Nemalý význam v balení potravin mají zdravotní požadavky. Ze zdravotního hlediska je důležité, aby se používaly materiály, které mají vyšší kvalitu v porovnání s jinými obalovými materiály. Vyžaduje se, aby nedocházelo ke kontaminaci potraviny látkami z obalu. Proto byl zaveden systém kontroly kvality obalových prostředků, které jsou v kontaktu s potravinami, například základní předpis zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Hlavní vyhlášky, které specifikují požadavky pro určité materiály, které jsou v kontaktu s pitnou vodou a potravinami, jsou vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 37/2001 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody a vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 38/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmami, novelizovaná vyhláškou 186/2003 Sb. Všechny vyhlášky jsou v souladu s platnou legislativou Evropské unie.

Další požadavky kladou důraz na likvidaci obalového odpadu. Formuluje je zákon č. 477/2001 Sb., který je v platnosti od 1. 1. 2002 a spolu s ustanoveními zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. Tyto zákony podporují všechny ostatní likvidace odpadů a zabraňují v maximální míře ukládání odpadů na skládkách.

V neposlední řadě se zde řadí i technická normalizace. Od 1. 9. 1997 je v platnosti zákon č. 22/1997 Sb., ze dne 24. ledna 1997 o technických požadavcích na výrobky a změně a doplnění některých zákonů. Tento zákon souvisí s uplatňováním českých technických norem a s požadavky státního zkušebnictví, kde dovozce a výrobce mají nutnost u určitých výrobků vydávat prohlášení o shodě daného výrobku s platnými harmonizovanými technickými předpisy ČR (ČSN EN, ČSN ISO). [10, 11]

## 1.2 Aktivní a inteligentní obaly

V posledních 20 letech došlo k výraznému vývoji aktivních systémů balení. Některé prvky, které spadají do této kategorie, se pochopitelně používaly již dříve, ale až v dnešní době se systematicky zkoumají a cíleně zavádí do praxe. Po určitých terminologických nejasnostech jsou v současnosti rozlišovány dvě skupiny systémů balení s interaktivní funkcí, a to jsou aktivní a inteligentní obaly. Ty jsou schopny aktivně ovlivňovat vlastnosti uchovávaných potravin a komunikovat se spotřebitelem.

V této souvislosti se uplatňují nanokompozity, což jsou speciální struktury, které mají formu nanokrystalů a jsou zabudovány do matrice polymeru. Ty udělují materiálům jejich speciální vlastnosti. Jako polymery se používají konveční plasty (polyetylen, polystyren), nebo právě bioplasty.

Aktivní a inteligentní obaly jsou velmi podobné ve své struktuře, ale existuje mezi nimi podstatný rozdíl. Každý nabízí spotřebiteli jiné využití.

Aktivní balení dokáže měnit své vlastnosti v reakci na změny podmínek vně nebo uvnitř obalu. Dokáže eliminovat nebo zmírnit nepříznivý dopad na kvalitu potravinářského výrobku. Prodlužuje skladovatelnost, zlepšuje bezpečnostní a organoleptické vlastnosti. Většina systémů aktivního balení je založená na sorpci. Což je odstraňování nežádoucích látek z vnitřního prostoru obalu, nebo uvolňování stabilizačních činidel (konzervovadel, antioxidantů atd.) do blízkosti balené potraviny. Používají se i systémy, které ovlivňují průběh ohřevu balených potravin v mikrovlnném poli. Fólie, které dramaticky mění propustnost v závislosti na teplotě a další.

Inteligentní balení jsou systémy, které monitorují podmínky v okolí baleného výrobku. Poskytují informaci o kvalitě výrobku během transportu a skladování. Komerčně se používají indikátory teploty, indikátory složení vnitřní atmosféry a indikátory čerstvosti balené-

ho výrobku. Některé z nich jsou zabudovány do obalového materiálu, jiné se umísťují na jeho povrchu, a informace předávají obvykle vizuálně – změnou barvy apod. [12, 13]

### **1.3 Nové trendy**

V dnešní době se setkáváme i se sofistikovanějšími systémy balení než jsou aktivní a inteligentní obaly. Jedná se o speciální RFID štítky (Radio-frequency identification – identifikace na rádiové frekvenci). Navazují na systém čárových kódů. Předávají kompletní informace o produktu a jeho historii. Můžeme u něj zjistit každý článek obchodního řetězce až po konečného spotřebitele. Jedná se například o to, kde a kdy byla potravina vyrobena, jakou prošla teplotní historií, jaký je mechanický stav obalu a složení vnitřní atmosféry apod. V domácnosti vybavené inteligentními elektrospotřebiči mohou obaly s RFID štítky komunikovat přímo s lednicí či mikrovlnnou troubou. [13]



## 2 BIOPOLYMERY

Biopolymery jsou látky polymerního charakteru, které se vyskytují v přírodě v živých organismech. Rozdělují se do čtyř základních typů sloučenin [14]:

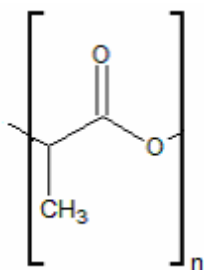
1. Polypreny (kaučuk, gutaperča);
2. Polysacharidy (celulosa, škrob, glyogen, pektin, chitin);
3. Bílkoviny (kolagen, myosin, hedvábí, vlna, enzymy, hormony);
4. Nukleové kyseliny (ribonukleové a deoxyribonukleové).

Z přesně definovaných jednotek mají pravidelnou stavbu a přesně definovanou délku molekuly, ale i přesně definované prostorové uspořádání. Biopolymer vzniká kombinací velkého počtu malých molekul několika druhů. V prostoru zaujímá velký počet konformací a má lineární řetězec. [14]

Dále v textu jsou uvedeny nejdůležitější biopolymery vhodné pro výrobu fólií pro balení potravin [15].

### 2.1 Kyselina polymléčná

Kyselina polymléčná (PLA) patří mezi skupinu biodegradabilních esterů. Jedná se o termoplastický polymer. Lze jej připravit jako čistě amorfní, anebo krystalickou látku. Na Obr. 2 je uvedena struktura PLA, která může existovat ve třech stereochemických formách: kyselina poly(L-mléčná) (PLLA), poly(D-mléčná) (PDLA) a poly(DL-mléčná) (PDLLA). Je považována za alternativu k polymerům získávaných z ropných frakcí [16].



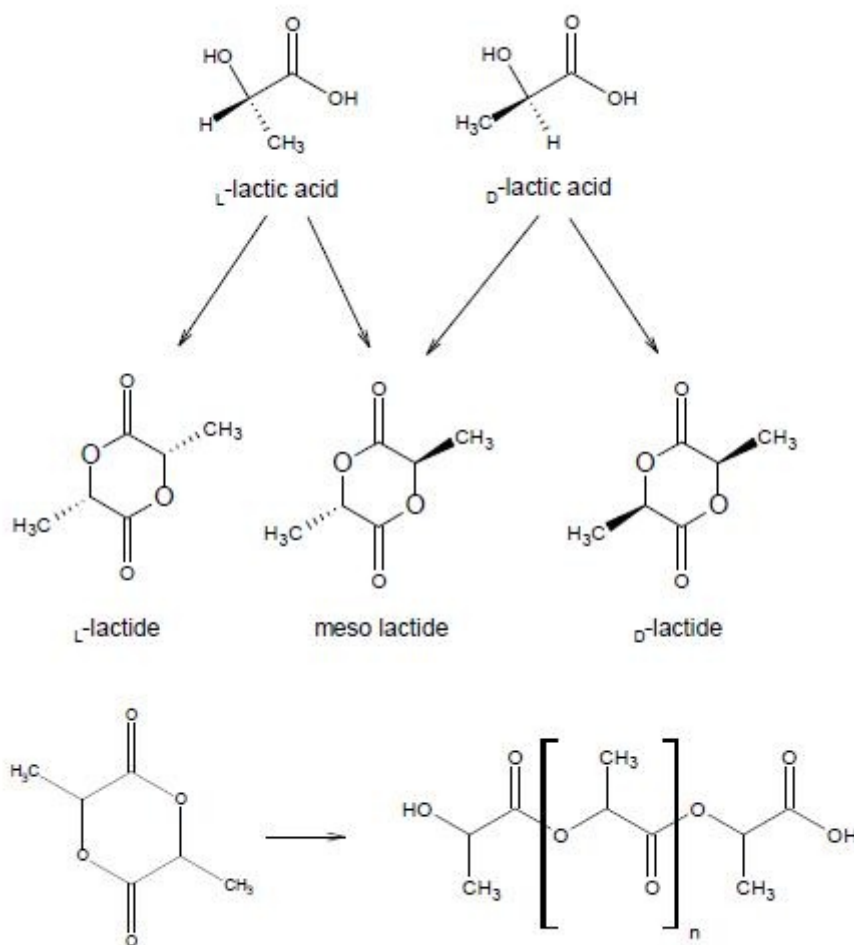
Obr. 2 Kyselina polymléčná [16]

Základní mechanicko-fyzikální vlastnosti PLA polymeru, vyráběného společností Cargill pod obchodním názvem Natureworks, jsou uvedeny v Tabulce 1 [17, 18].

