

# **Moderní etiketovací lepidla - vlastnosti a možnosti modifikace**

Bc. Pavel Jurčík

---

Diplomová práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Pavel Jurčík</b>
Osobní číslo:	<b>T20037</b>
Studijní program:	<b>N0788A270002 Výrobní inženýrství</b>
Specializace:	<b>Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů</b>
Forma studia:	<b>Kombinovaná</b>
Téma práce:	<b>Moderní etiketovací lepidla – vlastnosti a možnosti modifikace</b>

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši na dané téma, jak v časopisech, tak i případně v patentech.
2. Na základě získaných informací ohledně druhu materiálů a požadovaných vlastností navrhnete a připravte zkonzultované typy lepidel a proměřte jejich vlastnosti.
3. Stanovte míru souhlasu s reálnými požadavky a možnost aplikace vybraného lepidla.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. Briš, Petr, Kuběna, Jiří, Štrkaň, Jan, Lepení v praxi, Praha : Grada Publishing, 2017, ISBN 9788027102471
2. Ebnasajjad, Sina, Adhesives technology handbook, Norwich : William Andrew, c2008, ISBN 9780815515333 1-800-932-7045
3. Thomas Sabu, Polymer composites, Weinheim : Wiley-VCH, c2012-2014, ISBN 9783527329854
4. Kozlov, Georgij Vladimirovič (Editor), Mikitajev, Abdulach Kasbulatovič, 1942- (Editor), Zaikov, Gennadij Jefremovič, 1935- (Editor), Polymer and composites theory and practical applications, New York : Nova Science Publishers, c2011, ISBN 9781617610370

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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 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 diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou lepidel vhodných k etiketování skleněných lahví a obalů v potravinářském průmyslu, jejich aplikací a parametry, které tato lepidla vykazují.

Teoretická část práce je zaměřena na komplexní rešerši dané problematiky, počínaje rozdělením používaných lepidel v obalovém průmyslu, základy teorie lepení a chování lepidel při nanášení, až po jejich vlastnosti a parametry, které jsou běžně uváděny v technických listech.

V praktické části bylo připraveno několik vzorků lepidel pro zmíněnou aplikaci s rozdílným složením, u kterých byly následně měřeny klíčové parametry a vlastnosti. Nejdůležitější vlastnosti jako viskozita, odolnost vůči kondenzační vodě, odolnost lepidla v přímém kontaktu s ledovou vodou a také přilnavost čerstvého lepidla byly porovnány s reálnými lepidly používanými v praxi.

Klíčová slova: lepidla, etiketovací lepidla, etiketování lahví, Henkel, Paramelt

## ABSTRACT

This diploma thesis deals with the issue of adhesives suitable for labelling glass bottles and packaging in the food industry, their applications, and the parameters that these adhesives exhibit.

The theoretical part of the work is focused on a comprehensive search of the issue, starting with the distribution of adhesives used in the packaging industry, the basics of bonding theory and adhesive behavior during application to their properties and parameters that are commonly listed in technical sheets.

In the practical part, several samples of adhesives were prepared for the mentioned application with different composition, for which key parameters and properties were subsequently measured. The most important properties such as viscosity, resistance to condensation water, resistance of the adhesive in direct contact with ice water and also the adhesion of fresh adhesive were compared with real adhesives used in practice.

Keywords: Adhesives, Labeling adhesives, Bottle labeling, Henkel, Paramelt

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Dagmar Měřínské, Ph.D. za vstřícnost a pochopení, velmi odborné vedení a také za konstruktivní připomínky a rady, které mi poskytovala při vedení diplomové práce.

Poděkování patří také paní Jeanetě Zieglerové za její ochotu a poskytnutí potřebných znalostí z tohoto odvětví a v neposlední řadě i dalším externím firmám, které byly ochotné zodpovědět mé dotazy a poskytnout jejich výrobky pro přípravu vzorků.

„Za vším je jedna jednoduchá myšlenka.“

Bc. Pavel Jurčík

**OBSAH**

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>LEPENÍ CELOSVĚTOVĚ.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>LEPIDLA PRO OBALOVÝ PRŮMYSL.....</b>	<b>14</b>
2.1	ZASTOUPENÍ LEPIDEL V OBALOVÉM PRŮMYSLU .....	15
2.2	LEPIDLA NA VODNÍ BÁZI A JEJICH ZÁKLADNÍ SLOŽKY .....	16
2.3	LEPIDLA NA ROZPOUŠTĚDLOVÉ BÁZI.....	20
2.4	LEPIDLA TVOŘENA ZE 100 % PEVNOU SLOŽKOU .....	21
<b>3</b>	<b>PROBLEMATIKA LEPENÍ.....</b>	<b>23</b>
3.2	POVRCHOVÉ NAPĚTÍ .....	25
3.3	KONTAKTNÍ ÚHEL A JEHO VYJÁDRĚNÍ .....	25
3.4	SMÁČENÍ PEVNÉHO POVRCHU .....	26
3.5	HYSTEREZE KONTAKTNÍHO ÚHLU.....	28
3.6	VLIV DRSNOSTI POVRCHU NA KONTAKTNÍ ÚHEL .....	29
3.7	METODY MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU .....	31
3.8	ADHEZE, KOHEZE, KOEFICIENT ROZESTÍRÁNÍ .....	32
3.9	HYDROFOBNÍ CHOVÁNÍ LEPIDEL .....	34
3.10	ETIKETOVACÍ PAPÍR A JEHO PARAMETRY.....	35
3.11	ZKOUŠKY A KONTROLA ETIKETOVACÍHO PAPÍRU .....	36
<b>4</b>	<b>APLIKACE A PARAMETRY ETIKETOVACÍCH LEPIDEL.....</b>	<b>38</b>
4.1	APLIKACE LEPIDLA PŘI ETIKETOVÁNÍ.....	38
4.2	POŽADAVKY NA ETIKETOVACÍ LEPIDLA .....	40
4.3	ZÁKLADNÍ FORMULACE MODERNÍCH ETIKETOVACÍCH LEPIDEL.....	41
4.4	KONTROLA A KVALITA ETIKETOVACÍCH LEPIDEL .....	43
4.5	DYNAMICKÁ VSKOZITA .....	44
4.6	ADHEZNÍ PEVNOST MOKRÉHO LEPIDLA .....	45
4.7	ODLUPOVACÍ TEST .....	45
4.8	ODOLNOST LEPIDLA VŮČI KONDENZAČNÍ VODĚ .....	46
4.9	ODOLNOST LEPIDLA VŮČI LEDOVÉ VODĚ.....	46
<b>5</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>48</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÉ SUROVINY.....</b>	<b>50</b>
6.1	POUŽITÉ SUROVINY PRO PŘÍPRAVU VZORKŮ.....	50
<b>7</b>	<b>PŘÍPRAVA VZORKŮ.....</b>	<b>51</b>

7.1	NAVÁŽKY A PŘÍPRAVA JEDNOTLIVÝCH SUROVIN .....	51
7.2	POUŽITÉ MÍCHACÍ ZAŘÍZENÍ .....	55
7.3	SLOŽENÍ A PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	56
7.3.1	Lepidla s obsahem škrobu .....	56
7.3.2	Lepidla s obsahem PVA.....	57
7.3.3	Lepidla s obsahem škrobů a PVA .....	58
<b>8</b>	<b>MĚŘENÍ PARAMETRŮ PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ.....</b>	<b>61</b>
8.1	VZHLED JEDNOTLIVÝCH LEPIDEL .....	61
8.2	MĚŘENÍ HODNOTY PH .....	63
8.3	MĚŘENÍ DYNAMICKÉ VISKOZITY .....	64
8.4	STANOVENÍ OBSAHU SUŠINY .....	68
8.5	NANÁŠENÍ LEPIDEL .....	71
8.6	VYMÝVÁNÍ ČERSTVÉHO LEPIDLA PŘI ÚPLNÉM KONTAKTU S VODOU.....	72
8.7	ODOLNOST LEPIDLA VŮČI KONDENZAČNÍ VODĚ .....	74
8.8	ODOLNOST LEPIDLA VŮČI LEDOVÉ VODĚ.....	83
8.9	MODIFIKACE VZORKŮ POMOCÍ ADITIVA .....	87
8.10	POROVNÁNÍ PŘILNAVOSTI POMOCÍ ODLUPOVACÍHO TESTU.....	88
<b>9</b>	<b>ZÁVĚREČNÁ DISKUZE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>102</b>



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## ÚVOD

Téma diplomové práce se zabývá problematikou etiketovacích lepidel – jejich vlastnostmi a možnostmi modifikace.

Etiketovací lepidla jsou používána již po několik desetiletí. Jejich aplikace však nemusí být pro širokou veřejnost známá, ale můžeme se s nimi setkat v každodenním životě, například při nakupování potravin v supermarketech. Pokud bychom se při nakupování zaměřili na výrobky, u kterých mohou být použita zmíněná etiketovací lepidla, zjistíme, že se jedná o většinu balených potravin a nápojů. Mimo potraviny najdou tato lepidla své uplatnění také v průmyslových odvětvích při označování různých druhů kovových a plastových obalů, například pro stavebnictví či zahradu a hobby dílny.

V dřívějších dobách nebyly na etiketovací lepidla kladeny tak vysoké nároky jako v dnešní moderní době. Známé tvrzení „špatná reklama, taky reklama“ však pro toto odvětví není vůbec dobrou vizitkou dané značky. Představa, že majitel výrobní firmy, která své výrobky dodává do regálů většinou supermarketů, uvidí své produkty s odpadlými či jinak znehodnocenými etiketami, je jistě noční můrou. Požadavky na kvalitu etiketovacích lepidel tak rostou například se změnami klimatických podmínek, a je tedy nutná jejich modifikace.

Nejčastějšími problémy spojeným s klimatickými podmínkami je náhlé střídání teplot a obsahu vzdušné vlhkosti. Proto je nutné etiketovací lepidla modifikovat tak, aby tyto náhlé výkyvy bez problému překonaly.

Tato diplomová práce je zaměřená na přípravu vzorků lepidel vhodných k použití v tomto odvětví a následné porovnání jejich vlastností a parametrů s komerčně dostupnými lepidly používanými v praxi.

## 1 LEPENÍ CELOSVĚTOVĚ

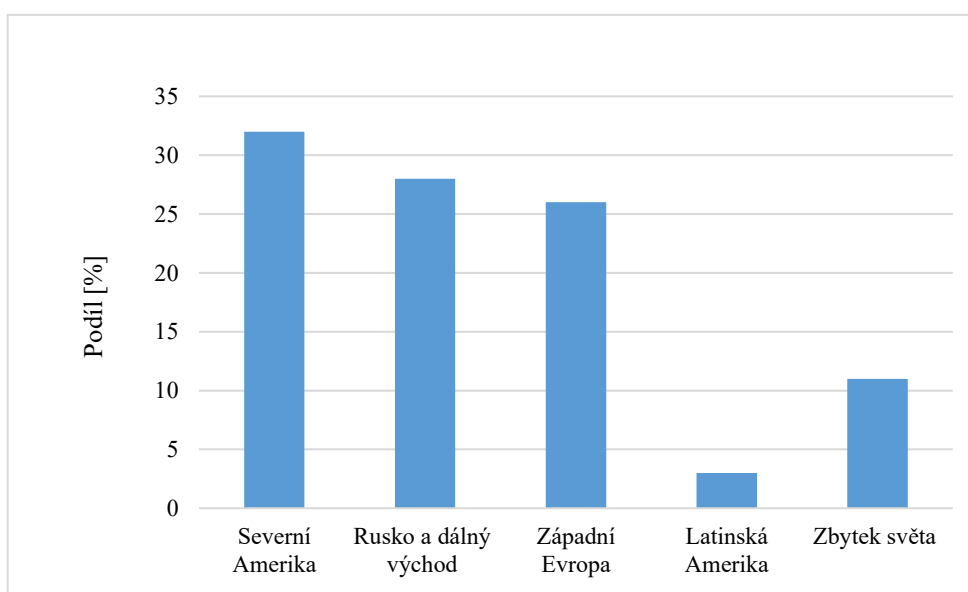
Lepidla se používají po tisíce let, ale ještě před 100 lety byla velká většina vyráběna z přírodních produktů, jako jsou kosti, kůže, ryby, mléko a rostliny. Přibližně od roku 1900 byla zavedena lepidla na bázi syntetických polymerů a dnes existuje mnoho průmyslových použití lepidel a tmelů. Je těžké si představit produkt – v domácnosti, v průmyslu, v dopravě nebo kdekoli jinde – který nějakým způsobem nepoužívá lepidla nebo tmely. [1] [2]

Lepené spoje jsou v rámci strojírenských aplikací alternativou mechanických spojů a poskytují mnoho výhod oproti konvenčním mechanickým spojovacím prvkům. Poskytují rovnoměrnější rozložení napětí podél lepené oblasti, což umožňuje dosáhnout vyšší tuhosti a přenosu zatížení, zároveň snižují hmotnost a tím i náklady na samotnou výrobu spoje. Díky polymerní povaze lepidla poskytují lepené spoje dobré tlumící vlastnosti, které také umožňují vysokou únavovou pevnost. Lepidla mohou spojovat různé materiály s různými koeficienty tepelné roztažnosti, protože flexibilita lepidla může tento rozdíl kompenzovat. Lepidla mají pevnost výrazně nižší než kovy; při použití k lepení tenkých desek s velkou nosnou plochou je však lepicí síla dostatečná i pro konstrukční aplikace. Aplikace lepidla může být velmi efektivní, protože je snadné vytvořit automatizovaný proces nanášení. [3]

Lepení je také spojeno s některými nevýhodami, které ponechávají prostor pro další technologický výzkum a vývoj. Je nutné snížit namáhání při odlupování a štěpení, protože tyto faktory koncentrují zátěž na malou plochu, což může způsobovat špatnou pevnost spoje. Mají omezenou odolnost vůči extrémním teplotním a vlhkostním podmínkám v důsledku polymerní povahy lepidla. Lepený spoj obvykle není možné použít okamžitě, což vyžaduje použití nástrojů k udržení lepených substrátů na místě, dokud nedojde k zafixování spoje. Mimo jiné vyžaduje vytvrzování některých druhů lepidel zvýšenou teplotu, z čehož plyne velká ekonomická nevýhoda. Pro dosažení dobré mezifázové pevnosti a trvanlivého spoje je nezbytná pečlivá příprava povrchu, jako je čištění rozpouštědly, mechanické očištění nebo chemické úpravy. Kontrola kvality je obtížnější než u mechanických spojovacích prvků, protože není možné rozebrat lepený spoj. Nyní je však k dispozici celá řada nedestruktivních zkoušek, které tuto kontrolu kvality usnadňují. Návrh spoje bývá v mnoha případech složitý, jelikož neexistují jednoduchá pravidla jako v případě šroubů, nýtů nebo svařování, a konstruktéři této technice stále nedůvěřují, zejména pokud jde o dlouhodobou pevnost. Pro získání dobrých výsledků s technologií lepení je tedy nutné mít znalosti v různých vědách včetně povrchové chemie, chemie a fyziky polymerů, materiálového inženýrství, strojního inženýrství atd. [2] [4]

V dnešní době je lepení nepostradatelnou technologií pro trvalé spojení dvou nebo více substrátů v průmyslovém i soukromém použití. Výsledné vícekomponentní materiály často usnadňují výrobu inovativních produktů. Celosvětová poptávka po lepidlech se v roce 2007 odhadovala na 11 milionů tun. Graf 1 zobrazuje spotřebu lepidel na jednotlivých kontinentech.

