

# **Povrchové vlastnosti biaxiálně orientovaných polyesterových fólií**

Bc. Jan Trávníček

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav fyziky a mater. inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Trávníček**  
Osobní číslo: **T15272**  
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Povrchové vlastnosti biaxiálně orientovaných polyesterových fólií**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na zadané téma s využitím doporučené literatury a databázových zdrojů.
2. Seznamte se s obsluhou univerzálního testovacího stroje, optického goniometru a laboratorního drsnoměru.
3. Proveďte charakterizaci povrchových vlastností polyesterových fólií, jak surových, tak povrchově upravených.
4. Pokuste se vypracovat metodiku hodnocení vhodnosti dané polyesterové fólie pro aplikaci za zvýšených teplot, pro použití např. při pasterizaci potravin.
5. Získané výsledky přehledně zpracujte a diskutujte v závěrečných kapitolách práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Robertson GL. Food Packaging and Shelf Life, Practical guide: CRC Press; 2010.
2. Han JH. Innovations in Food Packaging (2nd Edition). Elsevier; 2014.
3. Ghosh A. Technology of Polymer Packaging. Hanser Publishers; 2015.
4. Pashley RM., Karaman ME. Applied colloid and surface chemistry. John Wiley and Sons; 2004.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Petr Smolka, Ph.D.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**3. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

**19. května 2017**

Ve Zlíně dne 10. února 2017



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



doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*



## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové 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 bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou 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>;
- 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;
- podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Ve Zlíně 19.5.2017 .....

*Jana Trávníček J. Trávníček*  
Jméno, příjmení, podpis

<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, § 47b 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 nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výtisky, 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, u které-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).

<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 jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí ke vyšší výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením povrchových vlastností biaxiálně orientovaných polyethylentereftalátových fólií využitelných v obalovém průmyslu. Teoretická část je zaměřena na obalové materiály, biaxiálně orientované fólie a povrchové úpravy fólií. Praktická část se věnuje měření povrchových vlastností fólií, možnostem jejich úpravy a také sledování chování laminátů na bázi PP a boPET vystavených zvýšeným teplotám. Podstatou práce je koeficient tření zmíněných materiálů s metodikou jeho měření a experimentální metoda soudržnosti laminátů.

Klíčová slova: biaxiálně orientovaný polyethylentereftalát, fólie, pasterizace, koeficient tření, laminát, peel test.

## ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the evaluation of surface properties of biaxially oriented polyethylene terephthalate foils used in the packaging industry. Theoretical part is focused on packaging materials, biaxially oriented foils and surface treatment of foils. Experimental part is focused on measurements of surface properties of foils, their possible treatment and behavior of laminates on a basis of PP and boPET that are exposed by high temperature. The main focus of the thesis is friction coefficient of studied material and the methods of its measurement and experimental method of testing the cohesion of laminates.

Keywords: biaxially oriented polyethylene terephthalate, films, psterization, fricton coefficients, laminate, peel test.

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Smolkovi, PhD. za poskytnutí všech podkladů a literatury ke zpracování této diplomové práce. Dále bych mu rád poděkoval za zaučení se na trhacím stroji Instron, práci na drsnoměru, goniometru, siloměru a dalších přístrojích a pomůckách.

Dále chci poděkovat firmě Fatra, a.s. za poskytnutí veškerého materiálu (fólií a laminátů), se kterými jsem pracoval a které byly testovány po celou dobu řešení diplomové práce. Děkuji také Centru polymerních systémů (registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0111), projektu NPU I (registrační číslo LO1504) a projektu Centra kompetence „Centrum pokročilých polymerních a kompozitních materiálů (registrační číslo TE01020216) za možnost využití infrastruktury a materiální podpory.

Chci poděkovat i mámě, tátovi a sestře, bez nichž by tato diplomová práce nevznikla. Za psychickou podporu děkuji Bc. Barboře Ptoškové a za pomoc s úpravou dokumentu děkuji Bc. Veronice Kubáčkové.

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

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 OBALY V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU .....</b>	<b>12</b>
1.1 HISTORIE OBALOVÝCH MATERIÁLŮ.....	13
1.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V OBALOVÉM PRŮMYSLU.....	14
1.2.1 Polyolefiny .....	14
1.2.1.1 Polyethylen .....	14
1.2.1.2 Polypropylen.....	15
1.2.2 Polyestery .....	15
1.2.2.1 Polyethylentereftalát .....	15
1.2.2.2 Polykarbonát .....	16
1.2.2.3 Polyethylennaftalát .....	16
1.2.3 Další polymerní materiály.....	17
1.2.3.1 Polystyren .....	17
1.2.3.2 Polyvinylchlorid.....	17
1.3 ADHEZIVA (LEPIDLA) V OBALOVÉM PRŮMYSLU .....	17
1.3.1 Typy lepidel používaných v obalovém průmyslu .....	18
1.3.1.1 Škrob a jeho deriváty .....	19
1.3.1.2 Kasein .....	19
1.3.1.3 Živočišná lepidla.....	19
1.3.1.4 Latex .....	19
1.3.1.5 Polyuretan .....	19
1.3.1.6 Akrylátová lepidla.....	20
1.3.1.7 Polyvinylacetátová lepidla.....	20
1.4 LAMINACE OBALOVÝCH MATERIÁLŮ.....	20
1.5 KONEČNÉ ÚPRAVY BALENÝCH POTRAVIN V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU .....	22
1.5.1 Tepelné úpravy.....	22
1.5.1.1 Sterilizace.....	22
1.5.1.2 Konzervace .....	23
1.5.1.3 Pasterizace .....	23
1.5.1.4 Chlazení a zmrazování.....	24
1.5.2 Netepelné úpravy .....	25
1.5.2.1 Ozařování.....	25
1.5.2.2 Superkritická fluidní technologie.....	25
1.5.2.3 Vysoký hydrostatický tlak .....	26
1.5.2.4 Pulzní elektrické pole.....	26
1.5.2.5 Intenzita pulzního světla .....	26
1.5.2.6 Membránová filtrace.....	27
<b>2 BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÉ FÓLIE.....</b>	<b>28</b>
2.1 TECHNOLOGIE VÝROBY BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÝCH FÓLIÍ.....	28
2.2 BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÝ POLYETHYLENTEREFTALÁT (BOPET).....	30
2.2.1 Výrobní proces biaxiálně orientovaných fólií polyethylentereftalátu.....	31
2.2.2 Vlastnosti biaxiálně orientovaných polyethylentereftalátových fólií .....	31

2.2.3	Aplikace biaxiálně orientovaných polyethyltereftalátových fólií .....	31
2.3	BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÝ POLYPROPYLEN .....	32
2.3.1	Vlastnosti biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií .....	32
2.3.2	Výroba biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií .....	33
2.3.3	Struktura biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií.....	33
2.4	DALŠÍ BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÉ POLYMERY .....	34
2.4.1	Polyamid (PA).....	34
2.4.2	Polymléčná kyselina (PLA) .....	34
2.4.3	Polystyren (PS).....	35
2.4.4	Polyethylen (PE) .....	35
2.5	LAMINÁT BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÉHO POLYETHYLENTEREFTALÁTU A POLYPROPYLENU .....	35
<b>3</b>	<b>POVRCHOVÉ ÚPRAVY FÓLIÍ.....</b>	<b>36</b>
3.1	MOKRÁ CHEMICKÁ ÚPRAVA POVRCHŮ .....	36
3.2	POVRCHOVÁ ÚPRAVA PLAZMATEM .....	36
3.2.1	Plazmatické reaktory .....	37
3.2.1.1	Reaktor s korónovým výbojem.....	37
3.2.1.2	Reaktor s dielektrickým bariérovým výbojem.....	37
3.2.1.3	Reaktor s povrchovým výbojem .....	38
3.2.1.4	Reaktor s plazmovou tryskou .....	38
3.2.1.5	Reaktory s vysokofrekvenčním, radiofrekvenčním a mikrovlnným výbojem	38
3.2.1.6	Reaktor s magnetonovým výbojem .....	38
3.3	POVRCHOVÉ ROUBOVÁNÍ .....	38
3.4	POVRCHOVÉ ÚPRAVY POMOCÍ LASERU .....	39
3.5	POVRCHOVÉ ÚPRAVY POMOCÍ KORÓNOVÉHO VÝBOJE .....	39
3.6	POVRCHOVÁ ÚPRAVA POMOCÍ PLAMENU.....	41
3.7	POVRCHOVÉ ÚPRAVY POMOCÍ POVLAKOVÁNÍ .....	42
3.7.1	Metalizace .....	42
<b>4</b>	<b>POVRCHOVÉ VLASTNOSTI FÓLIÍ A JEJICH MĚŘENÍ .....</b>	<b>43</b>
4.1	TŘENÍ .....	43
4.1.1	Koeficienty tření.....	44
4.1.1.1	Statický koeficient tření a jeho měření .....	45
4.1.1.2	Dynamický koeficient tření a jeho měření.....	47
4.2	DRSNOST .....	48
4.2.1	Měření drsnosti povrchů .....	49
4.2.1.1	Měření pomocí hrotu .....	50
4.2.1.2	Tomlinsonova metoda.....	50
4.2.1.3	Taylor – Hobsonova metoda.....	50
4.2.1.4	Laboratorní drsnoměr .....	51
4.2.1.5	Pneumatická metoda .....	51
4.2.1.6	Mikroskopie prostorové interference světla .....	51
4.2.1.7	Mercin zařízení .....	51



4.3	POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE .....	52
4.3.1	Kontaktní úhly smáčení.....	53
4.3.1.1	Statický kontaktní úhel smáčení .....	54
4.3.1.2	Dynamický kontaktní úhel smáčení.....	54
4.4	PEEL TEST .....	55
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ KOEFICIENTŮ TŘENÍ A DRSNOSTI .....</b>	<b>58</b>
5.1	MĚŘENÍ KOEFICIENTŮ TŘENÍ POMOCÍ NAKLONĚNÉ ROVINY.....	58
5.1.1	Použité materiály a příprava vzorků.....	58
5.1.2	Výsledky a diskuze .....	59
5.1.2.1	Měření koeficientů tření pomocí automatizované nakloněné roviny ..	59
5.2	MĚŘENÍ KOEFICIENTŮ TŘENÍ POMOCÍ TRHACÍHO STROJE INSTRON.....	61
5.2.1	Použité materiály a příprava vzorků.....	61
5.2.2	Výsledky a diskuze .....	62
5.3	MĚŘENÍ DRSNOSTI BOPET FÓLIÍ.....	70
5.3.1	Použité materiály a příprava vzorků.....	70
5.3.2	Výsledky a diskuze .....	70
5.4	MODIFIKACE KOEFICIENTŮ TŘENÍ POMOCÍ AKRYLÁTOVÉ POLYMERNÍ DISPERZE .....	76
5.4.1	Použité materiály a příprava vzorků.....	76
5.4.2	Výsledky a diskuze .....	77
<b>6</b>	<b>PEEL TEST LAMINÁTŮ .....</b>	<b>96</b>
6.1	ÚVOD .....	96
6.1.1	Použité materiály a příprava vzorků.....	96
6.1.2	Výsledky a diskuze .....	97
6.1.2.1	Laminát boPET/adhezivum/PP.....	97
6.1.2.2	Laminát boPET/kopolyester/Al/adhezivum/PP bez pasterace .....	101
6.1.2.3	Laminát boPET/kopolyester/Al/adhezivum/PP po pasteraci.....	109
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>113</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>115</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>122</b>	
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>124</b>	
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>126</b>	

## ÚVOD

Polymerní materiály, konkrétně biaxiálně orientované fólie, jsou hojně využívaným obalovým materiálem v potravinářském průmyslu. Na materiály, které jsou využívány jako obaly v potravinářském průmyslu, jsou kladeny velké nároky z pohledu jejich mechanických a bariérových vlastností. Výsledné fólie by měly mít vysoké hodnoty pevnosti v tahu. Některé by měly mít vysokou tuhost, jiné zase tažnost. Co se týče bariérových vlastností, měly by mít obaly nízkou propustnost UV záření, jinak by mohlo docházet k degradaci produktu uvnitř obalu. Dále nízkou propustnost kyslíku, vlhkosti atd. pro zajištění vysoké kvality a trvanlivosti výrobku či potraviny. Obaly by také měly být odolné vůči chemikáliím.

Pro zlepšení vlastností se používají fólie složené z více vrstev, tzv. lamináty, nebo fólie povrchově upravené, např. pokovováním. Tyto fólie či lamináty (již obsahující potravinový výrobek) se velmi často podrobují pasteraci pro ještě větší zlepšení ochrany výrobků a prodloužení jejich trvanlivosti.

Teoretická část diplomové práce je zaměřená na obalový materiál v potravinářském průmyslu, lamináty, biaxiálně orientované fólie, povrchové úpravy fólií a s nimi poté spojené měření jejich vlastností.

Praktická část je pak rozdělena do dvou velkých kapitol, přičemž první kapitola se zabývá měřením koeficientů tření aditivovaných a neaditivovaných biaxiálně orientovaných fólií. Druhá kapitola řeší soudržnost laminátů vystavených zvýšeným teplotám a skladování za nízkých teplot.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 OBALY V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU

Hlavní rolí obalu v potravinářském průmyslu je chránit potravinářské produkty před vnějšími vlivy a poškozením. Cílem obalů potravin je to, aby byl vyroben nákladově efektivním způsobem, který splňuje požadavky průmyslu a spotřebitelské touhy, dále pak udržuje bezpečnost potravin a minimalizuje dopad na životní prostředí. Obal určený k ochraně potravin může zpomalit poškození produktu, prodloužit trvanlivost a udržet nebo dokonce zvýšit bezpečnost potravin. [1]

U obalů pro potraviny se rozlišují jednotlivé úrovně. Primární obal je ten, který je v přímém kontaktu s produktem. Ten poskytuje počáteční a hlavní ochrannou bariéru. Mezi příklady primárních obalů jsou zařazovány například kovové plechovky, lepenkové krabice, skleněné lahve nebo plastové sáčky. Sekundární obaly obsahují řadu primárních obalů. Jsou nosičem pro primární obaly a mohou být použity i v maloobchodních prodejnách pro vystavování primárních obalů. Terciární obaly se skládají z několika sekundárních obalů a nejčastějším příkladem je zabalená paleta ze sekundárních obalů. A na závěr kvartérní obaly, které slouží k usnadnění manipulace s terciárními obaly. Kvartérní obaly jsou nejčastěji kovové nádoby s délkou 40 m, které mohou pojmut mnoho palet. [2]

Obalová technika poskytuje ochranu před třemi hlavními vlivy, těmi jsou chemické, biologické a fyzikální. Chemická ochrana minimalizuje kompoziční změny, které jsou způsobeny vnějšími vlivy prostředí, jako jsou vystavování plynům (obvykle kyslíku), vlhkosti nebo světla (viditelné, UV či infračervené). Mnoho materiálů může poskytovat chemickou bariéru. Sklo a kovy poskytují téměř dokonalou překážku pro chemické a jiné environmentální aspekty. Plastové obaly nabízí širokou škálu bariérových vlastností, ale jsou obecně propustnější než sklo nebo kov. Biologická ochrana poskytuje bariéru proti mikroorganismům (patogeny), hlodavcům, hmyzu a jiným zvířatům, a tím brání kontaminaci a znehodnocení potravin. Kromě toho, biologické bariéry zachovávají podmínky pro kontrolu stárnutí a fungují prostřednictvím většího počtu mechanismů, včetně zabránění přístupu k potravine, prevence přenosu zápachu nebo udržení vnitřního prostředí obalu. Fyzikální ochrana chrání potraviny před mechanickým poškozením, jako je odpružení proti nárazům a vibracím během distribuce. Typickým příkladem jsou lepenky a jiné krabice, které jsou používány v přepravních kontejnerech při přepravě choulostivých pokrmů, jako jsou vejce nebo čerstvé ovoce. Fyzická ochrana chrání také spotřebitele před různými nebezpečnými výrobky. [1]

## 1.1 Historie obalových materiálů

Vývoj potravinářských obalů se vyvíjel podobně jako samotný životní styl. Po velmi dlouhou dobu lidé jedli, co mohli shromáždit v bezprostředním okolí. Jakmile lidé přešli z kočovného způsobu života na pobyt v určitém chráněném území, vyvstala potřeba kontejnerů pro skladování potravin. Až do roku 1800 se potraviny uchovávaly v tykvích, mušlicích nebo listech. Z trav, bambusu nebo dřeva se pletly koše. Pak přišla na řadu keramika, sklo nebo papír, i když zmínky o keramice a sklu jsou již z dob 7000 let před Kristem.

Průmyslová revoluce přinesla rozvoj nových výrobních procesů a nových materiálů, i když zpočátku mnoho z nich nebylo určeno k uchovávání potravin. Například kovové plechovky byly původně určeny k uchovávání šňupacího tabáku. Poté až v konzervářském průmyslu. Kartony byly poprvé použity na výrobu skládacích krabic kolem roku 1800. Plasty včetně monomerů, jako je nitrocelulosa, styren či vinylchlorid (objeveno kolem roku 1850) nebyly používány jako obalový materiál. Začaly se používat až ve druhé světové válce.

Po druhé světové válce byl rostoucí zájem o kvalitu potravin. Mnoho materiálů včetně plastů, které byly vyvinuty pro válečné účely, našly cestu do obalového průmyslu. Plasty jsou jednou z oblastí, která zaznamenala velký pokrok v materiálech obecně i v jejich vlastnostech. Polyethylen byl jedním z prvních plastů, který byl hojně využíván v obalovém průmyslu. Nízkohustotní polyethylen byl poprvé syntetizován v roce 1933. Dnes se používají jednotlivé typy polyethylenu, mezi které patří nízkohustotní (LDPE), vysokohustotní (HDPE), lineární nízkohustotní (LLDPE) nebo velminízkohustotní (VLDPE).

V roce 1954 došlo k objevení polypropylenu. Polypropylenová fólie je často po vytlačení orientována. Nejprve dochází k protahování fólie v podélném směru a poté v příčném směru, čímž se získá orientovaný polypropylen (OPP). Protahování fólie narovnává molekuly, čímž se docílí lepší odolnosti vůči prostupu vodní páry nebo vyšší tuhosti.

Mnohem lepších vlastností plastových fólií se dosahuje koextruzí, která byla vynalezena v roce 1964. V tomto procesu se fólie složená ze dvou nebo více vrstev různých plastů vytlačuje bez použití lepidel nebo bez laminace. Je to tedy jednokroková výroba. Vícevrstvé fólie poskytují lepší ochranu výrobkům proti prostupu vlhkosti nebo proti prostupu různých plynů.

Obaly určené pro zeleninu a ovoce musí být prodyšné pro oxid uhličitý a kyslík a zároveň musí poskytovat bariéru pro prostup vlhkosti.

Dalším důležitým obalem je tetra pak, který byl vyvinut v roce 1951 ve Švédsku. Tetra pak je složený z několika vrstev, jedná se tedy o kompozitní materiál. Je složen z lepenky, která zajišťuje tuhost, hliníkové fólie, která zajišťuje bariéru pro světelnou a plynu propustnost, a fólie z polyethylenu, která funguje jako těsnicí vrstva. [3; 4]

## 1.2 Materiály používané v obalovém průmyslu

Pro výběr vhodných obalů pro určité potraviny je kladen důraz převážně na bariérové vlastnosti. Potraviny mohou být klasifikovány podle stupně ochrany před vlhkostí nebo prostupem kyslíku. Kovové plechovky a sklo jsou v podstatě považovány za nepropustné materiály pro plyny, pachy a vodní páru za předpokladu, že tloušťka jejich vrstvy je alespoň 25  $\mu\text{m}$ . Proto se často laminují plastové fólie spolu s kovovými (nejčastěji hliníkem). Dále se tato kapitola bude zabývat materiály (plasty), které se nejčastěji používají v obalovém průmyslu. [1; 2]

### 1.2.1 Polyolefiny

Polyolefin je souhrnný název pro homopolymery a kopolymery olefinů. Mezi polyolefiny se řadí polyethylen a polypropylen. Tyto mají vhodné vlastnosti, mezi něž patří pružnost, pevnost, lehkost, stabilita, chemická odolnost a snadná zpracovatelnost. Jsou také vhodné k recyklaci a opětovnému použití. [1]

#### 1.2.1.1 Polyethylen

Polyethylen (PE) je termoplast, který se syntetizuje polymerací ethylenu. Syntéza probíhá buď při nízkém, nebo při vysokém tlaku. Při nízkém tlaku vzniká HDPE a při vysokém LDPE. [5]

LDPE je relativně transparentní, proto se používá převážně jako fólie (stretch fólie nebo smršťovací fólie). Dále se používá tam, kde je nutné tepelné těsnění. Například jako obaly pro chléb a mražené potraviny, tašky nebo víčka. Používají se také jako lahve nebo jako uzávěry. LDPE je kompatibilní s většinou potravin, má dobrou bariéru vůči vlhkosti, ale špatnou bariéru vůči molekulám kyslíku. [1]

HDPE je tuhý, tvrdý, odolný vůči chemikáliím, vlhkosti a plynům, je snadno zpracovatelný. Používá se k výrobě lahví na mléko, džusy a vodu, pro obaly na cereální výrobky, vaničky pro margarín, pytle na odpadky, tašky a přepravky. Dá se taky použít jako vrstva při laminaci. HDPE je kompatibilní s většinou potravin, bývá transparentní, má dobrou bariéru vůči vlhkosti, ale špatnou bariéru vůči molekulám kyslíku. [1]

### **1.2.1.2 Polypropylen**

Polypropylen je tvrdší, hustší a transparentnější než polyethylen. Polypropylen je klasifikován na amorfní (ataktický), isotaktický (iPP), syndiotaktický, stereoblokový a orientovaný (OPP). Nejdůležitější a nejrozšířenější je isotaktický polypropylen (iPP), protože má mimořádnou tuhost a mechanickou odolnost. Orientovaný polypropylen (OPP), který může být také nazýván jako biaxiálně orientovaný, se používá na výrobu tašek. [5]

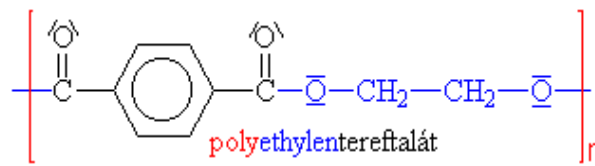
Má dobrou odolnost vůči chemikáliím, vodní páře a vlhkosti. Zato špatnou bariéru vůči molekulám kyslíku. Pro účinnější bariéru vůči molekulám kyslíku ho lze použít v kombinaci s ethylen-vinyl alkoholem a polyvinyliden chloridem. Jeho bod tání je kolem 160 °C, proto se používá tam, kde je vyžadována vysoká tepelná odolnost, jako jsou „hot-filled“ obaly nebo obaly, které se používají do mikrovlnných trub. Dále ho lze využít jako kelímky na jogurty, vaničky na margarín, potravinové sáčky a tašky, průhledné fólie, uzávěry nebo lahve. Dá se metalizovat a potiskovat. [1]

## **1.2.2 Polyestery**

Mezi nejdůležitější polyestery řadíme polyethyltereftalát (PET), polykarbonát (PC) a polyethylnaftalát (PEN). Jsou syntetizovány z monomerů esterů, které vznikají reakcí karboxylové kyseliny s alkoholem (tzv. esterifikace). Nejčastěji používaný polyester je polyethyltereftalát (PET). Polyestery mají obecně vysokou teplotu tání (okolo 260 °C), dobrou chemickou odolnost a vynikající mechanické vlastnosti. Polyestery mohou být termoplastické i reaktoplastické. [1; 5; 6]

### **1.2.2.1 Polyethyltereftalát**

Vzniká polykondenzací kyseliny tereftalové s ethylenglykolem. Strukturní vzorec je uveden na *Obrázek 1*.



Obrázek 1 - Strukturní vzorek polyethylentereftalátu [7]

Má dobrou bariéru vůči propustnosti plynům (kyslík a oxid uhličitý) a vůči vlhkosti. Tato bariéra se zlepšuje biaxiální orientací. Má také vysokou odolnost vůči teplu, minerálním olejům a kyselinám. Vůči zásadám je méně odolný.

Polyethylentereftalátové fólie mají omezený stupeň krystalinity a je silně ovlivněn podmínkami zpracování. Nevýhodou je nízká pevnost taveniny, takže proces vyfukování není možný. Díky těmto dobrým vlastnostem se polyethylentereftalát stal velmi populární a používaný materiál v obalovém průmyslu, převážně nápojů a minerálních vod. Semikrystalická forma polyethylentereftalátu je základním materiálem pro obaly určené ke zmrazování a do mikrovlnných trub. Fólie mohou být vyráběny litím na chladicí válec. Lahve naopak vstřikovacím vyfukováním nebo vyfukováním. Polyethylentereftalát existuje jak v amorfní, tak v semikrystalické fázi. Amorfní má lepší tažnost, ale menší tuhost, pevnost a tvrdost než semikrystalický. Recyklát z PET lahví se využívá na vlákna, izolace a jiné nepotravinářské aplikace. [1; 6]

### 1.2.2.2 Polykarbonát

Vzniká polymerací sodné soli Bisfenolu A s fosgenem. Je transparentní, tepelně odolný a trvanlivý. Dá se použít na výrobu lahví jako náhrada skla. Při čištění polykarbonátu se nedoporučuje používat agresivní čisticí prostředky (chlornan sodný), neboť katalyzuje uvolňování Bisfenolu A, který je potenciálním zdravotním rizikem. [1]

### 1.2.2.3 Polyethylnaftalát

Vzniká kondenzací dimethyl naftalendikarboxylátu s ethylenglykolem. Je poměrně nový člen rodiny polyesterů. Má vysokou teplotu skelného přechodu a jeho bariérové vlastnosti vůči oxidu uhličitému, kyslíku a vodní páře jsou lepší než u polyethylentereftalátu. Je vhodný pro výrobu lahví pro nápoje, jako je převážně pivo. Polyethylnaftalát je ale tři krát až čtyři krát dražší než polyethylentereftalát. [1]



### 1.2.3 Další polymerní materiály

#### 1.2.3.1 Polystyren

Vyrábí se nejčastěji suspenzní nebo emulzní polymerací styrenu. Vyskytuje se v devíti různých typech. Nicméně osm z těchto jsou kopolymery nebo terpolymery (získány ze tří různých monomerů). V potravinářství se nejčastěji používají houževnatý polystyren (HIPS) a čistý polystyren. Dále často používanými hybridy jsou styren – butadienové kopolymery a akrylonitril – butadien – styren. Polystyren je transparentní, tvrdý a křehký s relativně nízkou teplotou tání. Má horší odolnost vůči rozpouštědlům a celkově neuspokojivé bariérové vlastnosti. Dá se vytlačovat samostatně nebo společně s jinými plasty. Dá se také vstříkovat a lehčit pomocí pentanu. Lehčený polystyren je neprůhledný, tuhý a lehký materiál s ochranou proti nárazu. Má také dobré tepelně – izolační vlastnosti. Proto jeho použití je jako ochranné obaly (kartony na vejce), jednorázové přístroje, víčka, hrnky, talíře, lahve, podnosy pro potraviny, CD obaly nebo obaly na kosmetiku. [1; 5; 6]

#### 1.2.3.2 Polyvinylchlorid

Vyrábí se nejčastěji suspenzní nebo emulzní polymerací vinylchloridu. Lze ho také vyrobit polymerací v roztoku. Emulzně polymerovaný polyvinylchlorid může absorbovat velké množství vody, proto je nutno věnovat velkou pozornost při jeho používání v potravinářském průmyslu. Co se týče kopolymerů polyvinylchloridu, je pro použití v potravinářském a nápojovém průmyslu nejlepší polyvinylidenchlorid (PVDC). Polyvinylchlorid je tuhý, tvárný, amorfní a transparentní materiál. Má vynikající odolnost vůči kyselinám, zásadám, olejům a má stabilní elektrické vlastnosti. Jako aditiva do polyvinylchloridu se dají používat ftaláty, adipáty, citráty a fosfáty. Fosfáty se pro potravinářské aplikace nepoužívají, nahrazují se adipáty. Adipáty mají totiž nižší schopnost se luhovat do potravin než ftaláty. Polyvinylchlorid je primárně používán v lékařství, ale v potravinářském průmyslu se používá na výrobu lahví a jako obalový materiál. [1; 5]

### 1.3 Adheziva (lepidla) v obalovém průmyslu

Lepidla jsou velmi důležitá pro strukturu obalů, ať už se používají v průběhu procesu výroby či při balení potravin. Výběr vhodného lepidla je velmi důležitý, aby se zajistilo, že obal bude plnit svá výkonnostní kritéria v celém průběhu jeho výroby. Lepidla se používají v mnoha formách a typech, kdy je nutno, aby výsledný obal byl zdravotně nezávadný

a bezpečný. Většina lepidel se aplikuje pomocí speciálně konstruovaných strojních zařízení. [8]

V praxi lepení znamená spojení dvou povrchů, kdy se vytváří mezi těmito dvěma povrchy důkladné spojení. Lepidlo musí tudíž zcela zaplnit mezeru mezi dvěma povrchy a musí být dostatečně pevné tak, že jej nebude možno poškodit za běžných podmínek. To znamená, že lepidlo musí mít velmi dobrou adhezi a kohezi. Lepidla jsou často aplikovány jako kapaliny, které po čase ztuhnou vlivem odpaření rozpouštědla či vlivem snížení teploty. Adheze se dá rozdělit do tří funkčně odlišných mechanismů, a to na:

- mechanická adheze
- chemická (specifická) adheze
- difúze

Při mechanické adhezi lepidlo proudí do povrchů spojovaných částí a kotví je dohromady poté, co dojde ke ztuhnutí. Lepení papíru a lepenky je jasným příkladem mechanické adheze. Obecně se mechanická adheze používá na lepení hrubých a savých podkladů. Čím je pronikání lepidla do povrchu obou spojovaných částí větší, tím je vyšší vazba mezi nimi. Důležitou roli při pronikání lepidla do povrchů hraje jejich drsnost a nasákavost. Lepený spoj mohou vážně poškodit povrchové laky, a to je důvod, proč musí zůstat netknuté během tisku.

Podstatou chemické (specifické) adheze jsou van den Waalsovy síly. Jedná se o velmi slabé elektrostatické vazby, které v podstatě existují mezi všemi atomy a molekulami vzhledem k jejich kladným a záporným nábojům. Čím je vyšší molekulová hmotnost látky, tím jsou van der Waalsovy síly silnější. Chemické (specifické) adheze se využívá na lepení hladkých povrchů, jako jsou kovy, sklo nebo fólie.