Tabulka 1: Základní parametry komerčně dostupných materiálů PBAT a PLA [19]

	PLA NatureWorks	PBAT Eastar bio 14766
Hustota ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1,25	1,21
Teplota tání ( $^{\circ}\text{C}$ )	152	110–115
Teplota skelného přechodu ( $^{\circ}\text{C}$ )	58	-30
Krystalinita (%)	0–1	20–35
Prodloužení při přetržení (%)	9	500
Propustnost vody ( $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{den}$ )	172	550

Výhodou PLA je výroba z obnovitelných zdrojů. Její mechanické vlastnosti má velmi blízké polyolefinům. V přírodě i v lidském těle je rozložitelná. Má řadu zajímavých vlastností, jako je průhlednost, nízká hodnota tažnosti (6 %), vynikající mechanická pevnost a v neposlední řadě biodegradabilita. V životním prostředí má schopnost se postupně štěpit účinkem povětrnosti a mikrobiálních procesů na oligomery nebo monomery. Její struktura má lineární tvar, který vzniká tzv. ring-opening polymerization (ROP, polymerace otevíráním kruhů) laktidu kyseliny mléčné, tj. polymerací za otevření kruhu (Obr. 3). Výchozí kyselinu mléčnou je možné získat fermentačním kvašením glukózy (Obr. 4). Surovina je získávána štěpením škrobu extrahovatelného z běžných zemědělských plodin, nejčastěji kukuřice, cukrové řepy a cukrové třtiny [20].

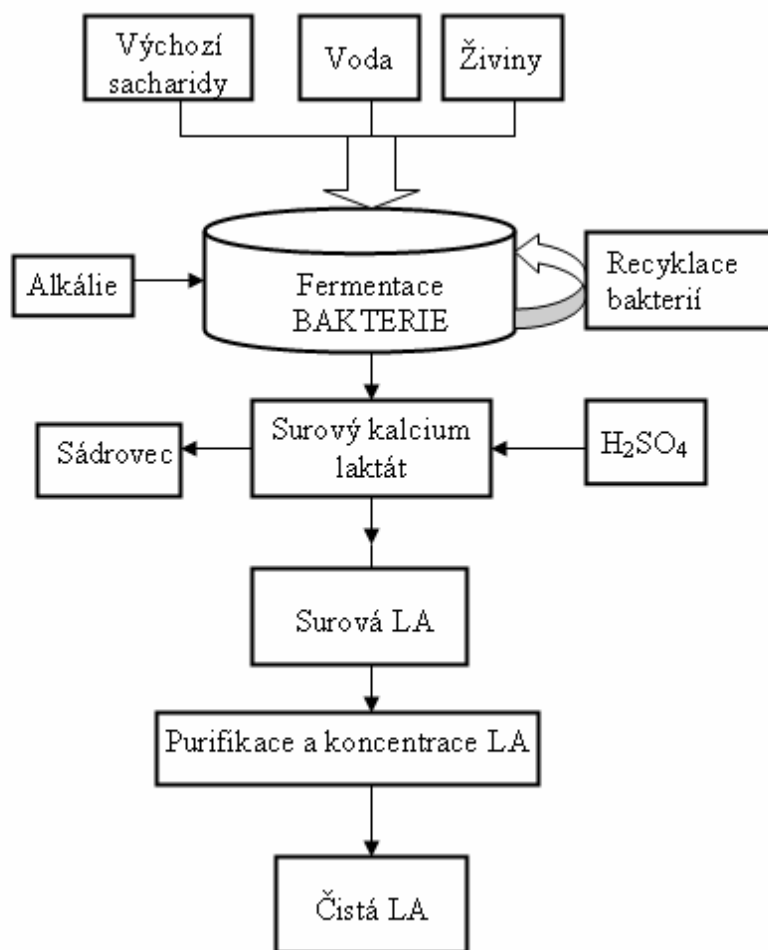


Obr. 3 Schéma vzniku PLA polymerací za otevření kruhu [20].

Nejdříve se připraví z vodného roztoku kyseliny mléčné polykondenzací laktid a přímou polykondenzací se převede na nízkomolekulární PLA ( $M_n \sim 5\,000$  kg/mol) bez použití rozpouštědla při  $T < 180$  °C. Za sníženého tlaku, zvýšené teploty a s přidavkem katalyzátoru se připravený polymer termicky depolymerizuje. Vlivem intramolekulárních sil vzniká transesterifikací laktid. [22, 23]

ROP probíhá obvykle v tavenině za určitých podmínek [24]:

1. nízká koncentrace iniciátoru; 100–1 000 ppm
2. teplota  $< 180$  °C;
3. dlouhá doba polymerace; 2–5 hodin;
4. katalyzátor.



Obr. 4 Schéma výroby kyseliny mléčné fermentací [21]

Dalším způsobem výroby je přímá polykondenzace. Přímou polykondenzací za přítomnosti katalyzátoru se za sníženého tlaku získá PLA s nízkou molární hmotností ( $M_w$ ), dosahující pouze několika desítek tisíc. Důvodem je tvorba molekul vody, která se z vysoce viskózní reakční směsi velmi těžko odstraňuje, a která posouvá rovnováhu směrem k hydroxykyselině. Další nevýhodou této syntézy je fakt, že není možno během reakce kontrolovat stereoregularitu, proto má také výsledný polymer horší mechanické vlastnosti [25].

Využití PLA je velmi rozmanité. Jeho hlavní předností je možnost smíchání s komodotními i inženýrskými plasty jako je PS, PC a ABS s následnými aplikacemi. Používá se jako obalový materiál v podobě lahví či kelímků. Taktéž slouží jako pěnové fólie pro podnosy na potraviny. Jako biofólie se používá s příměsí s polyhydroxybutyrátem, který je produkován bakteriemi, jehož autory jsou vědci z FCHPT STU a SAV [26]. Takto vyrobená fólie je zobrazena na Obr. 5. Pro jejich výrobu se používají různé

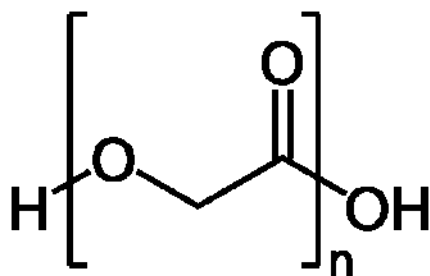
technologie vstřikování, rozfukování, vytlačování i tváření. V neposlední době se pracuje na studiích o přípravě nových materiálů na bázi PLA za účelem řízení délky života výrobků a následné degradace [20, 1].