Pro lepší představu o spotřebě lepidel bylo jen v sousedním Německu v roce 2007 spotřebováno téměř 800 000 tun lepidel (v hodnotě téměř 1,5 miliardy EUR) a tento trend roste. [2]

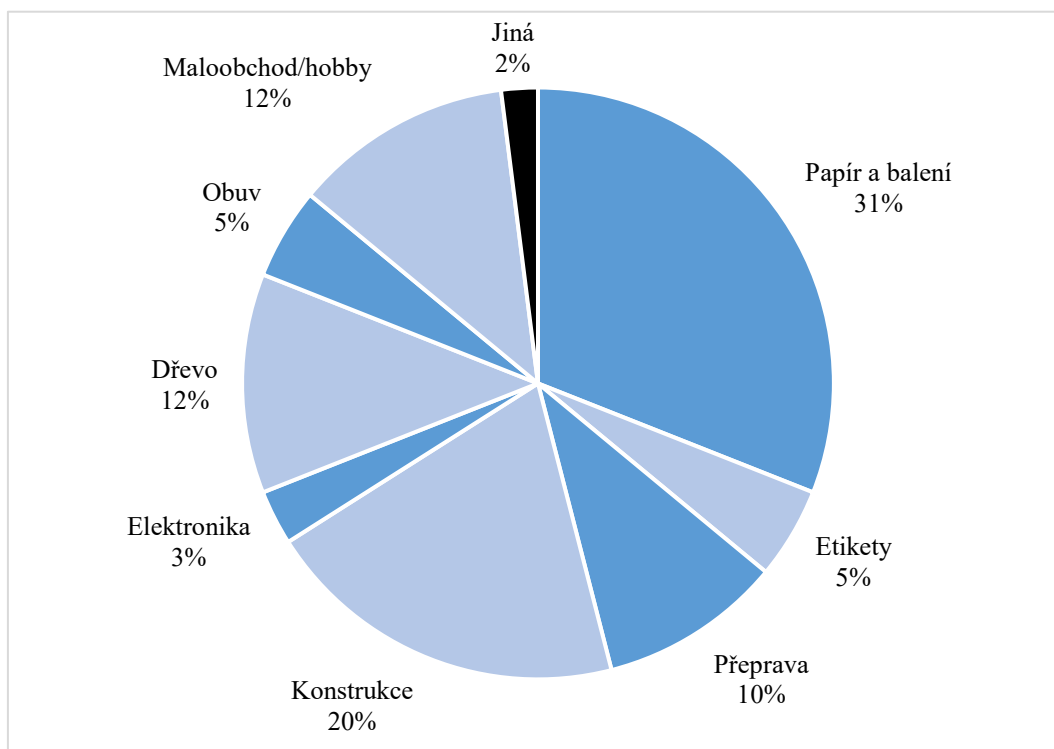


Graf 1 Regionální rozdělení poptávky po lepidlech v roce 2007  
(100 % odpovídá 11 milionů tun) [2]

Výrobci lepidel nabízejí více než 25 000 různých produktů pro všechny druhy aplikací, přizpůsobené téměř každému účelu. Z hlediska chemické a aplikační technologie je oblast lepidel a tmelů extrémně diverzifikovaná. [2]

Aplikace související s lepením jsou dnes velmi rozmanité a lze je nalézt prakticky ve všech typech průmyslu. Díky zavádění kompozitních materiálů do výroby jsou lepidla velmi často používána v leteckém průmyslu. Velký potenciál mají lepidla i v rámci železničního a automobilového průmyslu při výrobě lehčích vozidel. Rozvíjející se obory, jako je biologie a medicína, také využívají vyvíjející se procesy založené na buněčné adhezi a adhezi proteinů na površích, což jsou důležité otázky například v oblasti biokompatibility materiálů pro protetiku, umělé orgány a chirurgická lepidla. [5]

Různé oblasti použití lepidel jsou znázorněny v grafu 2. Převážnou část lepidel spotřebuje papírenský a obalový průmysl, kde většina obalů je sériový výrobek pro jednorázové či opakované použití. [5]



Graf 2 Oblasti použití lepidel [2]

## 2 LEPIDLA PRO OBALOVÝ PRŮMYSL

Lepidla jsou kritická pro strukturu většiny obalů, ať už jsou aplikována během procesu předvýroby konkrétních obalů, nebo při balení hotového finálního produktu na balicí lince. Výběr vhodného lepidla je důležitý, musí být zajištěno, že balení bude splňovat kritéria výkonu v celém výrobním, distribučním a maloobchodním řetězci a spotřebitelském použití. Z hlediska výroby může volba lepidla významně ovlivnit efektivitu linky a výkon výroby. Lepidla jsou zásadní pro výkon balení a je důležité porozumět základním principům jejich fungování, jak dosáhnout nejlepšího výkonu při používání a jak řešit problémy s adhezí. [3]

Jak již bylo zmíněno, lepidla existují v mnoha formách a typech, a výběr bude určován podle lepených substrátů („adherentů“), strojního zařízení používaného v procesu a dalších faktorů, například potenciálního požadavku na materiály bezpečné pro potraviny. Většina lepidel se aplikuje pomocí speciálně navrženého strojního zařízení, což přidává další vrstvu složitosti do procesu výběru vhodného lepidla a vyžaduje tak lepidla se specifickými vlastnostmi, aby odpovídala provozním parametrům zařízení. V některých případech jsou lepidla navržena speciálně pro konkrétní typ nebo model stroje. Lepidla v obalovém průmyslu mohou být dodávána přímo výrobcem lepidla pro výrobce obalů nebo ke konečnému použití ve výrobě při etiketování či balení hotových výrobků. [4]

Lepidla pro obalový průmysl mohou být rozdělena podle zpracovatele do dvou následujících skupin.

### **Lepidla pro zpracování přímo výrobcem hotového produktu:**

- tavná lepidla využívána pro skládání a uzavírání obalů, kartonů apod.
- disperzní lepidla k etiketování plechovek, lahví a dalších typů obalů
- disperzní nebo tavná lepidla pro uzavírání obalů a v některých případech i vytváření obalů, sáčků pro cukr.

### **Lepidla pro zpracování při výrobě obalů:**

- výrobci krabic a kartonových obalů
- výrobci papírových sáčků a obalů
- výroba slámek a brček
- výroba samolepicích pásek a etiket. [3] [4]

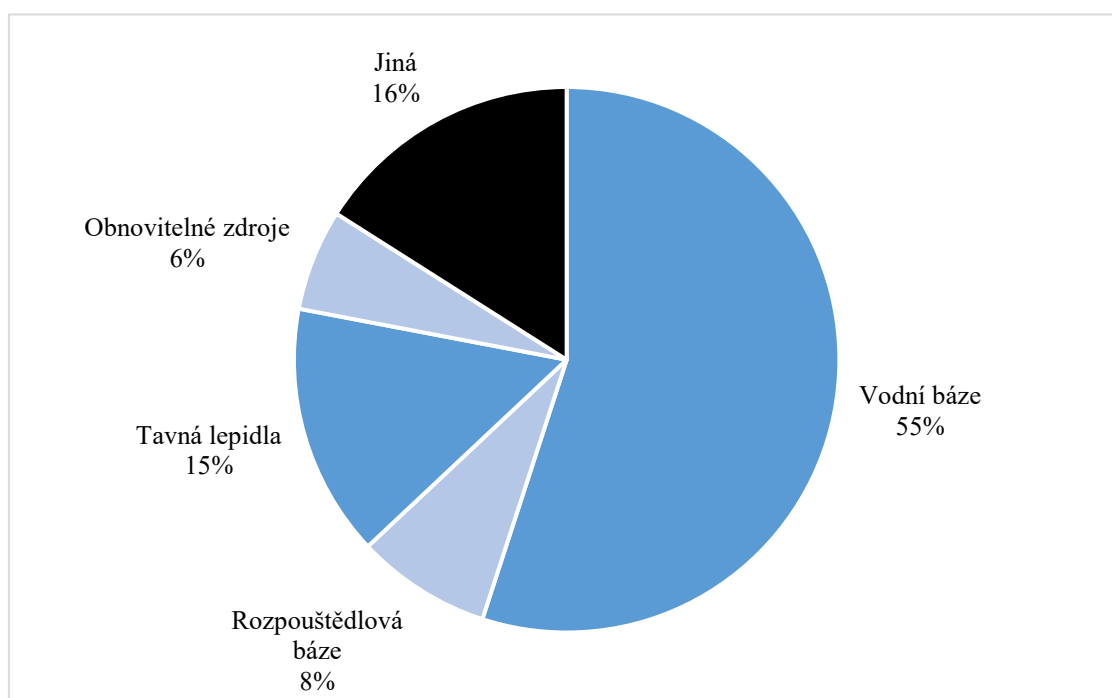
## 2.1 Zastoupení lepidel v obalovém průmyslu

Používaná lepidla lze klasifikovat podle několika kritérií. Níže jsou lepidla rozdělena podle skupenství na kapalné disperze nebo emulze, které se dále dělí podle nosiče na vodní a rozpouštědlová. Poslední kategorie obsahuje lepidla bez nosičů, které se vyskytují jako 100% pevné látky. Lepidla vhodná pro etiketování obalů a lahví spadají právě do kategorií disperzí a emulzí na vodní bázi a tyto kategorie jsou tak podrobněji rozebrány v další kapitole. [4]

Disperze nebo emulze na vodní bázi zahrnují přírodní složky jako je škrob a jeho deriváty, kasein, latex (převážně pro lepidla vyráběná za studena), poté pak syntetické emulzní systémy obsahují polyvinylacetát, polyvinylalkohol, akryláty, a kromě toho může tento sortiment zahrnovat močovinoformaldehydová a fenolová lepidla a pryskyřice.

Disperze na bázi rozpouštědel, ve kterých je z větší části nosičem organické rozpouštědlo – do této kategorie spadají látky jako je polyvinylacetát, polyuretan, polyestery, polyethery, akrylové kopolymery.

Lepidla tvořena ze 100 % pevnou složkou, které nemají žádné rozpouštědlo jako nosič. Mezi tyto lepidla pak řadíme reaktivní kapaliny jako je polyuretan a tavná lepidla s obsahem kopolymerů ethylenu a vinylacetátu, polyolefiny, polyamidy. [3] [4]



Graf 3 Jednotlivé aplikační formy lepidel [2]

Trendy posledních několika let směřovaly ke snížení používání lepidel na bázi organických rozpouštědel ve prospěch lepidel na vodní bázi s vyšším obsahem pevných látek. Graf 3 zobrazuje procentuální rozdělení aplikačních forem lepidel. Nahrazení lepidel na bázi rozpouštědel má pozitivní dopady na životní prostředí a velký vliv na samotnou technologii lepení. Pokud jde o tavná lepidla, jejich vývoj zahrnoval možnost použití těchto lepidel v nižším rozsahu teplot při aplikaci, a tím docílení úspory elektrické energie spotřebované při ohřevu nad bod měknutí. Zatímco vývoj adhezivních materiálů mohl být velmi progresivní, jejich testování a změny v jednotlivých aplikacích postupují značně pomaleji kvůli potřebě investovat do nových aplikačních zařízení. [2] [3] [5]

## 2.2 Lepidla na vodní bázi a jejich základní složky

### Škrob a jeho deriváty

Škrob je komplexní polysacharid, který se přirozeně vyskytuje v rostlinné hmotě. Komerčně se používají škroby rostlinné z kukuřice, pšenice a brambor. Méně obvykle jsou škroby získané z rýže, tapioky a ságy. Kvalita škrobu (např. poměr amylozy vůči amylopektinu)

a velikost částic je ovlivněna zdrojem a samotným zpracováním. Výrobci lepidel následně upravují své výrobní procesy tak, aby pokryly tyto diference v kvalitě zpracovávaného škrobu. Škrobové granule suspendované ve studené vodě nemají žádné adhezivní vlastnosti a musí se proto rozpustit, obvykle zahříváním ve vodě s přídavkem solí nebo louhu. Granule nabobtnají a při teplotě želatínace, která se pohybuje v rozmezí 50 – 70 °C v závislosti na zdroji škrobu, se rozpustí za vzniku husté koloidní suspenze, která nyní funguje jako lepidlo. [4] [5] [6]

Nemodifikované škroby vyrobené tímto způsobem mají nízký obsah pevných látek a vysokou viskozitu, a musí být dále modifikovány, aby získaly stabilní reologické vlastnosti potřebné pro komerční aplikace. K modifikování může být použito alkalizační činidlo, které snižuje teplotu želatínace. Přidání kyseliny snižuje viskozitu, ale zachovává obsah pevných látek a například chemická oxidace pomocí chlornanu zlepšuje lepivost. Jedno z nejběžnějších použití škrobového lepidla je při výrobě vlnité lepenky. Vzhledem k velké spotřebě je v praxi běžné, že zvlňovací stroj připravuje škrobové lepidlo na místě (obrázek 1), přičemž škrob je dodáván v pytlích, velkoobjemových kontejnerech nebo cisternách. Škrobová lepidla jsou relativně levná, snadno dostupná v dobré kvalitě



a biologicky odbouratelná. Škrobové lepidlo dobrou tepelnou odolnost a různé přísady mohou pomoci k dosažení specifických výkonnostních vlastností, jako je močovinoformaldehydová pro zajištění dobré odolnosti proti vlhkosti a polyvinylalkohol nebo polyvinylacetát pro zlepšení odolnosti vůči studené vodě. Biocidní přísady se také používají k zamezení růstu plísní a degradaci připraveného lepidla. [4] [7] [8]



Obrázek 1 *Technologie pro přípravu škrobových lepidel (vlastní zdroj)*

Dextriny jsou deriváty škrobu, který je rozpouštěn kyselým nebo tepelným zpracováním a molekuly se poté polymerizují za vzniku vysoce rozvětvených struktur, které jsou rozpustné ve vodě, přičemž rozsah jejich rozpustnosti je určen předchozím zpracováním. K dispozici je široká škála dextrinových lepidel s různými viskozitami a aplikacemi, přičemž jsou možné modifikace pomocí různých přísad. Dextriny mají obecně vyšší obsah pevných látek než škrobová lepidla, v praxi to znamená, že obsahují méně vody, a tím pádem schnou rychleji a podporují tak vyšší rychlost linky. Kromě toho, že jsou vhodná pro lepení papírových materiálů, např. sáčků a ubrousků, lze je také použít při vysokorychlostním etiketování skleněných lahví a plechovek. [4] [6] [8]

## **Kasein**

Kasein je protein přítomný v mléce, který se stává rozpustným přidáním zásady ve vodě. Kaseinová lepidla mají agresivní lepivost a při aplikaci nejsou „vláknitá“. Mohou také absorbovat značné množství vody bez významné změny viskozity, díky čemuž jsou vhodné pro vysokorychlostní etiketování skleněných lahví a sklenic v chladných nebo vlhkých podmínkách, například při etiketování pivních lahví. Vyznačují se výbornou odolností vůči ledové vodě, což znamená, že etikety v chlazeném stavu z lahví nespadnou, ale lze je v případě potřeby odstranit namáčením v alkalickém roztoku, například na vratných skleněných lahvích. Nicméně kasein je vysoko nákladová surovina, která je stále dražší, a pro odvětví nápojů jsou nyní k dispozici alternativní možnosti lepidel bez obsahu kaseinu. Ty zahrnují škrobové formulace na vodní bázi modifikované různými polymery a pryskyřicemi, stejně jako zcela syntetické alternativy. [4] [7] [8]

## **Živočišné složky**

Živočišná lepidla jsou proteinová lepidla získána z kostí, kůže nebo krve a mnoho starověkých artefaktů v muzeích poukazuje na jejich dlouhodobé používání. Jsou většinou pevná při pokojové teplotě a dispergují se ve vodě, aby se získal požadovaný obsah pevných látek, a následně se nanášejí při mírně zvýšené teplotě válečkem nebo stíráním pomocí stěrky a v některých případech mohou být také stříkána. Počáteční lepivost nastává, když teplota klesne pod bod gelovatění, typicky okolo 25 °C. Jakmile dojde k odpaření vody, dochází k vytvoření konečné vazby. Živočišná lepidla jsou v dnešní době spíše vzácností a ve většině případů jsou již plně nahrazena škrobovými či syntetickými lepidly. [4] [7] [8]

## **Polyvinylacetát (PVA)**

Tato syntetická emulzní lepidla na vodní bázi jsou dobře známá jako „bílá lepidla“ používaná v obalovém průmyslu pro aplikace, jako je boční spojování kartonů, uzavírání kartonů, výroba sáčků a mnoho dalších. Přesněji řečeno, jsou to spíše disperze než emulze, ve kterých jsou nerozpustné polymery (dispergovaná fáze) rovnoměrně distribuovány ve vodě (kontinuální fáze). Tato rovnoměrná distribuce je dosažena použitím ochranného koloidu, který účinně obklopuje pevné polymerní řetězce a udržuje je ve stabilním stavu ve vodním nosiči. Vhodné koloidy zahrnují hydroxyethylcelulózu a polyvinylalkohol, který má také povrchově aktivní vlastnosti a poskytuje stabilní formulace s dobrou smáčivostí. Obsah pevných látek je 50–70 %, a proto tato lepidla schnou rychleji než škrob a dextrin. Po aplikaci a odpaření dostatečného množství vody se emulze „rozbije“ a polymer vytváří

adhezní spoj. Tato „čerstvá“ adhezní vazba by měla být dostatečná k udržení substrátů na místě a k postupné fixaci spoje, způsobené dalším odpařováním vody. [4] [6] [7]

PVA lepidla jsou ideální pro použití se substráty na bázi celulózy, které snadno absorbují nosič vody. Jsou široce dostupné ve formulacích pro řadu aplikací, snadno se nanášejí pomocí konvenčních válečkových nebo tryskových aplikátorů a aplikační zařízení se snadno čistí. Při skladování nesmí zmrznout, protože by došlo k oddělení pevných a kapalných složek. [6] [8]