Teorie difúze závisí na rozpustnosti materiálů, které jsou k sobě lepeny. Jsou-li dva materiály mezi sebou rozpustné a jsou-li v těsném kontaktu, tvoří se v místě kontaktu roztok. Místo toho, aby vznikla třetí vrstva mezi dvěma lepenými materiály, vzniká mezifáze, která je složena ze dvou lepených materiálů, které jsou do sebe rozptýleny. [8]

### 1.3.1 Typy lepidel používaných v obalovém průmyslu

Mezi používaná lepidla se řadí lepidla na vodní bázi, která jsou přírodní i syntetická. Patří mezi ně škrob a jeho deriváty, kasein, latex, polyvinylacetát (PVAc), akryláty a polyureta-

ny (PUR). Dále se používají lepidla na bázi rozpouštědla, kdy nosič je organické rozpouštědlo, nikoli voda. Mezi tato lepidla patří polyuretany a akryláty. A jako poslední skupinou lepidel jsou pevná lepidla, která nemají rozpouštědlo jako nosič. Mezi ně patří bezrozpouštědlové kapaliny nebo horké taveniny. [8]

#### ***1.3.1.1 Škrob a jeho deriváty***

Škrob je komplexní polysacharid, který se přirozeně vyskytuje v rostlinné masě. Rostliny, které se používají, jsou kukuřice, pšenice, brambory, rýže a tapiok. Škrobové granule se zahřívají ve vodném prostředí s přidáním kovových solí nebo hydroxidu sodného. Granule tak bobtnají a při 50 – 70 °C želatinují, čímž se získá koloidní suspenze, která se používá jako lepidlo. [8]

#### ***1.3.1.2 Kasein***

Kasein je protein, který je přítomný v mléce, a je rozpustný ve vodném prostředí s přidáním alkálií. Lepidla na bázi kaseinu mají vynikající lepidlost a jsou odolné při nízkých teplotách, čehož se využívá na lepení etiket. [8]

#### ***1.3.1.3 Živočišná lepidla***

Jsou založena na proteinové bázi a pochází z kostí, kůže nebo krve živočichů. Většinou se jedná o pevné látky, které jsou dispergovány ve vodě. Nyní už nemají zásadní význam a jsou nahrazovány například škrobem. [8]

#### ***1.3.1.4 Latex***

Latex, jinými slovy přírodní kaučuk ve vodné disperzi, se běžně používá jako za studena těsnící lepidlo, které je hojně využíváno v cukrárenských obalech. Aplikuje se na fólie a poté dochází k odstranění vody a vzniku lepicí vrstvy. [8]

#### ***1.3.1.5 Polyuretan***

Polyuretanová lepidla jsou lepidla na vodní bázi a využívají se při laminování fólií. Mají vynikající adhezní vlastnosti s řadou různých substrátů. Využívají se tam, kde je důležitá odolnost vůči zvýšeným teplotám, jako je například plnění za horka. [8]

### 1.3.1.6 Akrylátová lepidla

Akrylátová lepidla jsou nejpoužívanějšími a nejkomerčnějšími strukturálními adhezivy. Jsou to polymerizovatelné směsi polymerů dispergovaných nebo rozpuštěných v monomeru methylmetakrylátu. Jsou dodávána jako dvě samostatné komponenty, které se mísí těsně před aplikací. Jedna složka obsahuje peroxidovou sloučeninu, druhá amin nebo kovovou sůl. Druhá složka reaguje s peroxidovou složkou za účelem iniciace polymerace monomeru methylokrylátu. Tato adheziva slouží převážně k lepení látek, plastů, kůže i kovových fólií. Akrylátové monomery, které se používají, jsou ethylokrylát, methylokrylát, kyselina methakrylová, kyselina akrylová, akrylamid a akrylonitril. [9]

### 1.3.1.7 Polyvinylacetátová lepidla

Nejpoužívanějším adhezivem na bázi vodní disperze je polyvinylacetátové lepidlo v homopolymerní a kopolymerní formě. Tento latex je základem pro běžná tzv. bílá lepidla hojně využívaná v domácnosti. Tato lepidla jsou vhodná pro lepení papíru, plastů, kovových fólií, kůže a látek. Polyvinylacetátová lepidla se používají na lepení izolačních tkanin pro potrubí v parních zařízeních a lodích. Dále jsou také používána na lepení obalů s mraženými potravinami a na laminování fólií. [9]

## 1.4 Laminace obalových materiálů

Laminace dvou či více vrstev zlepšuje vzhled, bariérové vlastnosti a/nebo mechanickou odolnost obalových materiálů. Laminace je obecně přilepení jedné fólie ke druhé pomocí lepidla vlivem působení tepla a tlaku. Metody laminace jsou laminace na horkém válci, na horkém pásu, pomocí plamenu, kaširováním a dále například kalandrováním a koextruzí. Nejčastější typy laminátů používaných v potravinářském průmyslu jsou uvedeny v *Tabulka 1*. [10; 11]

*Tabulka 1 - Nejčastěji používané typy laminátů v potravinářském průmyslu [10]*

Typ laminátu	Příklad potravinářské aplikace
PVDC/PP/PVDC/PP	Brambůrky, svačिनová jídla, zmrzliny
PVDC/PP/PE	Pekařské výrobky, sýry, mražená zelenina
PP/EVA	Sýry, vařené maso

Typ laminátu	Příklad potravinářské aplikace
BOPP/PA/PE	Retortové obaly
Celulóza/PE/Celulóza	Slanina, káva, vařené maso
Celulóza acetát/papír/fólie/PE	Instantní polévky
PP/fólie	Cukrovinky
Metalizovaný PES/PE	Káva, sušená smetana, mražené potraviny
PET/Al/PP	Retortové obaly
PE/PA	Sýry, vakuované obaly
PE/Al/papír	Čokoláda, instantní polévky
PA/PVDCPE/Al/PE	Vnitřní obaly
PA/PE/kopolymer butanu	Vnitřní obaly

Nejuniverzálnější způsob laminace je kaširování (suchá vazba). V tomto procesu je nejprve lepidlo aplikováno na povrch jedné fólie a poté dojde k jeho vysušení. Obě fólie jsou následně spojeny tlakovým působením díky průchodu skrz dvouválec. Syntetická lepidla jsou převážně vodné disperze nebo suspenze. Často používanými lepidly jsou polyvinylacetát s ethery nebo dvoudílná uretanová lepidla, která se skládají z polyesteru nebo polyetheru s isokyanátem (síťovací činidlo). Zlepšení adheze pro vícevrstvé fólie zajišťuje kopolymer vinylacetátu s ethylenem nebo estery kyselina akrylové. [10]

Dalším způsobem laminace je laminace na horkém válci či pásu. Obvykle bývá jedna z laminovaných fólií potažena lepidlem, které je aktivováno pomocí tepla. Obě fólie procházejí skrz vyhřívaný válec či pás, kde jsou vyhřívány a tisknuty k sobě. Zvýšená teplota roztaví a aktivuje lepidlo, čímž dojde k vytvoření vazby k oběma fóliím a fólie se navzájem slepí. Teplota se mění v závislosti na materiálovém složení fólií a lepidla, typicky to je mezi 200 – 300 °C. Laminace kalandrováním je stejná jako laminace na horkém válci s tím rozdílem, že je použito více válců.

Laminování plamenem je často používáno k laminování fólií a/nebo k laminaci textilií k polyuretanovým pěným. Polyuretanová pěna či fólie prochází skrz plamen, přičemž se na jejím povrchu vlivem zvýšené teploty tvoří tenká vrstva roztaveného materiálu. Vrstva roztaveného materiálu působí jako lepidlo. Fólie a/nebo textilie se poté přitlačí k roztavené vrstvě materiálu polyuretanové pěny a dochází k jejich spojování. [11]

## 1.5 Konečné úpravy balených potravin v potravinářském průmyslu

U obalů, které jsou složeny z několika vrstev (lamináty), je velmi důležitým parametrem vzájemná soudržnost laminátových vrstev. Tento parametr je ovlivněn vzájemnou adhezí vrstev, která může být ovlivněna zvýšenou teplotou, tlakem, působením páry, atd. Potravinářský průmysl aplikuje několik technik pro inhibici a inaktivaci mikroorganismů s cílem vyrábět bezpečné výrobky s dlouhou trvanlivostí. Mezi tyto techniky patří tepelná (vaření, pasterizace, sterilizace, chlazení či zmrazování) a netepelná (sušení, ozařování, vysoký tlak a jiné metody) ošetření, která probíhají samostatně, nebo mohou být použity i v kombinaci. [12]

### 1.5.1 Tepelné úpravy

Tepelné zpracování při vysokých teplotách je široce používáno při zpracování potravin, což je důležitý způsob při následném uchovávání, zejména výrobků z konzervářského průmyslu. Dále je to jeden z velmi důležitých způsobů pro řízení, odstranění nebo snížení patogenů na přijatelnou úroveň. Tepelným zpracováním, jako je vaření či smažení, dostávají potraviny lepší chuť, strukturu či barvu a mají lepší stravitelnost. Vaření, smažení a pražení se používají především při úpravě masných výrobků, zatímco pečení se používá při zpracování ovoce a zeleniny. Za tepelným zpracováním obvykle následuje pasterizace nebo sterilizace. [12]

#### 1.5.1.1 Sterilizace

Sterilizace znamená úplné zničení mikroorganismů obvykle při teplotách nad 100 °C a probíhá při zvýšeném tlaku v autoklávech a UHT výměníku. V autoklávech probíhá sterilizace při teplotách mezi 110 – 130 °C a v UHT výměnících mezi 130 – 145 °C. Sterilizace také znamená, že každá částice potraviny musí být přiměřeně tepelně upravena. Kvůli odolnosti mikroorganismů vůči teplu se sterilizace provádí při alespoň 121 °C za použití vlhkého tepla po dobu 15 minut. Výrobek, který je podroben sterilizaci, nemusí v praxi nutně být sterilní, protože nelze dosáhnout absolutní sterility. Vždycky ale bývá docíleno toho, aby byly mikroorganismy minimalizovány co nejvíce. [12; 13]

### 1.5.1.2 Konzervace

Konzervování potravin tepelným zpracováním je běžnou technologií v potravinářském průmyslu. Ačkoli z mikrobiálního hlediska by bylo ideálnější použít tepelnou úpravu, která by odstranila přežívající mikroorganismy. Většina konzervovaných potravin nemůže být vystaveno zvýšeným teplotám, protože poté ztrácí chuť a nutriční hodnoty. Z tohoto důvodu se volí kompromis mezi konzervováním a tepelnou úpravou pro zachování kvality potravin. Teplota, při které probíhá konzervování, je mezi 117 – 130 °C v závislosti na druhu konzervované potraviny. Je ale známo, že existují jisté termofilní organismy, které přežívají tyto konzervační podmínky. [12]

### 1.5.1.3 Pasterizace

Pasterizace ve srovnání se sterilizací probíhá při poměrně nízké teplotě, většinou pod teplotami pod bodem varu vody. Jsou i druhy pasterizací, které probíhají nad teplotou varu vody. Obecným cílem pasterizace je prodloužit dobu trvanlivosti inaktivací všech patogenů zahrnující bakterie, mikroby či jiné enzymatické aktivity. Aby pasterizace byla účinná, je potřeba ji kombinovat s jinými způsoby tepelné úpravy, jako jsou koncentrace, acidifikace nebo chemická inhibice. Jednotlivé typy pasterizace jsou klasifikovány na základě teploty a doby, které se liší v závislosti pasterované potraviny. Můžou se taky dělit na pomalé a rychlé. [12; 13] Jednotlivé typy pasterizace jsou uvedeny zde:

- nízkoteplotní pasterizace (LTLT) je pomalý proces, kdy pasterizace probíhá při teplotě 60 – 70 °C po dobu 30 – 45 minut (například vaječné výrobky při teplotě 54 °C po dobu 45 minut) [34] nebo při 75 °C po dobu 8 – 10 minut, [12]
- vysokoteplotní pasterizace (HTST) je rychlý proces, kdy pasterizace probíhá při teplotě 70 – 100 °C (například pasterizace mléka probíhá při 72 °C po dobu 15 sekund), typická kombinace může být 88 °C po dobu 1 minuty, 100 °C po dobu 12 sekund a 121 °C po dobu 2 sekund, [12; 13]
- ultra pasterizace (UP) probíhá při teplotě vyšší než 135 °C po dobu 3 – 5 sekund, používá se na pasterizaci ovocných šťáv, [13]
- velmi vysokoteplotní pasterizace (UHTP) probíhá při teplotě 138 – 150 °C po dobu 1 – 2 sekund, kdy poté následuje aseptické balení, tento proces se používá pro kyselá mléka nebo smetany, [13]

Metody HTST a UHTP vyžadují speciální zařízení, aby bylo možno zajistit rovnoměrné tepelné ošetření. S ohledem na krátkou dobu pasterizace mohou být tyto metody prováděny pouze kontinuálním procesem pomocí výměníků tepla. V tomto procesu se potravina zahřívá zvlášť, poté se rychle ochladí na teplotu plnění. Plnění se provádí ve sterilních nádobách za aseptických podmínek. Tepelný proces pasterizace a sterilizace je možné rozdělit do tří fází na topnou fázi, udržovací fázi a chladicí fázi. Pasterizace je obvykle spojována s mlékem, ale hojně se využívá pro jiné tekuté či viskózní potraviny, např. džusy, pivo, cider, víno, smetana, tavené sýry, sirupy, omáčky a některá hotová jídla.

Pasterizace má několik různých postupů. Mezi tyto postupy patří dávkový, kontinuální, přímý a nepřímý ohřev:

- při dávkovém postupu je používána izolovaná nádrž, která je vyhřívána cirkulující horkou vodou nebo párou, nádrž je naplněna pasterovanou potravinou v kapalné formě, ohřívá se na určitou teplotu a po určité době ochlazená a plněná do kontejnerů,
- oproti dávkovému postupu je kontinuální způsob úsporou času a energie, ohřívání potraviny může probíhat přímo nebo pomocí výměníků,
- u přímého ohřevu je horká pára přímo vstříkována do produktu (parní injekce) nebo je naopak produkt vstříkovan do páry,
- při nepřímém ohřevu je teplo k produktu dopravováno skrz povrch, který odděluje produkt a teplotné médium, existuje deskový, válcový, výměník se strukturovaným povrchem, aj. [12]

#### ***1.5.1.4 Chlazení a zmrazování***

K chlazení či zmrazování se používají speciální chladničky a mrazáky (spirálové nebo tunelové chladicí jednotky), ve kterých se teplota v případě chladniček pohybuje mezi 1 – 5 °C a v případě mrazáků mezi -12 – -20 °C. Chladicí skladovací teploty nezastaví, ale jen zpomalí kvalitativní změny způsobené mikrobiální aktivitou. Chladicí systémy musí být schopny snížit teplotu potravin z procesních teplot (70 – 90 °C) na 1 – 5 °C za 90 minut. Mrazáky snižují nebo udržují teploty produktů pod bodem mrazu. Rychlosti mrznutí jsou stanoveny podle množství a teploty teplotného média a jeho kontaktu s potravinou. Zmrazování snižuje hladinu nezamrzlé vody, a tak se zpomalí (nebo zastaví) mikrobiální procesy. Ovšem zmrazování nezabíjí mikroorganismy. Teplo se z potravin odvádí buď konvekcí (kryogenní chlazení), nebo vedením (pásový a míchací mrazáky). „Blast“ mrazá-



ky používají velmi chladný vzduch jako chladičí medium (typické teploty jsou  $-20 - -40$  °C). IQF mrazáky využívají tekutý dusík ( $-190$  °C) nebo  $\text{CO}_2$ . Tyto systémy produkuje velmi rychlé zmrazování a vysokou kvalitu. [13]

### 1.5.2 Netepelné úpravy

Zpracování potravin s použitím netepelných procesů, jako je ozařování, pulzní elektrické pole, vysoká intenzita pulzního světla, vysoký hydrostatický tlak, membránová filtrace nebo kombinace zmíněných metod, představuje změnu od tradičních tepelných procesů. Klíčovou výhodou netepelných procesů je lepší retence živin a sensorické vlastnosti, které jsou obdobné jako u čerstvých potravin. Tyto metody mají ale jistá rizika, která jsou spojena s potenciální mikrobiologickou kontaminací. [12]

#### 1.5.2.1 Ozařování

Ozařováním se rozumí přenos energie z vysoce energetických zdrojů, jako jsou nestabilní izotopy nebo strojně poháněné zářiče, do potravinářských výrobků k inaktivaci/usmrcení mikroorganismů, a tudíž jsou biologická rizika odstraněna nebo snížena na přijatelnou úroveň. Izotopy, které se používají pro úpravu potravinářských výrobků, jsou  $^{60}\text{Co}$  a  $^{137}\text{Cs}$ , které se ozařují pomocí gamma paprsků. V souhrnu lze konstatovat, že záření způsobuje vznik velmi nestabilních látek a radikálů, které jsou zapojeny do několika chemických přeměn, než se získá stabilních sloučenin. Nejvyšší účinek na nežádoucí mikroorganismy má radiace, která poškozuje jejich DNA. [12]

#### 1.5.2.2 Superkritická fluidní technologie

Tato technologie je založena na inhibičním účinku  $\text{CO}_2$  na mikrobiální růst. Účinek  $\text{CO}_2$  se zvyšuje, pokud je udrženo za specifických podmínek při tlaku  $5 - 30$  MPa. Mechanismus působení  $\text{CO}_2$  probíhá ve dvou krocích:

- rozpuštění  $\text{CO}_2$  ve vnější kapalnou fázi,
- modifikace buněčné membrány.

Enzymová inaktivace a inhibice buněčného metabolismu probíhá díky snížení pH, přímého účinku  $\text{CO}_2$  nebo  $\text{H}_2$ , které podporují poruchy buněčných membrán. Je možno použít i jiné inertní plyny, jako je  $\text{N}_2$ , Ar, aj., ale sensorické a nutriční studie ukázaly významné rozdíly v takto upravovaných a neupravovaných potravinách. [12]

### **1.5.2.3 Vysoký hydrostatický tlak**

Vysoký tlak ovlivňuje biologický systém, morfoligii buněk, poškození buněčných membrán a stěna enzymatickou strukturu metabolických drah. Byl testován na potravinových výrobcích v rozmezí 100 – 1 200 MPa, typicky jsou používány tlaky v rozmezí 300 – 600 MPa. Tato technologie má stejné výhody jako ozařování v tom smyslu, že umožňuje úpravu pevných látek, kapalin a baleného a nebaleného zboží. Pokud jsou potravinové výrobky baleny před úpravou, snižuje se možnost mikrobiální kontaminace po zpracování. Vzhledem k ozařování použití této metody nezávisí na tvaru výrobku, protože změny tlaku jsou okamžitě přenášeny. Tato technologie ovšem neumožňuje kontinuální proces, protože poté, co se produkt umístí do nádoby, který zajišťuje přenos tlaku, by tato nádoba měla být uzavřena až do konce procesu. Hlavními charakteristikami této úpravy jsou čas, tlak a teplota. [12]

### **1.5.2.4 Pulzní elektrické pole**

Myšlenka využití elektrické energie pro zlepšení bezpečnosti potravin je starší než ostatní netepelné úpravy. Použití elektrického pole místo elektrického proudu přináší lepší výsledky. Technologie je založena na skutečnosti, že vnější elektrické pole o síle 20 – 80 kV.cm<sup>-1</sup> po určitou dobu trvání indukuje opačný membránový potenciál mezi vnitřním a vnějším povrchem buněčné membrány. Rychlé změny vnějšího elektrického pole nebo změny polaritý produkují napětí na buněčných membránách, čímž se buňky snaží tyto změny kompenzovat. Dostatečně dlouhá úprava může vyčerpát buněčnou odolnost a nakonec vede k buněčné smrti. Elektrické pole také vyvolává pohyb iontů složek potravin, které o sebe třou, a vzniká teplo. Tato technologie umožňuje kontinuální úpravu potravinových výrobků. [12]

### **1.5.2.5 Intenzita pulzního světla**

Pulzní světlo je považováno za verzi úpravy pomocí kontinuálního baktericidního UV záření typu C. Při této technologii se potravinové výrobky ošetřují pomocí světelných pulzů, které produkuje xenonová výbojka a jsou z ní uvolňovány ve formě ultra krátkých záblesků intenzivního širokopásmového spektra v rozmezí vlnových délek 200 – 1 100 nm. Tato metoda je v poslední době velmi populární i proto, že je silným kandidátem na povrchovou dekontaminaci zdravotnických materiálů. Tato metoda poškozuje fotochemicky mikrobiální DNA z vegetativních buněk nebo spor. [12]

### *1.5.2.6 Membránová filtrace*

Membránová filtrace umožňuje separovat složky tekutin podle jejich velikosti a v některých případech je žádáno, aby tato separace byla ještě modifikována interakcí složek s filtrační plochou. Tato technologie je obvykle klasifikována podle průměru pórů na membránách. K dosažení studené pasterizace, což je mikrofiltrace, se používají membrány s průměrem pórů mezi 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ . Tato úprava se používá jako alternativa tepelnému ošetření mléka, piva, vína či ovocných šťáv. Je možné docílit i sterilizace tekutin pomocí ultrafiltrace, přičemž lze separovat i viry. Hlavním problémem membránové filtrace je přítomnost potravinářských částic a komponent, které se při filtračním procesu zadržují na membránách. Nicméně se tato metoda často kombinuje s jinými netepelnými technologiemi, zejména v oblasti mléčných výrobků. [12]

## 2 BIAXIÁLNĚ ORIENTO VANÉ FÓLIE

Orientací se v technologii polymerů rozumí uspořádání polymerních makromolekul do určitého směru, ve kterém se tyto molekuly natahují. Distribuce makromolekul v tavenině je vždy izotropní. Izotropní znamená, že je distribuovaná do všech tří směru homogenně. Pokud je fólie protahována za zvýšené teploty v určitém směru, pak makromolekuly mají tendenci se pohybovat tímto směrem stejně jako pružný materiál. V případě, že se fólie ochladí na pokojovou teplotu, vnitřní napětí a poloha makromolekul zamrzne. Pokud protažená fólie není ochlazena, ale je držena nebo zahřívána na vyšší teplotu po určitou dobu, pak paměťový efekt a vnitřní napětí zanikají. Tento proces se nazývá tepelný. Pro semikrystalické polymery část makromolekul krystaluje skrz orientaci a dává folii vysoké mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tahu. Rozměr takové fólie je téměř konstantní a to i v případě, že je zahřívána po delší dobu. Povrch fólií je velmi hladký. Fólie jsou velmi dobrými substráty pro tisk nebo povlakování a jedná se o vysoce kvalitní fólie, které se široce používají převážně v obalovém průmyslu. Z důvodu rozměrové stability se laminují s dalšími fóliemi, papírem či hliníkem. Sáčky, které jsou vyrobeny z orientovaných fólií, snesou teplotu 125 °C po dobu 30 minut, aniž by došlo k jejich degradaci. [14]

Nejjednodušší způsob, jak měřit relativní úroveň orientace, je použití techniky X-ray difrakce. [15]

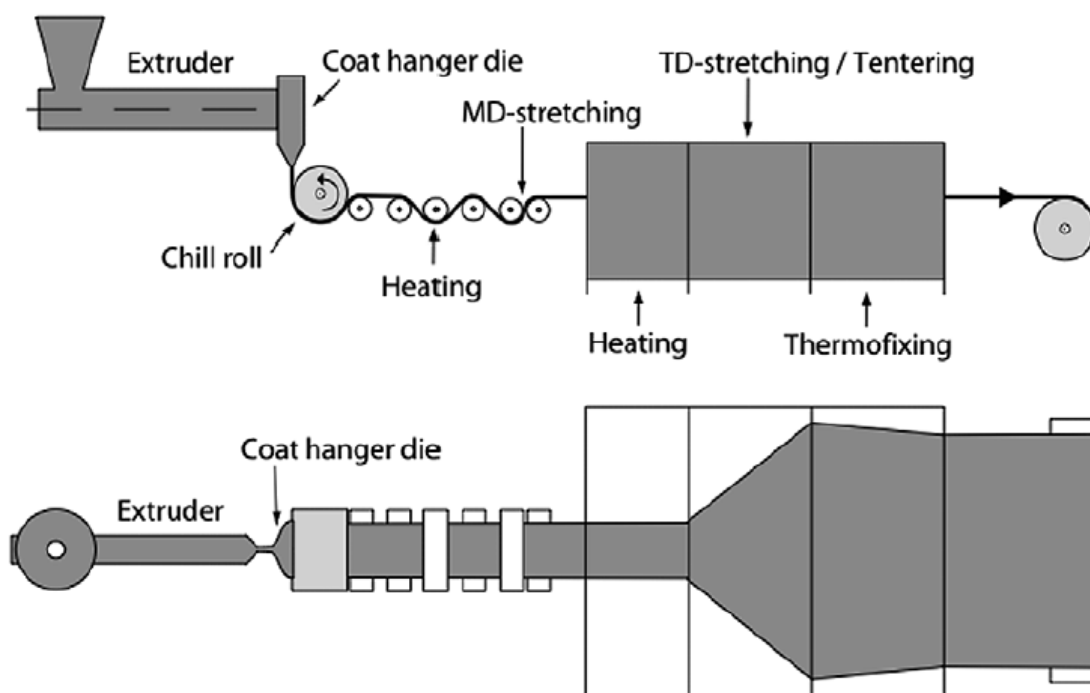
Mezi tři základní polymerní materiály, ze kterých se vyrábí orientované fólie, patří polyethylentereftalát, nylon (polyamid) a polypropylen. Nejvyšší rozměrovou stabilitu a mechanickou pevnost má biaxiálně orientovaný polyethylentereftalát a jeho povrch je rovnoměrný a lesklý. Obvyklé tloušťky těchto fólií jsou pro polyethylentereftalát 12  $\mu\text{m}$ , nylon 15  $\mu\text{m}$  a pro polypropylen 20  $\mu\text{m}$ . Pěněná jádra biaxiálně orientovaného polypropylenu a polyethylentereftalátu se používají ke snižování hmotnosti fólií. [14]

### 2.1 Technologie výroby biaxiálně orientovaných fólií

Technologie protahování fólií jsou různé. Fólie se mohou protahovat podélně nebo příčně, mohou se dále sekvenčně biaxiálně protahovat, současně biaxiálně protahovat nebo protahovat procesem „double – bubble“. Tyto technologie nejsou konkurenční, ale vzájemně se doplňují při výrobě biaxiálně orientovaných fólií, aby se dosáhlo co nejlepších mechanických vlastností. [16]

Fólie o tloušťce okolo 250  $\mu\text{m}$  jsou obvykle biaxiálně orientovány rozfouknutím extrudátu z kruhové vytlačovací hlavy. Fólie o tloušťce vyšší než 250  $\mu\text{m}$  vyžadují sekundární nebo post – vytlačovací orientaci. [17]

Nejčastější proces výroby biaxiálně orientovaných fólií je sekvenční technologie, která probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku se fólie vytlačuje na chladicí válec a protahuje se k potlačení krystalizace. Objemové procento krystalitů je mezi 0 až 2,5 % v závislosti na tloušťce fólie a rychlosti ochlazování. Tato převážně amorfnní fólie se zahřeje na teplotu orientace (85 °C) a je orientována v podélném směru protahováním skrz řadou temperovaných válců, které mají stále vyšší obvodovou rychlost. Poměr roztažení, teploty, délky a rychlosti natahování fólie určuje do značné míry stav orientace a morfologii. Délka výsledné orientované fólie může být až čtyři krát vyšší. Takto upravená fólie se ve druhém kroku ještě jednou zahřeje těsně pod teplotu tání a protahuje se v příčném směru. Objemové procento krystalitů se během žíhání zvyšuje na 20 – 25 %. V konečné vyrobené folii je obsah krystalitů mezi 45 – 50 %. Finální šířka může být až pětinasobná. V příčném směru musí být dodržena konstantní napětí a teplota. Tato technologie převažuje u výroby většiny obalů, poněvadž kombinuje dobrou produktivitu a kvalitu. Vlastnosti takto vyrobené fólie (transparentnost, modul a pevnost) jsou poněkud nižší. [12; 13; 15; 18] Schéma výroby lze vidět na *Obrázek 2*.



Obrázek 2 - Schéma výroby biaxiálně orientovaných fólií [14]

Při současném biaxiálním protahování je fólie protahována v podélném a příčném směru ve stejnou dobu. V této technologii svorky, které drží folii, se pohybují na rozbíhající se kolejnici, takže fólie je tažena v příčném směru, zatímco vzdálenost svorek se současně zvyšuje a protahuje folii ve směru podélném. Takto orientované fólie vykazují vysoká napětová místa, kde byla fólie upnuta do svorek v průběhu protahování. Velmi vysoká úroveň dvojlomu v těchto bodech je známkou toho, že fólie může být dloužena při nízkých teplotách. [16; 17]

Technologie „double – bubble“ je další simultánní biaxiální tahová metoda. Nejdříve se vytlačí trubka a ta se poté ochladí. Trubka se poté zahřeje na teplotu protahování a protáhne se. Vlivem vnitřního přetlaku vzniká bublina a fólie se orientuje v příčném směru a ve směru podélném se fólie orientuje díky odtahu trubice. Tato technologie má menší výkon a vyrobené fólie slouží převážně jako smršťovací fólie. Touto metodou se nejčastěji protahují polyethylen, polyamid 6, polypropylen a polyethyltereftalát. [15; 16]

Transparentní polymery mají tři indexy lomu podél tří hlavních os. Je-li polymer přednostně orientovaný, pak se indexy lomu v jednotlivých osách mění. [17]

## 2.2 Biaxiálně orientovaný polyethyltereftalát (boPET)

Biaxiálně orientovaná fólie polyethyltereftalátu je vyrobena z polyethyltereftalátu a používá se pro svou vysokou pevnost v tahu, chemickou odolnost, rozměrovou stálost a průhlednost. Biaxiálně orientovanou folii polyethyltereftalátu je možno vidět na *Obrázek 3*. Dále má vysokou odolnost vůči propustnosti plynům a pachům. Biaxiálně orientovaný polyethyltereftalát se vyrábí pod názvy Mylar®, Melinex® a Hostaphan®.

Fólie byla poprvé vyvinuta v roce 1950. V roce 1964 vypustilo NASA balon z biaxiálně orientované polyethyltereftalátové fólie o průměru 40 metrů a tloušťky 9  $\mu\text{m}$ , kdy fólie byla umístěna mezi dvěma vrstvami silné hliníkové o tloušťce 4,5  $\mu\text{m}$ . [19]



Obrázek 3 - Fólie biaxiálně orientovaného polyethylentereftalátu [20]

### 2.2.1 Výrobní proces biaxiálně orientovaných fólií polyethylentereftalátu

Výrobní proces začíná u roztaveného polyethylentereftalátu, který se vytlačuje na chladicí válec, a ten jej ochlazuje až do amorfního stavu. Takto vytlačená a ochlazená fólie se poté biaxiálně dluží tažením. Nejběžnější způsob je sekvenční proces, kdy je fólie tažena ve směru odtahu a následně je tažena ve směru příčném, tj. kolmo ke směru odtahu. Je možné také protahovat folii v obou směrech současně, ale je k tomu zapotřebí složitějších zařízení. Dloužící poměr bývá většinou 3 až 4 v každém směru. Po dlužení fólie krystalizuje pod napětím v pecích při 200 °C a více. Tento tepelný krok zabraňuje fóliím se smršťovat zpět do svých nedloužených tvarů. [19]

### 2.2.2 Vlastnosti biaxiálně orientovaných polyethylentereftalátových fólií

Orientace polymerních řetězců je zodpovědná za vysokou pevnost a tuhost. Dále mají dobré izolační a bariérové vlastnosti a vysokou rozměrovou stabilitu. Bariérové vlastnosti vůči kyslíku se dají zlepšit pomocí polyamidových směsí. Typický Youngův modul fólie je asi 4 GP. Další důležitou vlastností orientace molekul je to, že tvoří mnoho krystalizačních zárodků. Krystality rychle rostou, dosahují hranice sousedních krystalů a zůstávají menší, než je vlnová délka viditelného světla. Důsledkem je fakt, že fólie má vynikající průhlednost i přes to, že je semikrystalická. Dále fólie vykazují mírný dvojlom. [19; 17; 15]

### 2.2.3 Aplikace biaxiálně orientovaných polyethylentereftalátových fólií

Fólie se používají jako flexibilní obaly a obaly, které přicházejí do kontaktu s jídlem. Lamináty, které obsahují pokovenou vrstvu, chrání potraviny proti oxidaci a ztrátě aroma.