Obr. 5 Biofólie vyrobená z kyseliny mléčné a polyhydroxybutyrátu [26]

## 2.2 Kyselina polyglykolová

Kyselina polyglykolová (PGA) je alifatický polyester. Schéma je znázorněné na Obr. 6. Má velkou řadu unikátních vlastností a průmyslových využití. Hojně se využívá ve zdravotnictví, ve formě vlákna, jako vstřebatelný steh. Nové technologie, které umožňují využívat PGA monomer kyseliny glykolové s vysokou molekulovou hmotností, se získávají z rostlinných materiálů a jsou velmi efektivní. Získá se bioplast, který má výborné bariérové vlastnosti, nízkou propustnost pro vzduch a dobrou tukotěsnost. Má až o 30 % vyšší pevnost než plasty z PLA a jsou asi o 20 °C odolnější teple než PLA. Snadno se zpracovávají ve vytlačovacích a tvarovacích strojích. Používá se jako mezivrstva u výroby lahví z polyethylentereftalátu, ale také jako bariérová fólie pro rychle se kazící potraviny a potraviny, které ztrácejí čerstvost při dlouhodobém působení vzduchu. [27, 28]

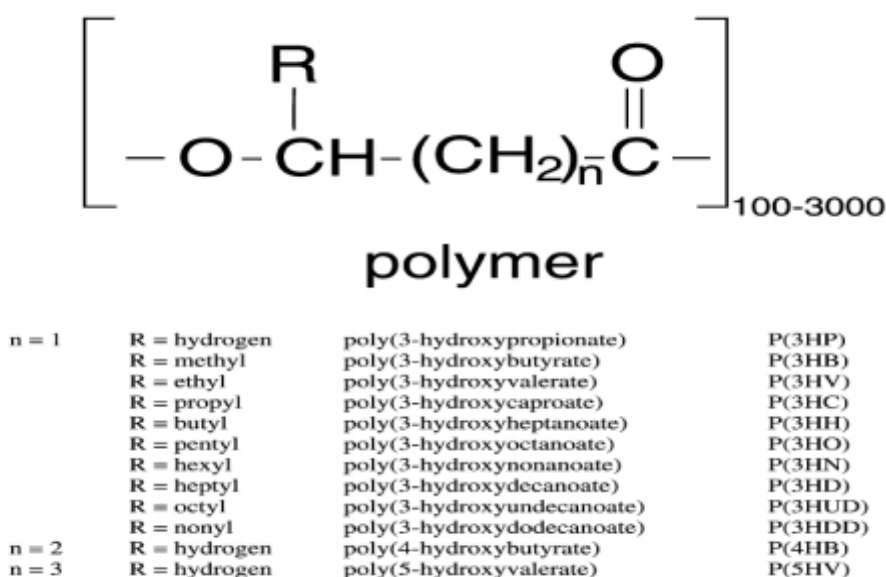


Obr. 6 Schéma kyseliny polyglykolové [29]

### 2.3 Polyhydroxyalkanoát

Polyhydroxyalkanoát (PHA) jsou biologické polyestery, které jsou produkovány více než 250 různými druhy bakterií, včetně grampozitiv i gramnegativ. [30] Syntéza byla prokázána v některých geneticky modifikovaných rostlinách. Syntetizovány jsou v cytoplazmě a uloženy ve formě granulí. Granule jsou velké 0,2–0,7 mm v průměru. Jsou obklopené membránovou vrstvou, která se skládá z tuků a bílkovin přibližně 2 nm tlusté.

Polymer je nerozpustný ve vodě a je opticky aktivní. Obsahují kyseliny hydroxyalkanoic-kou (HA) jako monomerní jednotky s konfigurací pouze R. [30] Molekulová hmotnost se obecně pohybuje od 200 000 do 3 000 000 Da, dle druhu mikroorganismů, zdroji použitých uhlíků a růstových podmínek. [30] Obecné struktury s nejběžnějšími kyselinami HA jsou zobrazeny na Obr. 7 a mohou mít mnoho variant v podobě nasycených, nenasycených, rovných nebo větvených vedlejších řetězců. Vedlejší řetězce bývají alifatické. [30]



Obr. 7 Chemická struktura PHA v bakterií [30]

PHA se dělí do dvou hlavních podskupin, které se rozdělují podle počtu uhlíků v monomerní jednotce. Mohou být s krátkými řetězci, které mají počet atomů C v jednotce 3–5. Nazývají se Scl-PHA neboli „short chain length“. Jsou velmi tvrdé, lámavé a mají vysoký stupeň krystalinity. Další skupinou jsou PHA s delšími řetězci. Mají 6 až 14 atomů uhlíků a nazývají se Mcl-PHA neboli „medium chain length“. Ty jsou pružné, ale s menší krystalinitou, pevností tahu a bodem tání [31, 32].

## 2.4 Biopolyetylen

Biopolyetylen se říká polyetylen, který je vyroben z obnovitelných zdrojů. Pro jeho výrobu se využívá cukrová třtina, z které se vyrábí etylalkohol a následně se dehydratuje na etylen. Ten se polymeruje na polyetylen stejným způsobem jako etylen z petrochemické báze. Průmyslově jej vyrábí např. firma Braskem, Brazílie. [1]

## 2.5 Biodegradabilní směsi na bázi škrobu

Škrob je zásobní polysacharid z obilovin, luštěnin a hlíz. Patří mezi obnovitelné a široce dostupné suroviny, které jsou vhodné pro průmyslové účely. Škrob sám o sobě netvoří filmy s odpovídajícími mechanickými vlastnostmi pro obalový materiál. Musí být nejprve ošetřen plastifikací, geneticky nebo chemickými modifikátory, nebo kombinací těchto postupů. Hlavním zdrojem škrobu je kukuřice, ačkoliv se spíše v Evropě, Orientu, USA vyrábí z brambor, pšenice a rýže. Ekonomicky je konkurenceschopný s ropou a byl používán i v několika metodách pro přípravu kompostovaných plastů. Charakteristická pro škrobový materiál je hlavně křehkost s vysokou koncentrací škrobu. Překonávání křehkosti při plném biologickém rozložení ve směsi se může provádět přidáním biologicky rozložitelných změkčovadel. Jako společné plastifikátory se používají glycerol, nízkomolekulární polyhydroxy sloučeniny, polyétery a močovina. Změkčovadla snižují vodní aktivitu a tím omezí růst mikroorganismů. Pokud se škrob zpracovává ve vytlačovacích strojích aplikací tepelné i mechanické energie, tak se převede na termoplastický materiál. Pro výrobu termoplastických škrobů s plastifikátory se očekává, že se sníží intramolekulární vodíkové vazby a zajistí se stabilizační vlastnosti výrobku. [33] Fólie z těchto materiálů jsou vhodné pro potravinářské účely [34–36].

Italská společnost Novamont je v současné době jedním z předních světových výrobců biodegradabilních plastů na bázi škrobu. Vyrábí granulát pod obchodním názvem Mater-Bi. V prostředí kompostu se pytle a sáčky vyrobené z tohoto materiálu působením vlhkosti a bakterií rozloží tak, že za 40 dní ztratí 90 % své hmotnosti. Pro fólie je kompaktní doba tři měsíce. [37]

## 2.6 Regenerovaná celulóza

Celulóza má velmi silné mezimolekulární vazby, což způsobuje, že je nerozpustná v rozpouštědlech a je netavitelná. Dříve, než dojde k tání, začne tepelná degradace. Může se i chemicky přeměnit na rozpustnou formu a vzniklý roztok se zpracovává na fólie a vlákna. Ty se chemicky regenerují na celulosu, za snížení molekulové hmotnosti. Polymerační stupeň a nadmolekulární stavbu má jinou, než celulóza přírodní, ale jinak se příliš neliší. Pro technické účely se používá rozpouštědlo hydroxidu tetraaminměďnatého a převod v xantogenát. Tímto způsobem se vyrábí viskózní vlákna celofán. [38]

Viskózní fólie (celofán), které jsou zobrazeny na Obr. 8, se vyrábí tak, že se ze dřeva vyrobí celulóza a ta se máčí v lisech nebo kontinuálně ve šnekových či síťových lisech. 18% roztok NaOH působí krátkodobě za vzniku alkalické celulózy. Vylisovaná alkalická celulóza se pro zvýšení povrchové aktivity rozvlákní na hmotu v diskových nebo kladivových mlýnech. Při zrání se oxiduje v alkalickém prostředí. Dalším krokem je xantogenace. Ta probíhá reakcí sirouhlíku s alkoholickým roztokem NaOH. Vzniká sodná sůl kyseliny xantogenové. Za vzniku koloidního roztoku, viskózy. Viskóza se vytlačuje do koagulační lázně (kyselina sírová, síran sodný) úzkou štěrbinou, kde opět vznikne celulóza. Vzniklé vlákno se několikrát propírá s vodným roztokem glycerolu. Ten zabraňuje křehkosti fólie. Ty jsou hydrofilní a propouští vlhkost a plyny. Tudíž se regenerované celulózy lakují nitrocelulosovými laky a vodnými disperzemi (kopolymer vinylidenchloridu). Jednou z její vlastností je rozdílná tažnost a pevnost v podélném a příčném směru. [38]

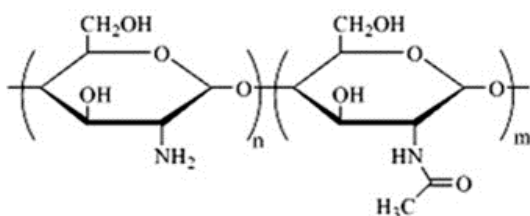


Obr. 8 Fólie z celofánu [39]



## 2.7 Chitosan

Chitosan ( $\beta$ -1,4-D-glukosamin) je polysacharid, který má výborné biologické vlastnosti. Široce se používá v medicínských oborech, v potravinářství jako obalový materiál, či k čištění odpadních vod. Vyrábí se z chitinu deacetylací v silně alkalickém zásaditém prostředí, nebo enzymatickou hydrolýzou. Chitin, který je stavebním materiálem schránek korýšů, hmyzu a mycelia hub (plísní), je druhým nejrozšířenějším biopolymerem po celulóse. Je odolný vůči vysokým teplotám a má schopnost vytvořit adhezující film. Využívá se především k prevenci oxidace potravin [40, 41]. Také se z něj dají vyrábět nanokompozitní fólie s využitím Montmorillonitu pro balení potravin [42] nebo aktivní balicí fólie [43]. Na Obr. 9 je znázorněná chemická struktura chitosanu.