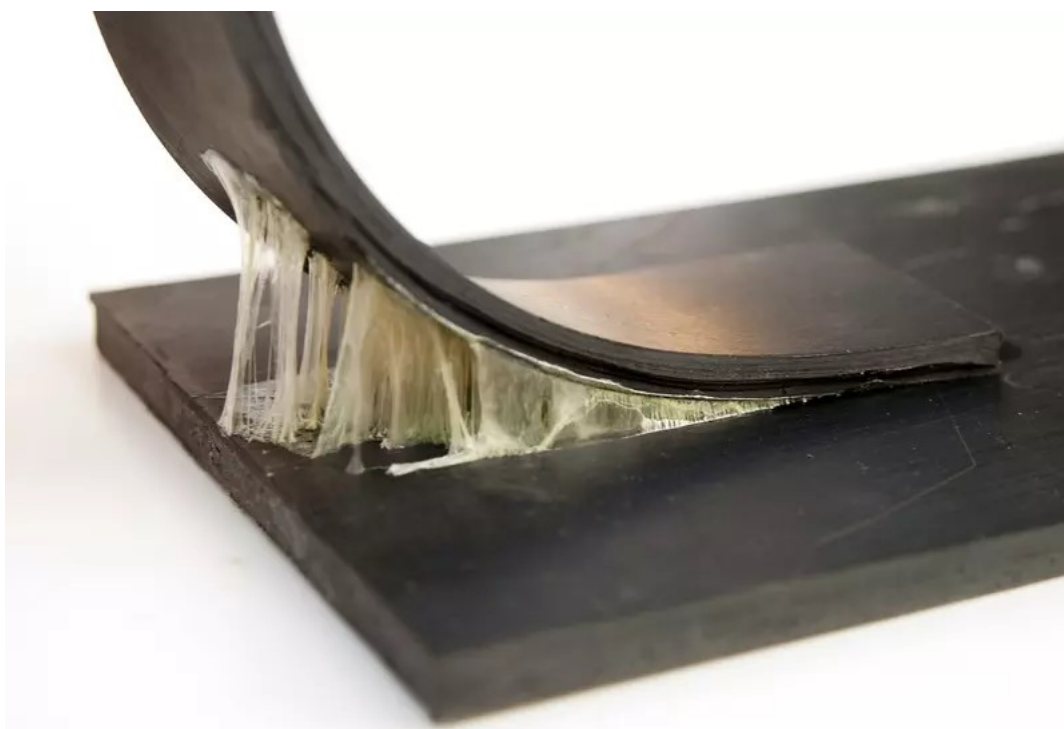
Obrázek 2 Podoba disperzních lepidel na vodní bázi (vlastní zdroj)

### Akryláty

Akrylátová lepidla jsou k dispozici jako emulze na vodní bázi a mohou být formulována tak, aby vyhovovala různým aplikacím, jako je: laminace polymerního materiálu na papír a lepenku za mokra; laminace polymerních materiálů za sucha; etikety a pásy citlivé na tlak. Jsou to relativně levná lepidla s nízkým zápachem na bázi akrylátů a mohou být zesíťovaná pro lepší tepelnou nebo chemickou odolnost. Mají tendenci být zvláště užitečné pro spojování materiálů s nízkou povrchovou energií, jako jsou polyolefiny. Při použití pro substráty na bázi celulózy jejich nízký obsah vody zabraňuje nadměrnému smáčení a tím bobtnání vláken ve srovnání s PVA. [4] [8]

### 2.3 Lepidla na rozpouštědlové bázi

Adhezivní systémy využívající organická rozpouštědla jako hlavní nosič byly v minulosti mnohem více používány než nyní, a to kvůli rostoucím obavám o životní prostředí, zdraví a bezpečnost pracovníků. V posledních letech tyto obavy a legislativa omezující emise těkavých organických sloučenin (VOC) do atmosféry nutí výrobce lepidel, aby hledali alternativy bez vysokého obsahu těkavých látek. Při srovnání disperzí na bázi rozpouštědel a vody bude sušení těchto systémů téměř vždy trvat déle než jejich protějšků na bázi rozpouštědla, což vyžaduje více energie a může významně snížit rychlost linky. Tyto faktory je třeba zohlednit při srovnávání dopadů na životní prostředí a provozních nákladů. S ohledem na výkon (konkrétně pevnost spoje) jsou lepidla na rozpouštědlové bázi obecně považována za více účinná, i když jde o velmi široké zobecnění a výkon musí být vyhodnocen pro každé konečné použití. V praxi to může znamenat, že lepidlo na vodní bázi může poskytnout slabší spojení, přesto však dostatečné pro danou aplikaci. Většina zpracovatelů lepidel na rozpouštědlové bázi bude nucena instalovat systémy pro regulaci emisí vypouštěných do ovzduší tak, aby byly splněny platné normy. Obrázek 3 zobrazuje lepený spoj pryžových materiálů pomocí dobře známého rozpouštědlového lepidla zvané Chemopren. [4] [6] [8]



Obrázek 3 *Rozpouštědlová lepidla jsou určena pro okamžité lepení savých i nesavých materiálů s okamžitou pevností (vlastní zdroj)*

## 2.4 Lepidla tvořena ze 100 % pevnou složkou

### Lepidla bez rozpouštědel

Do této kategorie spadají adhezivní systémy bez rozpouštědel, z nichž mnohé byly vyvinuty v návaznosti na výše uvedený požadavek na snížení spotřeby rozpouštědel a emisí. Tato lepidla jsou založena na bázi polyuretanů v kombinaci s izokyanáty a mohou být nazývána jako jednosložkové nebo dvousložkové. Jednosložkové systémy fungují na principu síťování při dostatečné vlhkosti, ale tato metoda je vždy ovlivněna dostupnou vlhkostí a není tedy vždy konzistentní. U dvousložkových systémů je nutné zajistit přesné dávkování a následné dostatečné promíchání obou složek. Ihned po smíchání však lepidlo začíná tuhnout, což může být jedna z nevýhod. [4] [6] [8]

K dispozici jsou také uretanové akrylátové systémy vytvrzované ultrafialovým (UV) nebo elektronovým paprskem (Eb), a to jak pro laminování, tak jako systémy citlivé na tlak, což umožňuje vysoké výrobní rychlosti bez poškození substrátů citlivých na teplo. Izokyanáty jsou toxické a musí se s nimi na pracovišti zacházet opatrně, a proto vývoj neisokyanátových polyuretanů bez rozpouštědel může mít určité uplatnění ve flexibilních obalech a systémech citlivých na tlak. Obecnou vlastností polyuretanových lepicích systémů, ať už na bázi rozpouštědel nebo bez rozpouštědel, je to, že jsou termosetové, a proto mají při použití dobrou tepelnou odolnost. [4] [8]

### Tavná lepidla

Tavná lepidla jsou hlavní částí sektoru lepidel složených ze 100 % pevných látek bez rozpouštědel a používají se pro širokou škálu aplikací, například na tlakově citlivé etikety, tepelně svařitelné kapsle pro uzávěry a v balících aplikacích, například uzavírání papírových sáčků, pytlů a kartonů. Možnosti formulace pro horké taveniny jsou široké a závisí na konečném použití, například styrenové blokové polymery mohou být použity pro tlakově citlivé a polyolefiny, jako je polyethylen, ethylvinylacetát a polypropylen. Kromě základního polymeru obsahují tavná lepidla také lepidivé pryskyřice, vosky pro snížení viskozity, antioxidanty pro inhibici rozpadu polymerního řetězce a stabilizátory pro snížení poškození v důsledku zahřívání. [4] [6] [7]

Pro konečné spotřebitele se tavná lepidla obvykle dodávají nařezaná nebo extrudovaná na malé kousky (granule), aby se umožnilo snadné tavení v nádrži aplikačního zařízení. Tekuté lepidlo je dodáváno vyhřívanou nosnou hadicí do aplikátoru, kterým může být natírací stroj, kolečko nebo tryska. Aplikační teploty se u tavných lepidel pohybují od 100 °C do 170 °C. Mezi hlavní výhody tavných lepidel patří schopnost rychle tuhnout, což umožňuje vysokou rychlost výroby, a mají dobré vlastnosti pro vyplňování pórovitosti povrchů. Vyžadují však nepřetržitou energii, aby byly udržovány v roztaveném stavu během aplikace, což představuje potenciální zdravotní a bezpečnostní riziko a také velkou energetickou a ekonomickou zátěž. Při přehřátí mohou být náchylné k degradaci, což může mít za následek nepříjemný zápach a znečištění nebo dokonce úplnou degradaci. [4] [8]

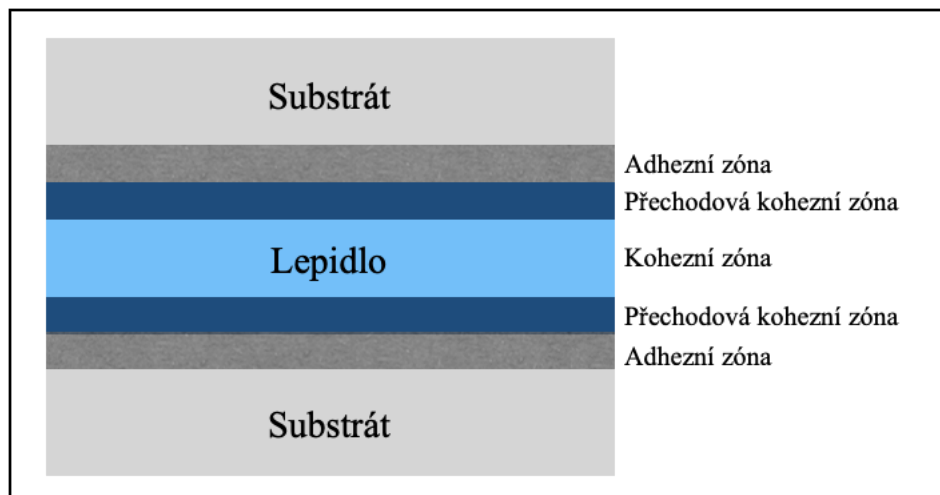


Obrázek 4 *Různé formy tavných lepidel (granulát, tavné polštářky, tavné tyčinky, tavné bloky)*

### 3 PROBLEMATIKA LEPENÍ

Lepidla a tmely musí vykazovat dostatečnou přilnavost ke spojovaným podkladům a také dostatečnou soudržnost. Adheze je přitažlivost, která existuje na rozhraní dvou různých pevných fází a vyjadřuje se v jednotkách energie na plochu. Adhezní síla je vyjádřena jako síla na plochu. [6] [7] [8]

Protipólem adheze je soudržnost uvnitř spoje neboli koheze. Je to přitažlivost, která existuje v jediné fázi, a to ve fázi ztuhlého lepidla nebo tmelu. Koheze je stav, ve kterém jsou částice (molekuly) jedné látky drženy pohromadě. Je to zvláštní případ adheze, ve které k sobě přilnou pouze molekuly stejného druhu. Obrázek 5 vysvětluje adhezi a soudržnost v adhezivním spoji. [2] [8]



Obrázek 5 Mezní vrstvy lepeného spoje [2]

#### 3.1 Teorie adheze

Adheze lze obecně rozlišit na specifickou (interakce lepidla a povrchu bez ohledu na geometrický tvar lepeného materiálu) a mechanickou. K mechanické adhezi dochází, když tekuté lepidlo vstoupí do pórů (dutin, nerovností) lepeného povrchu a vytvrzené lepidlo je v nich mechanicky zakotveno. Předpokladem účinné mechanické přilnavosti je dostatečné smáčení podkladu lepidlem a nízká viskozita lepidla. [2] [7]

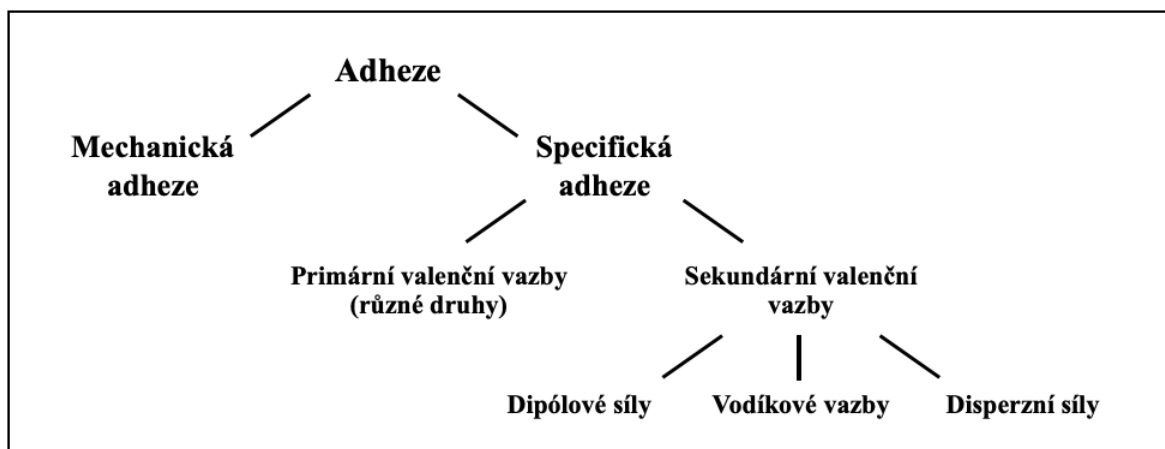
Specifická adheze je v první řadě nejvíce ovlivněna primárními valenčními vazbami, do kterých spadají iontové a kovalentní vazby. Iontové vazby jsou tvořeny zejména na minerálních materiálech, jako jsou vrstvy oxidů kovů apod. Pevnost iontové vazby je uváděna v rozmezí 600 až 1000 kJ/mol. Nevýhodou iontových vazeb může být narušení vazby infiltrující vodou, což může vést ke ztrátě adheze ve vlhkých podmínkách. [8] [9]

Druhou možností je vznik kovalentních vazeb na polymerních materiálech, kde dochází k chemické reakci mezi lepidlem a reakčními skupinami na povrchu materiálu. Kovalentní vazby mohou vykazovat pevnost v rozmezí 60 až 700 kJ/mol. [8] [9]

Další vazby, které ovlivňují adhezi, jsou uvedeny ve skupině sekundárních valenčních vazeb. U těchto vazeb platí, že čím slabší vazby jsou, tím více se blíží k běžnému typu specifické adheze. Dipólové síly mohou vznikat za předpokladů stejné polární skupiny na povrchu materiálu a lepidla. Jejich vznik a chování lze popsat podobně jako u magnetů, kdy polární molekuly mají pozitivní a negativní náboj a ty se navzájem přitahují a odpuzují. [8]

Vodíkové vazby mohou vznikat pouze mezi vodíkem a jinými atomy jako je kyslík, fluor nebo dusík. Tyto vazby jsou v podstatě silnější variantou dipólových vazeb. [9] [10]

Jako poslední jsou zmíněny disperzní síly, které mají univerzální význam a nejsou příliš specifické. Disperzní síly narůstají se zvyšující se molekulovou hmotností. Například v nepolárních materiálech jako je polyetylen jsou prakticky jedinými přítomnými silami. [8] [9]



Obrázek 6 Různé mechanismy adheze



### 3.2 Povrchové napětí

Termodynamický adsorpční model adheze je založen na nejznámějším principu, že všechny materiály podléhají přitažlivým silám mezi jejich atomy a molekulami. Povrchové napětí je přímou mírou meziatomových a mezimolekulárních sil. Obecná zásada dobré přilnavosti vyžaduje, aby bylo minimalizováno povrchové napětí mezi pevnou látkou a kapalinou. [11] [12]



Obrázek 7 Povrchové napětí znázorněné jako kapka vody

### 3.3 Kontaktní úhel a jeho vyjádření

V roce 1805 Thomas Young ve svém článku uvedl, že úhel kontaktu vznikne, když kapalina smáčí pevný povrch. Popsal, že tento úhel, který je v současné literatuře běžně znám jako statický kontaktní úhel ( $\theta$ ), je výsledkem rovnováhy tří sil působících na kapku kapaliny. Toto se stalo slavnou Youngovou rovnicí:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} * \cos\theta \quad (1)$$

kde:

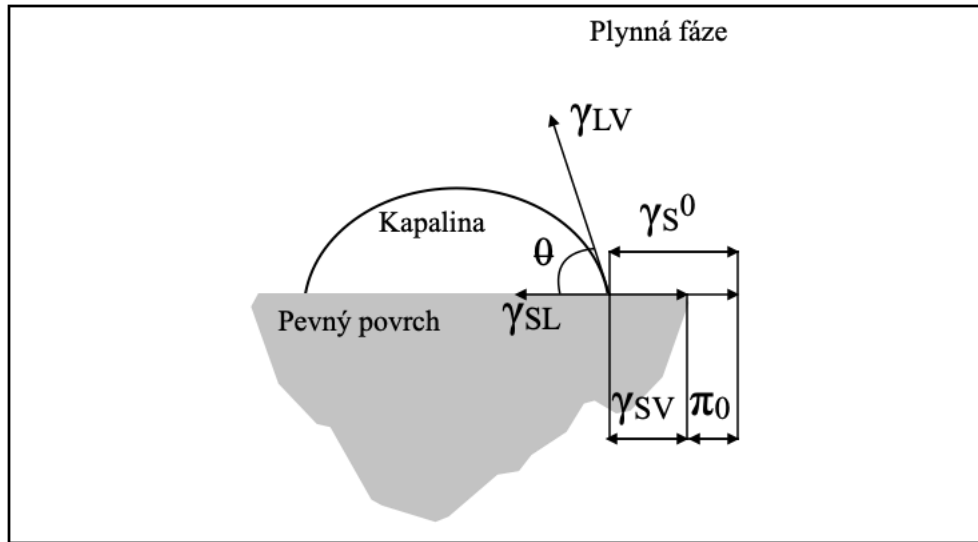
$\gamma_{SV}$  = povrchová volná energie materiálu (povrchové napětí materiálu)

$\gamma_{SL}$  = volná mezifázová energie mezi pevnou látkou a kapalinou

$\gamma_{LV}$  = povrchová volná energie kapaliny (povrchové napětí kapaliny)

$\theta$  = kontaktní úhel [10] [11] [12]

Z výše uvedené Youngovy rovnice je patrné, že tento vztah platí pouze v případě že, kapka kapaliny je umístěna na dokonale hladkém povrchu a tato fáze mezi kapalinou a pevnou látkou je v rovnováze s okolní plynnou fází. Obrázek 8 detailně popisuje vznik kontaktního úhlu. [12] [13]



Obrázek 8 Složky mezifázového napětí potřebné k odvození Youngovy rovnice.