Takovýmto příkladem jsou obaly na kávu. Dají se použít také jako svrchní vrstvy pro obaly na mléčné výrobky, například pro jogurty. Díky své tepelné odolnosti se používají jako obaly do mikrovlnných trub nebo vytápěných pecí.

Dalšími aplikacemi mohou být překrytí různých papírových výrobků, jako jsou například mapy, komiksy nebo důležité dokumenty (lékařské záznamy).

Hojně se taky využívá jako izolační materiál k elektroizolaci pro rodinné domy. Pět vrstev pokovené fólie se nachází ve skafandrech NASA a v oblecích hasičů díky odolnosti proti záření a pomáhají regulovat teplotu. Metalizované fólie se používají jako nouzové příkrývky pro udržení tepla oběti při utrpeném šoku. Dají se použít taky jako tepelná a akustická izolace v letadlech.

Používají se taky jako sluneční filtry, kdy fólie jsou umístěny na skle pro zlepšení tepelné vodivosti. Dalším použitím je jako izolační materiál v kryochladičích a kosmických lodích. Dají se používat i v elektronických a akustických aplikacích, v grafice a v dalších (balony, konfety, strašáci, přísady do laků na nehty...). [19]

## 2.3 Biaxiálně orientovaný polypropylen

Vytlačovaná fólie polypropylenu je amorfní, zatímco orientovaná fólie je krystalická. Biaxiální orientace mírně zlepšuje lesk fólií, snižuje zákal, zlepšuje bariérové vlastnosti pro vlhkost, vodní páru a plyny, i houževnatost při nízkých teplotách. Propustnost vodní páře se udává méně než  $1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ . Bariérové vlastnosti vůči páře a vlhkosti se dají zlepšit pomocí Fischer-Tropschových vosků. Fischer-Tropschovy vosky jsou syntetické vosky, které jsou vyrobeny polymerací oxidu uhelnatého pod vysokým tlakem. Dále se dají zlepšit polymerací pomocí Ziegler-Natta katalyzátorů. Dále orientace přináší několik změn, jako je například snížení elongace, vyšší pevnost v tahu, lepší optické vlastnosti. Pokud jsou požadovány uzavírací nebo těsnicí vlastnosti, využívá se dvou metod, a to povlakování fólie nebo koextruze s jinými materiály. [21; 15; 22]

### 2.3.1 Vlastnosti biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií

Klíčovými vlastnostmi v oblasti balení potravin a nápojů je transparentnost a selektivní propustnost pro plyny. Propustnost je výsledkem dvou faktorů, a to difúze a rozpustnosti. Amorfní fáze je zodpovědná za snížení propustnosti u orientovaných fólií. Polypropylen je velmi dobrý materiál při výběru obalů z důvodu nízké ceny a tepelné stability. Biaxiálně



orientovaný polypropylen s aditivní vrstvou na povrchu významně zlepšuje mechanické vlastnosti. Na druhou stranu bez aditivního povlaku vykazuje dobrou bariéru vůči vlhkosti. Díky jeho vynikající pevnosti již při nízkých tloušťkách fólie, transparentnosti a vynikající potiskovatelnosti se stal nepostradatelným obalovým materiálem pro širokou škálu zboží včetně potravin. Proces koextruze také poskytuje vynikající těsnicí charakteristiky pro bezpečné balení potravin s dobrou trvanlivostí. Fólie mají dále dobrou odolnost vůči proražení a šíření trhlin v širokém rozmezí teplot a odolnost vůči olejům a tukům. [21; 15]

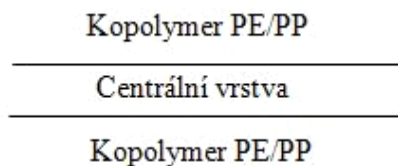
### 2.3.2 Výroba biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií

Biaxiálně orientované polypropylenové fólie se nejčastěji vyrábí technologií současného biaxiálního protahování a technologií „double – bubble“. Fólie vyrobené z polypropylenu, který má nízkou hodnotu ITT (index toku taveniny), se hůře orientuje oproti folii, která je vyrobena z polypropylenu s vyšší hodnotou ITT. Důležitým aspektem při zpracování fólií je distribuce molárních hmotností. Polypropylen s širokou distribucí se lépe zpracovává a orientuje. Schopnost fólie se orientovat vzrůstá s rostoucí teplotou roztažení a/nebo se snižující se hustotou odlité fólie. Dále krystalinita fólie určuje schopnost orientace. Čím je krystalinita vyšší, tím je obtížnější folii biaxiálně orientovat. [15]

### 2.3.3 Struktura biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií

Nejčastěji se vyrábí homopolymer polypropylenu jakožto centrální vrstva fólie, která je spojena se dvěma dalšími tenkými vrstvami, které centrální vrstvu obklopují. *Obrázek 4* ukazuje uspořádání této fólie. Takto připravená fólie se vyrábí procesem koextruze, kdy se polymery taví odděleně a vytlačují společně. Tento proces může být prováděn pomocí vyfukování fólie nebo lití, přičemž druhý proces je běžnější. Typicky je střední vrstva silnější než vnější vrstvy a tvoří alespoň 75 % tloušťky celé fólie. Vnější vrstva bývá až dvacetkrát tenčí než centrální vrstva. Vnější vrstvy mají převážně funkce těsnicí a potiskující. K dosažení těchto funkcí je potřeba úpravy povrchu. Povrch těchto třívrstevých fólií se upravuje pomocí plamenu nebo koróny. Díky úpravě lze povrch potiskovat a jinak barvit. Mezi polymery, které tvoří tyto vnější vrstvy, se řadí kopolymery ethylenu a propylenu s relativně nízkým obsahem polyethylenu. Chemické složení polyethylenu/polypropylenu je velmi závislý na použité aplikaci. Při potiskování je důležité, aby vrstva sestávala z kopolymeru, který má méně než 2 % hm. ethylenu. Pokud je ale potřeba fólií, které mají těsnicí vlastnosti, je nutno použít kopolymeru s 6 – 8 % hm. ethylenu. Tyto kopolymery

nevyžadují spojovací vrstvu, ale mají přijatelnou adhezi se střední vrstvou. Mohou být použity i jiné polymery než polyolefiny, ale díky jejich polárnosti mají špatnou adhezi s centrální vrstvou. [15]



*Obrázek 4 - Třívrstvá fólie*

## 2.4 Další biaxiálně orientované polymery

### 2.4.1 Polyamid (PA)

Mezi další polymery, které se biaxiálně orientují, patří polyamid. Označují se jako nylony a obsahují opakující se amidové jednotky. Jsou velmi odolné vůči opotřebení a oděru, mají dobré mechanické vlastnosti i při vysokých teplotách, nízkou propustnost pro plyny a dobrou chemickou odolnost. Nejčastěji ze z polyamidů biaxiálně orientuje polyamid 6. Biaxiálně orientované polyamidové fólie jsou vhodné pro výrobu obalových materiálů určených pro potraviny. [15]

### 2.4.2 Polymléčná kyselina (PLA)

Polymléčná kyselina je biologicky odbouratelný, termoplastický, alifatický polyester odvozený z obnovitelných zdrojů jako je například kukuřičný škrob nebo cukrová třtina. Vnitřní odpor polymléčných fólií je vyšší než u polyethylenových a polypropylenových fólií a relativní permitivita se pohybuje mezi polyesterovými a polyolefinickými fóliemi. Dielektrický ztrátový úhel je vyšší než u polyethylenu a polypropylenu, avšak menší než u polyesterů. V dalším srovnání s polypropylenovými fóliemi mají biaxiálně orientované polymléčné fólie podstatně nižší odolnost vůči vlhkosti. Polymléčné fólie mohou být orientovány v podélném směru maximálně tři krát a ve směru příčném maximálně tři a půl krát. Biaxiálně orientované polymléčné fólie se používají převážně jako obaly pro potraviny, poněvadž mají vynikající bariérové vlastnosti vůči ztrátě aroma, dobrou tepelnou odolnost, dobré optické vlastnosti a tuhost. Výroba těchto fólií se stává více a více oblíbenou. [15]

### 2.4.3 Polystyren (PS)

Biaxiálně orientované polystyrenové fólie jsou hojně vyráběny v tloušťkách mezi 100 – 800  $\mu\text{m}$ . Fólie se vyrábí spolu se styrenem – butadien kopolymerem a používají se nejčastěji jako smršťovací fólie. [23]

### 2.4.4 Polyethylen (PE)

Biaxiálně orientované polyethylenové fólie se vyrábí nejčastěji pomocí technologie „double – bubble“. Výsledné fólie mají dobré optické vlastnosti, odolnost vůči propíchnutí či stahující vlastnosti. Stahující vlastnosti jsou oproti neorientovaným polyethylenovým fóliím až o 300 % vyšší. Používají se jako smršťovací fólie pro nápoje a pro stahování velkých krabic. A jako obalový materiál pro potraviny. [23]

Biaxiálně orientovaná pórovitá fólie na bázi vysokohustotního polyethylenu má vodou smáčitelný povrch. Povrch je tvořen molekulami silikonového glykolu, které jsou ukotveny v pórech. Tyto póry jsou vytvořeny pomocí kavitačního činidla, kterým je uhličitán vápenatý. Výsledná aplikace těchto fólií je převážně na potisk díky jejich hydrofilní povaze. [15]

## 2.5 Laminát biaxiálně orientovaného polyethylentereftalátu a polypropylenu

Po mnoho let výroby polymerních fólií společnosti ukázaly velký zájem na zlepšení a řízení mechanických vlastností biaxiálně orientovaných fólií. Stále více a více se v potravinářském průmyslu používají lamináty polyethylentereftalátu, které vyžadují vynikající bariérové vlastnosti

Příprava tohoto laminátu se provádí ve dvou krocích. Před samotným vytlačováním se polypropylenová fáze míchá s antioxidanty, aby se zabránilo degradaci. Dále se polypropylen vytlačuje a poetizuje. Peletizuje se také polyethylentereftalát. Polyethylen tereftalát se následně suší při 120 °C, aby se zabránilo degradaci. Ten se dále mísí s polypropylenem a vytlačuje se pomocí dvoušnekového vytlačovacího stroje.

S přidavkem kompatibilizátoru se zvyšuje napětí při přetržení. Dále se napětí při přetržení a modul zvyšují s koncentrací kopolymeru, a to od 0 – 3,75 %. Obecně modul, prodloužení při přetržení a napětí při přetržení jsou v příčném směru vyšší než v podélném směru. Orientace je tedy mnohem důležitější v příčném směru. [24]

### 3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY FÓLIÍ

Obecně se modifikací povrchu zlepšují adhezní vlastnosti, které poté souvisí s lepením polymerů či jejich laminací. Lepení a laminace je úzce spojena s povrchovou energií, kdy se zvýšení adheze provádí zvýšením povrchové energie. Nejúčinnější způsoby zvyšování povrchové energie jsou chemické změny funkčních skupin na povrchu materiálu. Tyto funkční skupiny mohou být upravovány pomocí fyzikálních a/nebo chemických procesů. Povrchové úpravy zahrnují plasmatické úpravy, úpravy elektrickým výbojem, povrchové roubování, úpravy plamenem, UV záření, mokré chemické reakce, nanášení tenkých vrstev, laser, X-ray či působení koróny. [25; 26]

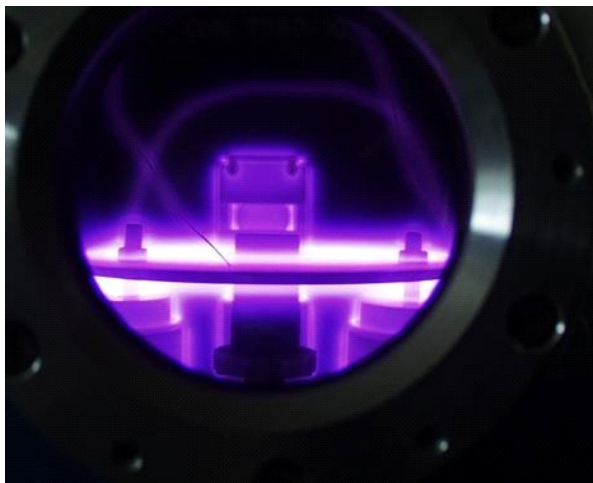
#### 3.1 Mokrú chemickú úprava povrchů

V mokré chemické úpravě povrchu se materiál nechá zreagovat s kapalným činidlem pro vytvoření reaktivní funkčních skupin na povrchu. Jako kapalné činidlo lze použít například alkalické hydroxidy, které provádí alkalickou hydrolyzu. Alkalická hydrolyza je možná metoda ovlivnění chemických a fyzikálních vlastností povrchů. Hydroxylové skupiny jsou polární, a tudíž zvýšení polaritý vede ke zvýšení smáčivosti. Takto upravené povrchy lze charakterizovat pomocí spektroskopické analýzy, měření drsnosti a kontaktních úhlů, FTIR či výpočtu volné povrchové energie. [25]

#### 3.2 Povrchová úprava plazmatem

Plazmová úprava je jedna z nejčastějších technik úpravy povrchu polymerních materiálů. Plazma je definováno jako kvazineutrální plyn nabitých a neutrálních částic, jako jsou elektrony, kladné a záporné ionty, radikály, neutrální atomy a molekuly, který vykazuje kolektivní chování. Při úpravách plazmou se mění složení a struktura několika vrstev materiálu v blízkosti povrchu (cca 10 nm) v důsledku působení energetických částic. Jednak lze plazmatem upravovat povrch na molekulární úrovni, takže povrch bude schopen vazeb s jinými látkami a jednak jím lze pokrývat povrch novými vrstvami. Typickým příkladem je příprava povrchů před barvením pro zajištění dokonalé adheze barviva nebo vytváření sendvičových struktur tenkých vrstev. Vedle úpravy povrchů je možné plazma využívat i pro čištění. Lze jím čistit kovové povrchy od organických látek nebo čistit archeologické předměty. Plasmatické úpravy zvyšují povrchovou energii, a tudíž slouží převážně ke zlep-

šení adheze ke kovům a jiným polymerům, dále zvyšují smáčivost a potiskovatelnost. [26; 27; 28] Plazma je znázorněno na *Obrázek 5*.



*Obrázek 5 – Ionizace plynu v plazmareaktoru [29]*

### **3.2.1 Plazmatické reaktory**

Plazmatické reaktory jsou obecně taková zařízení, která jsou schopna generovat a po potřebnou dobu udržet plazma. Reaktory lze rozdělit podle tlaku plazmového plynu na atmosférické a nízkotlaké, podle energie generovaného plazmatu na nízkoenergetické a vysokoenergetické, podle rovnováhy plazmatu na rovnovážně a nerovnovážné a podle elektromagnetické povahy zdroje plazmatu na stejnosměrné, střídavé, pulzní, laserem buzené, magnetronové a další. [27]

#### **3.2.1.1 Reaktor s korónovým výbojem**

Korónový výboj je jednou z nejčastějších užívaných možností průmyslového použití plazmatu za atmosférického tlaku. Je charakterizován jako lokálně termodynamicky nerovnovážný výboj s nízkou hustotou proudu. Povrch opracováváný korónou je nehomogenní a koróny se používá v kontinuálních procesech. O koróně bude pojednávat samostatná podkapitola. [27]

#### **3.2.1.2 Reaktor s dielektrickým bariérovým výbojem**

Dielektrický bariérový výboj spadá pod plazmareaktory, které pracují za atmosférického tlaku a jsou vhodné pro kontinuální procesy. Skládá se ze dvou elektrod, přičemž jedna

z nich je opatřena dielektrikem (křemen, keramika). Díky dielektrické vrstvě je povrch upravován stabilně. Tímto typem plazmareaktoru se nejčastěji upravují tkané a netkané textilie nebo fólie. [27]

### ***3.2.1.3 Reaktor s povrchovým výbojem***

Povrchový výboj patří do skupiny atmosférických výbojů. Plazmareaktor se skládá z plošné elektrody a vodivé mřížky, které jsou mezi sebou odděleny dielektrikem (sklem). Výboj není homogenní a tento typ reaktoru se používá především v laboratořích. [27]

### ***3.2.1.4 Reaktor s plazmovou tryskou***

Plazmová tryska spadá pod atmosférické plazmareaktory a slouží primárně na nanášení vrstev na povrchy anorganických, většinou kovových materiálů. Reaktor má vysoký výkon a produkuje plazmu o vysoké teplotě. Nejčastěji se používá na nanášení nitridových a karbidových vrstev. [27]

### ***3.2.1.5 Reaktory s vysokofrekvenčním, radiofrekvenčním a mikrovlnným výbojem***

Tyto reaktory mají stejnou konstrukci. Rozdíly jsou pouze v buzení plazmatu. Vysokofrekvenční reaktor je buzen vlněním o frekvenci 40 kHz, radiofrekvenční je buzen vlněním o frekvenci 13,56 MHz a mikrovlnný 2,4 GHz. [27]

### ***3.2.1.6 Reaktor s magnetonovým výbojem***

U těchto typů reaktorů se projevují vlivy elektrického a magnetického pole. Hlavními typy těchto reaktorů jsou planární, kruhové a válcové. Jedná se o nízkotlakou aparaturu. [27]

## **3.3 Povrchové roubování**

Povrchové roubování se často používá ke změně fyzikálních a chemických vlastností polymerních materiálů zavedením vhodných funkčních skupin na jejich povrch. Hlavní výhodou této metody je, že povrch polymeru může být modifikován tak, že může mít celou řadu užitných vlastností díky výběru odpovídajících chemických činidel. Chemické roubování může být provedeno za použití běžných organických rozpouštědel nebo ve vodě. Amino – aldehydové, amino – karboxylové a amino – epoxidové kopulační reakce jsou nejčastěji využívány pro chemické roubování. Kondenzační reakce jsou používány pro

lepení polymerů a molekul na povrchu materiálu. Nejčastěji se kondenzační reakce provádí s povrchem, který má funkční skupiny -OH, -COOH nebo -NH<sub>2</sub>. Modifikace povrchu polymerních materiálů roubováním je jedním z nejatraktivnějších způsobů přípravy specifických povrchových vlastností. [30]

Při roubování je vytvoření reaktivních funkčních skupin na povrchu polymeru. Toho se dosahuje celou řadou chemických a ozařovacích (radiační roubování) technik. Jakmile je vytvořeno reaktivní místo, selektivní monomery (krátké nebo dlouhé řetězce či polymery o nízké hustotě) jsou připojovány k povrchu, který má mít specifické povrchové vlastnosti. [25]

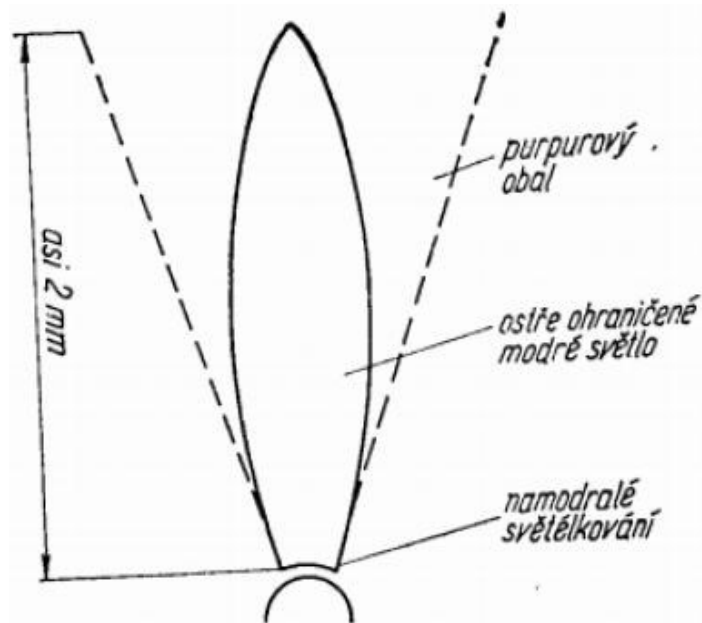
### 3.4 Povrchové úpravy pomocí laseru

Laserový paprsek je svazek elektromagnetického záření, který se používá v úpravě povrchů polymerů v mikro a nano struktuře pro širokou škálu aplikací, jako je změna smáčivosti nebo odolnost vůči opotřebení. Existuje mnoho typů laserů fungujících na různých vlnových délkách, například daleko – infračervený CO<sub>2</sub> laser, blízko – infračervený YAG laser, laser ve viditelném záření nebo UV laser (excimerový). Jedním z kritických parametrů laseru je doba trvání pulsu, která se pohybuje mezi femtosekundami až po kontinuální. Absorpce laserového paprsku se liší pro různé materiály, proto vhodný laser musí být použitý pro konkrétní aplikaci. [31]

### 3.5 Povrchové úpravy pomocí korónového výboje

Korónový výboj probíhá při atmosférickém tlaku. Hlavní podmínkou vzniku koróny je nehomogenní elektrické pole, které vzniká v okolí elektrod s malým poloměrem křivosti. Vzniká při určitém napětí, které se označuje jako počáteční napětí. Pokud je toto napětí nižší, vzniká tichý výboj. Pokud je mnohem vyšší, rozšíří se plazma až ke druhé elektrodě, nastane průraz a korónový výboj přejde v jiskru nebo oblouk. Koróna je proud nabitých částic (elektronů a iontů), které jsou urychleny elektrickým polem. Koróna je vytvořena tehdy, pokud je prostor mezi elektrodou a upravovaným materiálem naplněn vzduchem nebo jiným plynem a tyto plyny jsou vystaveny vysokému napětí, aby vznikla řetězová reakce vysokorychlostních srážek částic s neutrálními molekulami, což vede k vyšší tvorbě iontů. Koróna nepotřebuje ke své existenci žádný vnější zdroj nosičů náboje, je tedy samostatným výbojem. Koróna se používá k úpravě povrchu plastů, aby se staly více adhezními.

Tento proces taky zlepšuje lepivost fólií tím, že se zvyšuje povrchová energie. Polymerní materiál je vystaven působení korónového výboje, který vzniká při působení vysokofrekvenčního vysokého napětí a střídavého proudu. Barva stabilního korónového výboje je fialová. Schematické znázornění koróny lze vidět na *Obrázek 6*. [28; 32; 33]



*Obrázek 6 - Schematické znázornění koróny [28]*

Hlavní parametry pro kontrolu úpravy povrchu zahrnují napětí na elektrodách, tvar a vzájemnou vzdálenost elektrod, šířku vzduchové mezery, rychlost posuvu fólie a vlastnosti plynu (vzduchu) mezi elektrodami. Většina upravovacích zařízení upravuje fólie pouze z jedné strany, a vyžadují tedy dva průchody pro oboustrannou úpravu. Jsou i stroje, které jsou vybaveny dvěma sadami elektrod a slouží pro oboustrannou úpravu. [28; 32]

Existují tři typy uspořádání pro úpravu materiálu korónou. Tyto typy se skládají ze stejných dílů včetně elektrody a elektrického izolátoru (dielektrika). Rozdíly v těchto konfiguracích jsou v umístění elektrody.

Prvním uspořádáním je konvenční systém, v němž upravovaný materiál prochází přes válec, který je zakrytý izolačním materiálem (například silikonovým kaučukem). Kovová elektroda je zavěšena nad válcem tak, že vzduchová mezera mezi válcem a elektrodou je 1,5 – 2,5 mm. Vysoké napětí působí přes vzduchovou mezeru, ionizuje vzduch a vytváří se



korónový výboj mezi elektrodou a upravovaným materiálem. Tento konvenční systém může být použitý pouze pro úpravu nevodivých materiálů. Druhé uspořádání se nazývá „bare roll“. V tomto uspořádání je elektroda pokryta dielektrikem (zpravidla keramikou) a válec je vyroben z eloxovaného hliníku. A třetí uspořádání se nazývá dvojité dielektrikum a v tomto uspořádání jsou elektroda a válec pokryty dielektrikem. [32]

Koróna je častý a levný způsob úpravy povrchu fólií. Jedním z prvních kroků spojených s použitím korónového výboje je určit tzv. „dyne level“, který je nutný pro substrát, který je upravován. „Dyne level“ je míra povrchové energie a je to běžně používaný parametr v průmyslu. Čím je vyšší „dyne level“, tím má povrch lepší smáčivost a adhezi. Adheze a smáčivost se měří pomocí kontaktního úhlu a nebo pomocí dyne inkoustů a per. Po ošetření materiálu pomocí koróny je jeho povrch účinně zoxidován a nachází se na něm polární skupiny, které obsahují kyslík, tj. ethery, estery, ketony, hydroperoxydy, epoxidy, karboxylové kyseliny atd. Povrchová úprava korónovým výbojem s časem klesá na účinnosti. Proto mnohé povrchy vyžadují často další úpravu ještě před aplikací tiskařských barev, povlaků či lepidel. [33]

### 3.6 Povrchová úprava pomocí plamenu

Alternativou ke korónové úpravě povrchů je úprava plamenem. Tento způsob byl vyvinut v 50. letech 20. století jako způsob, jak vylepšit povrchovou přilnavost fólií. Ošetření povrchu plamenem obvykle tvoří fixované hladiny oxidovaných sloučenin na povrchu fólií spolu s tvorbou hydroxylových, karboxylových a karbonylových funkčních skupin. Úprava nebo hloubka oxidované hladiny se liší podle materiálového složení fólií stejně jako generování funkčních skupin. Vystavení povrchu plamene přímo mění rozložení elektronů molekul, což vede k polarizaci na povrchu fólií až do hloubky několika nanometrů.

V procesu úpravy povrchu plamenem se na fólie nechá působit plamen při dostatečně vysoké teplotě, kdy upravované fólie jsou chlazeny vodou. Plamen reaguje s povrchem fólie, na němž vznikají polární funkční skupiny, a zvyšuje se povrchová energie. Ošetřování povrchu plamenem je prospěšné v několika ohledech. Funguje velmi dobře při odstraňování olejů z fólií, což vede k podpoře povlakování a laminace. Úprava povrchů pomocí plamenu není omezeno tloušťkou fólie. Úprava pomocí plamenu má své místo v polygrafickém průmyslu, ale jeho popularitu zastihuje úprava korónovým výbojem. [33]

### 3.7 Povrchové úpravy pomocí povlakování

Fólie jsou povlakovány jinými polymery, polymerními koloidy nebo kovy. Tímto povlakováním se zajistí lepší bariérové vlastnosti nebo odolnost vůči vysokým teplotám. Například povlakování celulózy fólie pomocí nitrocelulózy, vosku a pryskyřice zlepšuje bariérové vlastnosti vůči vlhkosti, kyslíku, zápachu či plynupropustnosti. [30]

#### 3.7.1 Metalizace

Metalizované polymerní fólie jsou důležitým a stále rostoucím odvětvím v obalovém průmyslu. Celosvětová produkce metalizovaných fólií dosáhla  $2,4 \cdot 10^{10}$  m<sup>2</sup>/rok a asi 85 % všech vyrobených fólií se používá jako flexibilní obaly. Metalizované fólie sloužící k obalování potravin, mají většinou vrstevnatou strukturu, která se skládá z teplem svařitelných polymerních vrstev (například boPET/kopolyester/Al/Adhezní vrstva/PP). Jedním z hlavních indikátorů kvality metalizovaných fólií je přilnavost kovové vrstvy substrátu. Delaminací pokovené fólie dochází ke snížení bariéry. Tenký povlak z hliníku (metalizace) vytváří velmi dobrou bariéru proti olejům, plynům, vlhkosti, kyslíku, pachu a světlu. Takto metalizované fólie jsou levnější a flexibilnější než foliové lamináty, které mají podobné bariérové vlastnosti. Celulóza, polypropylen nebo polyestery jsou metalizovány pomocí vypařených hliníkových částic na povrchu fólie při nízkém tlaku. Stupeň metalizace se vyjadřuje v jednotkách optické hustoty, a to do výše čtyř jednotek. Metalizované polyesterové fólie mají vyšší bariérové vlastnosti než metalizovaný polypropylen, ovšem použití polypropylenu je častější z důvodu nižších nákladů. Metalizované fólie slouží také k dekorativním účelům. [10; 34] Typický laminát obsahující metalizovanou folii je zobrazen na *Obrázek 7*.

Svrchní folie (PP)
Adhezní vrstva
Kovová vrstva (Al)
Vrstva kopolyesteru
Substrát (boPET)

*Obrázek 7 - Metalizovaná fólie (laminát)*

## 4 POVRCHOVÉ VLASTNOSTI FÓLIÍ A JEJICH MĚŘENÍ

K měření povrchových vlastností fólií se používá několik metod. Mezi tyto metody patří například měření koeficientů tření pomocí nakloněné roviny, trhacího stroje či siloměru, dále měření drsnosti povrchu pomocí drsnoměru, měření povrchové energie pomocí kapkové metody či tenziometru. Dále se tato kapitola bude zabývat měřením síly adheze laminátů, konkrétně PEEL testem.

### 4.1 Tření

Tření je jev, který brzdí relativní pohyb nebo tendenci tohoto pohybu dvou povrchů, které jsou mezi sebou v kontaktu. Třecí síla je protisíla, která je vyvinuta v rámci kontaktu dvou povrchů. Tření může nastat mezi dvěma povrchy pevných látek, může také nastat mezi pevnou látkou a kapalinou a i mezi plynem a kapalinou. Tření lze v podstatě rozdělit do dvou typů, a to na tření tekutin a suché tření. Tření tekutin se generuje na rozhraní vrstev stejných a různých tekutin, které se navzájem pohybují různými rychlostmi. Vnitřní tření v kapalině se nazývá viskozita. Tímto typem tření se zabývá mechanika tekutin. Klasická aproximace třecí síly mezi dvěma pevnými povrchy je známa jako suché tření. Třením se zabývají tři Amontonsovy zákony: [35]

- celková třecí síla je nezávislá na styčné ploše,
- celková třecí síla je přímo úměrná k normálové reakční síle,
- celková třecí síla je pro relativně nízké rychlosti klouzání na rychlosti nezávislá.