Obr. 9 Chemická struktura chitosanu [44]

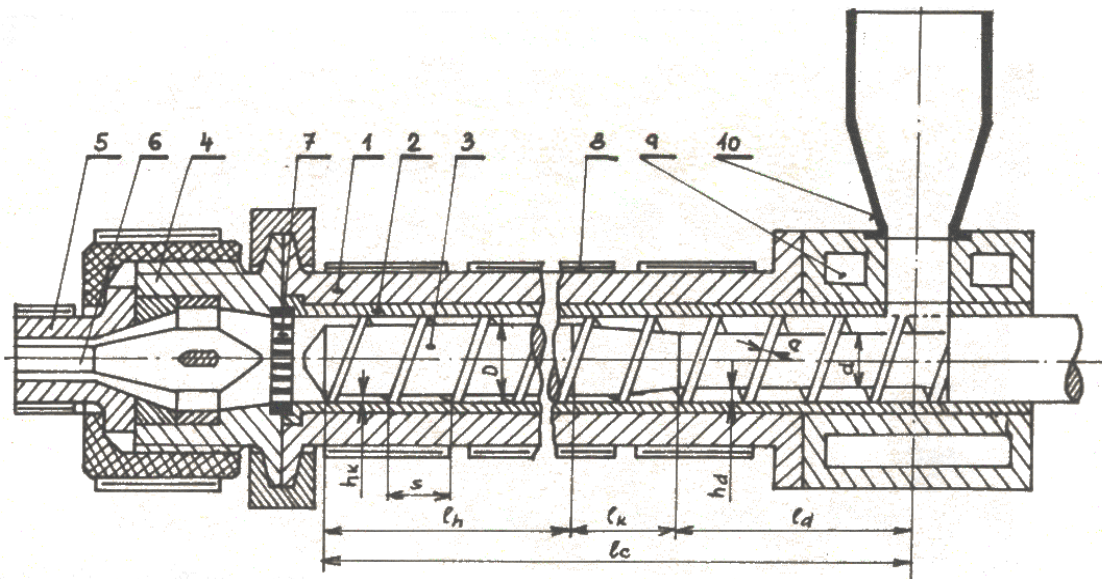
### 3 VÝROBA FÓLIÍ

Fólie jsou plošné útvary, které jsou tenčí než 1 milimetr. V praxi se používá k výrobě nej-různějších druhů a typů obalů. Některé plastové fólie jsou obecně známy pod názvem igelit (většinou PE-LD), či mikroten (PE-HD).

Veškeré bioplasty lze zpracovávat technologiemi jako klasické plasty z ropy, tudíž nemusíme měnit žádné zařízení [45]. Ze všech druhů bioplastů a biofólií lze vyrobit různé druhy obalů, jako jsou například obaly na vejíčka, nákupní tašky, sáčky, bariérové a bublinkové fólie [26]. Biologicky rozložitelné plastové odnošné tašky jsou vyrobené z kyseliny polymléčné a z materiálu Ecoflex, což je polyester na petrochemickém základě, ale díky své molekulární struktuře jej bakterie dokážou strávit [46]. Celulózoové fólie jsou běžné užívány pod obchodním názvem celofán. Pro účely balení a bezpečné přepravy předmětů slouží bublinková fólie. V potravinářství se hojně využívají vícevrstvé fólie, většinou s vnitřní bariérovou vrstvou. Klasické fólie se vyrábějí většinou vytlačováním či vyfukováním, v případě vícevrstvých fólií se zvýší počet vytlačovacích strojů, podle počtu vrstev. Některé fólie se vyrábějí i válcováním (PVC).

#### 3.1 Vytlačování

K objemově nejrozšířenější technologií patří vytlačování. Vytlačovací stroje jsou součástí jednotlivých a přesně nakonstruovaných technologických postupů „na míru“, kterých existuje velké množství a používají se např. k výrobě trubek, desek, profilů, fólií. V podstatě se jedná o kontinuální technologickou operaci, u které je v plastickém stavu materiál vytlačován přes profilovací otvor (hubici) do volného prostoru. Podmínkou je roztavení a stlačení polymeru na potřebný tvářecí tlak. Potřebný tlak je dán otáčkami šneku. Stroje, používané pro zpracování plastů, se jednak dělí na pomaluběžné a rychloběžné (hranicí je obvodová rychlost šneku  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a jednak podle konstrukce na pístové, šnekové a diskové, přičemž nejčastější jsou šnekové. Na Obr. 10 je znázorněn jednošnekový vytlačovací stroj. [47, 48]



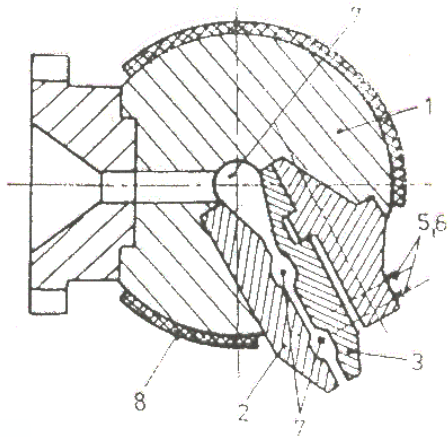
Obr. 10 Jednošnekový vytlačovací stroj [47]. 1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, tavní komora, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chlazení, 10 – násyp.

Cílem je velká výkonnost, která je úměrná otáčkám šneku a je co nejméně závislá na protitlaku.

Stroje se dělí na tři části. První částí je vstupní pásmo. Směrem dopředu se dopravují tuhé granule a prášky, kde tření na válci je větší než na šneku, důsledkem drsnosti vnitřního povrchu válce. K tavení dochází ve vrstvičce blízko vyhřívání válce a postupně se na tlačné části křídla šneku tvoří zásobník taveniny. Druhou částí je přechodové pásmo, kde se materiál roztavuje ohřevem od stěny válce. Důsledkem disipačního tepla. Poslední částí je výstupní pásmo, neboli homogenizační. Jsou zde nejmenší hloubky drážek ve šneku, dokončuje se plastikace a zajišťuje teplotní homogenizace.