### 3.4 Smáčení pevného povrchu

Smáčením lze pojmenovat fyzikální proces, při kterém se kapalina šíří po pevném povrchu nebo jiné další kapalině. V závislosti na situaci může dojít také k absorpci kapaliny do porézního materiálu nebo k vytěsnění jedné kapaliny druhou. Smáčivost kapalin na pevném povrchu lze definovat měřením kontaktního úhlu  $\theta$  a následně výpočtem pomocí výše zmíněné Youngovy rovnice. [14] [15]

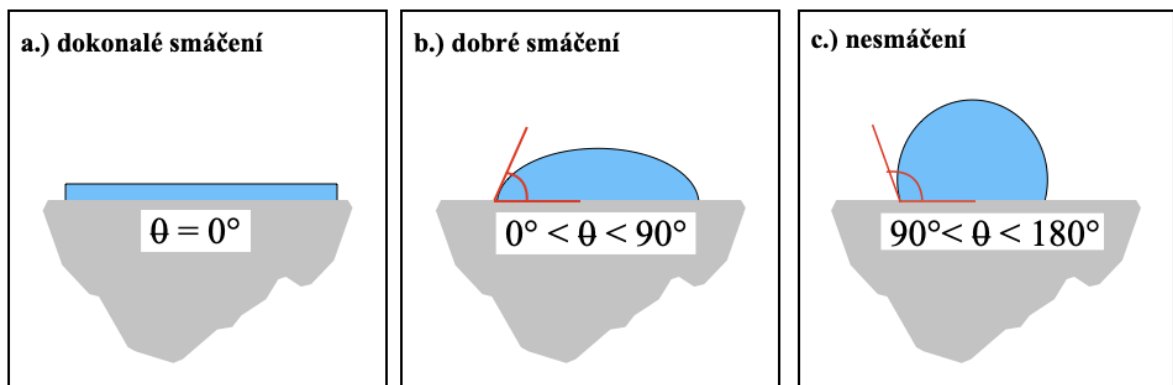
Jakmile se kapalina dostane do kontaktu s pevným povrchem, mohou nastat tři definované stavy v závislosti na interakci kapaliny s pevným povrchem. Pokud je naměřený kontaktní úhel  $\theta = 0^\circ$ , kapalina se rozestře po povrchu pevného materiálu a toto chování lze vyjádřit pomocí rovnice:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} + \gamma_{SL} \quad (2)$$

Chování kapaliny při rozestírání lze vyjádřit pomocí koeficientu rozestření  $S$  z následující rovnice jako:

$$S = \gamma_{SV} - (\gamma_{LV} + \gamma_{SL}) = \gamma_{LV} (\cos\theta - 1) \quad (3)$$

Pokud je volná povrchová energie pevného materiálu nižší než povrchové napětí kapaliny, pak  $S < 0$  a kapka má konečný kontaktní úhel a částečně smáčí pevný materiál. Naopak pokud je  $S > 0$  nebo je volná povrchová energie pevného materiálu větší než povrchové napětí kapaliny, pak se kapka rozestře a dochází ke smáčení pevného materiálu. [17] [18]



Obrázek 9 Fáze smáčení povrchu (a.) dokonalé smáčení, b.) dobré smáčení, c.) nesmáčení)

Pokud se podíváme na Obrázek 9 je z něj patrné, že mohou nastat určité fáze smáčení povrchu, které jsou přímo závislé na velikosti kontaktního úhlu  $\theta$ . Tyto jednotlivé fáze nastanou, když velikost kontaktního úhlu je:

- rovna  $0^\circ$ ; dokonalé smáčení povrchu
- větší než  $0^\circ$  a zároveň menší než  $90^\circ$ ; dobré smáčení povrchu
- větší než  $90^\circ$  a zároveň menší než  $180^\circ$ ; nesmáčení povrchu

Mezním případem je fáze, kdy má kapalina tendenci „uzavírat se“ tzn. že dochází k minimalizování plochy ve které je v kontaktu s pevným povrchem. U této fáze je pak kontaktní úhel roven  $180^\circ$  a jedná se o dokonalé nesmáčení pevného povrchu. [14] [15] [17] [18]

### 3.5 Hystereze kontaktního úhlu

Youngova rovnice popisuje chování kapaliny vzhledem k pevnému povrchu v naprosto ideálních podmínkách dokonale čistého a hladkého povrchu. Při pozorném sledování chování kapaliny na běžných materiálech narazíme na rozdílné chování kapky vody, které popsal Wenzel a zjistil, že toto rozdílné chování vůči teoretickému předpokladu je způsobeno drsností a neheterogenním materiálem a případným chvějícím se povrchem. Zavedl proto takzvanou hysterezi kontaktního úhlu, která je dána následující rovnicí:

$$H = \theta_A - \theta_R \quad (4)$$

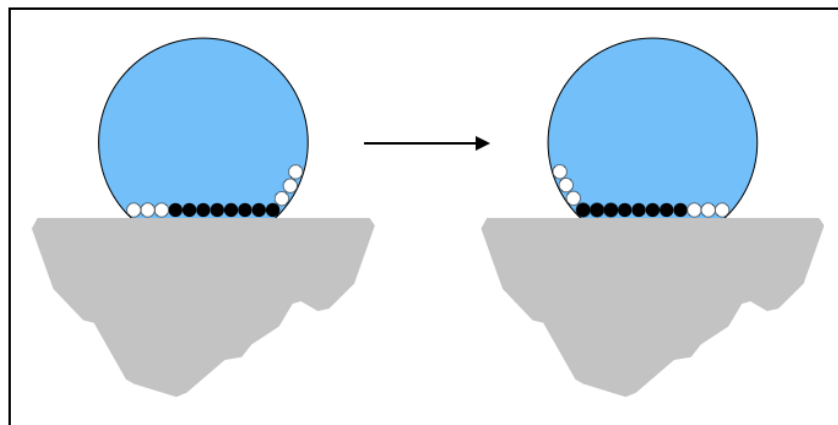
kde:

$H$  = hystereze kontaktního úhlu

$\theta_A$  = kontaktní úhel při postupu

$\theta_R$  = kontaktní úhel při ústupu [15] [16]

Uvedená rovnice pak popisuje chování kapky vody, která se pohybuje po povrchu hydrofobního materiálu. Na takovémto materiálu se kapka vody při kontaktu s povrchem chová rozdílně. Děj, který se odehrává při prvním kontaktu kapky s pevným povrchem neboli na kontaktní čáře, popisuje chování a změnu kontaktního úhlu při postupu kapky a také kontaktní úhel při ústupu kapky po pevném hydrofobním povrchu. Toto chování je pak klíčové pro určení výsledné hystereze kontaktního úhlu na hydrofobních materiálech. Z toho lze odvodit, že síla přichycení a výsledná hystereze kontaktního úhlu na superhydrofobních materiálech jsou významně závislé na dynamice pohybu po kontaktní linii (např. deformaci a tvaru), když kapka postupuje nebo ustupuje. Přímým pozorováním kontaktního rozhraní mezi kapkou a superhydrofobním povrchem pomocí reflexní interferenční kontrastní mikroskopie bylo zjištěno, že skutečná kontaktní čára na superhydrofobním povrchu se skládá z dvoufázového prostředí kapalina–vzduch a třífázového rozhraní kapalina–pevná látka a vzduch. [14] [15] [17] [18]

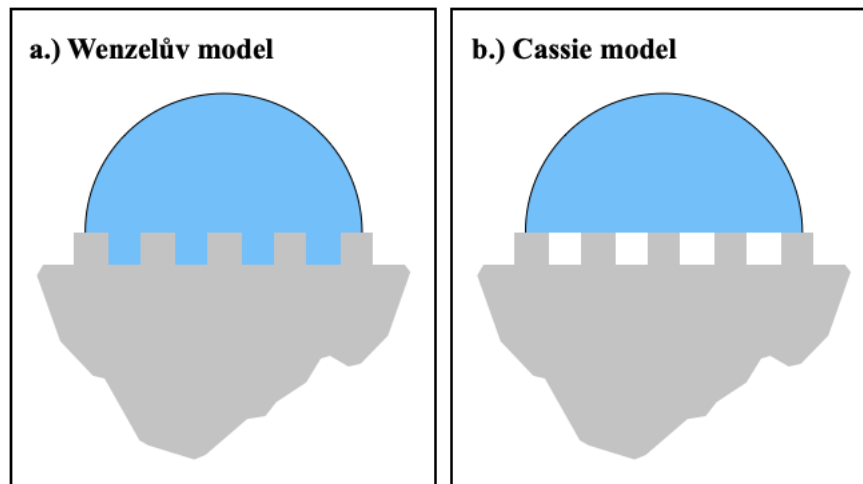


Obrázek 10 *Hystereze kontaktní úhlu na hydrofobních materiálech*

Pro názornou ukázkou, jak se chová kapka vody na superhydrofobním materiálu můžeme využít Obrázek 10, kde vyplněné kruhové útvary znázorňují molekuly uvnitř kapky, které se při postupu a ústupu kapky nijak nepohybují ani nemění svůj tvar. Naopak prázdné kruhové útvary představují molekuly kapaliny v těsné blízkosti kontaktní čáry, které se pohybují při postupu či ústupu kapky po tomto superhydrofobním materiálu. [17] [18] [19] [20]

### 3.6 Vliv drsnosti povrchu na kontaktní úhel

Chování kapalin na neheterogenních materiálech s porézním povrchem naznačil také Wenzel ve své práci roku 1963, kdy pozoroval, že existují dva modely smáčení těchto nedokonalých povrchů kapalinou. V literatuře jsou tyto modely známé jako homogenní režim s dvoufázovým rozhraní pevná látka – voda (pojmenován jako Wenzel model – Obrázek 10a) a nehomogenní nebo také kompozitní režim s třífázovým rozhraním pevná látka – voda – vzduch (označován jako Cassie model – obrázek 10b). U tohoto modelu jsou mezi pevným povrchem a vodou zachyceny vzduchové kapsy, které tuto přilnavost ovlivňují. Oba modely předpovídají, že drsnost pevného povrchu ovlivňuje kontaktní úhel kapky vody a může jej přivést i do extrémních hodnot blízko  $180^\circ$  (hydrofobní chování) nebo případně také blízko k  $0^\circ$  (hydrofilní chování). Pojem hydrofobní chování znamená, že daný povrch vodu odpuzuje, a naopak hydrofilní chování naznačuje že, povrch dokáže vodu absorbovat. [14] [15] [17] [18] [19]



Obrázek 11 Dva rovnovážné stavy kapky vody na neheterogenních površích (a=Wenzelův model, b=Cassie model)

Wenzel svoje tvrzení následně popsal pomocí rovnice, která popisuje, že pokud kapalina příznivě smáčí pevný povrch, zvýší se také jeho smáčivost na drsném, neheterogenním povrchu. Podobné chování je možné sledovat i v opačném případě, kdy kapalina pevný povrch nesmáčí a jeho odolnost vůči smáčení narůstá se zvyšující se drsností povrchu. [15] [16] [19]

$$\cos \theta_W = r * \cos \theta \quad (5)$$

kde:

$\theta_W$  = Wenzelův úhel

$\theta$  = kontaktní úhel hladkého povrchu

$r$  = faktor drsnosti, který je poměrem mezi skutečným povrchem a uvažovaným povrchem

Cassie a Baxter následně v roce 1944 rozšířili analýzu zdánlivých kontaktních úhlů pro smáčení porézních materiálů, jako jsou textilie a oděvy. Pokud kapalina smáčí porézní povrch, dochází k vytváření vzduchových bublin a nastává model nehomogenní nebo také kompozitní režim s třífázovým rozhraním pevná látka – voda – vzduch. Toto tvrzení pak podpořili na základě termodynamického argumentu, který říká, že zdánlivý kontaktní úhel je určen energií kontaktní plochy pod kapkou kapaliny, která má dvě složky (pevná látka a vzduch). Obecný výraz pro zdánlivý kontaktní úhel je pak:

$$\cos \theta_{CB} = f * \cos \theta + (f - 1) \quad (6)$$

kde:

$\theta_{CB}$  = Cassie-Baxterův úhel

$\theta$  = kontaktní úhel hladkého povrchu

$f$  = frakce kontaktu mezi kapalinou a plynem [15] [16] [19]

### 3.7 Metody měření kontaktního úhlu

Měřením kontaktního úhlu různých druhů materiálů a povrchů lze přesně zodpovědět otázky týkající se následného smáčení daných povrchů, které lze v praxi využít pro volbu vhodného lepidla. Již dávno v minulosti byly stanoveny standardní postupy a metody měření kontaktního úhlu, které jsou používány dodnes. Existují dva režimy měření povrchového napětí kapalin: statický a dynamický. Hodnoty běžně uváděné v literatuře jsou statická povrchová napětí kapalin. Tabulka 1 představuje stručný popis technik pro měření statického a dynamického povrchového napětí kapalin. [17] [19] [20] [21]

Tabulka 1 *Metody měření povrchového napětí kapalin*

<b>Tabulka 1 Metody měření statického povrchového napětí pro kapaliny</b>	
<b>Metoda</b>	<b>Popis metody</b>
Du Nouy prstencová	Tradiční metoda měření povrchového a mezipovrchového napětí. Měří se maximální tažná síla na kroužek povrchem. Smáčivé vlastnosti kapalin nemají na tuto techniku žádný vliv.
Wilhelmova deska	Tato technika je široce použitelná pro kapaliny, zvláště když povrchové napětí musí být měřeno po dlouhou dobu. Vertikální deska se známým obvodem je připevněna k váze a ponořena do kapaliny. Síla způsobená smáčením se měří pomocí váhy.
Rotující kapka	Vhodné pro nízké mezipovrchové napětí. Průměr kapky v těžké fázi se měří, když se obě otáčejí.
Zachycená kapka	Touto metodou se měří povrchové a mezipovrchové napětí.

<b>Metody měření dynamického povrchového napětí pro kapaliny</b>	
<b>Metoda</b>	<b>Popis metody</b>
Tlak kapek	Tato metoda se používá pro stanovení povrchového napětí při krátkém stáří povrchu. Skutečnou měřenou veličinou je maximální tlak každé bubliny.
Objem kapky	Metoda používaná pro stanovení mezifázového napětí jako funkce času. Doba mezi dvěma po sobě jdoucími poklesy se měří, když je kapalina o jedné hustotě přečerpána do druhé kapaliny o jiné hustotě.

### 3.8 Adheze, koheze, koeficient rozestírání

Pokud budeme chtít popsat jev, při kterém dochází k rozestírání kapaliny (adheziva) po povrchu pevné látky (adherentu), musíme zohlednit kohezní síly, které způsobují přitažlivost mezi molekulami rozestírané kapaliny (adheziva), a také adhezní síly, které vznikají jako mezimolekulární síly mezi povrchem (adherentem) a kapalinou (adhezivem). [12] [13] [16] [20]

Kohezivní práci (Obrázek 12) lze vyjádřit jako práci, kterou je třeba vykonat k narušení sloupce kapaliny o jednotkové ploše průřezu, při čemž dochází ke vzniku dvou nových rozhraní kapaliny a plynu. Pro toto odtržení platí rovnice:

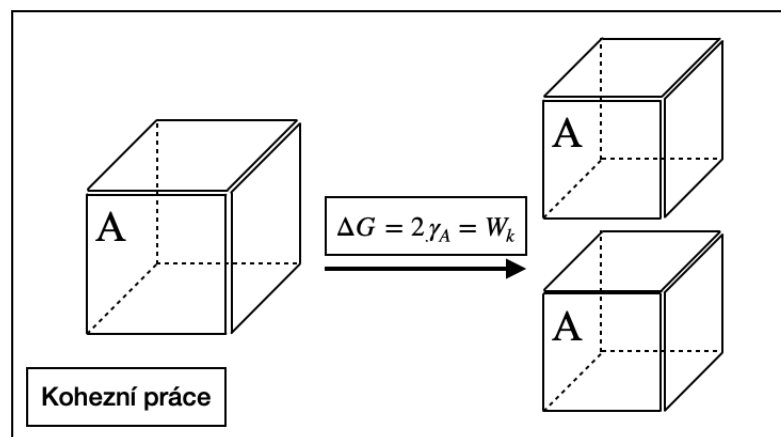
$$\Delta G = 2\gamma_A = W_k \quad (7)$$

kde:

$\Delta G$  = změna Gibbsovy volné energie povrchu

$2\gamma_A$  = povrchové napětí na vzniklém rozhraní kapalina/plyn

$W_k$  = kohezivní práce potřebná k narušení sloupce kapaliny [12] [13]



Obrázek 12 Kohezivní práce

Následně lze odvodit práci potřebnou pro oddělení obou fází, které jsou v kontaktu na jednotkové ploše a tato adhezní práce (Obrázek 13) je dále definována vztahem:

$$\Delta G = W_A = \gamma_{konečná} - \gamma_{počáteční} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} \quad (8)$$