Drsnost povrchu je příčinou klidového tření. Každá kontaktní plocha má na svém povrchu výstupky, které jsou na mikroskopické úrovni. Střední hodnota výšek vyčnívajících výstupků je měřítkem absolutní drsnosti povrchu. Pokud jsou dva povrchy v kontaktu, výstupky ploch do sebe zapadají a díky tomuto jevu vzniká tření. Jedná se o speciální případ smykového tření. Klidová třecí síla je definována jako: [35; 36]

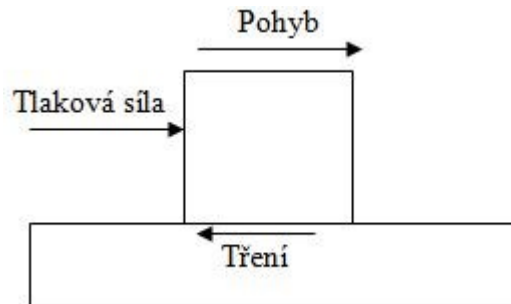
$$F_t = f_0 \cdot F_N \quad (1)$$

kde  $F_t$  je třecí síla [N]

$f_0$  je činitel klidového tření (vyšší než činitel smykového tření) [1]

$F_N$  je kolmá tlaková síla mezi tělesy [N]

Smykové tření je většinou způsobeno interakcí mezi styčnými plochami povrchů. To znamená, že je způsobeno lepivostí. Třecí síla je vždy orientovaná proti pohybu těles. Smyková třecí síla je definována podle rovnice (1). [35; 36]



Obrázek 8 – Smykové tření

Třecí vlastnosti fólií mají vliv na balicí operace. Při balicích operacích jsou důležité dvě vlastnosti, a to koeficient tření a chování zabráňující slepování. Koeficient tření se týká toho, jak se fólie snadno či nesnadno posouvá po ostatních fóliích či po jiných površích (kovových) a proti slepující chování popisuje schopnost fólií se odvinovat z navinuté role. [37]

#### 4.1.1 Koeficienty tření

Koeficienty tření se vztahují ke kluznosti materiálu. Jsou měřítkem schopnosti jednoho materiálu klouzat po druhém bez zadření či jiného poškození povrchu. Koeficient tření je v podstatě poměr síly potřebné k překonání tření vztažený k normálové síle. Materiály s dobrými kluznými vlastnostmi mají nižší koeficienty tření než materiály s horšími kluznými vlastnostmi. Dají se ovlivňovat pomocí aditiv, která mohou mít synergický nebo antagonistický účinek. Koeficienty tření jsou bezrozměrné veličiny, které jsou měřeny experimentálně a jsou obecně závislé na teplotě, znečištění povrchů a na obou površích, které přicházejí do kontaktu. Koeficienty tření fólií se rozdělují do čtyř úrovní: [35; 38; 39; 40; 37]

- vysoký skluz: 0,1 – 0,2
- střední skluz: 0,21 – 0,4
- nízký skluz: 0,41 – 0,7
- žádný skluz: > 0,7

Některé aplikace vyžadují nízké jiné vysoké koeficienty tření. [37]

#### 4.1.1.1 Statický koeficient tření a jeho měření

Statický koeficient tření je definován jako síla potřebná ke klouzání fólie po určitém povrchu dělená silou, která působí kolmo k povrchu (je stanovena pomocí hmotnosti saní) v okamžiku, kdy začne pohyb. Počítá se podle rovnice (2): [37]

$$f_s = \frac{F_t}{F_N} \quad (2)$$

kde  $f_s$  je statický koeficient tření [1]

$F_t$  je síla potřebná ke klouzání fólie [N]

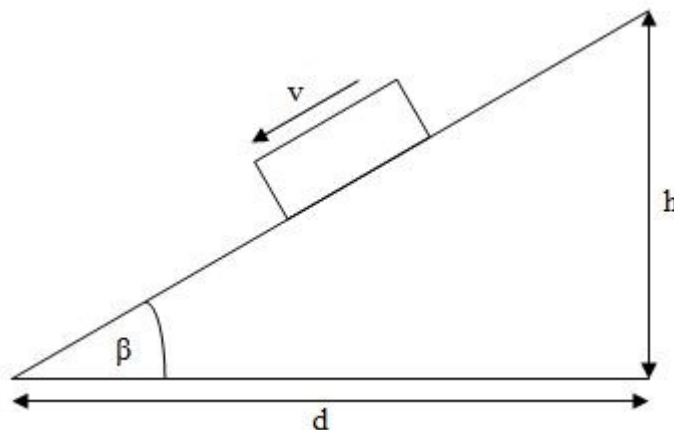
$F_N$  je síla působící kolmo k povrchu (normálová) [N]

Běžným způsobem, jak zjistit statický koeficient, je měření úhlu sklonu nakloněné roviny, na jejímž povrchu jsou umístěny sáně. Úhel nakloněné roviny se postupně zvyšuje a objekt začíná od určitého úhlu klouzat. *Obrázek 9* znázorňuje tuto techniku měření statického koeficientu tření. Statický koeficient se poté rovná tangensu úhlu, kdy začínají sáně klouzat, dle rovnice (3): [41]

$$f_s = \frac{h}{d} = \tan \beta \quad (3)$$

kde  $f_s$  je statický koeficient tření [1]

$\beta$  je úhel, při kterém začínají sáně klouzat [°]



Obrázek 9 – Nakloněná rovina

Dalším způsobem, jak zjistit statický koeficient tření, je použití univerzálního testovacího stroje. Při této zkoušce se využívá dvou částí přípravku pro měření koeficientu tření, kon-

krétně sání a roviny. Jedna fólie je umístěna na sáních a druhá na rovině tak, aby povrch fólie, který je umístěn na sáních, se pohyboval po povrchu fólie umístěné na rovině. Sání jsou připojeny k testovacímu stroji a jsou posouvány přes rovinu konstantní rychlostí. Uspořádání této metody lze vidět na *Obrázek 10*. Statický koeficient se počítá z počáteční síly podle rovnice (4): [37]

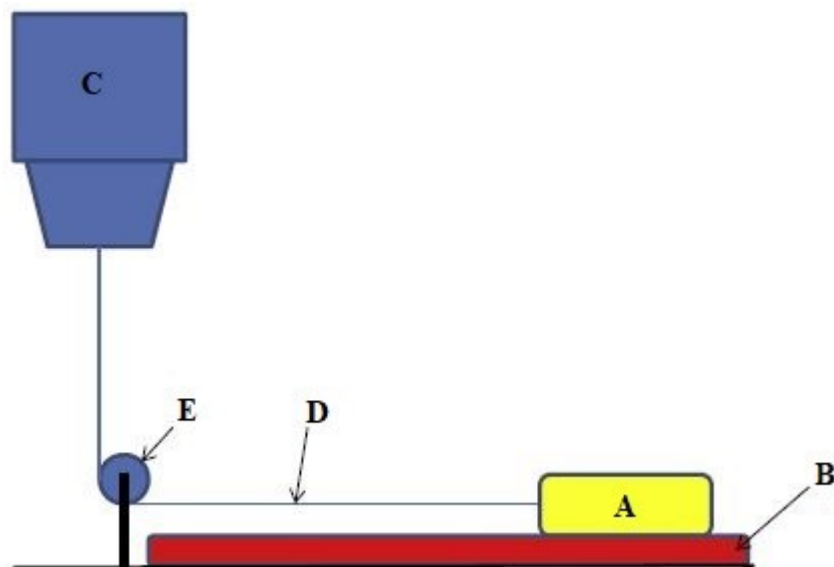
$$f_s = \frac{F_S}{B} \quad (4)$$

kde  $f_s$  je statický koeficient tření [1]

$F_S$  je počáteční síla [N]

$B$  je hmotnost saní [g]

Tato zkouška probíhá při pokojové teplotě, může ale probíhat i při zvýšené teplotě. Takto uvedenou zkoušku lze provádět více způsoby, ovšem nejreprodukovatelnějším způsobem je použití testovacího. [37]



*Obrázek 10 - Uspořádání metody trhacího stroje [37]*

(A) jsou sání, na jejichž spodní straně je umístěna zkušební fólie. Tyto sání se pohybují konstantní rychlostí po ploše (B). Sání jsou s trhacím strojem (C) spojeny pomocí lanka (D), které je provléknuto přes kladku (E).

Třetí metodou, kterou lze zjišťovat statický koeficient tření, je měření síly pomocí siloměru. Těleso o známé hmotnosti, na kterém je na spodní straně přilepená zkušební fólie, se položí na vodorovnou rovinu a pomocí siloměru se uvede do rovnoměrně přímočarého pohybu. Na siloměru se poté odečte síla, která byla vyvinuta při odlepení zkušební fólie od vodorovné roviny. Statický koeficient tření se poté vypočte podle rovnice (5): [42]

$$f_s = \frac{F}{m \cdot g} \quad (5)$$

kde  $f_s$  je statický koeficient tření [1]

$F$  je síla při odlepení zkušební fólie [N]

$m$  je hmotnost tělesa [g]

$g$  je gravitační konstanta [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

#### 4.1.1.2 Dynamický koeficient tření a jeho měření

Dynamický koeficient tření je definován jako síla potřebná ke klouzání fólie po určitém povrchu dělená silou, která působí kolmo k povrchu (je stanovena pomocí hmotnosti saní) při pohybujících se saních. Počítá se podle rovnice (2). Dynamický koeficient tření je nižší než statický koeficient tření. [36; 37]

Měří se pomocí metod, kterými se měří statický koeficient tření s tím rozdílem, že se neměří počáteční síla, ale síla, při kterém jsou sáně či těleso v rovnoměrném přímočarém pohybu. Při měření na trhacím stroji Instron se používá k výpočtu rovnice (6), jinak ostatní výpočty jsou stejné jako u stanovení statického koeficientu tření: [37]

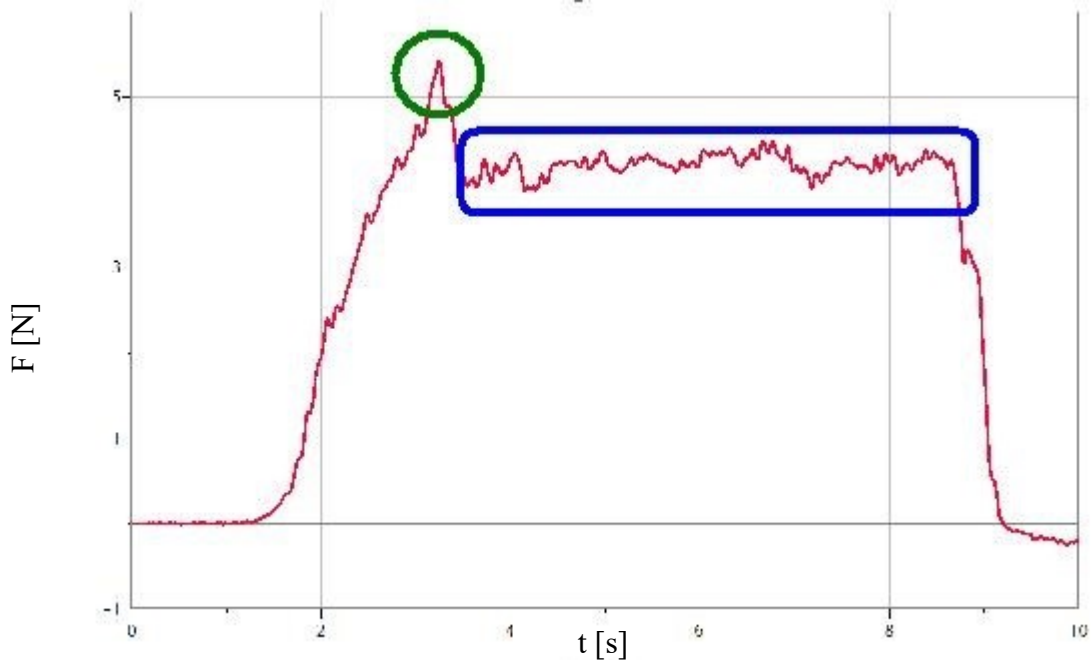
$$f_d = \frac{F_d}{B} \quad (6)$$

kde  $f_d$  je dynamický koeficient tření [1]

$F_d$  je síla při rovnoměrně přímočarém pohybu sání [N]

$B$  je hmotnost sání [g]

Pro ilustraci statického a dynamického koeficientu tření lze využít *Obrázek 11*, kdy zelené označení prezentuje maximální sílu při odlepení zkušební fólie z vodorovné roviny, což náleží k výpočtům statického koeficientu tření. Modré označení naopak znázorňuje sílu, která je vyvinuta při rovnoměrně přímočarém pohybu sání či tělesa po vodorovné rovině, což náleží k výpočtům dynamického koeficientu tření.



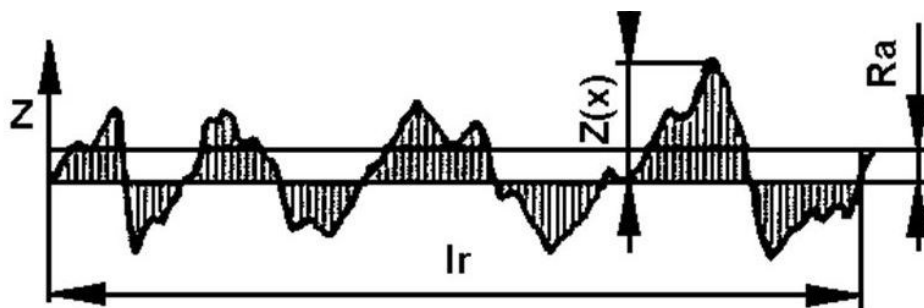
Obrázek 11 - Grafické znázornění závislosti síly na čase [43]

## 4.2 Drsnost

Drsnost je definována jako jemné nesrovnalosti ve struktuře povrchu včetně nesrovnalostí, které vyplývají z výrobního procesu. Dále ji je možno definovat jako vzdálenost mezi po sobě následujícími vrcholy či zářezy, které převážně tvoří strukturu drsnosti. Za účelem měření stupně drsnosti je nutné přiřadit číselnou hodnotu drsnosti povrchu (parametry). Mezi tyto parametry patří: [44]

- průměr drsnosti  $R_a$ , který je definovaný jako určitý integrál od nuly do délky měřené oblasti ( $l_r$ ) absolutních hodnot měřených výšek profilu ( $Z(x)$ ) vynásobený reciprokou hodnotou délky měřené oblasti ( $l_r$ ) [45]

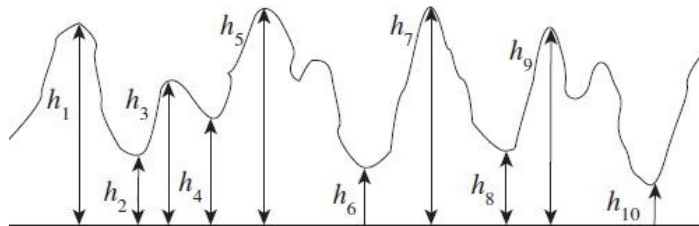
$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (7)$$

Obrázek 12 - Vyjádření parametru  $R_a$  [46]



- průměrná výška  $R_z$ , která je definovaná jako aritmetický průměr deseti za sebou jdoucích výšek a údolí v nerovnosti povrchu a vypočítá se podle rovnice (8) [44]

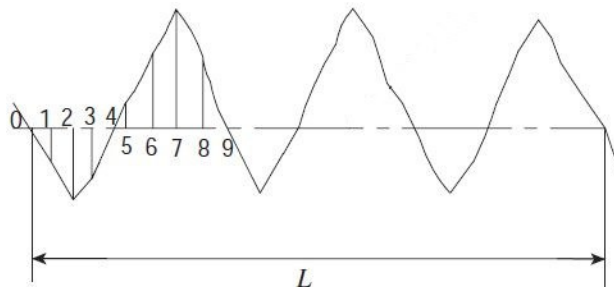
$$R_z = \frac{(h_1+h_3+h_5+h_7+h_9)-(h_2+h_4+h_6+h_8+h_{10})}{5} \quad (8)$$



Obrázek 13 - Vyjádření parametru  $R_z$  [44]

- střední kvadratická hodnota  $h_{RMS}$ , která je definována jako druhá odmocnina střední hodnoty druhých mocnin souřadnic povrchu, které jsou měřeny od středové čáry dle rovnice (9) [44]

$$h_{RMS} = \sqrt{\frac{(h_1^2+h_2^2+\dots+h_n^2)}{n}} \quad (9)$$



Obrázek 14 - Vyjádření parametru  $h_{RMS}$  [44]

#### 4.2.1 Měření drsnosti povrchů

V zásadě existují dvě hlavní metody měření drsnosti povrchů, a to srovnávání a přímé měření. Srovnávání je jednodušší, ale má subjektivní charakter. Tato metoda prosazuje posouzení struktury povrchu na základě jeho pozorování (je možné použití mikroskopu). Lepším způsobem je metoda dotyku, ale i tato metoda je subjektivní. Obecně se používají přímá měření drsnosti povrchu, které budou uvedeny v dalších podkapitolách. [44]

#### 4.2.1.1 *Měření pomocí hrotu*

Tato metoda patří mezi nejpoužívanější a je založena na doteku hrotu a povrchu materiálu. Hrot je veden napříč povrchem a generuje elektrické signály, které jsou úměrné rozměrům nerovností. [44]

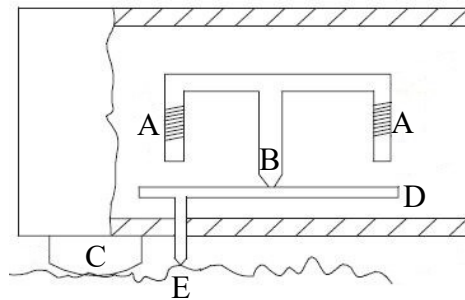
#### 4.2.1.2 *Tomlinsonova metoda*

Jedná se o mechanicko-optický přístroj, který navrhl Tomlinson ve Velké Británii. Snímací prvek je hrot, který se pohybuje nahoru a dolů v závislosti na nepravidelnostech povrchu. Hrot je nucen pohybovat se pouze ve svislém směru díky listovým a spirálovým pružinám. Napětí na spirálové pružině způsobuje stejné napětí na listové pružině. Tyto dvě síly drží příčný válec v poloze mezi jehlou a dvojicí rovnoběžných pevných válců. Diamantový hrot sleduje profil povrchu na skleněné tabulce, tento skleněný díl se přenesení do optického projektoru a dojde ke zvětšení. Zvětšení bývá kolem 50 – 100. Pohyb mezi jehlou a povrchem musí být dostatečně pomalý. [44]

#### 4.2.1.3 *Taylor – Hobsonova metoda*

Tato metoda je velmi podobná Tomlinsonově metodě s tím rozdílem, že Tomlinsonův měřicí přístroj je mechanický a Taylor – Hobsonův je elektronický. Tento faktor činí Taylor – Hobsonovu metodu univerzálnější. Jehla (B) je připojena ke kotvě (D), která se otáčí kolem středu kusu ve tvaru E. Vnější ramena E – tvaru jsou opatřeny cívkami (A). Smykový člen (C) zabezpečuje nulový bod pro vykreslování drsnosti povrchu. Měřicí hlava (E) je připojena na elektromotor, který se pohybuje v lineární dráze. Jehla se pohybuje nahoru

a dolů a díky nepravidelnostem povrchu se kotva také posouvá. Toto způsobí změnu ve vzduchové mezeře, což vede k nerovnováze na cívkách. Signál z cívek se převádí do zesilovače a výsledný záznam je hodnotou drsnosti povrchu. Tuto metodu popisuje *Obrázek 15*. [44]



Obrázek 15 - Taylor-Hobsonova metoda [44]

#### 4.2.1.4 Laboratorní drsnoměr

Profilometr je kompaktní zařízení, které může být použito pro přímé měření struktury povrchu. Sestává z jemného hrotu, který přichází do kontaktu s povrchem. Elektrický snímač, který je spojený s hrotem, zesiluje signál a převádí ho na zobrazovací zařízení. Hrotem může být pohybováno buď pomocí mechanismu, nebo ručně. Profilometrem je možno měřit drsnost společně s vlnitostí a taky jakékoli jiné povrchové vady. [44]

#### 4.2.1.5 Pneumatická metoda

Tato metoda často slouží k posuzování struktury povrchu. Stlačený vzduch je odváděn ze samo vyrovnávací trysky, která se nachází v blízkosti povrchu. Mezera mezi tryskou a povrchem se liší v závislosti na výškových rozdílech v povrchových nesrovnalostech. Tyto výškové rozdíly mají za následek kolísání vzduchu, přičemž se mění rychlost otáčení rotačního průtokoměru, který je ukazatelem nerovností povrchu. [44]

#### 4.2.1.6 Mikroskopie prostorové interference světla

Technika interference světla nabízí bezkontaktní způsob posuzování povrchové struktury. Výhodou této metody je to, že umožňuje oblast povrchu zvětšit v širokém rozsahu zvětšení a umožňuje taky pořizovat záznam z kamery. Zvětšení může být až do 0,5  $\mu\text{m}$ . Tato metoda slouží jako alternativa pro kontrolu měkkých nebo tenkých povrchů, které za normálních okolností nemůžou být zkoumány pomocí jehly. [44]

#### 4.2.1.7 Mercin zařízení

Mercin zařízení vyhodnocuje nepravidelnosti povrchu prostřednictvím třecích vlastností a průměrného sklonu nesrovnalostí. Tento přístroj je vhodný pro měření povrchů, které byly vyrobeny, způsoby, jako je broušení, honování či lapování. Povrchy vyrobené těmito

způsoby mají nízké hodnoty  $Ra$  ( $3 - 5 \mu\text{m}$ ). Principem je tenký kovový kotouč, který je tlačěn proti povrchu pod určitým úhlem. Čepel kotouče může klouzat nebo se prohýbat v závislosti na drsnosti povrchu a úhlu náběhu nerovností. Při nízkých úhlech náběhu nerovností začne špička čepele klouzat po povrchu. Pokud dojde ke zvyšování úhlu, dosáhne se kritické hodnoty, při které se čepel začíná prohýbat. Tento kritický úhel je mírou stupně drsnosti povrchu. [44]

### 4.3 Povrchové napětí a povrchová energie

Povrchové napětí je definováno jako síla, která leží v rovině tečné k povrchu kondenzované fáze v místě jejího působení, působící kolmo na délku myšleného řezu povrchem, dělená touto délkou. Tento princip popisuje rovnice (10). Značí se  $\gamma$  a jeho jednotkou je  $[\text{N}\cdot\text{m}^{-1}]$ . Povrchové napětí se dá stanovit pomocí několika metod, mezi které patří kapilární metoda, stalagmometrická metoda, metoda oscilujícího paprsku, metoda rotující kapky, Wilhelmyho metoda či metoda duNoüy. [47]

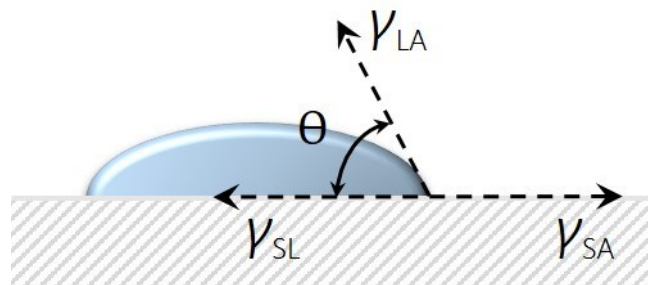
$$\gamma = \frac{dF}{dl} \quad (10)$$

Při stanovení povrchové energie pevných látek se jedná o nepřímé stanovení hodnoty povrchové energie založené na měření kontaktního úhlu smáčení vhodnou metodou za použití vhodné kapaliny (voda, ethylenglykol, glycerol, diiodomethan, formamid, ethanol, atd.). [47]

Povrchová volná (Gibbsova) energie je rovna vratné práci nutné ke zvětšení mezifázového rozhraní o jednotku plochy za konstantního tlaku a teploty. Tento princip popisuje rovnice (11). Značí se  $\gamma_s$  a její jednotkou je  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ . [47]

$$\gamma = \frac{dA}{ds} \quad (11)$$

### 4.3.1 Kontaktní úhly smáčení



Obrázek 16 - Kontaktní úhel smáčení [48]

Obrázek 16 je vyjádřením Youngovy rovnice (12), která má tvar: [47]

$$\gamma_{LA} \cos \theta = \gamma_{SA} - \gamma_{SL} \quad (12)$$

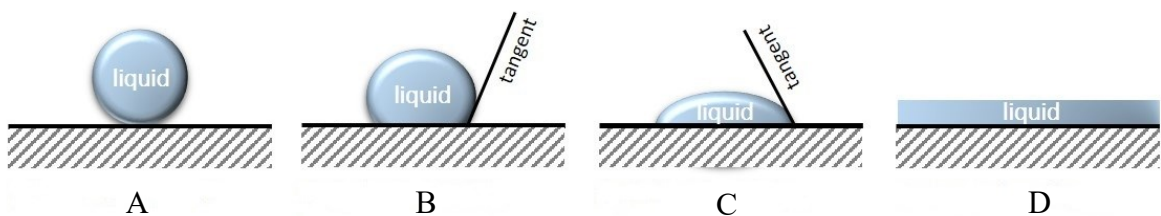
kde  $\gamma_{LA}$  je mezifázové napětí mezi kapalinou a okolním plynem [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$\gamma_{SA}$  je mezifázové napětí mezi pevnou látkou a okolním plynem [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$\gamma_{SL}$  je mezifázové napětí mezi pevnou látkou a kapalinou [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$\cos \theta$  je Youngův kontaktní úhel [ $^{\circ}$ ]

Obecně kontaktní úhly smáčení závisí na teplotě. Můžou se s rostoucí teplotou buď snižovat, nebo zvyšovat. To závisí na relativní velikosti povrchových entropií fází, které jsou v kontaktu. Kapaliny mohou smáčet nebo nesmáčet povrch. Smáčený vs. nesmáčený povrch je ilustrován na Obrázek 17 a hodnoty příslušné těmto úhlům je možno vidět v Tabulka 2. [47]



Obrázek 17 - Smáčené vs. nesmáčení povrchy [49]

Tabulka 2 - Smáčené vs. nesmáčené povrchy [49]

Symbol	Kontaktní úhel [°]	Stupeň smáčení povrchu
A	180	Nesmáčení povrchu
B	$90 \leq \theta < 180$	Nízké smáčení povrchu
C	$0 < \theta < 90$	Vysoké smáčení povrchu
D	0	Perfektní smáčení povrchu

#### 4.3.1.1 Statický kontaktní úhel smáčení

Statické kontaktní úhly se měří, pokud kapka sedí na povrchu pevné látky a třířázové rozhraní se nepohybuje. Kapka se kápne na povrch pevné látky a pomocí kamery je zaznamenán její obraz. Statický kontaktní úhel je poté úhel, který svírá tělo kapky s povrchem pevné látky, a je definován podle Youngovy – Laplaceovy rovnice (13). [50]

$$\Delta p = \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (13)$$

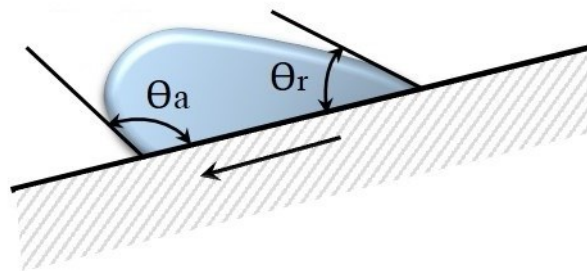
kde  $\Delta p$  je tlakový rozdíl na rozhraní tekutin [Pa]

$\gamma$  je povrchové napětí [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$R_1$  a  $R_2$  jsou hlavní poloměry křivosti [m]

#### 4.3.1.2 Dynamický kontaktní úhel smáčení

Měření dynamického kontaktního úhlu probíhá tehdy, pokud se třířázové rozhraní pohybuje. Hystereze kontaktního úhlu smáčení je rozdíl mezi postupujícím a ustupujícím kontaktním úhlem, jak ukazuje *Obrázek 18*. Tato hystereze vzniká díky chemické a topografické homogenitě povrchu. Dynamické kontaktní úhly dávají maximální a minimální hodnoty statických kontaktních úhlů a měří se pomocí Wilhelmyho metody, změny objemu kapky či pomocí naklápění kapky. [50]

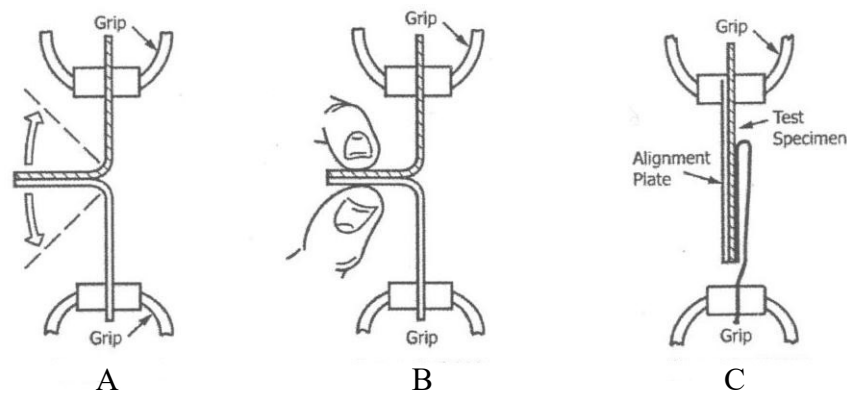


Obrázek 18 - Hystereze dynamického kontaktního úhlu [50]

#### 4.4 Peel test

Kombinace materiálů do více vrstev je užitečný způsob, jak dosáhnout výborných vlastností v obalovém průmyslu. Mnoho kombinací jednotlivých fólií k sobě ale dokonale nepřilne. Předpokládá se, že tyto vrstvy budou k sobě vzájemně ulpívat, což zajišťují lepidla či pryskyřice, které pomáhají tyto problémy překonávat. Bez dostatečné adheze se jednotlivé vrstvy začnou delaminovat a nemají tudíž požadovanou funkčnost. Pevnost v tahu, tuhost či jiné fyzikální vlastnosti fólií právě vyžadují dobrou přilnavost mezi vrstvami. Přilnavost fólií se dá měřit několika technikami, mezi které patří peel test, šrafování, škrábání nožem či nehtem, pull – off test a jiné. Tato podkapitola se bude zabývat výhradně peel testem. [37; 51]

Peel test, nebo-li zkouška odlupování, je nejčastěji používanou metodou pro měření adheze flexibilních fólií. Zkouška se provádí v mnoha formách, které se mezi sebou liší v úhlu odlupování či v použitém přístroji. Nejčastěji se používá trhací stroj. Literatura uvádí až 63 různých postupů měření adheze, přičemž tato práce se bude zabývat pouze třemi různými postupy, které lze vidět na *Obrázek 19*. Peel test odlupování je založen na měření průměrného zatížení vztaženého na jednotku šířky testovaného vzorku [ $\text{N}\cdot\text{Xmm}^{-1}$ ], kde X vyjadřuje šířku vzorku. Oddělené konce laminátu jsou upnuty do čelistí trhacího stroje a jsou od sebe odtahovány konstantní rychlostí. Úhel, rychlost odlupování, šířka vzorku či teplota ovlivňují výsledek pevnosti při odlupování. Nejčastějšími rychlostmi jsou  $254 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $50,8 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  a  $25,4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Šířky vzorků jsou používány 25,4 mm, 15 mm a 10 mm. Dále teplota  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost 50 %. [37; 52]



Obrázek 19 - Tři techniky provedení peel testu podle normy ASTM F88/F88M [53]

Na *Obrázek 19* lze vidět techniky provádění peel testu. Úhel konce laminátu je velmi důležitý parametr během zkoušky, poněvadž ovlivňuje množství energie vynaložené při tahu na ohýbání a natahování vzorku. Technika (A) je bez podpory konce laminátu, kdy tento může nabývat různých úhlů. Tato technika je nejméně přesná. Další technika (B) využívá podpory konce laminátu pomocí nástroje nebo rukou, kdy je konec držen pod úhlem  $90^\circ$  po celý průběh zkoušky. Tato technika je přesnější než technika (A). Nejpřesnější technikou je metoda (C), kdy nejméně pružný oddělený konec laminátu je spojen s podpůrnou plochou a je spolu s ní sevřen v horní čelisti. Ve spodní čelisti je upnut druhý oddělený konec laminátu, který je pružnější, čili úhel mezi oběma oddělenými konci laminátu je  $180^\circ$ . [37; 53]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 MĚŘENÍ KOEFICIENTŮ TŘENÍ A DRSNOSTI

Tato praktická část se zabývá měřením statických a dynamických koeficientů tření a drsnosti povrchů biaxiálně orientovaných polyesterových fólií. Některé z fólií byly aditivovány silikou. Měření koeficientů tření bylo prováděno jak ve směru odtahu fólie, tak kolmo k odtahu, a poté byly výsledky obou směrů mezi sebou porovnány, přičemž u aditivovaných fólií velmi záleželo na pozici ploch, které byly po sobě posouvány. Dále došlo k úpravě povrchu fólií s aditivem a bez aditiva pomocí akrylátové polymerní disperze, která modifikuje koeficienty tření. Metody používané pro zjišťování koeficientů tření byly nakloněná rovina a pomocí univerzálního testovacího stroje. Měření drsnosti bylo provedeno drsnoměrem. Veškeré fólie použité na měření koeficientů tření byly dodány firmou Fatra, a.s. Měření probíhala dle normy ČSN EN ISO 8295 – Plasty – Fólie a tenké desky – Stanovení koeficientu tření.