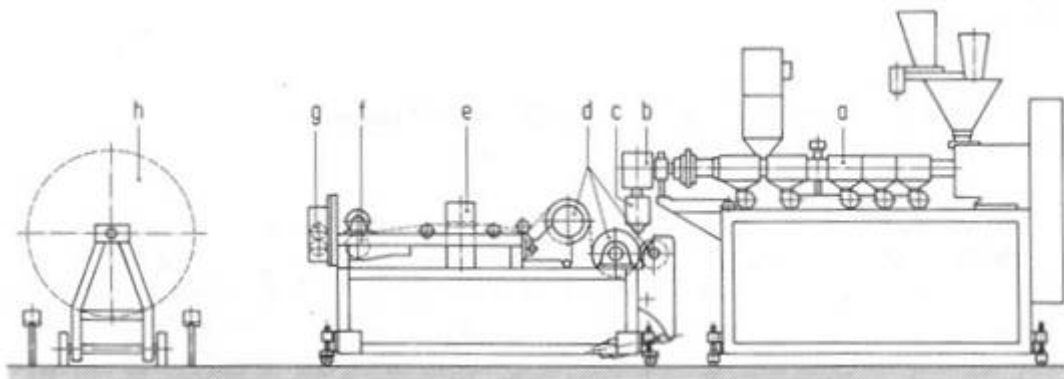
Stroj se skládá z násypky, která je upevněna na plnicím otvoru. Většinou je vyrobena z nerezavějícího plechu s průzorem. Další částí je vyhřívací systém. Ten přesně reguluje teploty v širokém rozsahu. Ohřev nastává přeměnou mechanické energie v teplo. To je přiváděno stěnou pouzdra. Elektrickým vytápěním se ohřívá stroj vytlačovacího stroje, který méně cirkuluje kapalinou. Další součástí jsou vytlačovací hlavy. Dopravovaný materiál zde získává finální, ale nezafixovaný tvar. Musí zaručovat pravidelný a trvalý tok taveniny. K válci vytlačovacího stroje bývá hlava připojena několika způsoby, může být našrubována na konci válce, nebo se může například použít objímkové uchycení. Podle kon-

strukčního uspořádání se používají hlavy přímé, nepřímé, širokoštěrbinové a speciální. Na Obr. 11 je zobrazena plochá širokoštěrbinná hlava. [47, 48]



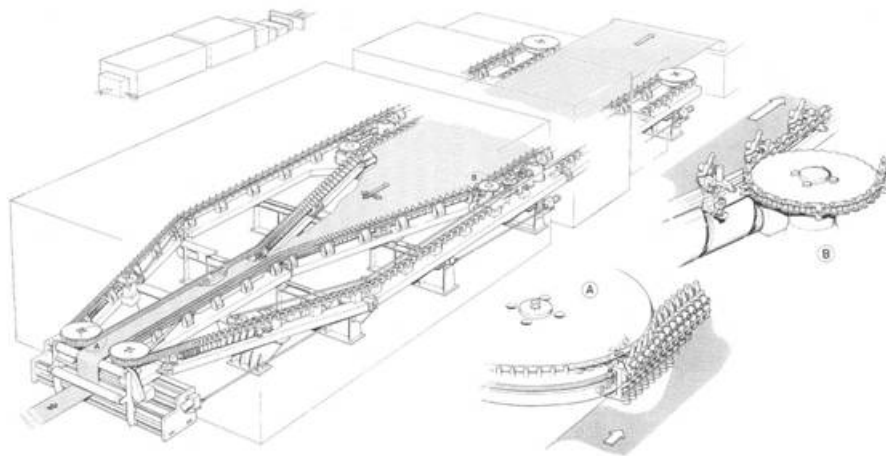
Obr. 11 Plochá hlava [47] 1 – těleso hlavy, 2 – spodní pevná čelist, 3 – horní stavitelná čelist, 4 – škrťací můstek, 5, 6 – stavěcí šrouby, 7 – příčný rozdělovací kanál, 8 – topení.

Linky pro výrobu tenkých fólií se skládají se širokoštěrbinovou vytlačovací hlavou a vytlačovaný pás je dále odtažován tříválcovým chladicím strojem. Fólie se vytlačuje na chladicí válec, kde podle polohy k vytlačovací hlavě můžeme měnit délku chlazení. Dle druhu materiálu se válce temperují na určité teploty a válce jsou leštěny a chromovány. Na kvalitu fólie má vliv rychlost ochlazování. Proto je velmi důležité, aby byl zajištěn dobrý kontakt mezi válcem a plastem. Na pomoc se používají přítlačné válce, vzduchové nože a odsávání vzduchu. Pro výrobu tenkých fólií do tloušťky 0,2 mm postačuje kontakt s chladicí válcem. Pro tlustší fólie v rozmezí 0,2–2 mm se používá chlazení oboustranné. Správná tloušťka se měří mechanicky, nebo bezkontaktně. Kotoučovými ořezávacími noži se ořezávají okraje fólie, dále se navíjí, nebo sekají. Oříznuté okraje se používají znovu ke zpracování. Pro narůstající objem fólie slouží navíjecí zařízení, které je uloženo do kolejnice. Na Obr. 12 je znázorněná linka pro výrobu tenkých fólií. [49]



Obr. 12 Linka pro výrobu tenkých fólií vytlačováním [49] a – vytlačovací stroj, b – adaptér, c – vytlačovací hlava, d – chladičí válce s odtahem, e – měření tloušťky, f – úprava povrchu, g – řezací zařízení, h – navíjení.

Pro výrobu orientovaných (dloužených) fólií se za chladičí válce zařazují zařízení na monoaxiální (podélný směr), nebo biaxiální dlužení (ve dvou směrech). Fólie se nejprve přehřeje na vhodnou teplotu, naorientuje se a ochladí. Při monoaxiálním dlužení se znovu nahřátá fólie dluží různou obvodovou rychlostí válců, což způsobuje nárůst pevnosti ve směru dlužení. Výroba biaxiálně dlužených fólií se provádí buď jednostupňovým, nebo dvoustupňovým procesem. Při dvoustupňovém procesu se přehřátá monoaxiálně orientovaná fólie zachycuje do svěrek, které jsou symetricky uchyceny na dvou nekonečných řetězech a které dále fólii dopravují. Zvětšováním vzdálenosti mezi řetězy se fólie dluží v příčném směru a následně v podélném směru. Příklad teplotních profilů je ukázán na Obr. 13 Výhodou dvoustupňového procesu je možnost rozdílného dlužení v podélném a příčném směru, automatizace a jednoduchost linky. [49]



*Obr. 13 Dvoustupňový proces dloužení biaxiálních fólií [49]*

Spojení více vytlačovacích strojů do jedné společné vytlačovací hlavy se nazývá koextruze. Získáme spojení několika polymerních vrstev do jedné struktury a vznikne tzv. vícevrstvá fólie. Většinou se fólie skládá ze tří až sedmi vrstev. Tímto technologickým procesem se získává materiál, kterým se zlepšují především bariérové vlastnosti. Bariérové fólie omezují vstup kyslíku do obalu a prodlužují trvanlivost zboží. Zabraňují rovněž vstupu vlhkosti do produktu. Omezují prostup pachů, aromat či tuků a udržují žádoucí prostředí uvnitř obalu. [50, 51] Na Obr. 14 je znázorněná pětivrstvá koextruzní linka.

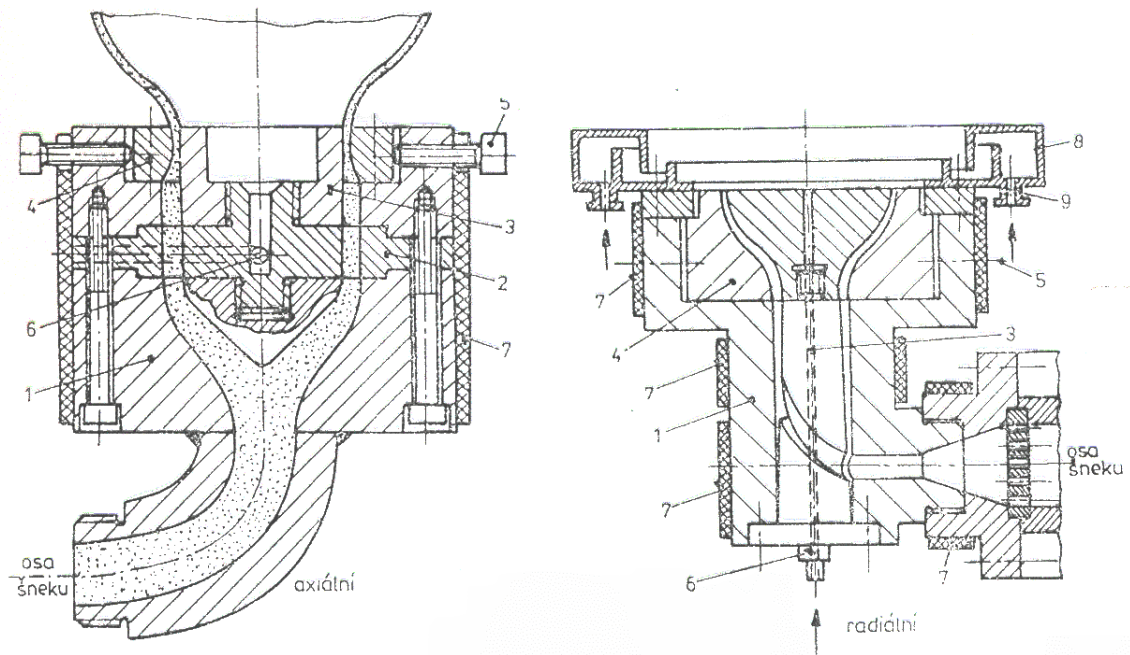


*Obr. 14 Koextruzní vytlačovací linka na pětivrstvé fólie [52]*

### **3.2 Vyfukování**

Fólie se vyrábí vyfukováním tak, že se trubka s tloušťkou stěny 0,5 až 2 mm ještě v plastickém stavu nafoukne stlačeným vzduchem (zvětšení dvakrát až pětkrát) a zároveň se protáhne odtahovacím zařízením (až pětinasobné podélné protažení). Takto vyfouknutá fólie s tloušťkou stěny 0,015 až 0,3 mm se ochladí a navine. Tímto způsobem lze vyrábět vícevrstvé fólie s různou materiálovou skladbou. Dnes se vyrábějí sedmi i vícevrstvé. Vytlačovací hlavy pro tyto fólie jsou velmi konstrukčně složité (Obr. 15).