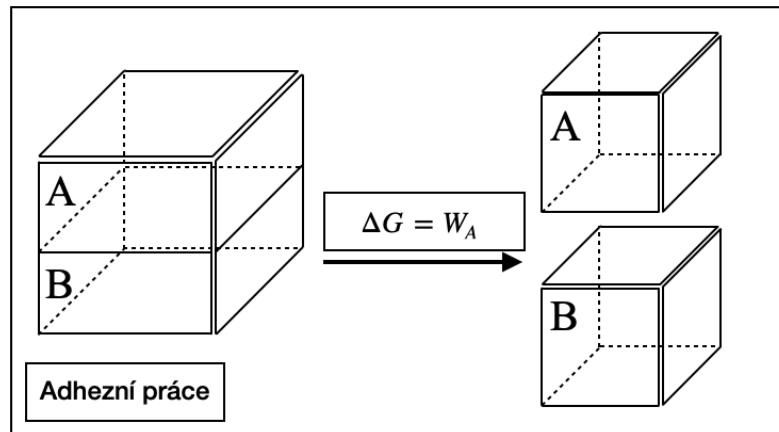


kde:

$\Delta G$  = změna Gibbsovy volné energie povrchu

$\gamma_A, \gamma_B, \gamma_{AB}$  = povrchové napětí na vzniklém rozhraní

$W_A$  = adhezní práce [12] [13]

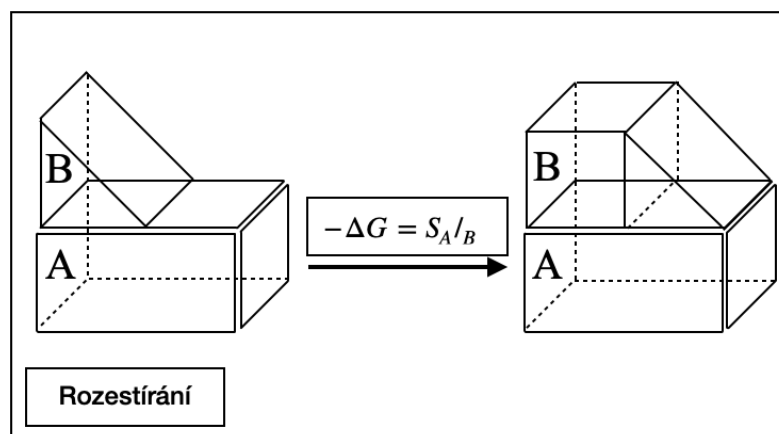


Obrázek 13 Adhezní práce

Pokud odečteme konečný stav od počátečního stavu rozestírání, získáme rozdíl mezi adhezní a kohezní prací, který je vyjádřen rovnicí:

$$-\Delta G = S_{A/B} = W_A - W_K = \gamma_B - \gamma_A - \gamma_{AB} \quad (9)$$

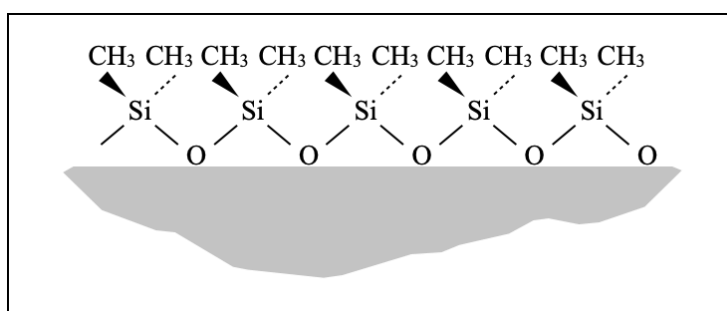
Z této rovnice je patrné, že k samovolnému rozestírání kapaliny (Obrázek 14) bude docházet tehdy, když změna Gibbsovy volné energie bude nabývat záporných hodnot, a tím pádem Harkinsonův koeficient rozestírání  $S_{A/B}$  bude v kladných hodnotách. [12] [13] [15] [18]



Obrázek 14 Rozestírání

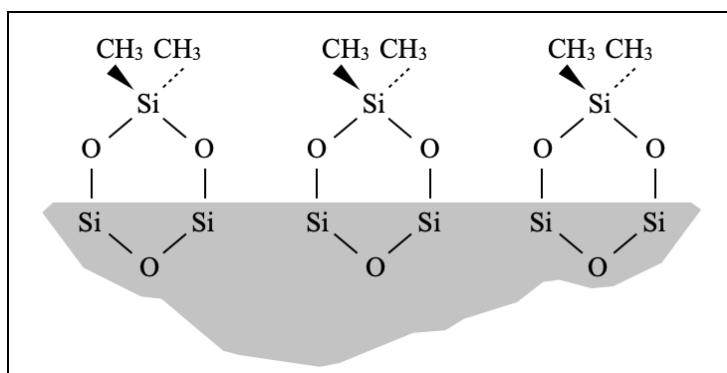
### 3.9 Hydrofobní chování lipidel

Hydrofilní a hydrofobní chování bylo již popsáno v předešlé kapitole. Parafín, silikony, silany a fluorované uhlovodíky jsou příklady účinných hydrofobizačních činidel (s účinností přibližně stoupající v tomto pořadí). Kromě toho se pro tento účel často používají kationtové povrchově aktivní látky. Obrázek 15 ukazuje strukturu nejběžnějšího silikonového oleje, polydimethylsiloxanu. Díky uspořádání siloxanový hlavní řetězec interaguje s povrchem a methylové skupiny jsou orientovány na opačnou stranu od povrchu, jak je také znázorněno na tomto obrázku. [19] [20] [21] [22]



Obrázek 15 *Polydimethylsiloxan, silný hydrofobizační prostředek*

Obrázek 16 ukazuje strukturu povrchu skla (nebo oxidu křemičitého) hydrofobizovaného dichlordimethylsilanem. Toto činidlo a další silany jsou běžnými hydrofobizačními činidly pro minerální povrchy, které obsahují silanolové skupiny. Běžně se používají také silany s jedním dlouhým alkylovým řetězcem, jako je alkyltrialkoxysilan nebo alkyltrichlorsilan. [19] [20] [21] [22]



Obrázek 16 *Hydrofobizovaný skleněný povrch*

Papírová i textilní vlákna mají obvykle záporný náboj, k zajištění vodoodpudivosti jsou běžně používány kationtové povrchově aktivní látky s dlouhým řetězcem. Povrchově aktivní látky také poskytují rozpojovací účinek, to znamená, že přitažlivost vlákna–vlákna je značně snížena. [19] [20] [21] [22]

Dříve bylo předpokládáno, že pro hydrofobní chování je vyžadována hustá vrstva těchto hydrofobizačních činidel, což bylo později vyvráceno. Zdá se, že k vytvoření povrchu nesmáčečího vodou je zapotřebí pouze částečné pokrytí hydrofobizačním činidlem. Voda se nebude snadno šířit na povrchu, který je částečně pokryt hydrofobními doménami. V mnoha případech se zdá, že krytí 10–15 % stačí. [21] [22]

### 3.10 Etiketovací papír a jeho parametry

Etikety mohou být jednotlivé etikety na přední stranu, krk a zadní stranu pro aplikaci na láhve od piva, alkoholických nápojů a vína, nebo etikety, které se hojně používají na konzervované potraviny a nealkoholické nápoje. Papírové etikety nanášené lepidlem se tisknou na běžný papír, metalizovaný papír nebo papírové laminované materiály buď na archových ofsetových (nejběžnějších) nebo kotoučových hlubotiskových (některé flexo) lisech. Často jsou také lakovány nebo potaženy, aby poskytovaly povrchovou ochranu během etiketování, manipulace a distribuce, předtím, než jsou řezány gilotinou na obdélníkovou nebo čtvercovou velikost ve stozích po 500 nebo 1000 kusech, případně děrovány do speciálních vyříznutých tvarů, opět ve stozích, připravených k umístění do zásobníku ve stroji na nanášení etiket. [23] [24] [25] [27] [28]

#### Materiály papírových etiket:

- jednostranně lakované druhy a nenatíraný bílý kraftový papír 55–100 g/m<sup>2</sup>
- metalizovaný papír
- lamináty papír/hliníková fólie [23]

### **3.11 Zkoušky a kontrola etiketovacího papíru**

K dispozici je široká škála zařízení a přístrojů pro provádění různých testovacích postupů pro stanovení vlastností jednotlivých etiket s mokřým lepidlem. V praxi však většinou stáčírů a balírů stačí použít omezený počet testů. K důležitým testům pro etikety a etiketovací papíry s mokřým lepidlem patří následující. [23] [24] [25]

#### **Zkoušení pevnosti v roztržení**

Testování pevnosti v roztržení, navržené jako jednoduchý test pro použití v plnárnách a malých tiskařských společnostech, se běžně provádí pomocí stroje na testování tahem a 10 nebo 15 mm širokého papírového pásu. [23] [27] [28] [29]

#### **Zkoušení kapacity absorpce vody**

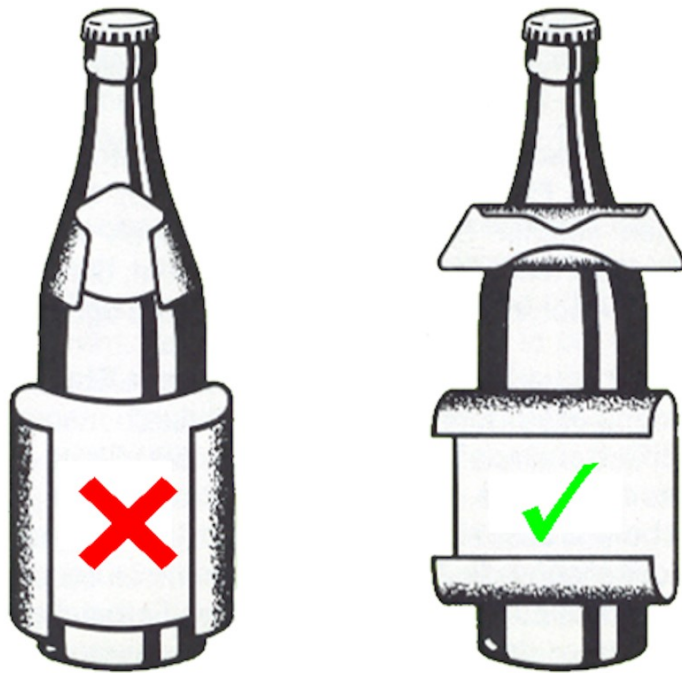
Absorpce vody, navržená tak, aby zajistila rychlé a pozitivní přilnutí štítků, je měřena „Cobbovým“ testem. Vhodné etikety by měly mít absorpční kapacitu mezi 7 a 11 g/m<sup>2</sup> po 60 sekundách kontaktu s vodou. Štítky s nízkou absorpční kapacitou mohou mít problémy kvůli nadzvednutí okrajů po aplikaci. Štítky s nadměrnou schopností absorpce vody mají tendenci se nadměrně kroutit. Standardní doba kontaktu s vodou je 60 s, ale při porovnávání více savých papírů může být preferována kratší doba. Ve všech případech musí být zaznamenána doba kontaktu s vodou použitá při zkoušce. [23] [27] [28] [29]

#### **Zkoušení odolnosti proti louhu**

Odolnost štítku vůči působení hydroxidu sodného, lze testovat umístěním 120 cm<sup>2</sup> štítkového papíru do utěsněné odměrné nádoby obsahující 20 cl 1,5% roztoku hydroxidu sodného a intenzivním protřepáním (asi 30krát). Vzorek s přiměřenou odolností vůči louhu se nerozpadne, přičemž by nemělo docházet ke kontaminaci roztoku způsobenému „rozvlákněním“ vláken. [23] [27] [28] [29]

**Zkoušení orientace vláken**

Směr orientace vláken papíru hraje výraznou roli při fixaci etikety na obal. V případě, že by byly etikety při výrobě orientovány ve špatném směru, může dojít k odstávání etiket a špatné fixaci na obalu. Na obrázku 17 je tento problém znázorněn. Samotné ověření spočívá v namočení etikety vodou, která se ihned po nasáknutí začne kroutit ve směru orientace vláken. [23] [27] [28] [29]



Obrázek 17 *Správná orientace papírových vláken*

## 4 APLIKACE A PARAMETRY ETIKETOVACÍCH LEPIDEL

Aplikace papírových etiket na skleněnou láhev nebo plechovku pomocí mokrého lepidla byla jednou z prvních metod etiketování a po mnoho let byla dominantní technologií. I dnes, navzdory rychlému rozmachu samolepicích a jiných technologií, jsou etikety s lepidlem stále hlavní metodou objemového etiketování lahví a plechovek papírovými etiketami. [23] [31]

### 4.1 Aplikace lepidla při etiketování

Provádí se na stroji, ve kterém se mokré nebo tavné lepidlo natírá nebo válcuje na zadní stranu každé etikety těsně před jeho aplikací na nádobu, což umožňuje vybrat nejvhodnější složení lepidla pro konkrétní aplikaci. Typ nanášení lepidla je závislý na použitém stroji. V praxi se běžně objevují dva typy etiketovacích zařízení, a to lineární etiketovací zařízení (obrázek 18) kdy dopravníkový pás posouvá nádoby do etiketovacího stroje a ty pokračují mezi přítlačným pásem, na který je z jedné strany přivedena papírová etiketa s již naneseným lepidlem ve formě tenkých proužků. [23] [29]



Obrázek 18 *Lineární etiketovací stroj*

Druhou možností je pak karuselové etiketování (obrázek 19), při kterém dopravníkový pás dopraví nádoby do etiketovacího stroje, kde jsou nádoby přebrány na takzvaný kolotoč, přes který se otáčejí uvnitř stroje a tím dojde k nalepení etiket přes pomocné otočné paletky. Etiketovací lepidlo je přiváděno pomocí pneumatického čerpadla na otáčející se válec, na kterém je pomocí stírací lišty nastaveno množství lepidla, které je následně předáno na pogumované paletky ve tvaru používaných etiket. Pogumované paletky s vrstvou lepidla pak přeberou etiketu ze zásobníku etiket a přenesou je dál na středový kolotoč, kde jsou předány na láhev. Tento typ etiketovacího zařízení je používán převážně pro velké objemy například při etiketování pivních lahví. [23] [29]



Obrázek 19 Karuselový etiketovací stroj

Klíčové použití etiketovacích lepidel je při vysokorychlostním a velkoobjemovém etiketování lahví s nápoji a pro konzervované potraviny – jak pro lidi, tak pro domácí zvířata – kde jsou rychlosti nanášení 60 000–80 000. Mezi největší výrobce etiketovacích zařízení patří německá firma Krones (obrázek 20). Toto vysokorychlostní etiketování probíhá na moderních karuselových etiketovacích strojích. [23] [29] [31]



Obrázek 20 Karuselový etiketovací stroj Krones

## 4.2 Požadavky na etiketovací lepidla

Lepidla jsou klíčovým prvkem v procesu aplikace etiket a musí fungovat tak, jak je požadováno na etiketovací lince a ve všech fázích manipulace, přepravy, skladování i konečného použití. Důležité vlastnosti lepidla na etikety jsou následující:

- musí „smáčet“ povrch etikety, tj. pronikat do materiálu etikety
- nesmí síťovat během procesu nanášení
- musí mít dobrou „počáteční lepivost“ v momentě, kdy je etiketa aplikována na obal
- počáteční fixování musí být zachováno tak, jak je naneseno, dokud lepidlo zcela neztuhne, a nesmí dojít k „zvednutí hran“ nebo tvorbě puchýřů
- musí splňovat všechna požadovaná kritéria konečného použití – kontakt s potravinami, chemická odolnost nebo odolnost vůči vodě, odolnost vůči teplu nebo chladu. [23] [27] [28]



### 4.3 Základní formulace moderních etiketovacích lepidel

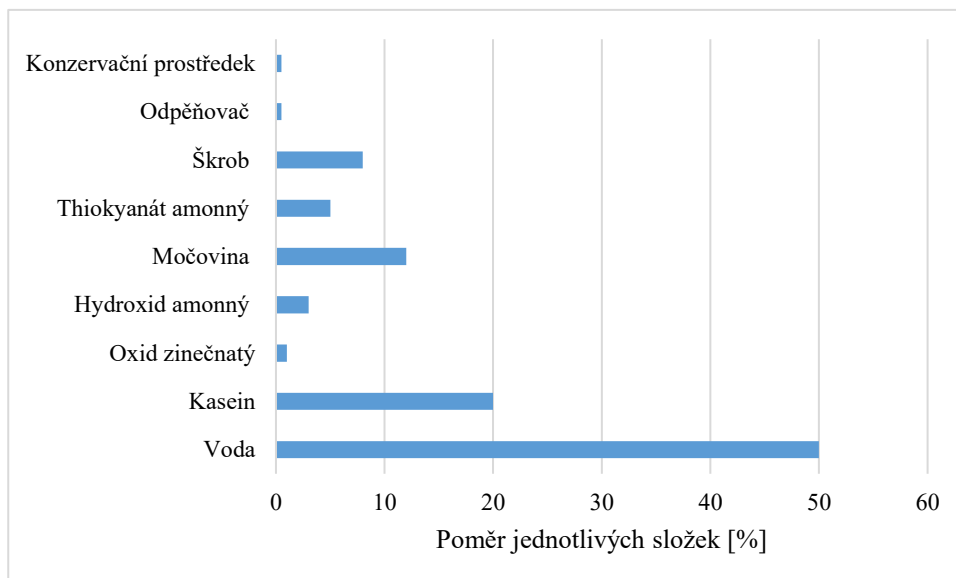
Vzhledem k tomu, že složení komerčních lepidel je přísně chráněné, jsou níže popsané formulace uvedeny v přibližném rozmezí, nikoli v konkrétních procentech použitelných v praxi. Přesné procentuální poměry jednotlivých složek jsou stejně důležité jako samotný výrobní postup. Musí být přesně dodrženo pořadí přidávání jednotlivých složek společně s proměnnými hodnotami jako je čas, teplota a rychlost míchání. Tyto proměnné se vztahují jak k místům zavádění různých surovin, tak k obdobím zahřívání, míchání, vaření a ochlazování. Zkušený vývojář vyvažuje poměr jednotlivých složek tak, aby dosáhl nejlepšího kompromisu ve vlastnostech. Funkční receptura musí také splňovat speciální provozní podmínky strojů, které nanášejí etikety vysokou rychlostí.