### 5.1 Měření koeficientů tření pomocí nakloněné roviny

#### 5.1.1 Použité materiály a příprava vzorků

- automatizovaná nakloněná rovina Polymertest Zlín
- sáně Polymertest
- fólie s aditivem (silikou) označení B856.2 o tloušťce 150  $\mu\text{m}$  formátu A4
- fólie bez aditiva o tloušťce 100  $\mu\text{m}$  formátu A4
- lepidlo 3M Re Mount<sup>TM</sup>

Nejdříve byl z fólie vyřezán vzorek o rozměrech příslušných sání. Pro sáně Polymertest 60 × 60 mm. Takto vyřezaný vzorek se poté přilepil na spodní plochu vyrobených sání a sání Polymertest pomocí lepidla 3M Re Mount<sup>TM</sup>. U fólií s aditivem je třeba rozlišovat, zda se jedná o spodní či horní plochu fólie vzhledem k tomu, že aditivum může během výroby přirozeně migrovat k jedné straně fólie, a ovlivnit tak jednostranně její povrchové vlastnosti. Dále na plochu nakloněné roviny byl vyřezán vzorek fólie o rozměrech 149,5 × 105 mm. Zde taky bylo třeba rozlišovat, zda se jedná o spodní či horní plochu fólie.

Měřené kombinace tedy byly:

- horní plocha fólie na nakloněné rovině + horní plocha fólie na sáních,
- horní plocha fólie na nakloněné rovině + spodní plocha fólie na sáních,
- spodní plocha fólie na nakloněné rovině + horní plocha fólie na sáních,
- spodní plocha fólie na nakloněné rovině + spodní plocha fólie na sáních.

Po umístění plochy fólie na nakloněnou rovinu a přilepení fólie na sáně započalo samotné měření koeficientu tření na automatizované nakloněné rovině. Tato metoda umožňuje pouze měření statického koeficientu tření. Hodnoty koeficientů tření byly odečítány na stupnici přístroje. Měření bylo prováděno ve směru odtahu fólie a kolmo k odtahu.

## 5.1.2 Výsledky a diskuze

### 5.1.2.1 Měření koeficientů tření pomocí automatizované nakloněné roviny

Tabulka 3 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině ve směru odtahu, fólie s aditivem

	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
n	ST [1]		ST [1]		ST [1]		ST [1]	
1	0,890	0,650	0,560	0,525	0,595	0,730	0,740	0,610
2	0,640	0,530	0,560	0,505	0,620	0,650	0,745	0,645
3	0,620	0,575	0,535	0,510	0,640	0,735	0,680	0,605
4	0,650	0,550	0,540	0,595	0,610	0,650	0,765	0,625
5	0,550	0,745	0,520	0,550	0,625	0,590	0,695	0,525
6	0,650	0,655	0,455	0,470	0,690	0,570	0,650	0,815
<b>Průměr</b>	<b>0,64</b>		<b>0,53</b>		<b>0,64</b>		<b>0,68</b>	
<b>Odchylka</b>	<b>0,09</b>		<b>0,04</b>		<b>0,05</b>		<b>0,08</b>	
	<b>(0,64±0,09)</b>		<b>(0,53±0,04)</b>		<b>(0,64±0,05)</b>		<b>(0,68±0,08)</b>	

HP – horní plocha fólie na nakloněné rovině

HS – horní plocha fólie na sáních

SP – spodní plocha fólie na nakloněné rovině

SS – spodní plocha fólie na sáních

Z *Tabulka 3* plyne, že ve směru odtahu nejvyšší statický koeficient tření vykazovaly fólie, které byly měřeny jako spodní plocha fólie na nakloněné rovině a horní plocha fólie na sáních. Nejnižší naopak fólie, které byly měřeny jako spodní plocha fólie na nakloněné rovině a spodní plocha fólie na sáních.

*Tabulka 4 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině kolmo k odtahu, fólie s aditivem*

	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
n	ST [1]		ST [1]		ST [1]		ST [1]	
1	0,720	0,740	0,715	0,515	0,500	0,625	0,860	0,790
2	0,725	0,700	0,680	0,945	0,640	0,775	0,640	0,785
3	0,660	0,600	0,580	0,700	0,575	0,785	0,820	0,725
4	0,745	0,675	0,550	0,635	0,650	0,605	0,750	0,600
5	0,690	0,665	0,520	0,565	0,740	0,590	0,560	0,700
6	0,770	0,745	0,505	0,500	0,655	0,750	0,700	0,660
<b>Průměr</b>	<b>0,70</b>		<b>0,6</b>		<b>0,66</b>		<b>0,72</b>	
<b>Odchylka</b>	<b>0,05</b>		<b>0,1</b>		<b>0,08</b>		<b>0,09</b>	
	<b>(0,70±0,05)</b>		<b>(0,6±0,1)</b>		<b>(0,66±0,08)</b>		<b>(0,72±0,09)</b>	

Z *Tabulka 4* plyne, že kolmo k odtahu vykazovaly opět nejvyšší koeficient tření fólie, které byly měřeny jako spodní plocha fólie na nakloněné rovině a horní plocha fólie na sáních. Nejnižší koeficient tření opět vykazovaly fólie, které byly měřeny jako spodní plocha fólie na nakloněné rovině a spodní plocha fólie na sáních. Obecně v porovnání měření ve směru odtahu či kolmo od odtahu lze říci, že vyšší koeficienty tření vykazovaly fólie, které byly měřeny kolmo od odtahu, a to ve všech čtyřech kombinacích.

Tabulka 5 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině, fólie bez aditiva

	VE SMĚRU		KOLMO	
n	ST [1]		ST [1]	
1	0,890	0,850	0,705	0,690
2	0,720	0,670	0,595	0,735
3	0,650	0,705	0,550	1,180
4	0,880	0,680	0,735	0,625
5	1,160	0,720	0,755	0,620
6	0,680	0,745	0,740	0,805
<b>Průměr</b>	<b>0,8</b>		<b>0,7</b>	
<b>Odchylka</b>	<b>0,1</b>		<b>0,2</b>	
	<b>(0,8±0,1)</b>		<b>(0,7±0,2)</b>	

Z Tabulka 5 vyplývá, že vyšší koeficient tření vykazují fólie, které byly měřeny kolmo k odtahu. V porovnání fólií s aditivem a bez aditiva lze konstatovat, že vyšší koeficienty tření vykazovaly fólie bez aditiva. Aditivum tedy ovlivňuje koeficienty tření biaxiálně orientovaných polyesterových fólií.

## 5.2 Měření koeficientů tření pomocí trhacího stroje INSTRON

### 5.2.1 Použité materiály a příprava vzorků

- trhací stroj Instron 3345J8169
- sáně Instron a vlastnoručně vyrobené sáně
- fólie s aditivem (silikou) označení B856.2 o tloušťce 150  $\mu\text{m}$  formátu A4
- fólie bez aditiva o tloušťce 100  $\mu\text{m}$  formátu A4
- lepidlo 3M Re Mount<sup>TM</sup>

Nejdříve byl vyřezán z fólie vzorek o rozměrech příslušných sání. Pro Instron sáně byl rozměr 100  $\times$  63 mm a pro vyrobené sáně 60  $\times$  60 mm. Takto vyřezaný vzorek byl poté přilepen na spodní plochu vyrobených sání pomocí lepidla 3M Re Mount<sup>TM</sup> a Instron sáně byly fólií obaleny. U fólií s aditivem záleželo, zda se jedná o spodní či horní plochu fólie.

Dále na plochu nakloněné roviny byl vyřezán vzorek fólie o rozměrech  $149,5 \times 105$  mm. Zde taky záleželo na tom, zda se jedná o spodní či horní stranu fólie. Po umístění plochy fólie na plochu trhacího stroje a přilepení fólie na sáně započalo samotné měření koeficientu tření na univerzálním testovacím stroji. Tato metoda umožňuje měření jak statického koeficientu tření, tak i dynamického koeficientu tření. V případě univerzálního testovacího stroje nebylo nutno zjišťovat úhel, při kterém se sáně odlepily z povrchu fólie, nýbrž hodnoty koeficientů tření vyhodnocoval stroj přímo z maximálních sil odlepení sání od povrchu. Měření bylo prováděno ve směru odtahu fólie a kolmo k odtahu.

### 5.2.2 Výsledky a diskuze

*Tabulka 6 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie s aditivem ve směru odtahu*

n	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,100	0,106	0,052	0,044	0,092	0,079	0,074	0,098
2	0,113	0,084	0,061	0,049	0,097	0,054	0,090	0,063
3	0,157	0,136	0,063	0,067	0,079	0,054	0,108	0,067
4	0,102	0,078	0,076	0,069	0,080	0,078	0,116	0,100
5	0,133	0,119	0,065	0,051	0,105	0,074	0,099	0,053
6	0,119	0,057	0,073	0,066	0,107	0,065	0,088	0,067
<b>Průměr</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,065</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,008</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>

*Tabulka 7 – Shrnutí Tabulka 6*

HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,12±0,02)</b>	<b>(0,10±0,03)</b>	<b>(0,065±0,008)</b>	<b>(0,06±0,01)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,1±0,01)</b>	<b>(0,07±0,01)</b>	<b>(0,10±0,01)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>

Z Tabulka 7 vyplývá, že statické koeficienty tření jsou vždy vyšší než dynamické koeficienty tření. Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší koeficienty tření měly fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnižší pak fólie, pokud byly měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních.

Tabulka 8 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie s aditivem kolmo k odtahu

n	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,110	0,095	0,078	0,091	0,065	0,090	0,071	0,079
2	0,077	0,044	0,088	0,074	0,087	0,079	0,103	0,069
3	0,080	0,048	0,084	0,048	0,087	0,080	0,119	0,102
4	0,101	0,097	0,072	0,061	0,104	0,085	0,140	0,107
5	0,101	0,085	0,159	0,145	0,094	0,057	0,099	0,074
6	0,107	0,083	0,118	0,093	0,088	0,069	0,111	0,096
<b>Průměr</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>

Tabulka 9 – Shrnutí Tabulka 8

HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,10±0,01)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>	<b>(0,10±0,03)</b>	<b>(0,09±0,03)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,09±0,01)</b>	<b>(0,08±0,01)</b>	<b>(0,11±0,02)</b>	<b>(0,09±0,01)</b>

Z Tabulka 9 plyne, že statické koeficienty tření jsou vždy vyšší než dynamické koeficienty tření. Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší statické koeficienty tření měly fólie, pokud byly

měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnížší pak fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních. Co se týče dynamických koeficientů, tak nejvyšší měly fólie, pokud byly měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnížší pak fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních.

*Tabulka 10 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie bez aditiva*

n	VE SMĚRU		KOLMO	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,076	0,056	0,058	0,082
2	0,084	0,093	0,058	0,065
3	0,048	0,024	0,153	0,080
4	0,048	0,045	0,078	0,073
5	0,054	0,021	0,085	0,093
6	0,166	0,138	0,084	0,112
<b>Průměr</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
	<b>(0,08±0,04)</b>	<b>(0,06±0,04)</b>	<b>(0,09±0,03)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>

Z *Tabulka 10* plyne, že statické koeficienty jsou vyšší než dynamické, což odpovídá literatuře. Dále lze z tabulky vyčíst, že vyšší hodnoty koeficientů tření jsou při měření fólií kolmo k odtahu.

Z výsledků měření pro Instron sáně na univerzálním testovacím stroji tedy plyne, že záleží na měření ve směru odtahu či kolmo k odtahu a taky na vzájemné poloze ploch aditivovaných fólií. U fólií bez aditiva se kombinace ploch neuvažuje.



Tabulka 11 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhačím stroji, fólie s aditivem ve směru odtahu

n	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,081	0,053	0,113	0,114	0,146	0,160	0,154	0,154
2	0,104	0,075	0,102	0,108	0,230	0,156	0,266	0,220
3	0,087	0,078	0,217	0,199	0,139	0,114	0,173	0,204
4	0,140	0,118	0,155	0,084	0,176	0,166	0,220	0,221
5	0,147	0,124	0,201	0,199	0,230	0,217	0,242	0,227
6	0,207	0,199	0,211	0,200	0,188	0,167	0,237	0,241
<b>Průměr</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>0,16</b>	<b>0,22</b>	<b>0,21</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>

Tabulka 12 – Shrnutí Tabulka 11

HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,13±0,04)</b>	<b>(0,11±0,05)</b>	<b>(0,17±0,05)</b>	<b>(0,15±0,05)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,18±0,04)</b>	<b>(0,16±0,03)</b>	<b>(0,22±0,04)</b>	<b>(0,21±0,05)</b>

Z Tabulka 12 plyne, že statické koeficienty tření jsou vždy vyšší než dynamické koeficienty tření, což je v souladu s literaturou. Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší statické koeficienty tření měly fólie, pokud byly měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnižší pak fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Co se týče dynamických koeficientů, tak nejvyšší měly fólie, pokud byly měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnižší pak fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních.

Tabulka 13 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhačím stroji, fólie bez aditiva kolmo k odtahu

n	HP + HS		SP + SS		HP + SS		SP + HS	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,313	0,249	0,281	0,277	0,375	0,107	0,259	0,192
2	0,237	0,220	0,069	0,046	0,282	0,253	0,242	0,211
3	0,240	0,193	0,108	0,095	0,217	0,096	0,256	0,132
4	0,266	0,261	0,135	0,128	0,220	0,121	0,303	0,179
5	0,224	0,165	0,182	0,155	0,220	0,136	0,332	0,296
6	0,471	0,358	0,149	0,133	0,185	0,060	0,374	0,295
<b>Průměr</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,25</b>	<b>0,13</b>	<b>0,29</b>	<b>0,22</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>

Tabulka 14 – Shrnutí Tabulka 13

HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,29±0,09)</b>	<b>(0,24±0,06)</b>	<b>(0,15±0,07)</b>	<b>(0,14±0,07)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,25±0,06)</b>	<b>(0,13±0,06)</b>	<b>(0,29±0,05)</b>	<b>(0,22±0,06)</b>

Z Tabulka 14 plyne, že statické koeficienty tření jsou vždy vyšší než dynamické koeficienty tření, což je v souladu s literaturou. Dále z tabulky vyplývá, že nejvyšší statické třecí koeficienty měly fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnižší pak fólie, pokud byly měřeny jako spodní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních. Co se týče dynamických koeficientů, tak nejvyšší měly fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala horní plocha fólie umístěná na sáních. Nejnižší pak fólie, pokud byly měřeny jako horní plocha fólie na rovině, po které se pohybovala spodní plocha fólie umístěná na sáních.

Tabulka 15 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhacím stroji, fólie bez aditiva

n	VE SMĚRU		KOLMO	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,180	0,079	0,312	0,067
2	0,165	0,074	0,149	0,119
3	0,232	0,214	0,263	0,132
4	0,159	0,142	0,238	0,202
5	0,150	0,125	0,149	0,213
6	0,144	0,109	0,312	0,122
<b>Průměr</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>	<b>0,24</b>	<b>0,14</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>
	<b>(0,17±0,03)</b>	<b>(0,12±0,05)</b>	<b>(0,24±0,07)</b>	<b>(0,14±0,05)</b>

Z Tabulka 15 plyne, že statické koeficienty jsou vyšší než dynamické, což odpovídá literatuře. Dále lze z tabulky vyčíst, že vyšší hodnoty koeficientů tření jsou při měření fólií kolmo k odtahu.

Z výsledků měření pro vyrobené sáně na univerzálním testovacím stroji tedy plyne, že záleží na měření ve směru odtahu či kolmo k odtahu a taky na vzájemné poloze ploch aditivovaných fólií. U fólií bez aditiva se kombinace ploch neuvažuje.

Tabulka 16 - Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhacího stroje Instron, fólie s aditivem ve směru odtahu

Instron sáně			
HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,12±0,02)</b>	<b>(0,10±0,03)</b>	<b>(0,065±0,008)</b>	<b>(0,06±0,01)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]

HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,1±0,01)</b>	<b>(0,07±0,01)</b>	<b>(0,10±0,01)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>
<b>Vlastnoručně vyrobené sáně</b>			
HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,13±0,04)</b>	<b>(0,11±0,05)</b>	<b>(0,17±0,05)</b>	<b>(0,15±0,05)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,18±0,04)</b>	<b>(0,16±0,03)</b>	<b>(0,22±0,04)</b>	<b>(0,21±0,05)</b>

Z Tabulka 16 plyne, že při porovnání výsledků koeficientů tření obou různých sání lze usoudit, že téměř k žádné změně nedocházelo u kombinace horní plocha fólie + horní plocha fólie na sáních. Jistý posun k vyšším hodnotám lze pozorovat u kombinace spodní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních i u horní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních. Nejvyšší rozdíl výsledků pak nastal u kombinace spodní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních.

*Tabulka 17 – Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhačímho stroje Instron, fólie s aditivem kolmo k odtahu*

<b>Instron sáně</b>			
HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,10±0,01)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>	<b>(0,10±0,03)</b>	<b>(0,09±0,03)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,09±0,01)</b>	<b>(0,08±0,01)</b>	<b>(0,11±0,02)</b>	<b>(0,09±0,01)</b>
<b>Vlastnoručně vyrobené sáně</b>			
HP + HS		SP + SS	

HP + HS		SP + SS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,29±0,09)</b>	<b>(0,24±0,06)</b>	<b>(0,15±0,07)</b>	<b>(0,14±0,07)</b>
HP + SS		SP + HS	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,25±0,06)</b>	<b>(0,13±0,06)</b>	<b>(0,29±0,05)</b>	<b>(0,22±0,06)</b>

Z *Tabulka 17* plyne, že při porovnání výsledků koeficientů tření obou různých sání lze usoudit, že k nejvyšším posunům koeficientů tření došlo u kombinací horní plocha fólie + horní plocha fólie na sáních a spodní plocha fólie + horní plocha fólie na sáních. K nižšímu posunu koeficientů tření došlo pak u kombinací spodní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních a horní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních.

*Tabulka 18 - Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhacího stroje Instron, fólie bez aditiva*

<b>Instron sáně</b>			
VE SMĚRU		KOLMO	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,08±0,04)</b>	<b>(0,06±0,04)</b>	<b>(0,09±0,03)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>
<b>Vlastnoručně vyrobené sáně</b>			
VE SMĚRU		KOLMO	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,17±0,03)</b>	<b>(0,12±0,05)</b>	<b>(0,24±0,07)</b>	<b>(0,14±0,05)</b>

Z *Tabulka 18* plyne, že rozdíly mezi jednotlivými typy sání jsou značné. Vyšší hodnoty koeficientů tření jsou ve všech případech při měření vyrobenými sáněmi.

## 5.3 Měření drsnosti boPET fólií

### 5.3.1 Použité materiály a příprava vzorků

- fólie s aditivem (silikou) označení B856.2 o tloušťce 150  $\mu\text{m}$  formátu A4
- fólie bez aditiva o tloušťce 100  $\mu\text{m}$  formátu A4
- drsnoměr TIMETR110

K měření drsnosti povrchů fólií byl použit drsnoměr TIMETR110 a měření probíhala na fóliích s aditivem a bez aditiva formátu A4 na třech různých místech horní a spodní plochy fólie, přičemž z každého místa bylo deset výsledků. Měření byla provedena jak ve směru odtahu fólie, tak i kolmo k odtahu fólie. Byl měřen průměr drsnosti ( $R_a$ ) a průměrná výška ( $R_z$ ) a poté celkový průměr drsnosti a průměrná výška.

### 5.3.2 Výsledky a diskuze

*Tabulka 19 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na horní straně plochy fólie ve směru odtahu*

	1		2		3	
n	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,16	0,90	0,09	0,80	0,05	1,10
2	0,12	0,30	0,13	1,20	0,05	1,10
3	0,05	0,90	0,15	0,90	0,08	1,20
4	0,12	1,00	0,11	1,00	0,16	1,10
5	0,05	1,10	0,17	1,10	0,14	1,10
6	0,05	1,10	0,20	0,90	0,16	1,00
7	0,03	1,30	0,16	0,90	0,16	1,00
8	0,15	1,20	0,17	0,50	0,16	1,10
9	0,14	1,10	0,18	0,40	0,10	1,10
10	0,16	1,10	0,17	1,00	0,18	1,00
<b>Průměr</b>	<b>0,10</b>	<b>1,0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,9</b>	<b>0,12</b>	<b>1,08</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,05</b>	<b>0,3</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>

	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,13<math>\pm</math>0,05)</b>	<b>(1,0<math>\pm</math>0,3)</b>

*Tabulka 20 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na spodní straně plochy fólie ve směru odtahu*

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,11	0,90	0,16	0,90	0,13	0,08
2	0,15	0,90	0,15	0,90	0,07	0,90
3	0,12	0,80	0,15	1,20	0,10	1,00
4	0,14	0,90	0,12	1,30	0,12	0,90
5	0,11	1,00	0,16	0,90	0,17	1,20
6	0,13	1,00	0,08	0,90	0,13	1,10
7	0,03	1,00	0,06	0,60	0,08	0,30
8	0,11	0,80	0,06	0,60	0,10	1,00
9	0,11	1,00	0,06	0,90	0,07	0,40
10	0,11	0,80	0,08	0,80	0,12	0,50
<b>Průměr</b>	<b>0,11</b>	<b>0,91</b>	<b>0,11</b>	<b>0,9</b>	<b>0,11</b>	<b>0,8</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>0,2</b>	<b>0,03</b>	<b>0,3</b>
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]		
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,11<math>\pm</math>0,04)</b>			<b>(0,9<math>\pm</math>0,3)</b>		

Z Tabulka 19 a Tabulka 20 vyplývá, že vyšší hodnoty průměru drsnosti a vyšší hodnoty průměrné výšky měla horní plocha fólie při měření ve směru odtahu. To znamená, že docházelo k intenzivnější migraci aditiva právě na tuto horní plochu fólie, což způsobuje vyšší hodnoty drsností.

Tabulka 21 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na horní straně plochy fólie kolmo k odtahu

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,10	0,90	0,09	1,10	0,10	1,10
2	0,05	0,80	0,15	0,30	0,13	0,60
3	0,13	0,70	0,09	0,90	0,09	0,60
4	0,12	0,90	0,80	0,80	0,09	0,50
5	0,15	0,70	0,06	1,30	0,06	0,30
6	0,11	1,20	0,12	1,00	0,09	0,90
7	0,03	0,80	0,12	1,10	0,14	0,80
8	0,05	0,90	0,15	0,30	0,11	0,70
9	0,15	0,90	0,06	0,70	0,06	0,80
10	0,12	0,80	0,07	0,50	0,05	0,70
<b>Průměr</b>	<b>0,10</b>	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,09</b>	<b>0,7</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,04</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]		
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,1<math>\pm</math>0,2)</b>			<b>(0,8<math>\pm</math>0,3)</b>		

Tabulka 22 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na spodní straně plochy fólie kolmo k odtahu

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,07	1,30	0,07	0,80	0,05	0,90
2	0,05	0,60	0,09	0,80	0,11	0,80
3	0,07	1,00	0,05	0,60	0,15	1,00
4	0,12	0,50	0,11	1,00	0,07	0,40
5	0,05	0,60	0,07	0,50	0,10	0,90
6	0,03	1,00	0,06	0,50	0,06	0,80



	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
7	0,09	0,80	0,12	0,60	0,08	1,00
8	0,09	0,80	0,08	0,90	0,15	0,90
9	0,11	0,60	0,08	0,80	0,09	1,00
10	0,11	0,60	0,07	1,00	0,16	1,00
<b>Průměr</b>	<b>0,08</b>	<b>0,8</b>	<b>0,08</b>	<b>0,8</b>	<b>0,10</b>	<b>0,9</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,02</b>	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,2</b>
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]		
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,09±0,04)</b>			<b>(0,8±0,3)</b>		

Z Tabulka 21 a Tabulka 22 vyplývá, že vyšší hodnoty průměru drsnosti a vyšší hodnoty průměrné výšky měla opět horní plocha fólie při měření kolmo k odtahu. To znamená, že docházelo k intenzivnější migraci aditiva právě na tuto horní plochu fólie, což způsobuje vyšší hodnoty drsností.

*Tabulka 23 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro fólie bez aditiva ve směru odtahu*

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,08	0,90	0,12	0,80	0,09	0,80
2	0,12	0,80	0,13	0,80	0,05	1,00
3	0,03	1,00	0,09	1,00	0,20	0,90
4	0,02	0,90	0,11	0,90	0,13	1,00
5	0,09	0,90	0,16	1,00	0,07	1,10
6	0,13	0,80	0,15	0,90	0,13	1,00
7	0,08	0,50	0,01	0,80	0,05	1,00
8	0,06	0,90	0,15	0,80	0,09	0,90
9	0,05	0,80	0,16	1,00	0,05	0,90

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
10	0,07	0,90	0,15	1,10	0,11	1,00
<b>Průměr</b>	<b>0,07</b>	<b>0,8</b>	<b>0,12</b>	<b>0,9</b>	<b>0,10</b>	<b>1,0</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]		
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,10<math>\pm</math>0,05)</b>			<b>(0,9<math>\pm</math>0,2)</b>		

Tabulka 24 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro fólie bez aditiva kolmo k odtahu

	1		2		3	
n	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,11	0,80	0,15	1,00	0,13	0,60
2	0,14	0,80	0,15	1,10	0,14	0,90
3	0,14	0,90	0,16	0,90	0,09	0,80
4	0,17	1,00	0,17	1,00	0,05	0,70
5	0,15	0,90	0,16	0,90	0,06	0,80
6	0,16	1,00	0,18	1,00	0,09	0,80
7	0,12	0,30	0,17	0,80	0,05	0,90
8	0,16	0,70	0,17	0,90	0,05	0,80
9	0,14	0,80	0,06	1,00	0,02	1,00
10	0,10	0,90	0,17	0,80	0,01	0,80
<b>Průměr</b>	<b>0,14</b>	<b>0,8</b>	<b>0,15</b>	<b>0,9</b>	<b>0,07</b>	<b>0,8</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,2</b>	<b>0,03</b>	<b>0,1</b>	<b>0,04</b>	<b>0,1</b>
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]			Rz [ $\mu\text{m}$ ]		
<b>Celkový průměr</b>	<b>(0,12<math>\pm</math>0,05)</b>			<b>(0,9<math>\pm</math>0,2)</b>		

Tabulka 25 - Shrnutí měření drsnosti

	VE SMĚRU ODTAHU	
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
Horní plocha	<b>(0,13±0,05)</b>	<b>(1,0±0,3)</b>
Spodní plocha	<b>(0,11±0,04)</b>	<b>(0,9±0,3)</b>
Bez aditiva	<b>(0,10±0,05)</b>	<b>(0,9±0,2)</b>
	KOLMO K ODTAHU	
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
Horní plocha	<b>(0,1±0,2)</b>	<b>(0,8±0,3)</b>
Spodní plocha	<b>(0,09±0,04)</b>	<b>(0,8±0,3)</b>
Bez aditiva	<b>(0,12±0,05)</b>	<b>(0,9±0,2)</b>

Testování rovnosti dvou středních hodnot normálního rozdělení mezi výsledky s aditivem a bez aditiva (příklad pro Tabulka 25, horní plocha, Ra):

$$t = \frac{|\hat{\mu}_1 - \hat{\mu}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad (14)$$

$$t = \frac{|0,13 - 0,10|}{\sqrt{\frac{0,05^2}{30} + \frac{0,05^2}{30}}}$$

$$t = \mathbf{2,351}$$

$$t_{krit,0,05} = 2,002$$

Tabulka 26 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro Ra a Rz

Horní plocha		
	Ra	Rz
Ve směru	2,351	2,040
Kolmo	0,921	1,415
$T_{krit,0,05}$	<b>2,002</b>	

Tabulka 27 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro Ra a Rz

Spodní plocha		
	Ra	Rz
Ve směru	1,125	0,061
Kolmo	1,032	1,316
$T_{krit,0,05}$	<b>2,002</b>	

Při porovnání výsledků měření z *Tabulka 26*, *Tabulka 27* a rovnice (14) lze usoudit, že pokud se měří fólie ve směru odtahu po horní ploše, tak hodnoty výsledků testu průměru drsnosti a průměrné výšky jsou vyšší než  $T_{krit,0,05}$ , a lze je tedy považovat za rozdílné, což vztaheno k vlastnostem fólií znamená, že fólie ve směru odtahu po horní ploše mají vyšší průměrnou drsnost a průměrnou výšku. Ostatní výsledky jsou nižší než  $T_{krit,0,05}$ , a nejsou tedy považovány za rozdílné.

## 5.4 Modifikace koeficientů tření pomocí akrylátové polymerní disperze

### 5.4.1 Použité materiály a příprava vzorků

- fólie s aditivem (silikou) označení B856.2 o tloušťce 150  $\mu\text{m}$  formátu A4
- fólie bez aditiva o tloušťce 100  $\mu\text{m}$  formátu A4
- trhací stroj Instron 3345J8169
- sušárna
- tloušťkoměr Mitutoyo 215-405-10
- akrylátová polymerní disperze o různých koncentracích (0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; 3%; 6%; 8%; 10%; 12%)
- nanášecí pravítko Elcometer 4360; 250 mm/9,8''; 12  $\mu\text{m}$ /0,472 mm

Nejdříve byly připraveny roztoky akrylátové polymerní disperze v hmotnostních koncentracích (0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; 3%; 6%; 8%; 10%; 12%) podle rovnice (15). Tyto roztoky byly připravovány na 50 ml celkového objemu roztoku.

$$V_{celk} = 50 \text{ ml}$$

$$V_{Primal} = X \cdot V_{celk} \quad (15)$$

kde  $V_{celk}$  je celkový objem připraveného roztoku

$V_{disperze}$  je objem zásobního roztoku akrylátové disperze

$X$  je výsledná koncentrace

Nejprve došlo k měření statických kontaktních úhlů, zda-li akrylátová polymerní disperze smáčí povrch aditivované a neaditivované fólie. Po přípravě akrylátové disperze a zjištění, zda-li smáčí povrchy fólií, byl v příslušných koncentracích nanesen tento na aditivované a neaditivované fólie pomocí nanášecího pravítka. Takto upravené fólie byly poté dány do sušárny a sušeny při 50 °C až do doby, kdy došlo k dokonalému odpaření rozpouštědla a vytvoření souvislého povlaku na povrchu fólie. Tloušťky povlaků byly změřeny pomocí tloušťkoměru Mitutoyo. Poté došlo k měření koeficientů tření pomocí univerzálního testovacího stroje. Měření probíhala v kombinacích horní plocha fólie + horní plocha fólie na sáních a spodní plocha fólie + spodní plocha fólie na sáních.