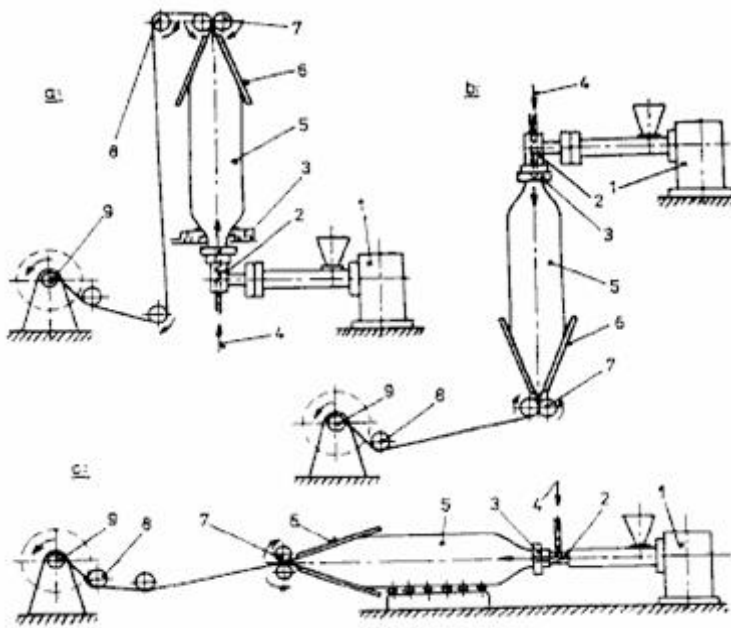




Obr. 15 Příčné vyfukovací hlavy [47]. 1 – těleso hlavy, 2 – rozdělovač, 3 – trn, 4 – hubice, 5 – stavěcí šrouby, 6 – přívod vzduchu, 7 – topení, 8 – chladičí prstenec, 9 – přívod chlad.vzduchu.

Linka na výrobu fólií vyfukováním může mít v podstatě tři varianty, viz Obr. 16 [49]. Nejčastěji se používá varianta s horním odtahem. Vytlačovací stroj je osazen vyfukovací hlavou. Vytlačovaná fólie se určeným přetlakem (0,15 až 1 kPa) vyfoukne a chladí vzduchem, který se přivádí chladičím prstencem a rovnoměrně ofukuje fólii po celém obvodu. Dále pokračuje ochlazení vyfouknutého rukávu, který se zplošťuje mezi skládací desky a uzavírá se odtahovacími válci. Válce jsou opatřeny vrstvou vodivé pryže, aby se odváděl statický elektrický náboj. Tloušťka a orientace fólie se reguluje odtahovací rychlostí. Dále se fólie ořezávají na vodícím válci, před nímž může být zařazeno i zařízení pro povrchovou úpravu (potisk). Na konci linky je umístěno navíjecí zařízení. [49]

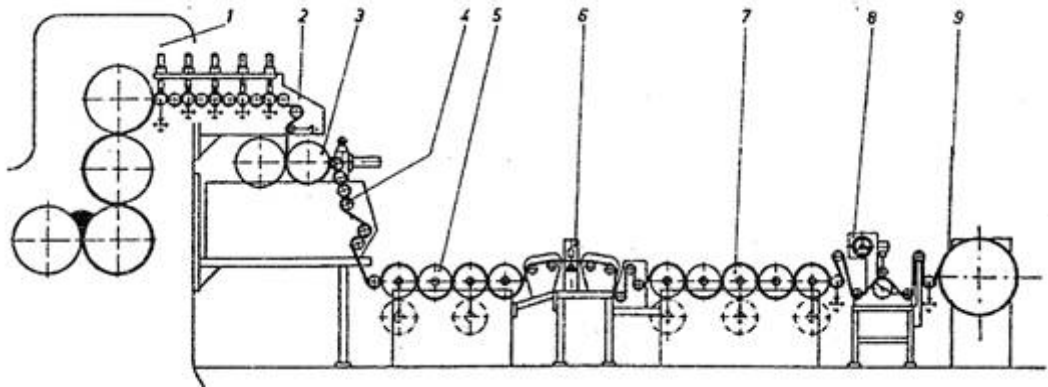




Obr. 16 Výroba fólií vyfukováním[49]. *a* – horní odtah, *b* – spodní odtah, *c* – horizontální odtah, 1 – vytlačovací stroj, 2 – hlava, 3 – chladičí prstenec, 4 – vstup přetlakového vzduchu, 5 – fólie, 6 – skládací desky, 7 – odtahovací válce, 8 – vodící válečky, 9 – navíjení.

### 3.3 Válcování

Válcování je kontinuální technologický proces, který slouží hlavně k výrobě fólií. Intenzitu válcování ovlivňuje mezera mezi válci a rozdíl obvodových rychlostí válců – skluzů. Kvalita hnětení a kvalita povrchu se zlepšuje opakovaným průchodem materiálu mezi dvojicí válců. Základním strojem, který je zařazen do linky, je stroj zvaný kalandr. Ty patří k největším a finančně nejnáročnějším zařízením. Ve srovnání s vytlačováním má velmi velkou výkonnost a je z hlediska tepelného namáhání polymeru bezpečnější. Provádějí se přesné operace, které vedou k finálním výrobkům. Kalandrovací linky jsou snadno přístupné a je u nich snadná výměna materiálu. Na Obr. 17 je znázorněná linka pro válcování. [48, 49]



Obr. 17 Linka pro válcování fólií[49]. 1 – čtyřválcový kalandr, 2 – válečkový odtah, 3 – desénovací válce, 4 – odtah, 5 – temperace, 6 – měření tloušťky, 7 – chlazení, 8 – ořezávání okrajů, 9 – navíjení.

Konstrukce kalandrů je tím složitější, čím se požaduje menší tloušťka fólie a čím větší výkonnost se od stroje vyžaduje. Rovněž se vyžaduje od válců velká přesnost, tvrdost povrchu, chemická odolnost a tuhost v ohybu. Pro výrobu fólií je zásadní i přesnost s jakou je dodržována pracovní teplota válců po celé délce povrchu. Kalandry jsou řízeny centrálně z ovládacího panelu. Pro měření tloušťky fólie se používá princip zeslabení záření. Dvě pevná zařízení snímají tloušťku nedaleko okraje fólie a jedno zařízení se v pravidelných intervalech pohybuje příčně a měří příčný profil. [48, 49]

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit ucelený přehled různých typů biopolymerů, které jsou vhodné jako fólie pro balení potravin, uvést jejich vlastnosti a zpracování.

V první části práce jsou shrnuty informace o obalu na potraviny, jaké má funkce a jaké jsou na něj kladeny nároky. Jsou zde uvedeny procesy, jak se potraviny v obalu uchovávají, jako je sterilizace, konzervování, mražení a sušení. Hlavně se pojednává o zvýšených nárocích na obal, kvalitě potravin, životnosti obalu, ceně a recyklaci odpadů. Jsou popsány základní charakteristiky biopolymerů, jejich význam, zdroje surovin a rozdělení.

Ve druhé kapitole jsou popsány normy z hlediska národní legislativy pro potraviny a tabákové výrobky. Předpisy uvádí základní požadavky kladené pro balené výrobky, nebalené výrobky i potraviny. Pozornost je věnována i informacím, které musí být uvedeny na obale, jako je název, výrobce, typ výrobku a množství. Nebyly opomenuty ani požadavky na obal ze zdravotního hlediska.