Malá změna receptury může způsobit velkou změnu vlastností. Zvýšený obsah konkrétních složek umožní rychlejší schnutí, ale zkrátí životnost lepidla. Velmi krátká skladovatelnost je v průmyslu nežádaná. Požadavky pro viskozitu, rychlost tuhnutí a voděodolnost se liší podle daného spotřebitele. [8] [32] [33]

#### Kaseinová lepidla

Různé třídy kaseinu, a dokonce i různé šarže v rámci jedné třídy, mohou fungovat odlišně. Pro výběr kaseinu je užitečné použít test, který se vztahuje k dané receptuře, ve které má být použit. Kasein se disperguje s močovinou v poměru přibližně 50:50 v přítomnosti hydroxidu amonného jako přídatného dispergačního činidla. Vysoké procento kaseinových pevných látek v tomto typu formulace je možné díky močovině, která působí jako činidlo snižující viskozitu. Močovina, někdy spolu s thiokyanátem amonným, funguje také jako prostředek pro zkrácení chemických řetězců. Oxid zinečnatý a octan zinečnatý se používají k zesíťování a k zajištění odolnosti vůči vodě. Součástí je vždy odpěňovač a konzervační činidlo. Škrob je jedním z několika činidel začleněných ke zkrácení vlákna lepidla a pro zlepšení jeho výkonu na vysokorychlostních etiketovacích strojích.

Doporučené pořadí přidávání jednotlivých surovin pro tento druh lepidla je: voda, oxid zinečnatý, konzervační prostředek, odpěňovač, škrob, močovina, kasein a hydroxid amonný. Graf 4 znázorňuje procentuální zastoupení těchto surovin. Běžná teplota vaření je 77 – 80 °C. Tato teplota se udržuje po dobu 15–20 minut před zahájením období ochlazování. [8] [32] [33] [34]



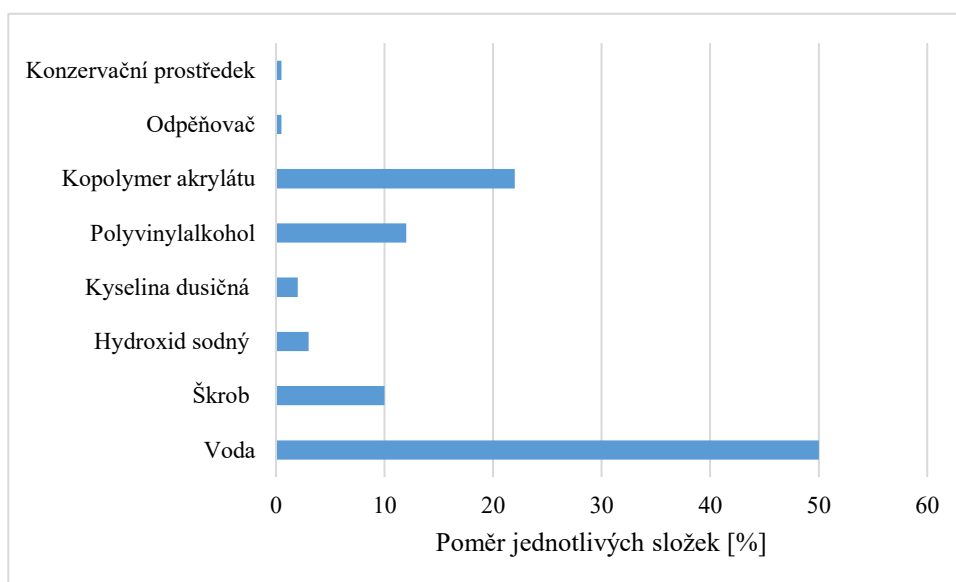
Graf 4 Obecné složení kaseinových lepidel

### **Syntetická lepidla**

Podobný postup je znám také pro lepidla bez obsahu kaseinu, který je nahrazen syntetickými polymery jako je polyvinylalkohol a různé druhy akrylátů. Škrob je dispergován ve vysokorychlostním míchacím zařízení s vysokým stupněm mechanické účinnosti ve 30 % vody z celkového množství pro danou recepturu. Po přidání 25% roztoku hydroxidu sodného je směs převedena na pastu při intenzivním mícháním po dobu 10 až 15 minut, dokud nezíská viskózní konzistenci. Po procesu pastování je směs neutralizována 25% roztokem kyseliny dusičné na výslednou hodnotu pH 6 až 7, a zároveň je přidáno odpěňovací činidlo. Dále je přidán zbývající podíl vody a také syntetické polymery. Reakční směs je zahřátá na 90 °C až 95 °C a dále míchána po dobu 30 až 60 minut v tomto teplotním rozmezí, dokud se syntetické polymery zcela nerozpustí. Nakonec je přidán konzervant.

Doporučené pořadí přidávání jednotlivých surovin pro tento druh lepidla je: voda, škrob, hydroxid sodný, odpěňovač, kyselina dusičná, zbývající voda, polyvinylalkohol ve formě prášku a další syntetické polymery. Polyvinylalkohol se vyrábí hydrolýzou polyvinylacetátu a každý výrobce tento stupeň hydrolýzy nastaví dle svých receptur. Tento stupeň hydrolýzy ovlivňuje jeho rozpustnost a odolnost vůči vodě a rozpouštědlům. PVA s více než pětiprocentním obsahem vinylacetátových jednotek se již rozpouští ve vodě jen při teplotách nad 65° C. Čím vyšší je jeho molekulová hmotnost, tím menší je jeho rozpustnost.

Graf 5 znázorňuje procentuální zastoupení surovin pro syntetická lepidla. Takto rozmíchaná směs je zahřáta na teplotu 95 °C a dále se vaří po dobu 45 minut, dokud nedojde k úplnému rozpuštění PVA prášku. Na závěr je přidáno konzervační činidlo. [32] [33] [34]



Graf 5 Obecné složení syntetických lepidel

#### 4.4 Kontrola a kvalita etiketovacích lepidel

V sedmdesátých letech byl poprvé představen nástroj známý jako Ishikawův diagram, někdy označovaný jako diagram rybí kosti. Tento diagram pomáhá identifikovat možné důvody, proč se výrobní proces vymkne kontrole, stejně jako možné dopady na celý proces.

U etiketovacích lepidel je kontrola kvality rozdělena na kontrolu parametrů lepidla při výrobě a následně pak při aplikaci. Při výrobě se kontrola nejčastěji zaměřuje na parametry jako jsou dynamická viskozita a adhezní pevnost mokrého lepidla. Tyto hodnoty mají velký vliv na samotnou aplikaci a bezproblémový chod lepidla na etiketovacím stroji. Dále jsou pak také důležité údaje o hmotnostním podílu pevných částic a také výsledné pH.

Při samotné aplikaci etiketovacích lepidel se posuzuje výsledná přilnavost, odolnost vůči kondenzační a ledové vodě. [35]

## 4.5 Dynamická viskozita

Dynamická viskozita je reologickou veličinou, která charakterizuje tokové chování dané látky. Toto chování je specifikováno jako vnitřní odpor daného materiálu vůči vnějšímu zatížení neboli odpor materiálu vůči tečení. Newtonův zákon stanovuje vztah, kterým lze přesně definovat viskozitu jako vztah mezi smykovým napětím  $\tau$  a gradientem rychlosti smykové deformace  $\gamma$ . Tento vztah je popsán rovnicí:

$$\tau = \eta * \gamma \quad (10)$$

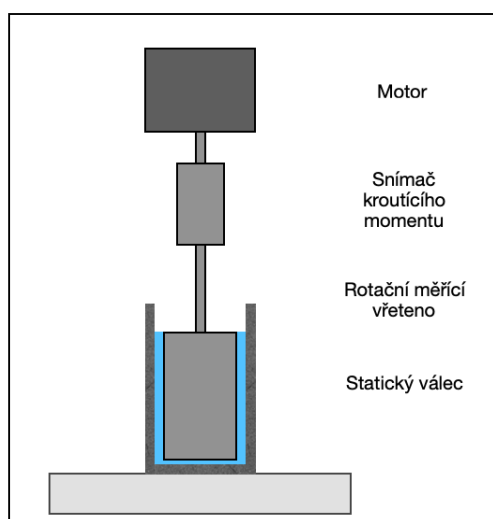
Kde:

$\tau$  = smykové napětí [Pa]

$\eta$  = dynamická viskozita [Pa\*s]

$\gamma$  = gradient rychlosti smyk. Deformace

Nejčastěji se pro přesné stanovení dynamické viskozity používají rotační reometry. Tyto přístroje dokážou kromě viskozity měřit i další reologické vlastnosti jako jsou smykové napětí, rychlost smykové deformace nebo prahové napětí. Pro měření viskozity etiketovacích lepidel se nejčastěji používá konfigurace typu válec – válec, jako je znázorněna na Obrázku č. 21. Tato konfigurace se skládá ze dvou částí, z níž jedna je pohyblivá (rotor) a druhá statická (stator). Mezi tyto části je pak vložen zkoušený materiál. Rychlost rotačního vřetena je pak nastavena tak, aby se dosáhlo co nejvyššího procenta kroutícího momentu. [35] [36] [37] [38]



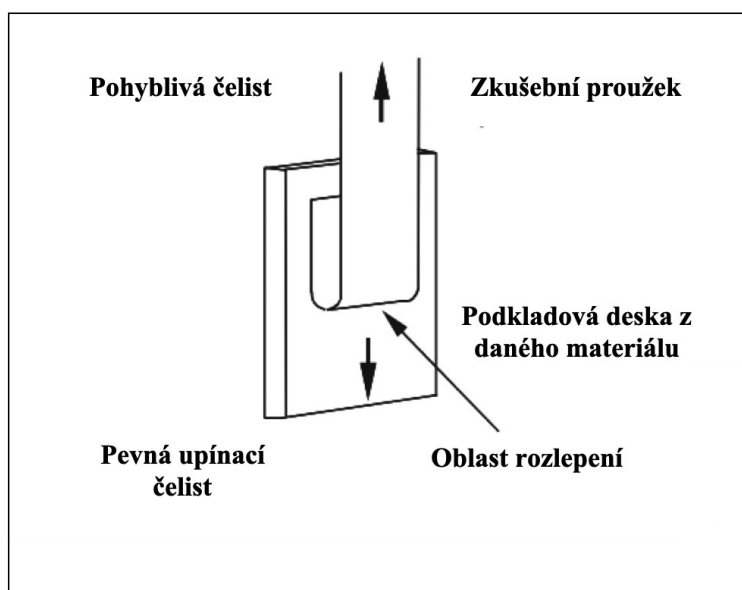
Obrázek 21 Schéma rotačního reometru

## 4.6 Adhezní pevnost mokrého lepidla

Hodnota adhezní pevnosti čerstvého lepidla je důležitá pro samotnou funkčnost lepidla na etiketovacím stroji. Většina těchto strojů je vybavena tzv. magazínovým zásobníkem etiket, ze kterého se etikety přenášejí na pogumované paletky s již naneseným lepidlem. Adhezní pevnost mokrého lepidla pak ovlivňuje správné přenesení etikety ze zásobníku na paletky a následně pak na láhev či nádobu. Hodnoty adhezní pevnosti čerstvého lepidla se pohybují maximálně do  $10 \text{ N/m}^2$ . Avšak přesnou hodnotu nelze přesně definovat, protože každý etiketovací stroj má rozdílné parametry. [35] [39] [40]

## 4.7 Odlupovací test

Odlupovací test se většinou používá k charakterizaci adheze pásek nebo filmů na substrátech. Lepená sestava dvou adheziv je připravena za specifických podmínek pomocí testovaného lepidla. Adherenty jsou pak od sebe odtažovány stálou rychlostí a konstantním úhlem. Celý průběh testu znázorněn na obrázku 22 začíná uchycením počátku testovaného proužku do čelistí a následně dochází k postupnému oddělování obou lepených adherentů směrem od sebe (doporučené rozměry lepené plochy: šířka 25 mm, délka 150 mm podle ČSN EN ISO 8510-2). Výsledkem testu je křivka grafu závislosti potřebné síly k rozlepení obou adherentů. Vyhodnocuje se síla na šířku lepené plochy. [39] [40] [41]



Obrázek 22 Obecný popis odlupovacího testu

## 4.8 Odolnost lepidla vůči kondenzační vodě

Odolnost lepidla vůči kondenzační vodě je další parametr důležitý při aplikaci etiketovacích lepidel. Při plnění hotového výrobku do lahví a nádob bez použití pasterizační jednotky je teplota produktu velmi nízká, pohybuje se v rozmezí 6 až 10 °C. Ihned po naplnění láhve začíná docházet k rosení povrchu láhve, zapříčiněné okolní teplotou. Toto rosení trvá tak dlouho, dokud se teplota produktu uvnitř láhve a teplota samotné láhve nesrovná s okolní teplotou. Některé provozní podmínky však tento čas ještě prodlužují a rosení tak může trvat i několik hodin. V důsledku rosení může docházet k vyplavování lepidla ze spodní strany etikety. Proto je důležité navrhnout složení lepidla tak, aby rosení neovlivnilo výslednou přilnavost.

Laboratorně se tento proces dá nasimulovat metodou vystavení vzorků v atmosféře nasycené vodní páry podle normy DIN 50017. Průběh testu spočívá v ochlazení mokrých lahví na teplotu 4 až 6 °C, následně jsou etikety nalepeny přesně definovaným množstvím lepidla. Doba rosení je nastavena dle požadavků jednotlivých provozů. Výsledek byl odhadnut podle stavu etikety a zákalu vody uvolněné pod etiketou. Test se provádí při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 85 %. [39] [42]

## 4.9 Odolnost lepidla vůči ledové vodě

Odolnost lepidla vůči ledové vodě může být stanovena pomocí různých metod. Výsledná odolnost lepidla je stanovena požadavky jednotlivých provozů jako je uvedeno v Tabulce 2.

Z předepsaných testovacích metod se nejvíce osvědčila metoda SAB Miller, která vykazuje vysokou účinnost, reprodukovatelnost a zároveň přesnost. Metoda spočívá v nanesení etiket na láhve, které jsou sušeny při teplotě 21 °C po dobu 24 hodin. Následně jsou láhve umístěny do vody o teplotě 4 °C po dobu 24 hodin. Mechanické zatížení je simulováno pootočením lahví o 180° každé 3 hodiny. Poté jsou láhve vyjmuty a je zkoumána pozice etikety. Za dobrou odolnost lepidla vůči studené vodě lze požadovat stav, kdy etiketa vydržela bez problému alespoň 12 hodin. [39] [42]

Tabulka 2 Testovací metody odolnosti v ledové vodě

Hodnota	Testovací metoda			
	Inbev	Heineken	SAB Miller	VLB Berlin
Doba sušení	24 h, 21 °C; 24 h, 40 °C; 7 dní, 23 °C	7 dní, 21 °C	24 h, 21 °C	24 h, 21 °C
Teplota vody	5 ±1 °C	5 ±1 °C	4 ±2 °C	5 ±2 °C
Mechanické zatížení	Otočit 5x o 180° každé 3 hodiny	Odstranění po 24 hodinách	Otočit 5x o 180° každé 3 hodiny	Otáčení v daných periodách
Vyhodnocení	Pozice etikety a % odlepené etikety	Pozice etikety	Posunutí etikety	Pozice etikety

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Na základě získaných poznatků při vypracování teoretické části byly stanoveny následující cíle pro praktickou část práce.

1. Definovat chování a vlastnosti jednotlivých surovin na základě kterých bude navrženo konkrétní složení jednotlivých vzorků.
2. Připravit několik vzorků lepidel s rozdílným složením, které budou vhodné pro etiketování skleněných lahví.
3. U připravených vzorků změřit a porovnat dynamickou viskozitu, která musí spadat do rozmezí, které bude stanoveno na základě měření komerčně dostupných lepidel.
4. U vzorků srovnatelných s komerčně dostupnými lepidly otestovat odolnost vůči kondenzační a ledové vodě za použití klimatické komory a termostatického kabinetu.
5. Změřit a porovnat vlastnosti při odlupovacím testu u čerstvých lepidel.
6. Vyhodnotit a porovnat parametry připravených vzorků se vzorky reálných lepidel a zvolit nejvhodnější typ pro případné použití v praxi.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 POUŽITÉ SUROVINY

Pro přípravu vzorků bylo nejprve nutné poptat základní chemikálie a také specifické suroviny pro použití v tomto odvětví. Základní chemikálie jsou běžně dostupné v České republice, ale u specifických surovin bylo nutné oslovit zahraniční dodavatele. Následně se pak veškeré složky podařilo zajistit od výrobců v EU.