#### 5.4.2 Výsledky a diskuze

*Tabulka 28 - Statické kontaktní úhly akrylátové disperze pro folii bez aditiva*

n	STAT [°]
1	43,679
2	43,060
3	49,057
4	51,957
5	43,422
6	42,135
7	41,841
8	49,520
9	47,557
10	41,983
<b>Průměr</b>	<b>45</b>
<b>Odchylka</b>	<b>4</b>
	<b>(45±4)</b>

Z Tabulka 28 plyne, že polymerní disperze vysoce smáčí povrch fólií bez aditiva, a tudíž ho lze aplikovat jako úpravu povrchů fólií.

Tabulka 29 - Statické kontaktní úhly akrylátové disperze pro folii s aditivem

n	STAT [°]
1	43,670
2	43,846
3	45,067
4	48,866
5	45,874
6	43,803
7	40,321
8	44,010
9	42,112
10	46,316
<b>Průměr</b>	<b>44</b>
<b>Odchylka</b>	<b>3</b>
	<b>(44±3)</b>

Z Tabulka 29 plyne, že polymerní disperze vysoce smáčí povrch fólií a aditivem, a tudíž ho lze aplikovat jako úpravu povrchů fólií.

Tabulka 30 - Tloušťky fólií s aditivem a bez aditiva bez nánosu akrylátové polymerní disperze

BEZ ADITIVA [mm]				
0,1020	0,1005	0,1025	0,1070	0,1065
0,1015	0,1025	0,103	0,1070	0,1045
0,1020	0,1035	0,1055	0,1065	0,1045
0,1010	0,1055	0,1060	0,1050	0,1045

BEZ ADITIVA [mm]				
<b>Průměr</b>	<b>0,104</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,104±0,002)</b>			
S ADITIVEM [mm]				
0,1525	0,1500	0,1540	0,1535	0,1500
0,1505	0,1510	0,1570	0,1535	0,1505
0,1515	0,1505	0,1545	0,1550	0,1515
0,1510	0,1505	0,1535	0,1540	0,1545
<b>Průměr</b>	<b>0,153</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,153±0,002)</b>			

Tabulka 31- Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze

1% [mm]				
0,1510	0,1545	0,1490	0,1525	0,1520
0,1540	0,1560	0,1540	0,1485	0,1535
0,1530	0,1535	0,1530	0,1480	0,1550
0,1535	0,1505	0,1525	0,1465	0,1565
<b>Průměr</b>	<b>0,152</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,003</b>			
	<b>(0,152±0,003)</b>			
3% [mm]				
0,1495	0,1480	0,1520	0,1465	0,1475
0,1500	0,1485	0,1525	0,1490	0,1470
0,1450	0,1485	0,1495	0,1485	0,1485
0,1440	0,1520	0,1480	0,1470	0,1470
<b>Průměr</b>	<b>0,148</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			

3% [mm]	
<b>(0,148±0,002)</b>	

*Tabulka 32 - Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze*

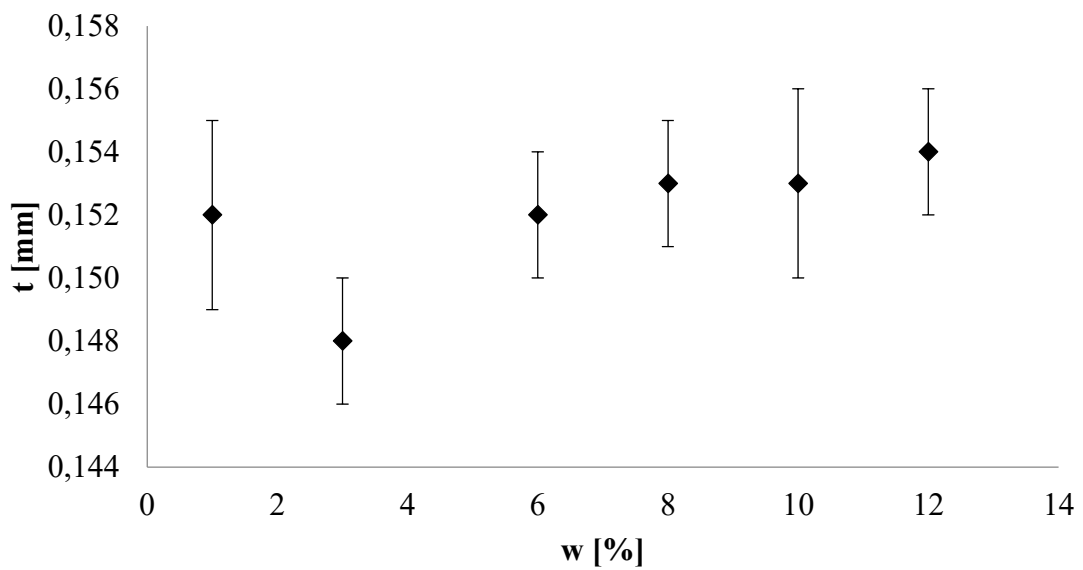
6% [mm]				
0,1520	0,1525	0,1450	0,1520	0,1525
0,1500	0,1530	0,1505	0,1510	0,1535
0,1510	0,1530	0,1505	0,1510	0,1540
0,1530	0,1510	0,1505	0,1510	0,1545
<b>Průměr</b>	<b>0,152</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
<b>(0,152±0,002)</b>				
8% [mm]				
0,1545	0,1535	0,1555	0,1555	0,1520
0,1540	0,1540	0,1540	0,1535	0,1510
0,1530	0,1530	0,1570	0,1485	0,1530
0,1485	0,1535	0,1570	0,1525	0,1540
<b>Průměr</b>	<b>0,153</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
<b>(0,153±0,002)</b>				

*Tabulka 33 - Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze*

10% [mm]				
0,1550	0,1485	0,1570	0,1500	0,1540
0,1535	0,1485	0,1555	0,1590	0,1535
0,1525	0,1470	0,1510	0,1520	0,1525
0,1520	0,1590	0,1520	0,1520	0,1520
<b>Průměr</b>	<b>0,153</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,003</b>			



10% [mm]				
<b>(0,153±0,003)</b>				
12% [mm]				
0,1510	0,1525	0,1600	0,1500	0,1515
0,1530	0,1540	0,1585	0,1520	0,1550
0,1540	0,1545	0,1550	0,1535	0,1535
0,1525	0,1555	0,1565	0,1525	0,1555
<b>Průměr</b>	<b>0,154</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
<b>(0,154±0,002)</b>				



Obrázek 20 - Závislosti tloušťek fólií na hmotnostní koncentraci akrylátové disperze fólií s aditivem

Testování rovnosti dvou středních hodnot normálního rozdělení mezi výsledky 1% nános akrylátové disperze a 12% nános akrylátové disperze (příklad pro *Tabulka 31* a *Tabulka 33*):

$$t = \frac{|\widehat{\mu}_1 - \widehat{\mu}_2|}{\sqrt{\frac{\widehat{\sigma}_1^2}{N_1} + \frac{\widehat{\sigma}_2^2}{N_2}}} \quad (15)$$

$$t = \frac{|0,154 - 0,152|}{\sqrt{\frac{0,002^2}{20} - \frac{0,003^2}{20}}}$$

$$t = 3,075$$

$$t_{krit,0,05} = 2,086$$

Tabulka 34 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro tloušťky nánosů

	1% - 12%
t	3,075
$t_{krit,0,05}$	<b>2,086</b>

Při porovnání výsledků měření z Tabulka 34, a rovnice (15) lze usoudit, že tloušťky 1% nánosů a 12% nánosů jsou rozdílné na základě vyššího výsledku kritéria t než  $T_{krit,0,05}$ . S rostoucí koncentrací nánosů akrylátové disperze se tedy tloušťka nánosů zvyšuje.

Tabulka 35 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze

1% [mm]				
0,1005	0,1005	0,1025	0,1005	0,1005
0,1020	0,1050	0,1045	0,1005	0,1020
0,1055	0,1030	0,1015	0,1025	0,1030
0,1055	0,1045	0,1025	0,1030	0,1065
<b>Průměr</b>	<b>0,103</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,103±0,002)</b>			
3% [mm]				
0,1140	0,1045	0,1030	0,1030	0,1055
0,1005	0,1105	0,1085	0,1035	0,1020
0,1020	0,1025	0,1025	0,1045	0,1050
0,0990	0,1050	0,1050	0,1035	0,1030
<b>Průměr</b>	<b>0,104</b>			

3% [mm]	
<b>Odchylka</b>	<b>0,003</b>
	<b>(0,104±0,003)</b>

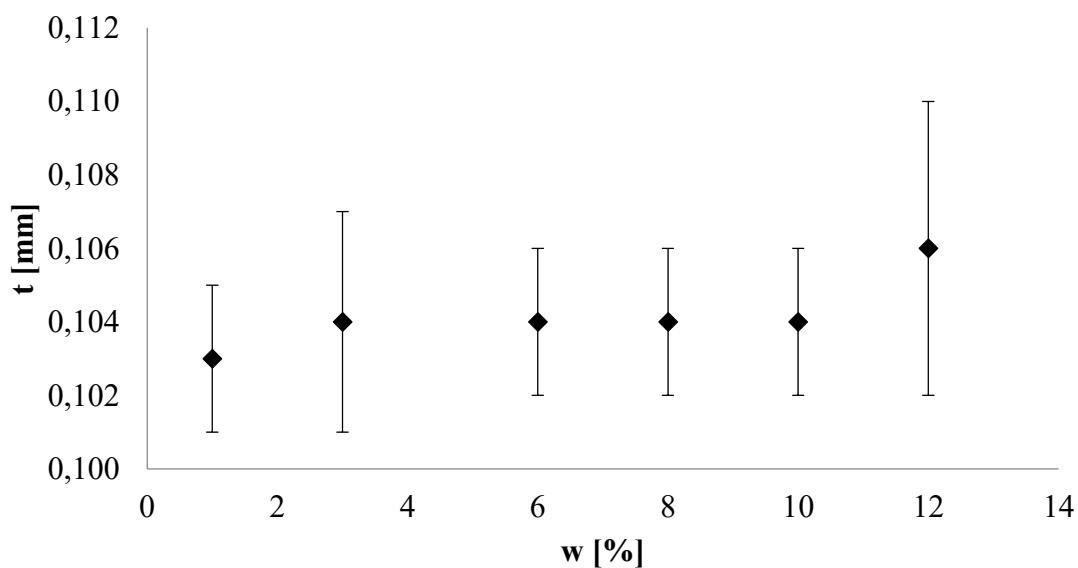
*Tabulka 36 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze*

6% [mm]				
0,1030	0,1030	0,1020	0,1065	0,1050
0,1045	0,1005	0,1020	0,1080	0,1045
0,1035	0,1025	0,1025	0,1030	0,1030
0,1035	0,1000	0,1095	0,1040	0,1025
<b>Průměr</b>	<b>0,104</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,104±0,002)</b>			
8% [mm]				
0,1025	0,1070	0,1055	0,1015	0,1025
0,1035	0,1045	0,1055	0,1015	0,1025
0,1030	0,1055	0,1040	0,1045	0,1050
0,1010	0,1080	0,1015	0,1300	0,1035
<b>Průměr</b>	<b>0,104</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,104±0,002)</b>			

*Tabulka 37 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze*

10% [mm]				
0,1040	0,1010	0,1050	0,1035	0,1035
0,1015	0,1100	0,1050	0,1040	0,1035
0,1020	0,1005	0,1090	0,1040	0,1015
0,1010	0,1015	0,1035	0,1065	0,1030
<b>Průměr</b>	<b>0,104</b>			

10% [mm]				
<b>Odchylka</b>	<b>0,002</b>			
	<b>(0,104±0,002)</b>			
12% [mm]				
0,1005	0,1185	0,1085	0,1040	0,1070
0,1040	0,1050	0,1040	0,1120	0,1040
0,1135	0,1045	0,1050	0,1065	0,1020
0,1045	0,1045	0,1030	0,1040	0,1010
<b>Průměr</b>	<b>0,106</b>			
<b>Odchylka</b>	<b>0,004</b>			
	<b>(0,106±0,006)</b>			



Obrázek 21 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze

Testování rovnosti dvou středních hodnot normálního rozdělení mezi výsledky 1% nános akrylátové disperze a 12% nános akrylátové disperze (příklad pro *Tabulka 35* a *Tabulka 37*):

$$t = \frac{|\widehat{\mu}_1 - \widehat{\mu}_2|}{\sqrt{\frac{\widehat{\sigma}_1^2}{N_1} + \frac{\widehat{\sigma}_2^2}{N_2}}} \quad (16)$$

$$t = \frac{|0,106 - 0,103|}{\sqrt{\frac{0,004^2}{20} - \frac{0,002^2}{20}}}$$

$$t = \mathbf{3,320}$$

$$t_{krit,0,05} = 2,086$$

Tabulka 38 – Test dvou středních hodnot pro tloušťky nánosů

	1% - 12%
t	3,320
$t_{krit,0,05}$	<b>2,086</b>

Při porovnání výsledků měření z Tabulka 38, a rovnice (16) lze usoudit, že tloušťky 1% nánosů a 12% nánosů jsou rozdílné na základě vyššího výsledku kritéria t než  $T_{krit,0,05}$ . S rostoucí koncentrací nánosů akrylátové polymerní disperze se tedy tloušťka nánosů zvyšuje.

Tabulka 39 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	0,1% HP		0,1% SP		0,3% HP		0,3% SP	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,113	0,085	0,117	0,096	0,122	0,087	0,117	0,082
2	0,113	0,085	0,136	0,109	0,137	0,121	0,130	0,104
3	0,135	0,108	0,143	0,126	0,153	0,133	0,111	0,096
4	0,093	0,058	0,165	0,134	0,116	0,099	0,104	0,077
5	0,100	0,063	0,148	0,117	0,105	0,080	0,111	0,094
6	0,142	0,112	0,141	0,113	0,129	0,110	0,160	0,132
<b>Průměr</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>

Tabulka 40 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	0,5% HP		0,5% SP		1% HP		1% SP	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,103	0,083	0,113	0,078	0,092	0,055	0,133	0,065
2	0,109	0,077	0,147	0,142	0,089	0,032	0,155	0,078
3	0,116	0,118	0,104	0,086	0,067	0,021	0,139	0,083
4	0,135	0,087	0,136	0,093	0,081	0,043	0,107	0,057
5	0,160	0,141	0,129	0,117	0,072	0,040	0,148	0,100
6	0,127	0,112	0,123	0,108	0,074	0,038	0,133	0,076
<b>Průměr</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>	<b>0,08</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>

Tabulka 41 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	3% HP		3% SP		6% HP		6% SP	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,110	0,066	0,157	0,100	0,165	0,076	0,203	0,120
2	0,101	0,065	0,159	0,132	0,204	0,119	0,247	0,140
3	0,102	0,063	0,119	0,090	0,168	0,084	0,198	0,117
4	0,110	0,073	0,118	0,084	0,176	0,076	0,222	0,147
5	0,106	0,051	0,120	0,082	0,166	0,083	0,224	0,125
6	0,125	0,097	0,114	0,078	0,178	0,106	0,252	0,155
<b>Průměr</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,18</b>	<b>0,09</b>	<b>0,22</b>	<b>0,13</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>

Tabulka 42 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	8% HP		8% SP		10% HP		10% SP	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,257	0,151	0,216	0,097	0,147	0,039	0,183	0,082
2	0,295	0,176	0,217	0,092	0,185	0,100	0,180	0,090
3	0,251	0,112	0,286	0,151	0,186	0,118	0,197	0,107
4	0,245	0,128	0,251	0,135	0,186	0,104	0,208	0,126
5	0,233	0,111	0,322	0,199	0,159	0,084	0,159	0,047
6	0,368	0,254	0,276	0,122	0,154	0,084	0,297	0,190
<b>Průměr</b>	<b>0,27</b>	<b>0,16</b>	<b>0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,09</b>	<b>0,20</b>	<b>0,11</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>

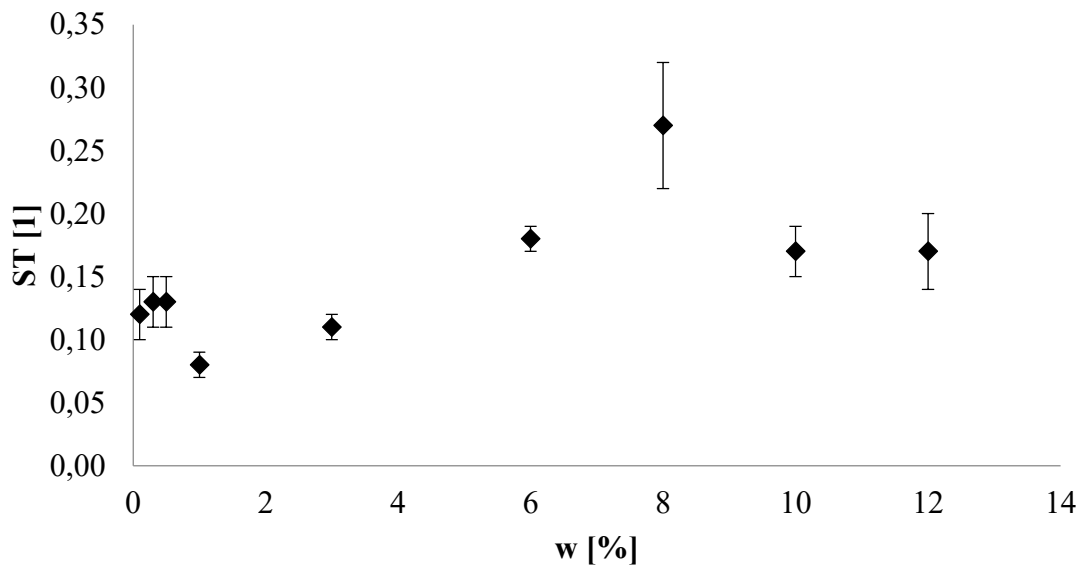
Tabulka 43 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	12% HP		12% SP	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,153	0,076	0,228	0,079
2	0,231	0,089	0,224	0,127
3	0,191	0,118	0,163	0,073
4	0,141	0,062	0,161	0,063
5	0,174	0,116	0,161	0,061
6	0,153	0,100	0,185	0,074
<b>Průměr</b>	<b>0,17</b>	<b>0,09</b>	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>

Tabulka 44 - Souhrn výsledků koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí  
trhacího stroje Instron

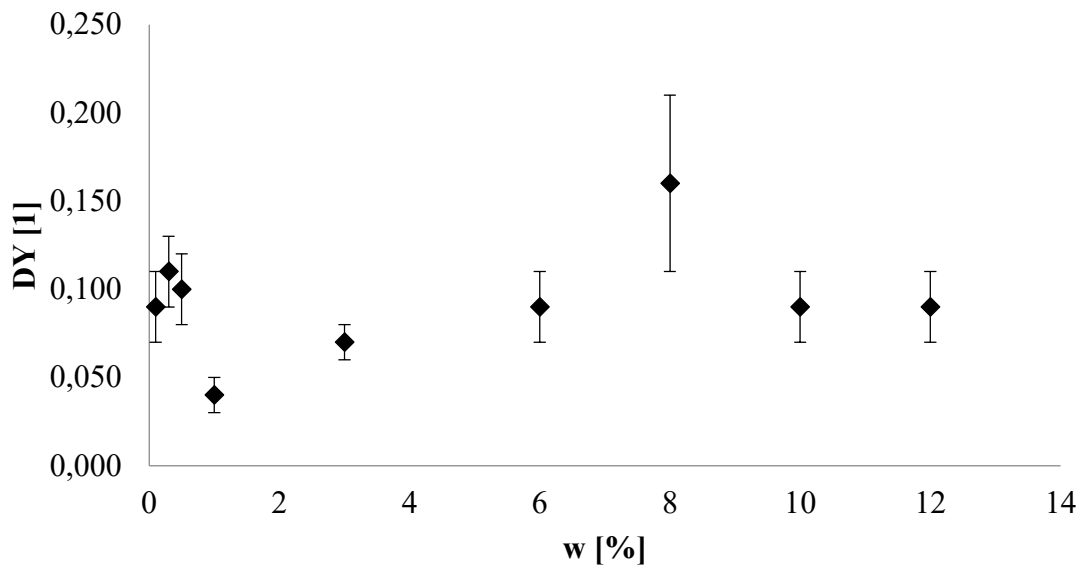
0,1% HP		0,1% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,12±0,02)</b>	<b>(0,09±0,02)</b>	<b>(0,14±0,01)</b>	<b>(0,12±0,01)</b>
0,3% HP		0,3% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,13±0,02)</b>	<b>(0,11±0,02)</b>	<b>(0,12±0,02)</b>	<b>(0,10±0,02)</b>
0,5% HP		0,5% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,13±0,02)</b>	<b>(0,10±0,02)</b>	<b>(0,13±0,01)</b>	<b>(0,10±0,02)</b>
1% HP		1% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,08±0,01)</b>	<b>(0,04±0,01)</b>	<b>(0,14±0,02)</b>	<b>(0,08±0,01)</b>
3% HP		3% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,11±0,01)</b>	<b>(0,07±0,01)</b>	<b>(0,13±0,02)</b>	<b>(0,09±0,02)</b>
6% HP		6% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,18±0,01)</b>	<b>(0,09±0,02)</b>	<b>(0,22±0,02)</b>	<b>(0,13±0,01)</b>
8% HP		8% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,27±0,05)</b>	<b>(0,16±0,05)</b>	<b>(0,26±0,04)</b>	<b>(0,13±0,04)</b>
10% HP		10% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,17±0,02)</b>	<b>(0,09±0,02)</b>	<b>(0,20±0,04)</b>	<b>(0,11±0,04)</b>
12% HP		12% SP	
ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
<b>(0,17±0,03)</b>	<b>(0,09±0,02)</b>	<b>(0,19±0,03)</b>	<b>(0,08±0,02)</b>





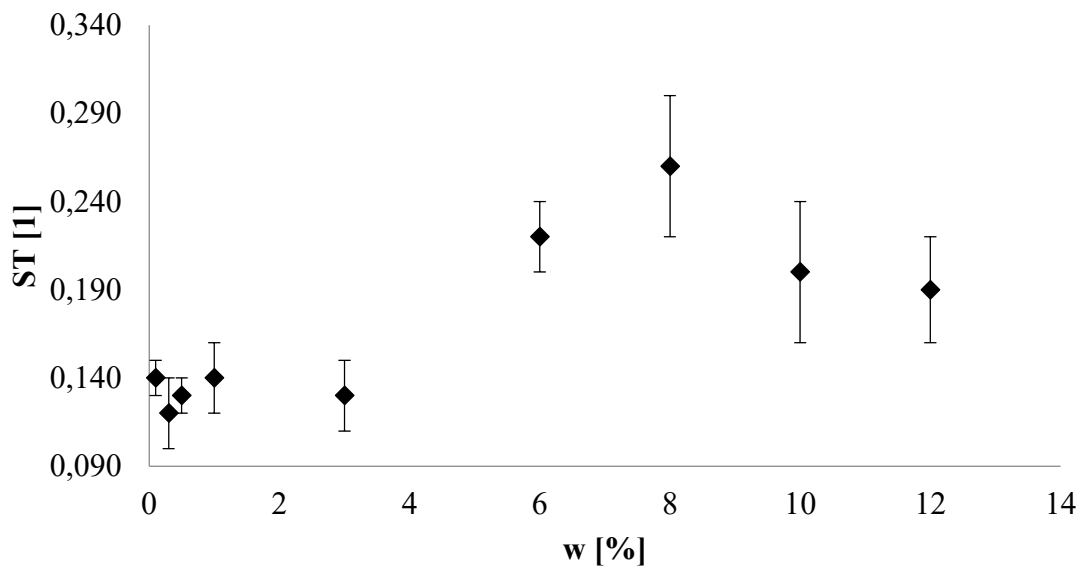
Obrázek 22 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové polymerní disperze pro kombinaci horní plocha + horní plocha

Na Obrázek 22 lze vidět závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové polymerní disperze, kdy nejnižší statický koeficient měla fólie pokrytá 1% roztokem akrylátové disperze a nejvyšší naopak při pokrytí 8% roztokem akrylátové disperze. Dále lze pozorovat jistý rostoucí trend výsledků, i když se hodnoty koeficientů tření zvyšují a snižují.



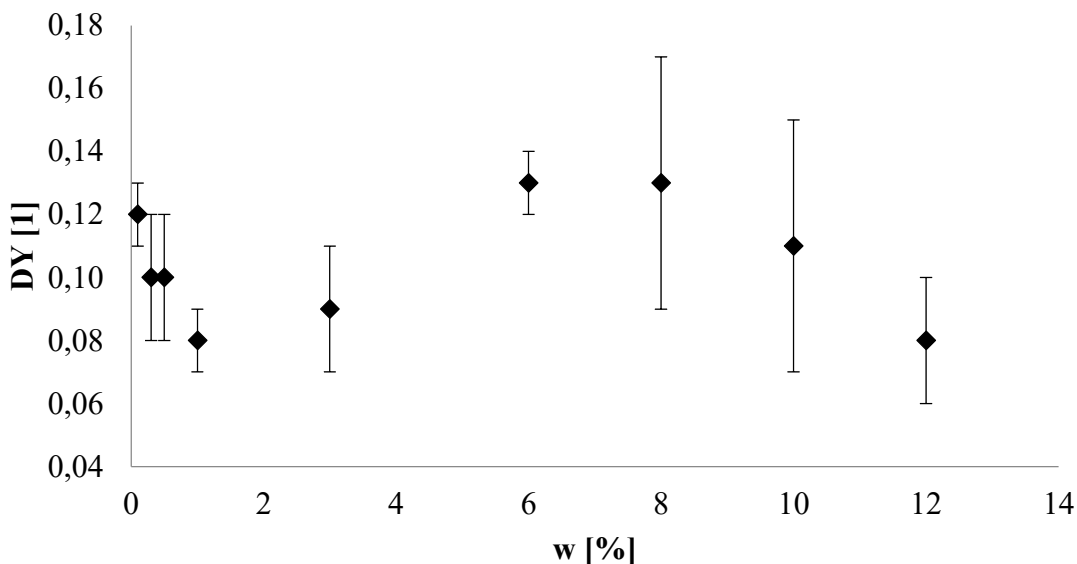
Obrázek 23- Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci horní plocha + horní plocha

Obrázek 23 ukazuje stejnou závislost jako Obrázek 22. Nejnižší dynamický koeficient tření měla fólie pokrytá 1% roztokem akrylátové disperze a nejvyšší fólie pokrytá 8% roztokem akrylátové disperze.



Obrázek 24 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci spodní plocha + spodní plocha

Obrázek 24 vyjadřuje závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci spodní plocha. Nejnižší koeficient tření měla fólie pokrytá 0,3% roztokem akrylátové disperze a nejvyšší fólie pokrytá 8% roztokem akrylátové disperze.



Obrázek 25- Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci spodní plocha + spodní plocha

Obrázek 25 ukazuje stejnou závislost jako Obrázek 24. Nejnižší dynamický koeficient tření měla fólie pokrytá 0,3% a 0,5% roztokem akrylátové disperze a nejvyšší fólie pokrytá 6% a 8% roztokem akrylátové disperze.

Obecně z výsledků měření fólií s aditivem pokrytých roztokem akrylátové disperze plyne, že nejnižší koeficienty tření nejčastěji vykazovaly fólie pokryté 0,3% a 1% roztokem akrylátové disperze. Nejvyšší koeficienty tření pak nejčastěji fólie pokryté 8% roztokem akrylátové disperze.

Tabulka 45 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	0,1%		0,3%	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,090	0,084	0,098	0,109
2	0,096	0,091	0,127	0,106
3	0,112	0,106	0,102	0,097
4	0,093	0,089	0,129	0,124
5	0,093	0,079	0,141	0,118
6	0,124	0,126	0,109	0,098
<b>Průměr</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>
	<b>(0,10±0,01)</b>	<b>(0,10±0,02)</b>	<b>(0,12±0,02)</b>	<b>(0,11±0,01)</b>

Tabulka 46 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	0,5%		1%	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,179	0,197	0,171	0,132
2	0,136	0,126	0,162	0,134
3	0,144	0,137	0,109	0,105
4	0,158	0,151	0,133	0,061
5	0,140	0,124	0,140	0,132
6	0,152	0,137	0,116	0,089
<b>Průměr</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>
	<b>(0,15±0,01)</b>	<b>(0,15±0,02)</b>	<b>(0,14±0,02)</b>	<b>(0,11±0,03)</b>

Tabulka 47 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

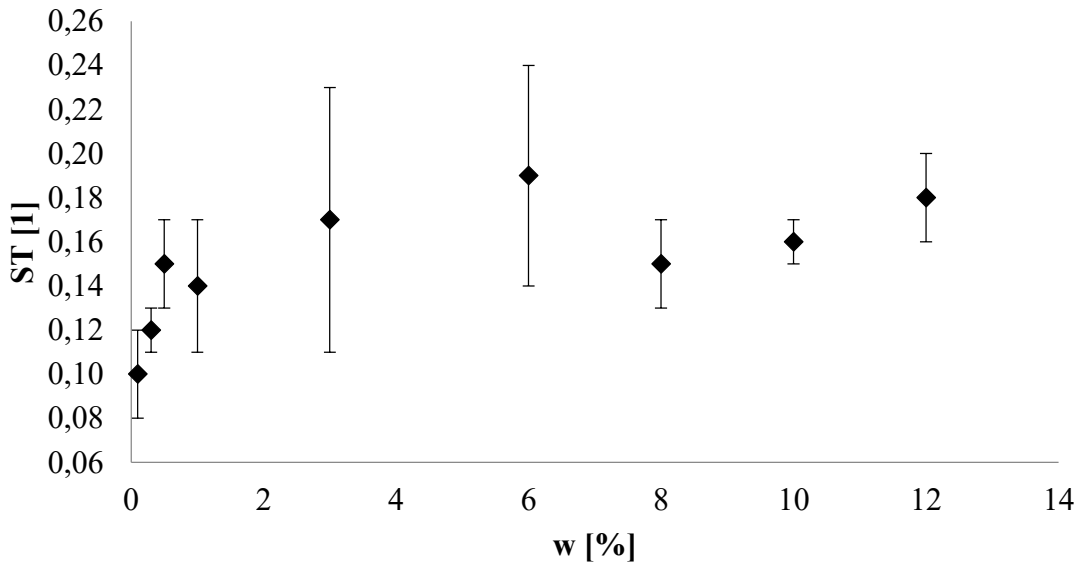
n	3%		6%	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,127	0,114	0,307	0,278
2	0,143	0,131	0,152	0,104
3	0,127	0,124	0,185	0,129
4	0,143	0,133	0,150	0,096
5	0,259	0,259	0,182	0,132
6	0,243	0,228	0,190	0,137
<b>Průměr</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>
	<b>(0,17±0,06)</b>	<b>(0,16±0,06)</b>	<b>(0,19±0,05)</b>	<b>(0,15±0,06)</b>

Tabulka 48 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

n	8%		10%	
	ST [1]	DY [1]	ST [1]	DY [1]
1	0,187	0,154	0,143	0,108
2	0,145	0,128	0,165	0,121
3	0,130	0,110	0,166	0,109
4	0,141	0,085	0,154	0,101
5	0,133	0,087	0,177	0,098
6	0,140	0,116	0,150	0,082
<b>Průměr</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>	<b>0,10</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
	<b>(0,15±0,02)</b>	<b>(0,11±0,02)</b>	<b>(0,16±0,01)</b>	<b>(0,10±0,01)</b>

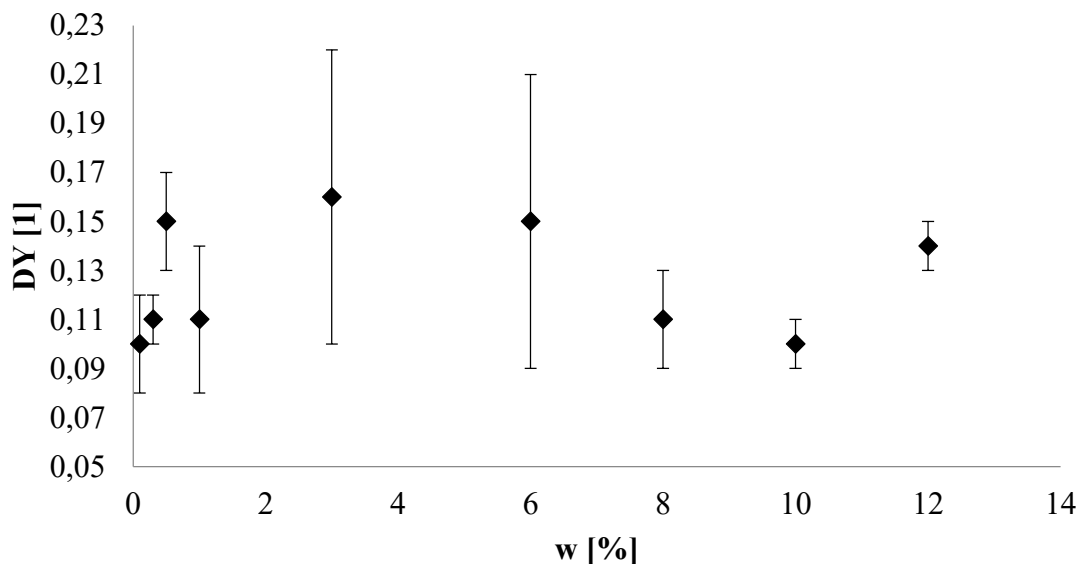
Tabulka 49 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhacího stroje Instron

12%		
n	ST [1]	DY [1]
1	0,190	0,166
2	0,174	0,135
3	0,214	0,139
4	0,152	0,120
5	0,198	0,135
6	0,151	0,123
<b>Průměr</b>	<b>0,18</b>	<b>0,14</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>
	<b>(0,18±0,02)</b>	<b>(0,14±0,01)</b>



Obrázek 26 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro fólie bez aditiva

Obrázek 26 vyjadřuje závislost statických koeficientů tření fólií bez aditiva na koncentraci akrylátové disperze. Nejnižší koeficient tření měla fólie pokrytá 0,1% roztokem akrylátové disperze a nejvyšší fólie pokrytá 6% roztokem akrylátové disperze.