V další části je blíže popsána nová technologie aktivních a inteligentních obalů. Vysvětlují se zde terminologické nejasnosti mezi těmito obaly a jsou blíže popsány jejich funkce, vlastnosti a rozdíly mezi nimi.

V menší, ale stejně důležité kapitole je představení nové technologie. Jedná se o RFID štítky, které předávají kompletní informace o produktu a navazují na čárové kódy.

Hlavní pozornost v této bakalářské práci byla kladena na charakterizaci biopolymerů. V první části je popis biopolymerů, jejich základní rozdělení a struktura molekul. V dalších částech jsou již uvedeny jednotlivé bioplasty, které se používají především pro obalové materiály ve formě fólií. Například to je kyselina polymléčná, která díky svým výborným vlastnostem, rozmanitosti využití a jednoduchosti při zpracování, se často využívá na výrobu fólií. Dále to může být polyhydroxyalkonát, biopolyetylen, směsi na bázi škrobu či chitosan. Význam má také regenerovaná celulóza, která má velmi silné mezimolekulární vazby, což způsobuje, že je nerozpustná v rozpouštědlech a je netavitelná.

Nedílnou součástí je výroba fólií. Stručně se popisuje, co to vlastně fólie jsou a jaké typy fólií se rozlišují. Jsou zde představeny základní zpracovatelské technologie pro jejich výrobu. Nejčastější technologií je vytlačování, které patří mezi objemově nejrozšířenější a často se kombinuje s vyfukováním. V textu se uvádí linky pro výrobu tenkých fólií, dlouhých fólií a vícevrstevných fólií.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VÖRÖS, F. Plasty a kaučuk, 2012, roč. 49, č. 11–12, s. 324.
- [2] Plasty a kaučuk, 2013, roč. 50, č. 1-2, s. 62.
- [3] Svět balení, 2009, Balení potravin, legislativa: Obaly potravin pod mikroskopem, č. 2, s. 28.
- [4] Obaly a obalové hmoty v potravinářském průmyslu. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 221 s.
- [5] GIEF, Geoff A. Food+Packaging+technology. Úloha obalů v potravinářském řetězci [online]. London, 2003 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: elmarco.
- [6] ČURDA, Dušan. Balení potravin. 1. vyd. Praha: SNTL, 1982, 428 s.
- [7] Vládní doba plastová [online]. Praha: ATOZ STUDIO s.r.o., 11.9.2008 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.svetbaleni.cz/hlavni-tema/sb-2-2008-hlavn-tma-plastove-obaly-vladne-doba-plastova.htm>.
- [8] DOSOUDILOVÁ, Jana. Ochrana životního prostředí a zdraví při nakládání s obaly [online]. 2009 [cit. 2013-03-25] Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/162974/pravf\\_m/Ochrana\\_zivotniho\\_prostredi\\_a\\_zdravi\\_pri\\_nakladani\\_s\\_obaly.txt](http://is.muni.cz/th/162974/pravf_m/Ochrana_zivotniho_prostredi_a_zdravi_pri_nakladani_s_obaly.txt). Diplomová. Právnická fakulta Masarykovy univerzity Katedra práva životního prostředí a pozemkového práva. Dostupné z: [http://www.technomat.cz/data/katedry/kmt/KMT\\_NEM\\_PR\\_14\\_CZE\\_Kroisova\\_Biodegradovatelne\\_polymery\\_a\\_biokompozity.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/kmt/KMT_NEM_PR_14_CZE_Kroisova_Biodegradovatelne_polymery_a_biokompozity.pdf).
- [9] Obaly na bázi obnovitelných zdrojů [online]. Informace z výzkumného projektu ECO-PAC řešeného v EU v 5. rámcovém programu V&V, 2006 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-pestovani-biomasy/zpravy-z-tisku/obaly-na-bazi-obnovitelnych-zdroju>.
- [10] DOBIÁŠ, ČURDA. Balení potravin [online]. Praha, 2004 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/ktk/www\\_324/studium/B/B.pd](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/B/B.pd).
- [11] Národní požadavky potravinového práva v oblasti označování. In: Dostupné z: [http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/uzei/rozsirena\\_informace\\_o\\_znaceni\\_potr.1.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/uzei/rozsirena_informace_o_znaceni_potr.1.pdf).
- [12] Aktivní obaly potravin a možnosti využití nanotechnologií. In CPS\_brezen2010\_anotace [online]. VŠCHT Praha : VŠCHT Praha, březen 2010 [cit. 2013-01-16]. Dostupné z WWW:

[http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova2/CPS\\_brezen2010\\_annotace.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova2/CPS_brezen2010_annotace.pdf).

[13] Potravinové obaly mohou chránit a informovat spotřebitele. In BIOTecho české biotechnologické noviny [online]. 14.12.2007, 0, [cit. 2013-01-09]. Dostupný z WWW:

<[http://www.gate2biotech.com/files/clanky\\_clanky/biotechopravnipdf\\_94.pdf](http://www.gate2biotech.com/files/clanky_clanky/biotechopravnipdf_94.pdf)>.

[14] KLÁSEK, A. Nauka o polymerech II., Biopolymery.

[15] TANG, X. Z.; KUMAR, P.; ALAVI, S.; et al. \_Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2012, vol. 52, no. 5, pp. 426–442.

[16] NAMPOOTHIRI, K. M., et al.: An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. Bioresource technology 2010, vol. 101, s. 8493–8501.

[17] JACOBSEN, S., et al., Polylactide (PLA) – a new way of production. Polymer Engineering & Science, 1999. 39(7), p. 1311–1319.

[18] KRICHELDORF, H. R. Syntheses and application of polylactides. Chemosphere, 2001. 43(1), p. 49–54.

[19] AVEROUS, L., Biodegradable polymers (Biopolymers). In Biodegradable Polymer, Biopolymer, Agro-polymer, Bioplastic, Biomaterial, Compostable Packaging [on-line]. [s.l.]: [s.n.], 2007 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.biodeg.net>>.

[20] PETRUŠ, J. Kyselina polymléčná nejen jako biodegradabilní polymer. [online]. 2011 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/kyselina-polymlecna-nejen-jako-biodegradabilni-polymer>.

[21] ODÍČEK, M. fermentace. From Biochemické pojmy: výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2013-02-22]. Dostupné z www: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002/ebook.html?p=fermentace](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=fermentace).

[22] KRICHELDORF, Hans R. Handbook of Polymer Synthesis. [s.l.] : [s.n.], 1992. 2 sv. (915, 893 s.). [cit. 2008-03-20] Dostupný z WWW: [http://books.google.cz/books?id=W18apJl7Yr8C&dq=low+DLactide&source=gbs\\_summary\\_s&cad=0](http://books.google.cz/books?id=W18apJl7Yr8C&dq=low+DLactide&source=gbs_summary_s&cad=0), ISBN 0824785150.

[23] Futerro. Laktid [online].

[cit. 2013-05-07]. Dostupné z: [http://www.futerro.com/products\\_lactide.html](http://www.futerro.com/products_lactide.html).

[24] MOHANTY, A. K., MANJURSI, M., DRZAL, L. T. Natural Fibers, Biopolymers and Their Composites. [s.l.]: [s.n.], 2005, 875 s., ISBN 084931741X.