Příprava a následné měření vzorků bylo prováděno v laboratořích Univerzity Tomáše Bati v budově U15. Nachází se zde veškeré potřebné vybavení pro přípravu vzorků a následné měření požadovaných vlastností.

### 6.1 Použité suroviny pro přípravu vzorků

Základní chemikálie využitě k přípravě jednotlivých vzorků: Močovina s obsahem dusíku N 46% (v.č. 000366), dále označována jako M-N46%, alkalizační činidlo označované zkratkou TEA-Triethanolamin (v.č. T 07101), hydroxid sodný a také čpavková voda 24%. Jako specifické suroviny pro tuto aplikaci byly po konzultaci s obchodně-technickými pracovníky jednotlivých výrobců použity kopolymery akrylátu od různých dodavatelů v rámci EU (A1 - v.č. 319403140000, A2 – v.č. 50652947, A3 – v.č. 319403121000). Škroby a jejich modifikované podoby jsou původem pouze z ČR (SB1 – modifikovaný bramborový škrob, SB2 – modifikovaný bramborový škrob, SB3 – modifikovaný bramborový škrob, SB4 – škrob bramborový, SP1 – škrob pšeničný, SK1 – škrob kukuřičný). Modifikované škroby jsou výsledným produktem při tepelně chemickém zpracování klasického škrobu a mají tak rozdílné vlastnosti, proto bylo vybráno více druhů na základě doporučení výrobce. Polyvinylalkohol, dále jen PVA, byl použit na základě doporučení daného výrobce. Jedná se o částečně hydrolyzovaný (87 - 90 %) PVA ve formě bílého prášku, který je rozpustný ve vodě, se kterou vytváří stabilní a průhledné formulace. Posledními surovinami použitými při přípravě vzorků byla aditiva zabraňující pění, následné degradaci a vzniku mikroorganismů. Aditiva pro zabránění pění pochází z evropské produkce a jsou dále označována jako AD1 – v.č. 0023893972, AD2 – v.č. 319402800000). Aditivum zabraňující degradaci a vzniku mikroorganismů při skladování a manipulaci pochází také z evropské produkce a je dále označováno jako AK1 – v.č. E9329D24. Přísady, které byly použity pro vylepšení některých vlastností připravených vzorků jsou dále označovány jako AP1 – v.č. 140311.

## 7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Na základě získaných poznatků z teoretické části byly postupně připraveny vzorky lepidel s rozdílným složením tak, aby bylo možné sledovat vliv jednotlivých složek na jejich vlastnosti a parametry.

### 7.1 Navážky a příprava jednotlivých surovin

Potřebné množství jednotlivých surovin bylo naváženo pomocí přesné laboratorní váhy výrobce VWR, která umožňuje přípravu surovin s přesností na 0,1g.



Obrázek 23 Laboratorní váha VWR

**Příprava akrylátů:**

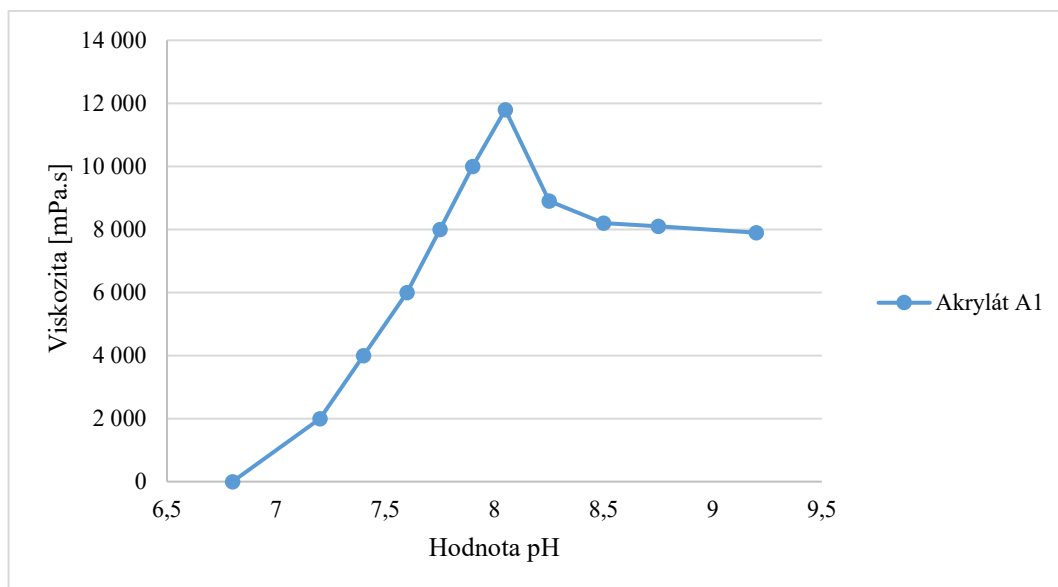
Vybrané druhy akrylátů jsou v základním stavu kyselé roztoky plně rozpustné ve vodě a svou viskozitu zvyšují až při alkalizaci pomocí alkalizačního činidla. Jako alkalizační činidlo byl použit 25% roztok hydroxidu sodného, čpavková voda 24% a TEA, který byl následně vyhodnocen jako nejvhodnější a je tak dále používán pro přípravu všech vzorků. Bylo možné jej použít v koncentraci dodané výrobcem a odpadla tak příprava procentuálního roztoku. Akryláty A1 a A3 byly postupně rozmíchány v daném poměru s vodou a poté za stálého míchání zahřívány nad teplotu 65 °C, při které byly alkalizovány trietanolaminem na výslednou hodnotu pH v rozmezí 7 – 8. Poté bylo přidáno konzervační činidlo AK1 a takto připravený akrylát byl nechán vychladnut při pokojové teplotě.

Při uvedené hodnotě pH dosahují oba akryláty vysoké viskozity a mají průhledně čirou barvu. Akrylát A2 při stejném postupu dosahuje několikanásobně nižší viskozity a jeho barva je neprůhledná mléčně bílá. Toto chování je dáno rozdílným složením jednotlivých akrylátů. Každý výrobce uvádí jednotlivé vlastnosti v technickém listě, ze kterého jsou tyto vlastnosti patrné.

Akrylát A1 byl postupně alkalizován na různé hodnoty pH (Tabulka 3), u kterých byla změřena viskozita. Z grafu 6 je patrné že, nejvyšší viskozity dosahuje akrylát A1 při hodnotě pH blízko 8. Proto jsou všechny vzorky připravených lepidel alkalizovány na hodnotu pH v rozmezí 7,5 až 8,5.

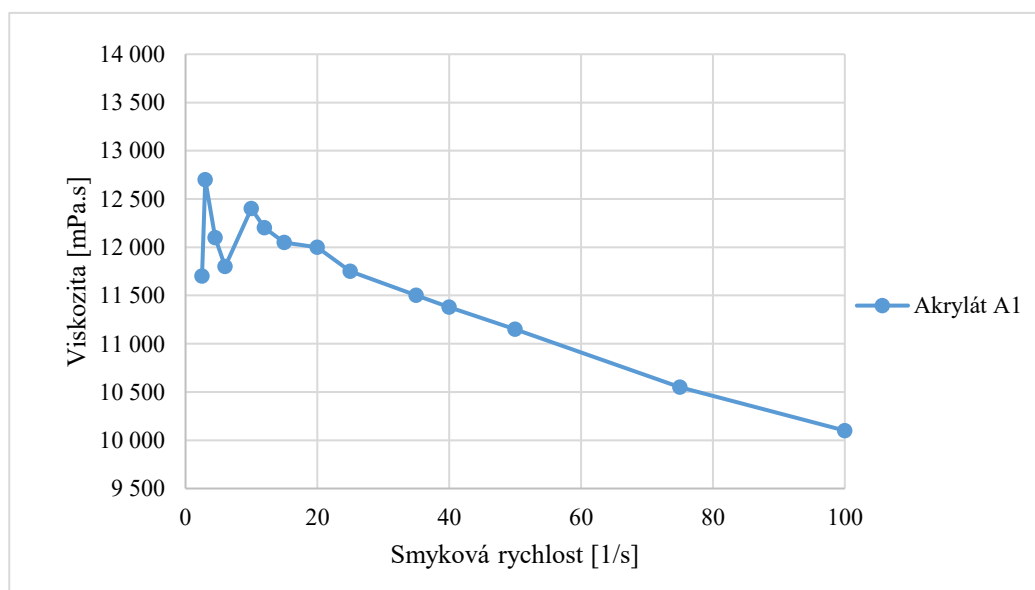
Tabulka 3 Hodnoty viskozity pro různé hodnoty pH akrylátu A1

pH	Viskozita [mPa.s]
6,80	0
7,20	2 000
7,40	4 000
7,60	6 000
7,75	8 000
7,90	10 000
8,05	11 800
8,25	8 900
8,50	8 200
8,75	8 100
9,20	7 900



Graf 6 Závislost změny viskozity na hodnotě pH

U připraveného vzorku akrylátu A1 s hodnotou pH = 8 bylo provedeno opakované měření viskozity v závislosti na různých smykových rychlostech. Podrobný popis měření a měřícího přístroje je uveden v kapitole 8.1 *Dynamická viskozita*. Naměřené hodnoty jsou pak zaznamenány v Grafu 7, ze kterého je patrné, že pokud budeme zvyšovat smykovou rychlost (Tabulka 4), bude docházet k poklesu viskozity připravených vzorků s obsahem akrylátu A1.



Graf 7 Reologický profil akrylátu A1

Tabulka 4 Závislost smykové rychlosti na viskozitě

Smyková rychlost grad [1/s]	Viskozita [mPa.s]
2,5	11 700
3	12 700
4,5	12 100
6	11 800
10	12 400
12	12 200
15	12 050
20	12 000
25	11 750
35	11 500
40	11 380
50	11 150
75	10 550
100	10 100

**Příprava škrobů:**

Prvním krokem bylo dispergování jednotlivých škrobů ve vodě, kde bylo zjištěno, že škroby SB1, SB2 a SB3 jsou ve vodě zcela rozpustné, a proto bylo nutné je převést do mazovité podoby za stálého míchání a zahřívání nad teplotu 80 °C. Poté bylo přidáno množství močoviny a škroby tak byly připraveny k další manipulaci. Naopak škroby SB4, SP1 a SK1 začínají houstnout již při postupném přidávání do vody, kde jsou za stálého míchání zahřáty na teplotu 65 °C, při které následovalo přidání množství močoviny. Všechny vzorky byly zakonzervovány pomocí konzervačního činidla AK1 a chlazeny při pokojové teplotě.

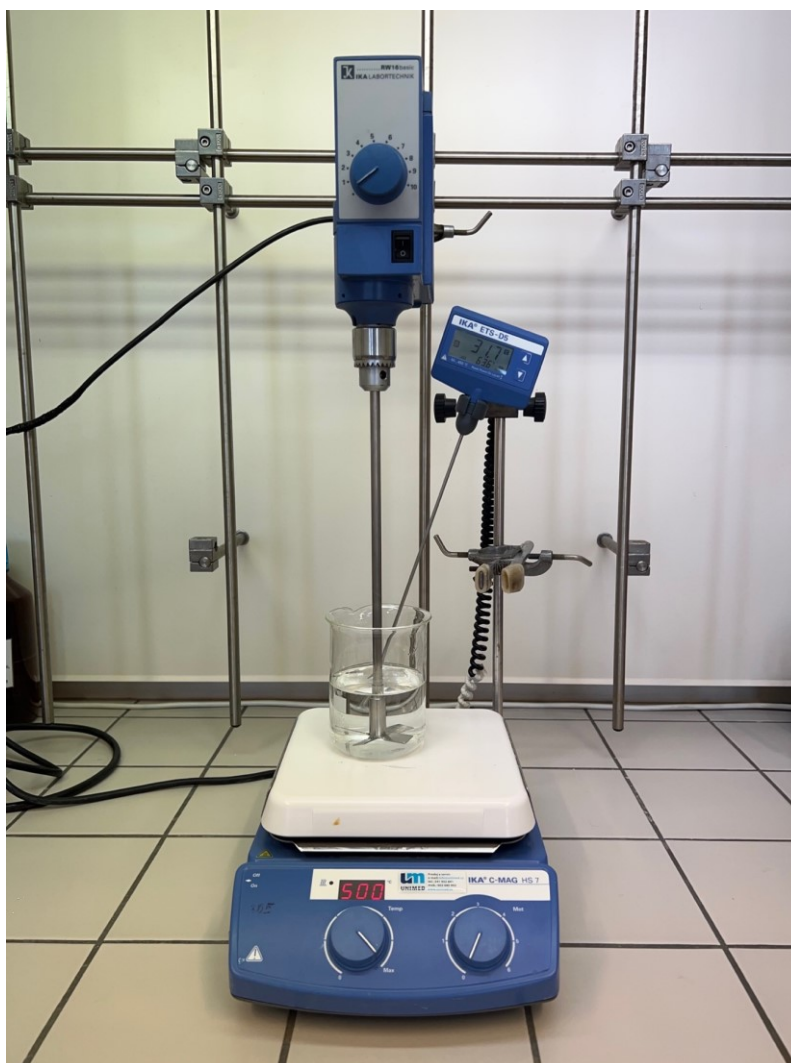
**Příprava PVA prášku:**

Polyvinylalkoholový prášek byl postupně přidáván do zahřáté vody o teplotě 65 °C a za stálého míchání byl postupně dál zahříván na teplotu 80 °C, kdy byl zcela rozpuštěn a jeho viskozita se zvyšovala podobně jako u škrobů. Opět následovalo přidání konzervačního činidla AK1 a vzorky byly vychlazeny při pokojové teplotě.

## 7.2 Použité míchací zařízení

Pro dosažení požadovaných teplot bylo míchání prováděno na magnetickém míchadle IKA C-MAG HS7 s keramickou plochou a možností ohřevu až do 500 °C. Hlídání požadovaných teplot bylo prováděno pomocí kontaktního teploměru IKA ETS-D5 s rozlišením 0,1 °C.

Jelikož se jedná o velmi viskózní kapaliny, míchání pomocí magnetu nebylo možné, a bylo nutné použít výkonnější laboratorní míchadlo IKA RW 16 Basic osazené vrtulovým míchadlem se čtyřmi lopatkami. Míchadlo pracuje v rozmezí otáček 40 až 1.200 rpm, což je naprosto dostačující pro přípravu zmíněných vzorků.



Obrázek 24 Sestava laboratorního míchadla s ohřevem a kontaktním teploměrem IKA

### 7.3 Složení a příprava vzorků

Příprava jednotlivých vzorků navazuje na poznatky z předchozích kapitol, kde bylo vysvětleno chování jednotlivých základních surovin. Na základě těchto poznatků bylo rozhodnuto, že připravené vzorky lepidel budou složeny pouze ze škrobů, pouze z polyvinylalkoholu a kombinací obou surovin. Postup přípravy takto navržených vzorků je podrobněji rozepsán níže. Příprava vzorků lepidel probíhala v připravených uzavíratelných skleněných nádobách o objemu 245 ml.

#### 7.3.1 Lepidla s obsahem škrobu

Přesně navážené množství škrobu bylo postupně přidáváno za stálého míchání do vody o teplotě 65 °C. Jak bylo zmíněno v kapitole 7.1, škroby SB1, SB2 a SB3 bylo nutné převést do mazovité podoby tak, že směs byla dále zahřívána nad teplotu 80 °C a za stálého míchání pak bylo přidáno potřebné množství močoviny. Následovala 10 minutová homogenizace celé směsi při otáčkách 650 rpm. Vzorky, které obsahují zbylé škroby SB4, SP1 a SK1 byly zahřívány pouze na teplotu 65 °C, kdy bylo opět přidáno množství močoviny.

Po dokonalé homogenizaci byla směs ochlazená na teplotu 65 °C, při které bylo přidáno navážené množství akrylátu. Směs byla krátce promíchána tak, aby došlo k důkladnému rozptýlení akrylátu. Postupně byla celá směs alkalizována pomocí alkalizačního činidla TEA. Celý proces alkalizace byl sledován pomocí pH metru WTW 526 tak, aby výsledná hodnota pH byla v rozmezí 7,5 až 8,5. Při ustálené hodnotě pH následovalo přidání aditiv AD1 a AK1. Nakonec byla směs homogenizována po dobu 5 minut. Takto připravené vzorky byly vychlazeny při pokojové teplotě a připraveny na další měření. Celková hmotnost všech připravených vzorků činila 180 g.

Tabulka 5 ukazuje složení jednotlivých vzorků č.1 až č.15. Použité suroviny jsou označeny písmeny A-J, kde: A – množství vody, B – akrylát A1, C – akrylát A2, D – akrylát A3, E – škrob SB1, F – škrob SB2, G – škrob SB3, H – škrob SB4, I – škrob SP1, J – škrob SK1.



Množství močoviny M-N46% bylo pro všechny vzorky 30 g. Množství alkalizačního činidla bylo pro všechny vzorky rozdílné v závislosti na požadované hodnotě pH. Pro lepší představu, toto množství se vždy pohybovalo v řádu jednotek, u některých vzorků i desítek procent. Aditiva AD1 a AK1 byla přidávána pouze v desetínách procent.