Obrázek 27 - Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro fólie bez aditiva

Lze konstatovat, že se výsledky aditivovaných a neaditivovaných fólií poněkud liší. Všechny grafy mají ale podobnou klesající a stoupající tendenci s tím rozdílem, že maxima a minima jsou u aditivovaných a neaditivovaných fólií při jiných koncentracích akrylátové disperze. Porovnáním výsledků statických a dynamických koeficientů tření bez nánosu akrylátové disperze a s nánosem je patrné, že akrylátové disperze ovlivňuje koeficienty tření a z větší části je zvyšuje.

## 6 PEEL TEST LAMINÁTŮ

### 6.1 Úvod

Další částí z experimentálních měření je hodnocení adheze laminátů, konkrétně boPET/adhezivum/PP a boPET/kopolyester/Al/adhezivum/PP. Tyto lamináty byly spojeny adhezivem (lepidlem) na polyuretanové bázi. Označení laminátů je uvedeno v *Tabulka 50*. Tyto lamináty byly testovány jak za normálních podmínek, tak po příslušné době po pasteuraci. Rozhodujícím výsledkem pro měření adheze laminátů byla maximální síla při odtržení jednotlivých vrstev od sebe. Měření byla prováděna dle normy ASTM F88/F88M – Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials.

#### 6.1.1 Použité materiály a příprava vzorků

- typy laminátů, které lze vidět v *Tabulka 50*
- trhací stroj Instron 3345J8169
- sušárna, mrazák a lednice

*Tabulka 50 - Označení testovaných laminátů*

Označení laminátu	Tloušťka boPET/tloušťka PP	Typ laminátu
LS591	12/50	boPET/PP
LS592	12/40	boPET/PP
LS593	23/40	boPET/PP
LS594	23/50	boPET/PP
E1670	12/50	boPET/PP
E1671	12/40	boPET/PP
LS615	23/40	boPET/kopolyester/Al/PP
LS616	23/50	boPET/kopolyester/Al/PP
LS617	12/50	boPET/kopolyester/Al/PP
LS618	12/40	boPET/kopolyester/Al/PP



Nejdříve byl vyřezán z laminátu vzorek o rozměrech 80 × 15 mm tak, aby byly oba konce laminátu volné a zároveň aby laminovaná část zůstala cca 10 mm neporušena. Poté byly takto nařezané vzorky umístěny do sušárny k pasteraci. Pasterace probíhala v sušárně 120 minut při 130 °C. Vzorky laminátů boPET/PP byly na jednom konci zavěšeny pomocí klipsny a na jeho druhém konci bylo umístěno závaží o hmotnosti 20 g. Závaží tak namáhalo lepený spoj fólií. U laminátů typu boPET/kopolyester/Al/PP nedocházelo k zatěžování spoje závažím, poněvadž se tyto odlepovaly již při samotném umístění závaží na jeden konec. Tyto typy laminátů tedy byly umísťovány do sušárny na podložce a ponechány v horizontální poloze. Po pasteraci byly vzorky ihned zchlazeny na -28 °C po dobu 30 minut a poté ponechány příslušný čas (den, týden, měsíc a dva měsíce) v lednici při teplotě 4 °C. Vzorky, které byly měřeny ihned po pasteraci, byly zchlazeny na -28 °C po dobu 30 minut. Všechny vzorky byly kondicionovány jeden den před měřením. Dále byla provedena měření laminátů bez pasterace. Lamináty boPET/PP byly testovány technikou 90 °, zatímco vzorky boPET/kopolyester/Al/PP byly testovány všemi třemi technikami peel testu (bez podpory, 90 ° a 180 °) a rychlostmi odlupování 100, 200 a 300 mm.min<sup>-1</sup>. Hlavním cílem bylo sledování maximální síly při přetržení v závislosti na době pasterace.

## 6.1.2 Výsledky a diskuze

### 6.1.2.1 Laminát boPET/adhezivum/PP

Tabulka 51 - Testování laminátů bez pasterace

Typ laminátu	LS591	LS592	LS593	LS594	E1670	E1671
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	3,60862	3,20953	4,04599	4,34389	5,05733	3,32475
2	3,08438	3,52019	3,77178	4,91748	4,38640	3,47299
3	1,30043	2,94308	4,07517	4,96129	4,34967	3,06419
4	3,13875	2,87176	3,99512	4,59476	3,93836	3,59914
<b>Průměr</b>	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	<b>4,0</b>	<b>4,7</b>	<b>4,4</b>	<b>3,4</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
	<b>(2,8±0,9)</b>	<b>(3,1±0,3)</b>	<b>(4,0±0,2)</b>	<b>(4,7±0,3)</b>	<b>(4,4±0,4)</b>	<b>(3,4±0,2)</b>

Z *Tabulka 51* plyne, že nejvyšší sílu při přetržení měl laminát s označením LS594 a nejnižší naopak laminát s označením LS591 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 52 - Testování laminátů ihned po pasteraci*

Typ laminátu	LS591	LS592	LS593	LS594	E1670	E1671
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	4,75591	4,62274	5,42084	3,61695	3,53729	2,71155
2	3,51988	2,10072	3,74405	3,54476	3,36905	2,34087
3	-	4,17417	4,48496	5,93071	3,15941	2,21612
4	-	-	3,42803	-	3,29939	1,19536
<b>Průměr</b>	<b>4,1</b>	<b>4</b>	<b>4,3</b>	<b>4</b>	<b>3,3</b>	<b>2,1</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>
	<b>(4,1±0,7)</b>	<b>(4±1)</b>	<b>(4,3±0,8)</b>	<b>(4±1)</b>	<b>(3,3±0,2)</b>	<b>(2,1±0,6)</b>

Z *Tabulka 52* plyne, že nejvyšší sílu při přetržení měl laminát s označením LS593 a nejnižší naopak laminát s označením E1671 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 53 - Testování laminátů týden po pasteraci*

Typ laminátu	LS591	LS592	LS593	LS594	E1670	E1671
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	2,83563	4,21368	1,48017	4,61226	2,88362	2,69375
2	3,05705	3,27060	1,51819	3,69351	1,10248	1,75185
3	3,00133	4,59934	2,29671	4,25135	2,18556	2,73597
4	2,48927	5,41940	-	-	1,06991	2,84201
<b>Průměr</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>1,8</b>	<b>4,2</b>	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>
	<b>(2,8±0,3)</b>	<b>(4,4±0,8)</b>	<b>(1,8±0,4)</b>	<b>(4,2±0,4)</b>	<b>(1,8±0,8)</b>	<b>(2,5±0,5)</b>

Z Tabulka 53 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS592 a nejnižší naopak laminát s označením LS593 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

Tabulka 54 - Testování laminátů měsíc po pasteraci

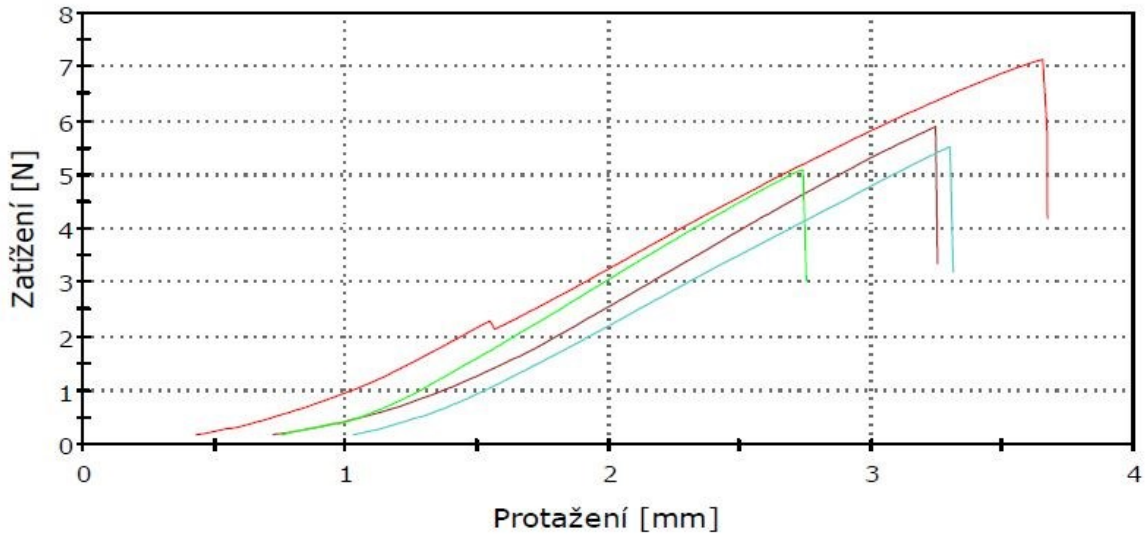
Typ laminátu	LS591	LS592	LS593	LS594	E1670	E1671
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	5,24234	5,89768	6,33310	6,06035	2,31998	3,25621
2	3,92763	5,08894	5,35036	5,74587	4,02427	3,27815
3	4,44891	5,52436	5,05610	5,67295	4,14332	3,04881
4	-	7,09865	5,13387	5,88387	4,45078	2,63860
<b>Průměr</b>	<b>4,5</b>	<b>5,9</b>	<b>5,5</b>	<b>5,8</b>	<b>3,7</b>	<b>3,1</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>
	<b>(4,5±0,6)</b>	<b>(5,9±0,8)</b>	<b>(5,5±0,6)</b>	<b>(5,8±0,2)</b>	<b>(3,7±0,9)</b>	<b>(3,1±0,3)</b>

Z Tabulka 54 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS592 a nejnižší naopak laminát s označením E1671 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

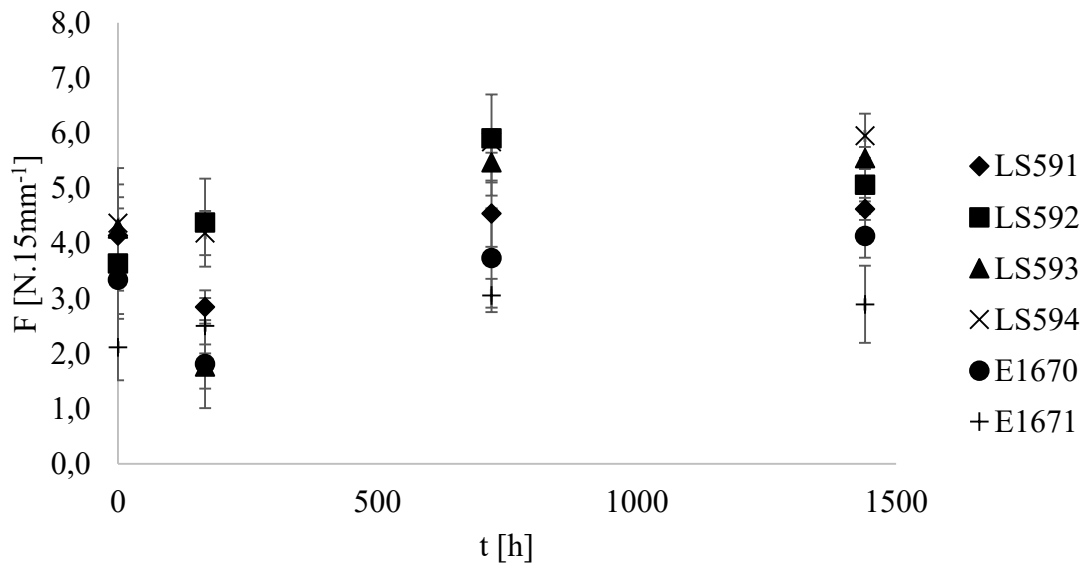
Tabulka 55 - Testování laminátů dva měsíce po pasteraci

Typ laminátu	LS591	LS592	LS593	LS594	E1670	E1671
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	4,60976	4,71419	5,27212	6,26348	3,88146	2,98768
2	4,86481	5,02135	5,63453	5,58523	4,42805	1,73805
3	4,39877	5,07493	5,63026	6,28698	4,56552	3,49237
4	-	5,43990	5,65028	5,66056	3,67229	3,35616
<b>Průměr</b>	<b>4,6</b>	<b>5,1</b>	<b>5,5</b>	<b>5,9</b>	<b>4,1</b>	<b>2,9</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>
	<b>(4,6±0,2)</b>	<b>(5,1±0,3)</b>	<b>(5,5±0,2)</b>	<b>(5,9±0,4)</b>	<b>(4,1±0,4)</b>	<b>(2,9±0,7)</b>

Z Tabulka 55 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS594 a nejnižší naopak laminát s označením E1671 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.



Obrázek 28 - Ukázka grafu závislosti zatížení na protažení při peel testu



Obrázek 29 - Závislost maximální síly na době pasterace - srovnání

Na Obrázek 29 lze vidět závislost maximální síly při přetržení na době pasterace a lze z něj vyčíst, že s rostoucím časem pasterace se u fólií LS592 maximální síly při přetržení zvyšovaly a po dvou měsících mírně klesly. S rostoucím časem pasterace se maximální síly při

přetržení fólií LS591, LS593, LS594, E1670 a E1671 po týdnu snížily, ale po měsíci se začaly opět zvyšovat. Po dvou měsících lze pozorovat jejich mírný pokles.

Z výsledků měření laminátů peel testem plyne, že nejnižší síly při přetržení měly fólie s označením LS591, LS593 a E1671 a nejvyšší LS592 a LS594. Obecně lze usoudit, že doba pasterace má významný vliv na adhezivum, které spojuje boPET a PP folii, a tudíž i na maximální síly při přetržení.

### 6.1.2.2 Laminát boPET/kopolyester/Al/adhezivum/PP bez pasterace

Tabulka 56 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,36803	0,54249	1,41206	1,21819
2	0,34196	0,45714	1,31436	0,99270
3	0,43851	0,41937	1,32903	1,24683
<b>Průměr</b>	<b>0,38</b>	<b>0,47</b>	<b>1,35</b>	<b>1,2</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,2</b>
	<b>(0,38±0,05)</b>	<b>(0,47±0,06)</b>	<b>(1,35±0,06)</b>	<b>(1,2±0,2)</b>

Z Tabulka 56 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

Tabulka 57 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,45901	0,49908	1,05600	1,14256
2	0,40589	0,54241	1,06583	1,03513
3	0,36639	0,52039	1,32475	1,10027

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
4	0,47454	0,57342	0,97791	0,95992
<b>Průměr</b>	<b>0,43</b>	<b>0,53</b>	<b>1,1</b>	<b>1,06</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,07</b>
	<b>(0,43±0,05)</b>	<b>(0,53±0,03)</b>	<b>(1,1±0,2)</b>	<b>(1,06±0,07)</b>

Z *Tabulka 57* plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

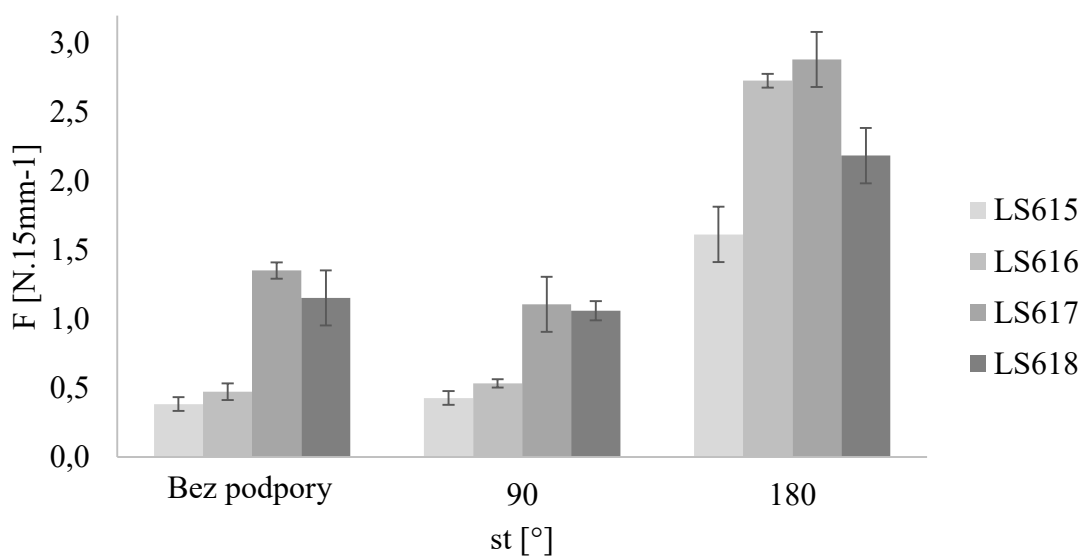
*Tabulka 58 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	1,74983	2,67249	3,16065	2,31133
2	1,45738	2,68857	2,63973	1,92833
3	1,48118	2,76784	2,92786	2,22374
4	1,76623	2,78536	2,80628	2,27752
<b>Průměr</b>	<b>1,6</b>	<b>2,73</b>	<b>2,9</b>	<b>2,2</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
	<b>(1,6±0,2)</b>	<b>(2,73±0,05)</b>	<b>(2,9±0,2)</b>	<b>(2,2±0,2)</b>

Z *Tabulka 58* plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

Tabulka 59 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
Bez podpory	<b>(0,38±0,05)</b>	<b>(0,47±0,06)</b>	<b>(1,35±0,06)</b>	<b>(1,2±0,2)</b>
90 °	<b>(0,43±0,05)</b>	<b>(0,53±0,03)</b>	<b>(1,1±0,2)</b>	<b>(1,06±0,07)</b>
180 °	<b>(1,6±0,2)</b>	<b>(2,73±0,05)</b>	<b>(2,9±0,2)</b>	<b>(2,2±0,2)</b>



Obrázek 30 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání

Z Tabulka 59 a Obrázek 30 plyne, že výsledky jednotlivých technik se mezi sebou velmi liší. Se zvyšujícím se úhlem roste také maximální síla při přetržení. Pouze u laminátů LS617 a LS618 došlo nejprve ke snížení maximální síly (technika 90 °) a poté opět k rapidnímu zvýšení maximální síly (technika 180 °). Úhel laminovaného konce vzorku je velmi důležitý parametr při testování adheze pomocí peel testu.

Tabulka 60 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí 200 mm.min<sup>-1</sup>

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,42308	0,83932	2,02142	1,87418
2	0,37237	0,72721	1,89848	1,85631
3	0,39089	0,76287	1,91666	1,88044
4	0,36747	0,86601	1,62414	1,98805
<b>Průměr</b>	<b>0,39</b>	<b>0,80</b>	<b>1,9</b>	<b>1,90</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,2</b>	<b>0,06</b>
	<b>(0,39±0,03)</b>	<b>(0,80±0,06)</b>	<b>(1,9±0,2)</b>	<b>(1,90±0,06)</b>

Z Tabulka 60 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 200 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 61 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí  
200 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,37226	0,61981	1,89087	1,84158
2	0,40668	0,49933	1,57955	1,81103
3	0,36296	0,59827	1,94554	1,75743
4	0,36689	0,57862	1,89033	1,67181
<b>Průměr</b>	<b>0,38</b>	<b>0,57</b>	<b>1,8</b>	<b>1,77</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>	<b>0,07</b>
	<b>(0,38±0,02)</b>	<b>(0,57±0,05)</b>	<b>(1,8±0,2)</b>	<b>(1,77±0,07)</b>

Z Tabulka 61 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 200 mm.min<sup>-1</sup>.



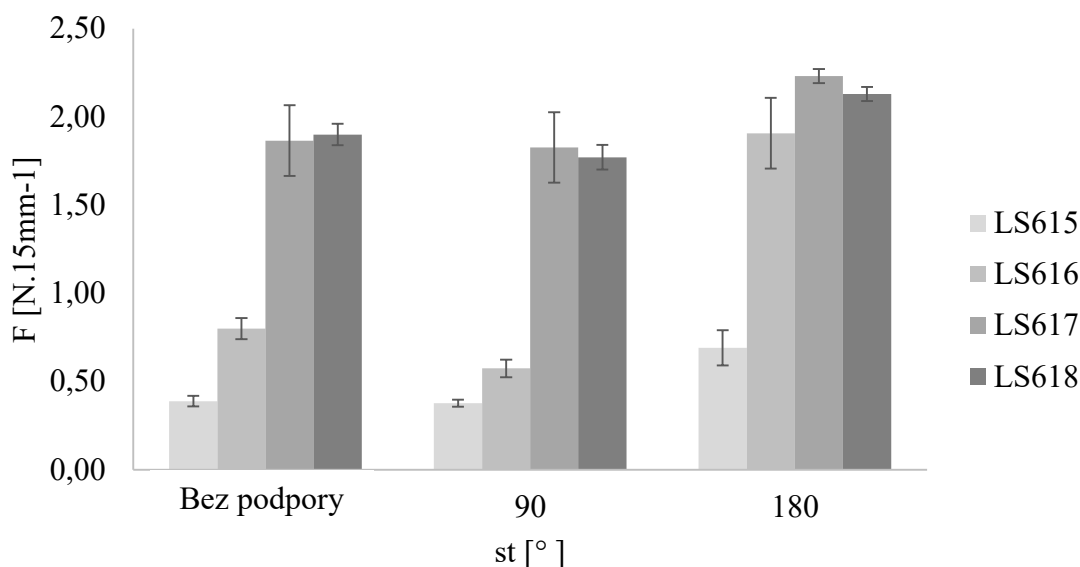
*Tabulka 62 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí  
200 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,72101	1,85926	2,18693	2,14988
2	0,55416	2,06595	2,27146	2,16122
3	0,83607	1,71295	2,19292	2,12664
4	0,65272	1,98910	2,26920	2,07598
<b>Průměr</b>	<b>0,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,23</b>	<b>2,13</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>
	<b>(0,7±0,1)</b>	<b>(1,9±0,2)</b>	<b>(2,23±0,04)</b>	<b>(2,13±0,04)</b>

Z *Tabulka 62* plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 200 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 63 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování 200 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
Bez podpory	<b>(0,39±0,03)</b>	<b>(0,80±0,06)</b>	<b>(1,9±0,2)</b>	<b>(1,90±0,06)</b>
90 °	<b>(0,38±0,02)</b>	<b>(0,57±0,05)</b>	<b>(1,8±0,2)</b>	<b>(1,77±0,07)</b>
180 °	<b>(0,7±0,1)</b>	<b>(1,9±0,2)</b>	<b>(2,23±0,04)</b>	<b>(2,13±0,04)</b>



Obrázek 31 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání

Z Tabulka 63 a Obrázek 31 plyne, že výsledky jednotlivých technik se mezi sebou velmi liší. Při rychlosti odlupování  $200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  dochází nejdříve (technika  $90^\circ$ ) ke snižování maximálních sil při přetržení a při technice  $180^\circ$  už poté k rapidnímu zvýšení maximálních sil při přetržení. Při rychlosti  $200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  hraje úhel laminovaného konce opět důležitou roli.

Tabulka 64 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí  $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,42402	0,62283	1,65623	1,85030
2	0,40679	0,54293	1,82995	1,70606
3	0,37098	0,49715	1,81090	0,97880
4	0,43391	0,61395	1,48681	1,88936
<b>Průměr</b>	<b>0,41</b>	<b>0,57</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>
	<b>(0,41±0,03)</b>	<b>(0,57±0,06)</b>	<b>(1,7±0,2)</b>	<b>(1,6±0,4)</b>

Z Tabulka 64 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 300 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 65 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí  
300 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,37619	0,40756	1,71998	1,27444
2	0,38743	0,58345	1,43485	1,38178
3	0,37879	0,54201	1,89235	1,17156
4	0,28607	0,50310	1,61558	1,64832
<b>Průměr</b>	<b>0,36</b>	<b>0,51</b>	<b>1,7</b>	<b>1,4</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
	<b>(0,34±0,04)</b>	<b>(0,51±0,07)</b>	<b>(1,7±0,2)</b>	<b>(1,4±0,2)</b>

Z Tabulka 65 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 300 mm.min<sup>-1</sup>.

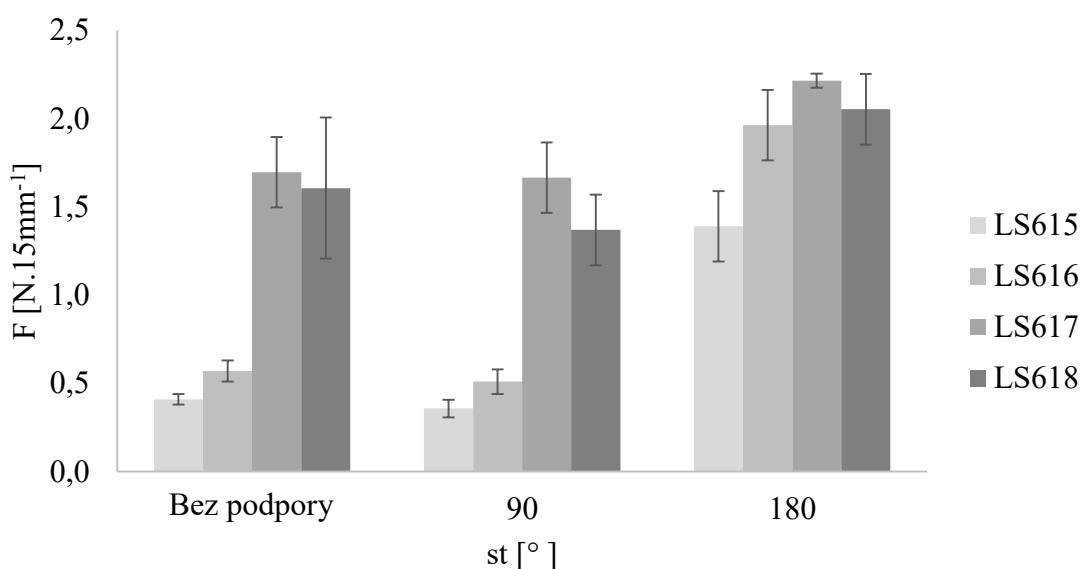
*Tabulka 66 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí  
300 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	1,31780	2,05708	2,17410	2,25085
2	1,50180	2,11870	2,21723	1,79669
3	1,62890	1,72420	2,21057	1,94478
4	1,10935	1,95011	2,26062	2,21929
<b>Průměr</b>	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,22</b>	<b>2,1</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,2</b>
	<b>(1,4±0,2)</b>	<b>(2,0±0,2)</b>	<b>(2,2±0,04)</b>	<b>(2,1±0,2)</b>

Z Tabulka 66 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování  $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Tabulka 67 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování  $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
	$[\text{N} \cdot 15\text{mm}^{-1}]$	$[\text{N} \cdot 15\text{mm}^{-1}]$	$[\text{N} \cdot 15\text{mm}^{-1}]$	$[\text{N} \cdot 15\text{mm}^{-1}]$
Bez podpory	<b>(0,41±0,03)</b>	<b>(0,57±0,06)</b>	<b>(1,7±0,2)</b>	<b>(1,6±0,4)</b>
90 °	<b>(0,34±0,04)</b>	<b>(0,51±0,07)</b>	<b>(1,7±0,2)</b>	<b>(1,4±0,2)</b>
180 °	<b>(1,4±0,2)</b>	<b>(2,0±0,2)</b>	<b>(2,2±0,04)</b>	<b>(2,1±0,2)</b>



Obrázek 32 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání

Z Tabulka 67 a Obrázek 32 plyne, že výsledky jednotlivých technik se mezi sebou velmi liší. Při rychlosti odlupování  $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  dochází nejdříve (technika 90 °) ke snižování maximálních sil při přetržení a při technice 180 ° už poté k rapidnímu zvýšení maximálních sil při přetržení. I při rychlosti  $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  hraje úhel laminovaného konce důležitou roli.