- [25] ŠNEJDROVÁ, E., DITTRICH, M. Poly( $\alpha$ -hydroxykyseliny) jako nosiče léčiv: Chem. Listy 105, 27–33 (2011). Dostupné z [www:http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011\\_01\\_27-33.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_01_27-33.pdf).
- [26] Slovenští vědci usilují o patent na výrobu biofolie. Technický týdeník [online]. 2013, č. 6 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/aktualni-cislo/plasty/slovensti-vedci-usiluji-o-patent-na-vyrobu-biofolie\\_20581.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/aktualni-cislo/plasty/slovensti-vedci-usiluji-o-patent-na-vyrobu-biofolie_20581.html).
- [27] Kuredux® Polyglycolic Acid (PGA) Resin – A New Polymer Option. Kureha Amerika [online]. 2010–2013 [cit. 2013-05-01]. DOI: 212-867-7040. Dostupné z: <http://www.kureha.com/product-groups/pga.htm>.
- [28] Packaging News KW, 2013, č. 16.
- [29] PGA. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://translate.google.cz/translate?hl=cs-CZ&langpair=en%7Ccs&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Polyglycolide&ei=79uHUda4Fcap4gS9mICQAw>
- [30] MARŠÁLEK, L. Produkce polyhydroxyalkanoátů různými kmeny *Pseudomonas putida* v přítomnosti alternativních substrátů. Brno, 2011. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/175729/prif\\_m/Diploma\\_thesis\\_Final.pdf](http://is.muni.cz/th/175729/prif_m/Diploma_thesis_Final.pdf). Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav experimentální biologie. Vedoucí práce Miroslav Němec.
- [31] FLICKINGER, M. C., DREW, S. W. Encyclopedia of Bioprocess Technology – Fermentation, Biocatalysis, and Bioseparation. John Wiley & Sons, 1999, vol. 1–5, p. 2024–2133 s, ISBN 1-59124-457-9.
- [32] PHILIP, S., KESHAVARZ, T., ROY, I. Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2007, vol. 82, p. 233–247. ISSN 0268-2575.
- [33] WEBER, Edited by CLAUS, J. Biobased packaging materials for the food industry: status and perspectives: a european concerted action. Frederiksberg: KVL Department of Dairy and Food Science, 2000. ISBN 87-905-0407-0.
- [34] JIMENEZ, A., JOSE FABRA, M., TALENS, P., et al. Food and Bioprocess Technology, 2012, vol. 5, no. 6, pp. 2058–2076.
- [35] OZCALIK, O., TIHMINLIOGLU, F. Journal of Food Engineering, 2013, vol. 114, no. 4, pp. 505–513.

- [36] KUORWEL, K., CRAN, M. J., SONNEVELD, K, et al. LWT-Food Science and Technology, 2013, vol. 50, no. 2, pp. 432–438.
- [37] HODEK, T. Kompostovatelné plasty v systému separace biologicky rozložitelných odpadů. Biom.cz [online]. 2013-03-16 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovatelne-plasty-v-systemu-separace-bilogicky-rozlozitelnych-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [38] Celulosa a její deriváty. LEDERER, J. Chemistry [online]. [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/CELULOSA.pdf>.
- [39] Obalové materiály: Pro výrobu, obchod a gastronomii. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.vlmais.cz/index.php?open=sortiment&sortiment=8>.
- [40] Chitosan, patenty ověřený derivát. [online]. [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.vupp.cz/czvupp/departments/odd330/060814technikChitosan.pdf>.
- [41] Sorbenty na bázi huminových látek a chitosanu [online]. Praha, 2011 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011\\_12\\_913-917.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_12_913-917.pdf). Referát. Akademie věd České republiky.
- [42] KASIRGA, Y., ORAL, A., CANER, C. Polymer Composites, 2012, vol. 33, no. 11, pp. 1874–1882.
- [43] ABDOLLAHI, M., REZAEI, M., FARZI, G., International Journal of Food Science and Technology, 2012, vol. 47, No. 4, pp. 847–853.
- [44] DOSH, CHIELLINI, OTTENBRITE,. Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. Progress in Polymer Science [online]. 2011, roč. 36, č. 8,s.981-1014[cit.2013-05-06].Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S007967001100027X>.
- [45] Bioplaneta. Bioplast [online]. Hradec Králové, 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.bioplaneta.cz/bioplast.html>.
- [46] Vědci ušili igelitku, kterou umí sežrat mikrobi. CET 21 SPOL. S R.O. [online]. 2009 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://fanda.nova.cz/clanek/hi-tech/vedci-usili-igelitku-kterou-umi-sezrat-mikrobi.html>.
- [47] Úvod do strojírenství [online]. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, Fakulta strojírení, 2001 [cit. 2013-04-03]. ISBN 80-708-3538-9.
- [48] Zpracovatelské inženýrství polymerů [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/ft/struktura/zpracovatelske-inzenyrstvi-polymeru>.

[49] LENFELD, P. Technologie II. – Zpracování plastů [online]. 2006. [cit. 2013-04-03]. Dostupný z www:

<[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)>.

[50] HERNANDEZ, R. J., SELKE, S. E. M., CULTE, J. D. Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, And Regulations. [s.l.]: Hanser Gardner Publications, 2004. 448 s. ISBN 1569903727.

[51] BESWICK, R. H. D., DUNN, D. J. Plastics in Packaging – Western Europe and North America. [s.l.]: Smithers Rapra Technology, 2002. 156 s. ISBN 1859573290.

[52] COMPUPLAST představuje: 5-vrstvá koextruzní linka na vyfukování tubulárních fólií od Labtech Engineering Co., Ltd. [online]. [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/compuplast-predstavuje-5-vrstva-koextruzni-linka-na-vyfukovani-tubularnich-folii-od-labtech-engineering-co-ltd/c/1339>.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
HA	Kyselina hydroxyalkanová
Mcl-PHA	Medium chain lenit (polyhydroxyalkanoát se středně dlouhým řetězcem)
NaOH	Hydroxid sodný
PBAT	Poly( butylen- adipát- tereftalát)
PC	Polykarbonát
PDLA	Poly (D-mléčná)
PDLLA	Poly(DL-mléčná)
PE	Polyetylen
PE-HD	Vysokohustotní polyetylen
PE-LD	Nízkohustotní polyetylen
PE-LLD	Lineární nízkohustotní polyetylen
PET	Polyetylentereftalát
PGA	Kyselina polyglykolová
PHA	Polyhydroxyalkanoát
PLA	Kyselina polymléčná
PLLA	Poly(L-mléčná)
PS	Polystyren
RFID	Radio-frequency identification – identifikace na rádiové frekvenci
ROP	Ring-opening polymerization (polymerace otevíráním kruhů)
ScI-PHA	Short chain lenit (polyhydroxyalkanoát s krátkým řetězcem)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Doba potřebná pro kompostování různých přírodních a syntetických polymerních materiálů [9] .....	13
Obr. 2 Kyselina polymléčná [16].....	17
Obr. 3 Schéma vzniku PLA polymerací za otevření kruhu [20]. .....	19
Obr. 4 Schéma výroby kyseliny mléčné fermentací [21] .....	20
Obr. 5 Biofolie vyrobená z kyseliny mléčné a polyhydroxybutyrátu [26] .....	21
Obr. 6 Schéma kyseliny polyglykolové [29] .....	21
Obr. 7 Chemická struktura PHA v bakteriích [30] .....	22
Obr. 8 Fólie z celofánu [39].....	24
Obr. 9 Chemická struktura chitosanu [44].....	25
Obr. 10 Jednošnekový vytlačovací stroj [47]. 1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, tavicí komora, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chlazení, 10–násyp. ....	27
Obr. 11 Plochá hlava [47] 1 – těleso hlavy, 2 – spodní pevná čelist, 3 – horní stavitelná čelist, 4 – škrťící můstek, 5, 6 – stavěcí šrouby, 7 – příčný rozdělovací kanál, 8 – topení.....	28
Obr. 12 Linka pro výrobu tenkých fólií vytlačováním [49] a – vytlačovací stroj, b – adaptér, c – vytlačovací hlava, d – chladicí válce s odtahem, e – měření tloušťky, f – úprava povrchu, g – řezací zařízení, h – navíjení. ....	29
Obr. 13 Dvoustupňový proces dloužení biaxiálních fólií [49] .....	30

- Obr. 14 Koextruzní vytlačovací linka na pětivrstvé fólie [52] ..... 31
- Obr. 15 Příčné vyfukovací hlavy [47]. 1 – těleso hlavy, 2 – rozdělovač, 3 – trn, 4 – hubice, 5 – stavěcí šrouby, 6 – přívod vzduchu, 7 –topení, 8 – chladicí prstenec, 9 – přívod chlad.vzduchu. .... 32
- Obr. 16 Výroba fólií vyfukováním[49]. a – horní odtah, b – spodní odtah, c – horizontální odtah, 1 – vytlačovací stroj, 2 – hlava, 3 – chladicí prstenec, 4 – vstup přetlakového vzduchu, 5 – fólie, 6 – skládací desky, 7 – odtahovací válce, 8 – vodící válečky, 9 – navíjení. .... 33
- Obr. 17 Linka pro válcování fólií[49]. 1 – čtyřválcový kalandr, 2 – válečkový odtah, 3 – desénovací válce, 4 – odtah, 5 – temperace, 6 – měření tloušťky, 7 – chlazení, 8 – ořezávání okrajů, 9 – navíjení. .... 34

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Základní parametry komerčně dostupných materiálů PBAT a PLA [19] ..... 18