Tabulka 68 - Srovnání technik rychlostí odlupování bez pasterace

v [mm.min <sup>-1</sup> ]	Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
100		[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
	Bez podpory	(0,38±0,05)	(0,47±0,06)	(1,35±0,06)	(1,2±0,2)
	90 °	(0,43±0,05)	(0,53±0,03)	(1,1±0,2)	(1,06±0,07)
	180 °	(1,6±0,2)	(2,73±0,05)	(2,9±0,2)	(2,2±0,2)
200	Bez podpory	(0,39±0,03)	(0,80±0,06)	(1,9±0,2)	(1,90±0,06)
	90 °	(0,38±0,02)	(0,57±0,05)	(1,8±0,2)	(1,77±0,07)
	180 °	(0,7±0,1)	(1,9±0,2)	(2,23±0,04)	(2,13±0,04)
300	Bez podpory	(0,41±0,03)	(0,57±0,06)	(1,7±0,2)	(1,6±0,4)
	90 °	(0,34±0,04)	(0,51±0,07)	(1,7±0,2)	(1,4±0,2)
	180 °	(1,4±0,2)	(2,0±0,2)	(2,2±0,04)	(2,1±0,2)

Z Tabulka 68 plyne, že technikou bez podpory u laminátu LS615 se hodnoty maximální síly nijak extrémně nemění, ale lze vidět mírný zvyšující se trend s rostoucí rychlostí odlupování. U laminátu LS616 se hodnoty maximální síly již mění a lze vidět stoupající a klesající trend. Laminát LS617 a LS618 je obdoba laminátu LS616. Technikou 90 ° u laminátu LS615 se hodnoty maximální síly snižují, ale nejedná se o extrémní pokles. U laminátu LS616 dochází ke zvýšení a poté ke snížení maximální síly. Tento jev lze pozorovat u laminátů LS617 a LS618. Technikou 180 ° u laminátu LS615 se hodnoty maximální síly snížily, ale poté opět narostly. Laminát LS616 vykazuje stejný trend jako LS615. Lamináty LS617 a LS618 vykazují snižování maximální síly v závislosti na rychlosti odlupování.

### 6.1.2.3 Laminát boPET/kopolyester/Al/adhezivum/PP po pasteraci

Tabulka 69 - Testování laminátů ihned po pasteraci technikou 90 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,32283	1,13188	0,78012	1,31465

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
2	0,69153	0,93095	0,78048	1,39523
3	0,26891	1,09987	1,54278	1,53358
4	-	1,17211	0,89605	1,03240
<b>Průměr</b>	<b>0,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
	<b>(0,4±0,2)</b>	<b>(1,1±0,1)</b>	<b>(1,0±0,4)</b>	<b>(1,3±0,2)</b>

Z Tabulka 69 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS618 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 70 - Testování laminátů den po pasteraci technikou 90 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,85862	0,95496	1,50157	1,16327
2	0,56279	1,27503	1,51647	1,42195
3	0,51550	0,94210	0,93209	1,06137
4	0,61924	0,99102	1,62297	1,17483
<b>Průměr</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
	<b>(0,6±0,2)</b>	<b>(1,0±0,2)</b>	<b>(1,4±0,3)</b>	<b>(1,2±0,2)</b>

Z Tabulka 70 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 71 - Testování laminátů týden po pasteraci technikou 90 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>*

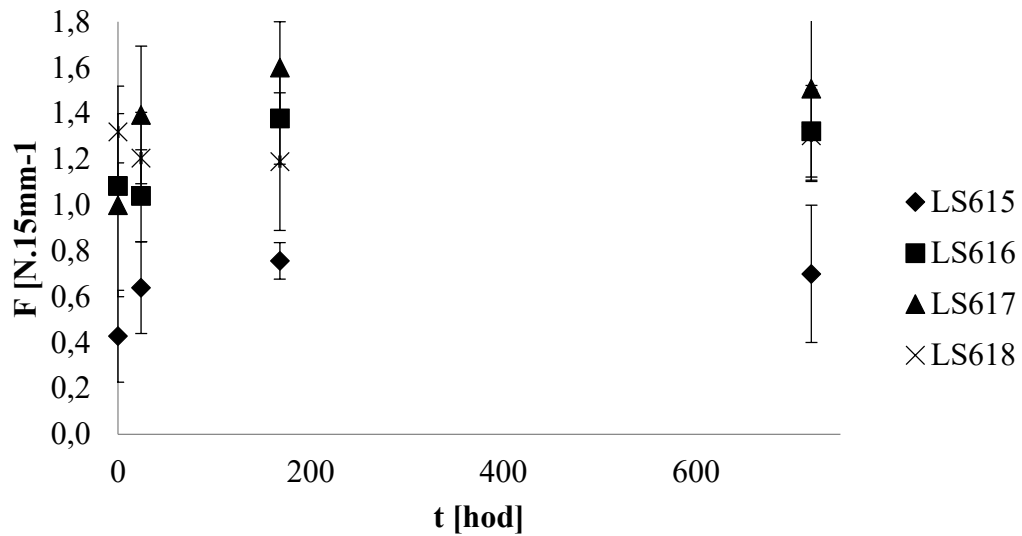
Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,79127	1,41843	1,63365	0,67681
2	0,68170	1,38866	1,74381	1,31919
3	0,67988	1,61444	1,74815	1,41437
4	0,87295	1,09020	1,27559	1,34932
<b>Průměr</b>	<b>0,76</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,08</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>
	<b>(0,76±0,08)</b>	<b>(1,4±0,2)</b>	<b>(1,6±0,2)</b>	<b>(1,2±0,3)</b>

Z Tabulka 71 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.

*Tabulka 72 - Testování laminátů měsíc po pasteraci technikou 90 ° rychlostí  
100 mm.min<sup>-1</sup>*

Typ laminátu	LS615	LS616	LS617	LS618
n	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]	[N.15mm <sup>-1</sup> ]
1	0,34311	1,08457	1,81817	0,98552
2	0,87225	1,34269	1,00033	1,50763
3	0,81945	1,24870	1,39493	1,30906
4	0,55540	1,61231	1,82129	1,40937
<b>Průměr</b>	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>
<b>Odchylka</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
	<b>(0,7±0,3)</b>	<b>(1,3±0,2)</b>	<b>(1,5±0,4)</b>	<b>(1,3±0,2)</b>

Z Tabulka 72 plyne, že nejvyšší sílu při přetržení má laminát s označením LS617 a nejnižší naopak laminát s označením LS615 s rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup>.



Obrázek 33 - Závislost maximální síly při odlepení na době pasterace

Na *Obrázek 33* lze vidět závislost maximální síly při přetržení na době pasterace a lze z něj vyčíst, že s rostoucím časem pasterace se u fólií LS615 a LS616 maximální síly při přetržení zvyšovaly a po měsíci mírně klesly. S rostoucím časem pasterace se u fólií LS617 a LS618 maximální síly při přetržení nejprve snížily a po týdnu se začaly zvyšovat.

Z výsledků měření laminátů peel testem plyne, že nejnižší síly při přetržení měla vždy fólie s označením LS615 a nejvyšší LS617 s výjimkou měření ihned po pasteraci, kdy nejvyšší sílu při přetržení měla fólie LS618. Obecně lze usoudit, že doba pasterace má významný vliv na adhezivum, které spojuje boPET a PP folii, a tudíž i na maximální síly při přetržení.



## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá hodnocením povrchových vlastností biaxiálně orientovaných polyethylen tereftalátových fólií využitelných v obalovém průmyslu. Skládá se z teoretické části zaměřené na obalové materiály, biaxiálně orientované fólie a povrchové úpravy fólií a praktické části věnující se měření povrchových vlastností fólií a možnostem jejich úpravy. V praktické části bylo také sledování chování laminátů na bázi PP a boPET vystavených zvýšeným teplotám. Takovými teplotám mohou být vystaveny obalové materiály při pasteraci nebo sterilizaci potravin a je zřejmé, že vzájemná adheze jednotlivých složek laminátů (na níž mají vliv povrchové vlastnosti materiálu) bude kritickým parametrem a nejslabším místem celé materiálové konstrukce.

Jednou z velmi důležitých veličin u obalového materiálu (kromě např. samotného typu polymeru, použitého aditiva, propustnosti pro kyslík a vodní páry, atd.) je hodnota koeficientu tření. Ten hraje roli již při samotné výrobě (fólie s vysokým koeficientem tření nelze uspokojivě navinout do podoby velkonábalu) a následně při aplikaci – u jistých druhů obalů je vyžadováno, aby po sobě jednotlivá balení neklouzala a bylo umožněno tzv. stohování a stabilita při transportu. Bylo zjištěno, že koeficient tření nelze pokládat za materiálovou konstantu a jeho hodnota velmi závisí na vzájemné orientaci fólie při měření (líc-líc, rub-rub, rub-líc) na směru měření (zejména u biaxiálně orientovaných fólií), tj. ve směru odtahu fólie a podél šířky fólie, druhu a množství aditiva a povrchové úpravě. Základní je také použitá experimentální metoda, hodnoty koeficientu tření získané měřením na nakloněné rovině byly v některých případech 4 – 6 násobně vyšší ve srovnání s měřením prováděným na horizontální rovině s využitím univerzálního testovacího stroje. Koeficient tření fólie lze významně ovlivnit také nanesením tenké vrstvy na bázi akrylátového polymeru. Velmi malé přídavky koeficient tření spíše snižují, s postupně rostoucí koncentrací polymeru v nánosovacím roztoku roste i výsledný koeficient tření a po překročení kritické koncentrace se bude opět snižovat. Tento efekt je výraznější u neaditivovaných fólií.

Lamináty s obecným složením PP/boPET byly testovány za podmínek simulujících reálnou zátěž obalového materiálu při procesu pasterace. Byly tedy vystaveny zvýšené teplotě, následně prudce ochlazeny a poté skladovány příslušnou dobu za snížené teploty. Tím je simulován proces úpravy potravin přímo v obalovém materiálu – pasterace při teplotě 100 – 130 °C po dobu až 120 minut, následné hluboké zamrazení a skladování v mrazáku. Testování vzájemné adheze jednotlivých složek laminátu probíhalo metodou peel-test na

univerzálním testovacím stroji. Zejména u laminátů, kde je jedna z fólií vybavena pokováním je velmi důležité správné provedení testu – síla nutná k delaminaci (vztažená k šířce adhezního spoje) se bude lišit v závislosti na rychlosti zatěžování, poloze volného konce laminátu a tom, který materiál (PP nebo boPET) bude upnut do pohybující se čelisti testovacího stroje. Z výsledků měření nicméně plyne, že žádný z testovaných laminátů nebyl procesem tepelného namáhání a následného skladování narušen a ve většině případů naopak s délkou skladování dochází ke zvyšování síly nutné k delaminaci. Pro reálnou aplikaci by bylo vhodné nalezení určité referenční hodnoty (konkrétní hodnota síly vztažená na šířku spoje), která by definovala mez, po jejímž překročení lze materiál označit jako vhodný pro aplikace za zvýšených teplot.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MARSH, Kenneth a Betty BUGUSU. Food Packaging? Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*. 2007, **72**(3), 39-55. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x. ISSN 0022-1147. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- [2] ROBERTSON, Gordon. *Food packaging and shelf life: a practical guide* [online]. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor, 2010 [cit. 2017-04-20]. ISBN 14-200-7844-5.
- [3] RISCH, Sara. Food Packaging History and Innovations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, **57**(18), 8089-8092. DOI: 10.1021/jf900040r. ISSN 0021-8561. Dostupné také z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf900040r>
- [4] Nápojový karton. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1pojov%C3%BD\\_karton](https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1pojov%C3%BD_karton)
- [5] PIRINGER, O.-G. a A. BANER. *Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation* [online]. New York: Wiley-VCH, 2000 [cit. 2017-04-20]. ISBN 3527288686.
- [6] SELKE, Susan a John CULTER. *Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations*. 3rd edition. Munich: Carl Hanser Verlag, 2015. ISBN 978-3-446-40790-9.
- [7] Polyethylentereftalát. *Michael Canov - Jergym* [online]. Praha, 1998 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/polymery/polykond/tereftal.html>
- [8] EMBLEM, Anne, ed. a Henry EMBLEM, ed. *Packaging technology: fundamentals, materials and processes* [online]. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012 [cit. 2017-04-20]. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-1-84569-665-8. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPTFMP001/packaging-technology/packaging-technology>
- [9] EBNESAJJAD, Sina. *Adhesives technologies handbook* [online]. Třetí. Oxford:

- Elsevier, 2015 [cit. 2017-05-13]. ISBN 978-0-323-35595-7. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpATHE0004/adhesives-technology/adhesives-technology>
- [10] *Food Processing Technology* [online]. Čtvrté. United Kingdom: Elsevier, 2017 [cit. 2017-04-20]. Monographs on appropriate industrial technology. ISBN 978-0-08-100523-1. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFPTPE21/food-processing-technology/food-processing-technology>
- [11] *Permeability Properties of Plastics and Elastomers (4th Edition)* [online]. Čtvrté. United Kingdom: Elsevier, 2017 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-323-50859-9. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPPPEE015/permeability-properties/permeability-properties>
- [12] MOTARJEMI, Yasmine. a Huub. LELIEVELD. *Food safety management: a practical guide for the the food Industry* [online]. United Kingdom: Elsevier, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-12-381504-0. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFSMAPGF1/food-safety-management/food-safety-management>
- [13] EDITED BY DAVID KILCAST AND PERSIS SUBRAMANIAM., . *Food and beverage stability and shelf life* [online]. Philadelphia: Woodhead Pub, 2011 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-85-7092-540. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFBSSL001/food-beverage-stability/food-beverage-stability>
- [14] *Technology of Polymer Packaging. Technology of Polymer Packaging* [online]. München: Carl Hanser Verlag GmbH, 2015, , 136 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.3139/9781569905777. ISBN 978-1-56990-576-0. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTPP00005/technology-polymer-packaging/technology-polymer-packaging>
- [15] DEMEUSE, Mark. *Biaxial stretching of film: principles and applications* [online]. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2011 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-1-84-5696-757. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845696757500166>

- [16] KANAI, T. a G. CAMPBELL. *Film processing* [online]. 2nd edition. Mnichov: Hanser Publishers, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-1-56990-529-6. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFPA00011/film-processing-advances/film-processing-advances>
- [17] JAMES L. THRONE., . *Technology of thermoforming* [online]. Munich: Hanser, 1996 [cit. 2017-04-20]. ISBN 34-461-7812-0. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTT000001/technology-thermoforming/technology-thermoforming>
- [18] KOERBER, Alois, Roland LUND a Horst-Christian LANGOWSKI. Geometrical bowing and molecular orientation angle in biaxially stretched poly(ethylene terephthalate) films. *Journal of Applied Polymer Science*. 2013, **127**(4), 2928-2937. DOI: 10.1002/app.37967. ISSN 00218995. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.37967>
- [19] BoPET. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/BoPET>
- [20] Vícevrstvé laminované fólie. *Fatra* [online]. Napajedla, 2017 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.fatra.cz/produkty/bopet-folie-a-laminaty/bo-pet-folie/>
- [21] *Nanoparticles in Active Polymer Food Packaging* [online]. Shropshire: Smithers Rapra Technology, 2015 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-1-5231-0572-4. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNAPFP00A/nanoparticles-in-active/nanoparticles-in-active>
- [22] Wax Facts. *AFPM* [online]. Washington, DC, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.afpm.org/Wax-Facts/>
- [23] BREIL, J. Future trends for biaxially oriented films and orienting lines. *Biaxial Stretching of Film* [online]. Elsevier, 2011, , 240 [cit. 2017-04-26]. DOI: 10.1533/9780857092953.2.240. ISBN 9781845696757. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845696757500166>
- [24] SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS, , SPE. PLASTICS DESIGN LIBRARY,

- PDL. BEHNAM POURDEYHIMI a EDITOR. *Imaging and image analysis for plastics* [online]. Norwich, NY: Plastics Design Library, 1999 [cit. 2017-04-20]. ISBN 18-842-0781-2. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIIAAP001/imaging-image-analysis/imaging-image-analysis>
- [25] CAMMARANO, Aniello, Giovanna DE LUCA a Eugenio AMENDOLA. Surface modification and adhesion improvement of polyester films. *Central European Journal of Chemistry*. 2013, **11**(1), 35-45. DOI: 10.2478/s11532-012-0135-x. ISSN 1895-1066. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.2478/s11532-012-0135-x>
- [26] *Modification of Surface Properties of Polymeric Materials* [online]. 2002, (56) [cit. 2017-04-26]. ISSN 2326-0491.
- [27] Plazmochemie. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://ufmi.ft.utb.cz/index.php?page=plazmochemie>
- [28] AUBRECHT, Vladimír. *Fyzika a diagnostika plazmatu (přednášky VEE 07-086)*. Brno: VUT, 2007.
- [29] Surface & Plasma Technology. *Institut für Angewandte Physik* [online]. Wien, 2016 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.iap.tuwien.ac.at/www/opt/images/plasma.jpg>
- [30] TODORKA G. VLADKOVA., . *Surface engineering of polymeric biomaterials* [online]. London: Smithers Rapra, 2012 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-184-7356-604. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSEPB0007/surface-engineering-polymeric/surface-engineering-polymeric>
- [31] IZDEBSKA, Joanna. a Sabu. THOMAS. *Printing on polymers: fundamentals and applications* [online]. Elsevier, 2016 [cit. 2017-04-20]. PDL handbook series. ISBN 978-0-323-37468-2. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPPFA0001/printing-polymers-fundamentals/printing-polymers-fundamentals>
- [32] EBNESAJJAD, Sina. *Handbook of adhesives and surface preparation: technology,*

- applications and manufacturing* [online]. Amsterdam: William Andrew/Elsevier, 2011 [cit. 2017-04-20]. PDL handbook series. ISBN 978-1-4377-4461-3. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHASPTAMC/handbook-adhesives-surface/handbook-adhesives-surface>
- [33] BISHOP, Charles. *Vacuum deposition onto webs, films, and foils* [online]. Norwich, NY: William Andrew Pub., 2007 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-8155-1535-7. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpVDWFF001/vacuum-deposition-onto-2/vacuum-deposition-onto-2>
- [34] Determination of Metal Adhesion Strength of Metallised Films by Peel Tests. *Aimcal* [online]. b.r. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: [www.aimcal.org/uploads/4/6/6/9/./kucukpinar\\_abstract.pdf](http://www.aimcal.org/uploads/4/6/6/9/./kucukpinar_abstract.pdf)
- [35] BHATTACHARYYA, Basudeb. *Engineering mechanics* [online]. 2nd ed. New Delhi: Oxford University Press, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-19-809632-0. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEME0000R/engineering-mechanics/engineering-mechanics>
- [36] Tření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99en%C3%AD>
- [37] MORRIS, Barry. *The science and technology of flexible packaging: multilayer films from resin and process to end use* [online]. United Kingdom: Elsevier, 2017 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-323-24273-8. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSTFPMFR2/science-technology-flexible/science-technology-flexible>
- [38] BONENBERGER, Paul. *The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastics parts* [online]. 3rd edition. Mnichov: Hanser Publishers, 2016 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-1-56990-596-8. Dostupné z: Bonenberger, Paul R.. (2016). First Snap-Fit Handbook - Creating and Managing Attachments for Plastics Parts (3rd Edition). Hanser Publishers. Online version available at:
- [39] *Engineering plastics* [online]. London: Smithers Rapra, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-184-7355-683. Dostupné z:

- <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEP000001/engineering-plastics/engineering-plastics>
- [40] EMBLETON, William. *Reed's applied mechanics for engineers* [online]. 5. ed., repr. London: Adlard Coles Nautical, 2005 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-071-3672-589. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRCEME002/reeds-applied-mechanics/reeds-applied-mechanics>
- [41] RAUWENDAAL, Chris. *Polymer extrusion* [online]. 5th edition. Michov: Hanser Publishers, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-1-56990-539-5. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPEE00022/polymer-extrusion-5th/polymer-extrusion-5th>
- [42] Dynamika, měření součinitele tření. *Gymnázium a střední odborná škola Frýdek-Místek-Cihelní 410* [online]. Frýdek-Místek, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://stary.gsos.cz/man/fyz/pk.Z-LP.5-1-Dynamika,%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20sou%C4%8Dinitele%20t%C5%99en%C3%AD.pdf>
- [43] FyzWeb - Měření smykového tření. *FyzWeb* [online]. Praha: Katedra didaktiky fyziky MFF UK v Praze, 2010 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://fyzweb.cz/clanky/img/00149/graf1.jpg>
- [44] RAGHAVENDRA, N.V. a L. KRISHNAMURTHY. *Engineering metrology and measurements* [online]. New Delhi: Oxford University Press, 2013 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-019-8085-492. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEMM00002/engineering-metrology/engineering-metrology>
- [45] BY ERIK OBERG ... [ET AL.], a editor, CHRISTOPHER J. MCCAULEY. *Machinery's handbook: a reference book for the mechanical engineer, designer, manufacturing engineer, draftsman, toolmaker, and machinist* [online]. 27th ed. New York: Industrial Press, 2004 [cit. 2017-04-20]. ISBN 08-311-2711-2. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMHEGMH0B/machinerys-handbook-27th/machinerys-handbook-27th>
- [46] PETŘKOVSKÁ, Lenka. *11. přednáška Měření drsnosti povrchu*. Ostrava, 2008.



Dostupné také z: <http://slideplayer.cz/slide/3721093/12/>

- [47] SMOLKA, Petr. *Povrchové napětí, povrchová energie*. Zlín, 2015.
- [48] Interfacial-tensions. *WEISTRON* [online]. Irvine, 2014 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.weistron.com/attachments/Image/interfacial-tensions.jpg?template=generic>
- [49] Wetting. *WEISTRON* [online]. Irvine, 2014 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.weistron.com/attachments/Image/wetting.jpg?template=generic>
- [50] Contact Angle Meter. *WEISTRON* [online]. Irvine, 2014 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.weistron.com/products/contact-angle-meter/>
- [51] MCKEEN, Laurence. *Fluorinated coatings and finishes handbook: the definitive user's guide* [online]. Druhé. United Kingdom: Elsevier, 2016 [cit. 2017-04-20]. ISBN 978-0-323-37126-1. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFCFHTD07/fluorinated-coatings/fluorinated-coatings>
- [52] *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber* [online]. United Kingdom: Elsevier, 2014 [cit. 2017-04-20]. ISBN 9780857096913. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCMANR006/chemistry-manufacture/chemistry-manufacture>
- [53] *ASTM F88/F88M - 15 Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials*. United States: ASTM International, 2015.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

LDPE	Nízkohustotní polyethylen.
HDPE	Vysokohustotní polyethylen.
VLDPE	Velmi nízkohustotní polyethylen.
OPP	Orientovaný polypropylen.
μ	Mikro.
iPP	Isotaktický polypropylen.
PET	Polyethylentereftalát.
PC	Polykarbonát.
PEN	Polyethylnaftalát.
boPET	Biaxiálně orientovaný polyethylentereftalát.
GP	Gigapascal.
ITT	Index toku taveniny.
PA	Polyamid.
PLA	Polymléčná kyselina.
PS	Polystyren.
PE	Polyethylen.
PVAc	Polyvinylacetát.
PUR	Polyuretan.
EVA	Ethylen vinyl acetát.
kHz	Kilohertz.
MHz	Megahertz.
GHz	Gigahertz.
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý.
UHT	Ultra high temperature.

LTLT	Long temperature, long time.
HTST	High temperature, short time.
UP	Ultra pasterizace.
MPa	Megapascal.
kV	Kilovolt.
cm	Centimetr.
mm	Milimetr.
min	Minuta.
N	Newton.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 - Strukturní vzorek polyethyltereftalátu [7]</i> .....	16
<i>Obrázek 2 - Schéma výroby biaxiálně orientovaných fólií [14]</i> .....	29
<i>Obrázek 3 - Fólie biaxiálně orientovaného polyethyltereftalátu [20]</i> .....	31
<i>Obrázek 4 - Třívrstvá fólie</i> .....	34
<i>Obrázek 5 – Ionizace plynu v plazmareктору [29]</i> .....	37
<i>Obrázek 6 - Schematické znázornění koróny [28]</i> .....	40
<i>Obrázek 7 - Metalizovaná fólie (laminát)</i> .....	42
<i>Obrázek 8 – Smykové tření</i> .....	44
<i>Obrázek 9 – Nakloněná rovina</i> .....	45
<i>Obrázek 10 - Uspořádání metody trhacího stroje [37]</i> .....	46
<i>Obrázek 11 - Grafické znázornění závislosti síly na čase [43]</i> .....	48
<i>Obrázek 12 - Vyjádření parametru Ra [46]</i> .....	48
<i>Obrázek 13 - Vyjádření parametru Rz [44]</i> .....	49
<i>Obrázek 14 - Vyjádření parametru <math>h_{RMS}</math> [44]</i> .....	49
<i>Obrázek 15 - Taylor-Hobsonova metoda [44]</i> .....	51
<i>Obrázek 16 - Kontaktní úhel smáčení [48]</i> .....	53
<i>Obrázek 17 - Smáčené vs. nesmáčení povrchy [49]</i> .....	53
<i>Obrázek 18 - Hystereze dynamického kontaktního úhlu [50]</i> .....	55
<i>Obrázek 19 - Tři techniky provedení peel testu podle normy ASTM F88/F88M [53]</i> .....	56
<i>Obrázek 20 - Závislosti tloušťek fólií na hmotnostní koncentraci akrylátové disperze fólií s aditivem</i> .....	81
<i>Obrázek 21 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze</i> .....	84
<i>Obrázek 22 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové polymerní disperze pro kombinaci horní plocha + horní plocha</i> .....	89
<i>Obrázek 23- Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci horní plocha + horní plocha</i> .....	90
<i>Obrázek 24 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci spodní plocha + spodní plocha</i> .....	90
<i>Obrázek 25- Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro kombinaci spodní plocha + spodní plocha</i> .....	91
<i>Obrázek 26 - Závislost statických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro fólie bez aditiva</i> .....	94

<i>Obrázek 27 - Závislost dynamických koeficientů tření na koncentraci akrylátové disperze pro fólie bez aditiva.....</i>	<i>95</i>
<i>Obrázek 28 - Ukázka grafu závislosti zatížení na protažení při peel testu.....</i>	<i>100</i>
<i>Obrázek 29 - Závislost maximální síly na době pasterace - srovnání.....</i>	<i>100</i>
<i>Obrázek 30 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání.....</i>	<i>103</i>
<i>Obrázek 31 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání.....</i>	<i>106</i>
<i>Obrázek 32 - Závislost maximální síly na použité technice – srovnání.....</i>	<i>108</i>
<i>Obrázek 33 - Závislost maximální síly při odlepení na době pasterace.....</i>	<i>112</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 - Nejčastěji používané typy laminátů v potravinářském průmyslu [10]</i> .....	20
<i>Tabulka 2 - Smáčené vs. nesmáčené povrchy [49]</i> .....	54
<i>Tabulka 3 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině ve směru odtahu, fólie s aditivem</i> .....	59
<i>Tabulka 4 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině kolmo k odtahu, fólie s aditivem</i> .....	60
<i>Tabulka 5 - Hodnoty statických koeficientů tření pro sáně Polymertest na automatizované nakloněné rovině, fólie bez aditiva</i> .....	61
<i>Tabulka 6 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie s aditivem ve směru odtahu</i> .....	62
<i>Tabulka 7 – Shrnutí Tabulka 6</i> .....	62
<i>Tabulka 8 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie s aditivem kolmo k odtahu</i> .....	63
<i>Tabulka 9 – Shrnutí Tabulka 8</i> .....	63
<i>Tabulka 10 - Hodnoty koeficientů tření pro Instron sáně na Instron trhacím stroji, fólie bez aditiva</i> .....	64
<i>Tabulka 11 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhacím stroji, fólie s aditivem ve směru odtahu</i> .....	65
<i>Tabulka 12 – Shrnutí Tabulka 11</i> .....	65
<i>Tabulka 13 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhacím stroji, fólie bez aditiva kolmo k odtahu</i> .....	66
<i>Tabulka 14 – Shrnutí Tabulka 13</i> .....	66
<i>Tabulka 15 - Hodnoty koeficientů tření pro vyrobené sáně na Instron trhacím stroji, fólie bez aditiva</i> .....	67
<i>Tabulka 16 - Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhacího stroje Instron, fólie s aditivem ve směru odtahu</i> .....	67
<i>Tabulka 17 – Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhacího stroje Instron, fólie s aditivem kolmo k odtahu</i> .....	68
<i>Tabulka 18 - Porovnání koeficientů tření obou sání metodou trhacího stroje Instron, fólie bez aditiva</i> .....	69
<i>Tabulka 19 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na horní straně plochy fólie ve směru odtahu</i> .....	70

<i>Tabulka 20 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na spodní straně plochy fólie ve směru odtahu .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 21 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na horní straně plochy fólie kolmo k odtahu .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 22 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro aditivované fólie na spodní straně plochy fólie kolmo k odtahu .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 23 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro fólie bez aditiva ve směru odtahu .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka 24 - Hodnoty průměru drsnosti a průměrné výšky pro fólie bez aditiva kolmo k odtahu .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabulka 25 - Shrnutí měření drsnosti .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 26 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro Ra a Rz.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 27 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro Ra a Rz.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 28 - Statické kontaktní úhly akrylátové disperze pro folii bez aditiva.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 29 - Statické kontaktní úhly akrylátové disperze pro folii s aditivem.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 30 - Tloušťky fólií s aditivem a bez aditiva bez nánosu akrylátové polymerní disperze.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 31- Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka 32 - Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 33 - Tloušťky fólií s aditivem s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 34 – Test rovnosti dvou středních hodnot pro tloušťky nánosů.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabulka 35 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabulka 36 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 37 - Tloušťky fólií bez aditiva s nánosem akrylátové polymerní disperze .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 38 – Test dvou středních hodnot pro tloušťky nánosů .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabulka 39 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabulka 40 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabulka 41 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabulka 42 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron .....</i>	<i>87</i>

<i>Tabulka 43 - Výsledky měření koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	87
<i>Tabulka 44 - Souhrn výsledků koeficientů tření fólií s aditivem na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	88
<i>Tabulka 45 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	92
<i>Tabulka 46 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	92
<i>Tabulka 47 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	93
<i>Tabulka 48 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	93
<i>Tabulka 49 - Výsledky měření koeficientů tření fólií bez aditiva na Instron sáních pomocí trhačího stroje Instron</i> .....	94
<i>Tabulka 50 - Označení testovaných laminátů</i> .....	96
<i>Tabulka 51 - Testování laminátů bez pasterace</i> .....	97
<i>Tabulka 52 - Testování laminátů ihned po pasteraci</i> .....	98
<i>Tabulka 53 - Testování laminátů týden po pasteraci</i> .....	98
<i>Tabulka 54 - Testování laminátů měsíc po pasteraci</i> .....	99
<i>Tabulka 55 - Testování laminátů dva měsíce po pasteraci</i> .....	99
<i>Tabulka 56 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	101
<i>Tabulka 57 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	101
<i>Tabulka 58 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	102
<i>Tabulka 59 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování 100 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	103
<i>Tabulka 60 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí 200 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	103
<i>Tabulka 61 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí 200 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	104
<i>Tabulka 62 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí 200 mm.min<sup>-1</sup></i> .....	105



<i>Tabulka 63 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování 200 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>105</i>
<i>Tabulka 64 - Testování laminátů bez pasterace technikou bez podpory rychlostí 300 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabulka 65 - Testování laminátů bez pasterace technikou 90 ° rychlostí 300 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabulka 66 - Testování laminátů bez pasterace technikou 180 ° rychlostí 300 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabulka 67 - Srovnání technik bez pasterace rychlostí odlupování 300 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>108</i>
<i>Tabulka 68 - Srovnání technik rychlostí odlupování bez pasterace .....</i>	<i>109</i>
<i>Tabulka 69 - Testování laminátů ihned po pasteraci technikou 90 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>109</i>
<i>Tabulka 70 - Testování laminátů den po pasteraci technikou 90 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>110</i>
<i>Tabulka 71 - Testování laminátů týden po pasteraci technikou 90 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>111</i>
<i>Tabulka 72 - Testování laminátů měsíc po pasteraci technikou 90 ° rychlostí 100 mm.min<sup>-1</sup> .....</i>	<i>111</i>