Tabulka 5 Složení vzorků lepidel na bázi škrobů, množství uvedeno v [g]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
č.1	65	65	–	–	20	–	–	–	–	–
č.2	65	50	15	–	20	–	–	–	–	–
č.3	65	65	–	–	–	20	–	–	–	–
č.4	65	65	–	–	–	–	20	–	–	–
č.5	65	65	–	–	15	–	5	–	–	–
č.6	86	50	–	–	–	–	–	–	15	–
č.7	86	50	–	–	–	–	–	15		–
č.8	86	50	–	–	–	–	–	7,5	7,5	–
č.9	112	50	–	–	20	–	–	–	20	–
č.10	112	50	–	–	–	20	20	20	–	–
č.11	86	50	–	–	–	–	–	–	–	40
č.12	86	50	–	–	10	–	–	–	–	15
č.13	86	50	–	–	15	–	5	–	–	15
č.14	86	–	–	50	20	–	–	–	–	–
č.15	86	–	–	–	15	–	5	–	–	–

### 7.3.2 Lepidla s obsahem PVA

Navážené množství PVA prášku bylo postupně přidáváno za stálého míchání do vody o teplotě 65 °C. Míchání probíhalo po dobu 15 minut za konstantních otáček 650 rpm, dokud nebyl celý obsah PVA prášku dokonale rozptýlen ve vodě. Po dokonalé homogenizaci bylo postupně přidáno navážené množství akrylátů. Následovala postupná alkalizace směsi přidáváním alkalizačního činidla TEA, tak aby se výsledné hodnoty pH připravených vzorků pohybovaly v rozmezí 7,5 až 8,5. Alkalizace byla postupně kontrolována pomocí pH metru WTW 526. Při ustálené hodnotě pH následovalo přidání aditiv AD1 a AK1. Poté se pokračovalo v důkladné homogenizaci celé směsi po dobu 10 minut. Připravené vzorky byly přesunuty na studenou podložku a byly ochlazeny na pokojovou teplotu.

Po vychladnutí a odstátí vzorků následovalo další měření. Všechny připravené vzorky s použitím níže uvedených surovin měly přibližnou hmotnost 180 g.

Tabulka 6 ukazuje složení s použitím akrylátů a PVA u vzorků č.16 až č.19. Použité suroviny jsou označeny písmeny A-K, kde: A – množství vody, B – akrylát A1, C – akrylát A2, D – akrylát A3, K – PVA.

Pro alkalizaci vzorků bylo opět použito alkalizační činidlo TEA, které bylo postupně přidáváno a zároveň byla měřena hodnota pH. Výsledná hodnota pH byla u všech vzorků v rozmezí 7,7 až 8,4. Opět však množství alkalizačního činidla nebylo vyšší než v jednotky procent. Aditiva AD1 a AK1 byla přidávána k zachování vlastností a také k prodloužení životnosti připravených vzorků. Také tato aditiva byla přidána pouze v desetínách procent.

Tabulka 6 Složení vzorků lepidel na bázi PVA, množství uvedeno v [g]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
č.16	100	50	–	–	–	–	–	–	–	–	35
č.17	100	50	–	–	–	–	–	–	–	–	50
č.18	100	40	10	–	–	–	–	–	–	–	35
č.19	100	45	–	5	–	–	–	–	–	–	35

### 7.3.3 Lepidla s obsahem škrobů a PVA

Připravené množství škrobů SB1, SB2 a SK1 bylo za stálého míchání postupně přidáváno do zahřáté vody o teplotě 65 °C. Vzorky s obsahem škrobů SB1 a SB2 (č. 20, 21, 23, 24, 25) bylo nutné zahřát nad teplotu 80 °C, kdy bylo přidáno potřebné množství močoviny (10 g). Tímto postupem byly škroby typu SB1 a SB2 převedeny do mazovité podoby a bylo tak možné s nimi dále pracovat. Vzorky s obsahem pouze škrobů SK1 (č.22 a č.26) nebylo nutné předem takto upravovat a bylo možné s nimi pracovat ihned, tak jak bylo popsáno v kapitole 7.1 *Navážky a příprava jednotlivých surovin.*

Následovalo důkladné míchání celé směsi po dobu 20 minut, při konstantních otáčkách 650 rpm. Poté byla celá směs ochlazena na teplotu 65 °C, při které bylo pomalu přidáváno připravené množství PVA prášku. Po přidání celé navážky následovala opět důkladná

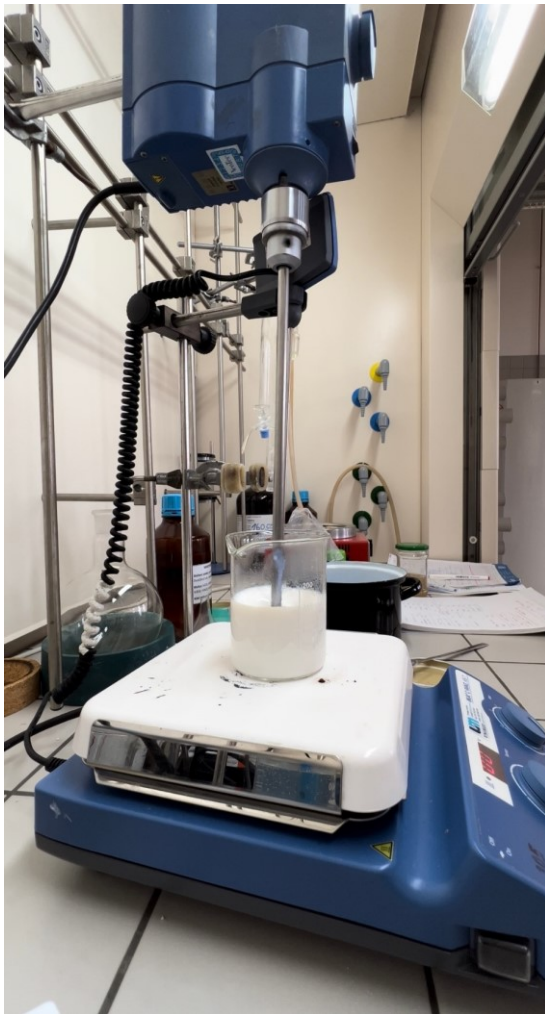
homogenizace po dobu 10 minut a otáčkách 650 rpm. Při stejné teplotě pak bylo přidáno množství akrylátů, po úplném rozptýlení akrylátů (Obrázek 30) v celé směsi bylo přidáno alkalizační činidlo TEA (Obrázek 31). Množství alkalizačního činidla bylo opět stanoveno na základě měření pH jednotlivých vzorků pomocí pH metru WTW 526 tak, aby výsledná hodnota pH byla v již zmíněných mezích 7,5 až 8,5. Po dosažení požadovaných hodnot pH byla přidávána aditiva AD1, AD2 a AK1. Celá směs byla na závěr důkladně promíchána po dobu 10 minut a následně byla odstavena na studenou podložku kde chladla na pokojovou teplotu. Následoval stejný postup jako u předchozích vzorků, kdy byly měřeny parametry takto připravených vzorků. Všechny takto připravené vzorky měly hmotnost okolo 195 g.

Tabulka 7 zobrazuje kombinaci obou předešlých možností s využitím škrobů i PVA prášku u vzorků č.20 až č.24. Použité suroviny jsou označeny písmeny A-J, kde: A – množství vody, B – akrylát A1, C – akrylát A2, D – akrylát A3, E – škrob SB1, F – škrob SB2, G – škrob SB3, H – škrob SB4, I – škrob SP1, J – škrob SK1, K – PVA.

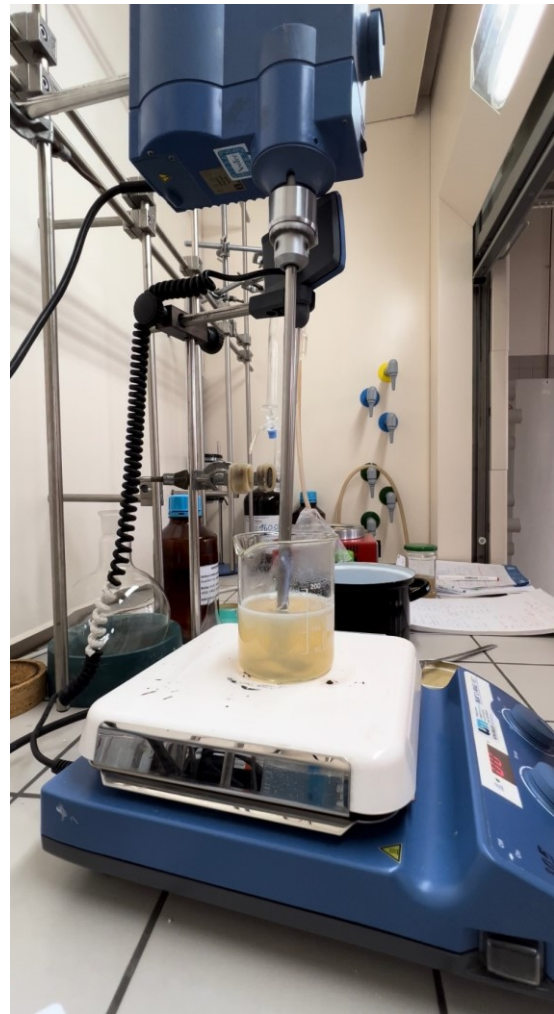
Množství močoviny M-N46% bylo pro dané kombinace rozdílné, avšak nikdy nepřekročilo 30 g jako bylo u lepidel pouze na bázi škrobů. Alkalizace vzorků probíhala opět v závislosti na hodnotě pH, která byla průběžně kontrolována pH metrem. Výsledné hodnoty pH u všech vzorků byly v rozmezí 7,8 až 8,3 a to při použití alkalizačního činidla TEA v řádech jednotek procent. V závěru procesu míchání byla přidána aditiva AD1, AD2 a AK1 v řádech desetin procent.

Tabulka 7 Složení vzorků lepidel kombinace škrobů a PVA množství uvedeno v [g]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
č.20	100	50	–	–	35	–	–	–	–	–	35
č.21	100	50	–	–	20	20	–	–	–	–	35
č.22	100	50	–	–	–	–	–	–	–	40	35
č.23	100	50	–	–	20	–	–	–	–	20	35
č.24	100	40	–	10	40	–	–	–	–	–	35
č.25	100	45	–	5	40	–	–	–	–	–	–
č.26	86	45	–	5	–	–	–	–	–	40	–



Obrázek 25 Směs bez alkalizačního činidla



Obrázek 26 Směs po alkalizaci

## 8 MĚŘENÍ PARAMETRŮ PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ

U připravených vzorků jednotlivých lepidel popsanych v kapitole 7.3 *Složení a příprava vzorků* bylo nutné provést měření požadovaných parametrů, které jsou běžně uváděny v praxi u těchto druhů lepidel.

Pro porovnání byla vybrána tři běžně používaná lepidla od předních výrobců Henkel, Paramelt a Collma, u kterých byla nejprve vizuálně porovnáována barva, poté následovalo měření viskozity, stanovení obsahu sušiny a hodnota pH. Na základě získaných dat byla naměřená data porovnána s připravenými vzorky a byly vybrány ty vzorky, které se nejvíce blíží parametrům zmíněných běžných lepidel používaných v praxi. U těchto vzorků následovaly zkoušky odolnosti vůči kondenzační vodě a také odolnosti vůči ledové vodě.

### 8.1 Vzhled jednotlivých lepidel

Postup pro stanovení barvy lepidel je uveden v normě ČSN EN 1244. Jako referenční vzorky, které mají požadovanou barvu, byly použity lepidla Henkel – aquence XP 190, Paramelt – LATYL ES 5 BF (Obrázek 27), Collma – COLLMEX 6462 a tyto vzorky byly porovnávány s připravenými vzorky. V technický listech referenčních vzorků lepidel je barva uvedena jako světle béžová až světle hnědá, a proto bylo vizuálně vyhodnoceno, které připravené vzorky vyhovují tomuto požadavku a které ne. U vzorků, které vykazovaly vizuálně barvu příliš světlou nebo příliš tmavou, nebylo prováděno další měření a byly tak vyřazeny.



Obrázek 27 Porovnání barvy lepidla LATYL ES 5 BF vs. připravený vzorek

U etiketovacích lepidel má barva nejen vizuální efekt, který posuzují pracovníci při aplikaci lepidla, ale také funkční efekt, který by mohl ovlivnit vzhled nalepené etikety na láhvi. V případě, že by bylo použito lepidlo velmi světlé či tmavé barvy, mohlo by dojít k prosvítání lepidla skrze etiketu a ta by tak mohla být znehodnocena. Vyhodnocení jednotlivých barev připravených vzorků je uvedeno v Tabulce 8.

Tabulka 8 *Vizuální porovnání a vyhodnocení barev (OK – vyhovující, NOK – nevhovující)*

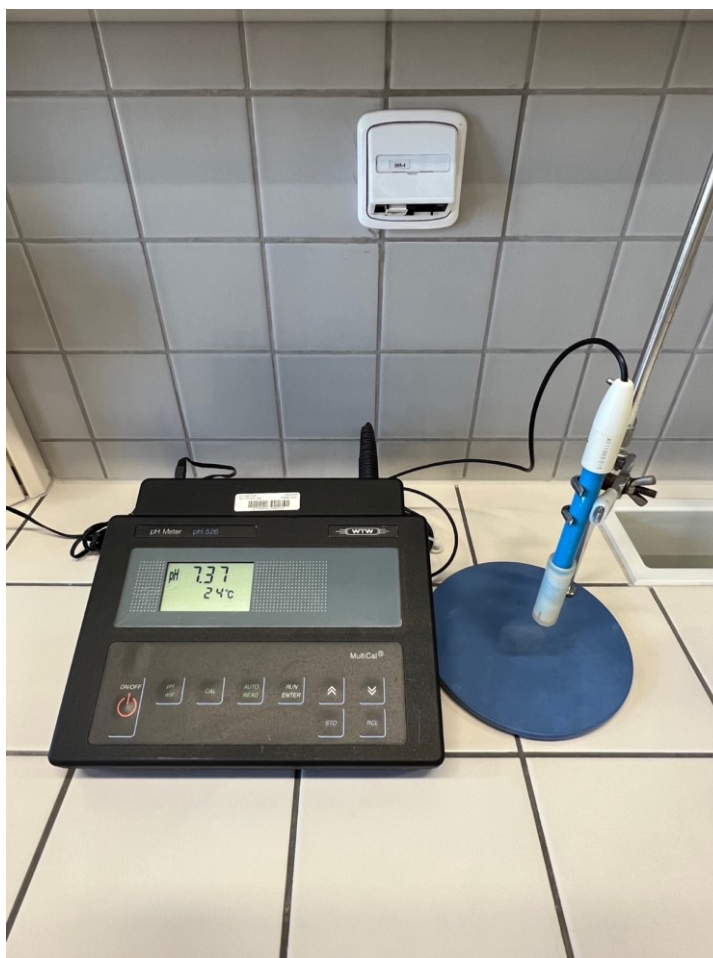
Vzorek	Barva	Stav	Vzorek	Barva	Stav
<b>Aquence XP 190</b>	světle béžová	OK	<b>č.13</b>	světle hnědá	OK
<b>LATYL ES 5BF</b>	světle hnědá	OK	<b>č.14</b>	hnědá	<b>NOK</b>
<b>COLLMEX 6462</b>	světle béžová	OK	<b>č.15</b>	světle hnědá	OK
<b>č.1</b>	světle béžová	OK	<b>č.16</b>	hnědá až průhledná	OK
<b>č.2</b>	mléčná	<b>NOK</b>	<b>č.17</b>	hnědá až průhledná	OK
<b>č.3</b>	tmavě hnědá	<b>NOK</b>	<b>č.18</b>	mléčná	<b>NOK</b>
<b>č.4</b>	tmavě hnědá	<b>NOK</b>	<b>č.19</b>	bílá	<b>NOK</b>
<b>č.5</b>	světle hnědá	OK	<b>č.20</b>	světle hnědá	OK
<b>č.6</b>	béžová	OK	<b>č.21</b>	světle hnědá	OK
<b>č.7</b>	mléčná	<b>NOK</b>	<b>č.22</b>	béžová až průhledná	OK
<b>č.8</b>	mléčná	<b>NOK</b>	<b>č.23</b>	béžová až průhledná	OK
<b>č.9</b>	světle hnědá	OK	<b>č.24</b>	hnědá až průhledná	OK
<b>č.10</b>	světle hnědá	OK	<b>č.25</b>	světle hnědá	OK
<b>č.11</b>	světle béžová	OK	<b>č.26</b>	béžová až průhledná	OK
<b>č.12</b>	světle béžová	OK			

## 8.2 Měření hodnoty pH

Kontrola hodnoty pH vzorků během přípravy (*kapitola 7.3 Složení a příprava vzorků*) i vyhodnocení připravených vzorků s běžně dostupnými lepidly byla provedena podle normy ČSN EN 1245.

Pro všechna měření byl použit digitální pH metr WTW 526 (Obrázek 28), který umožňuje měření pH v rozsahu hodnot 0 až 14, což pokryje celou škálu použitých surovin i výsledných lepidel. Měření lze provádět při teplotách od  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $+99,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což také pokrylo potřeby měření při přípravě jednotlivých vzorků, kdy nejvyšší teplota byla nad  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rozlišení naměřených hodnot je v 0,01 zobrazované hodnoty, pro naše měření byly všechny hodnoty zaokrouhleny v řádech 0,1.

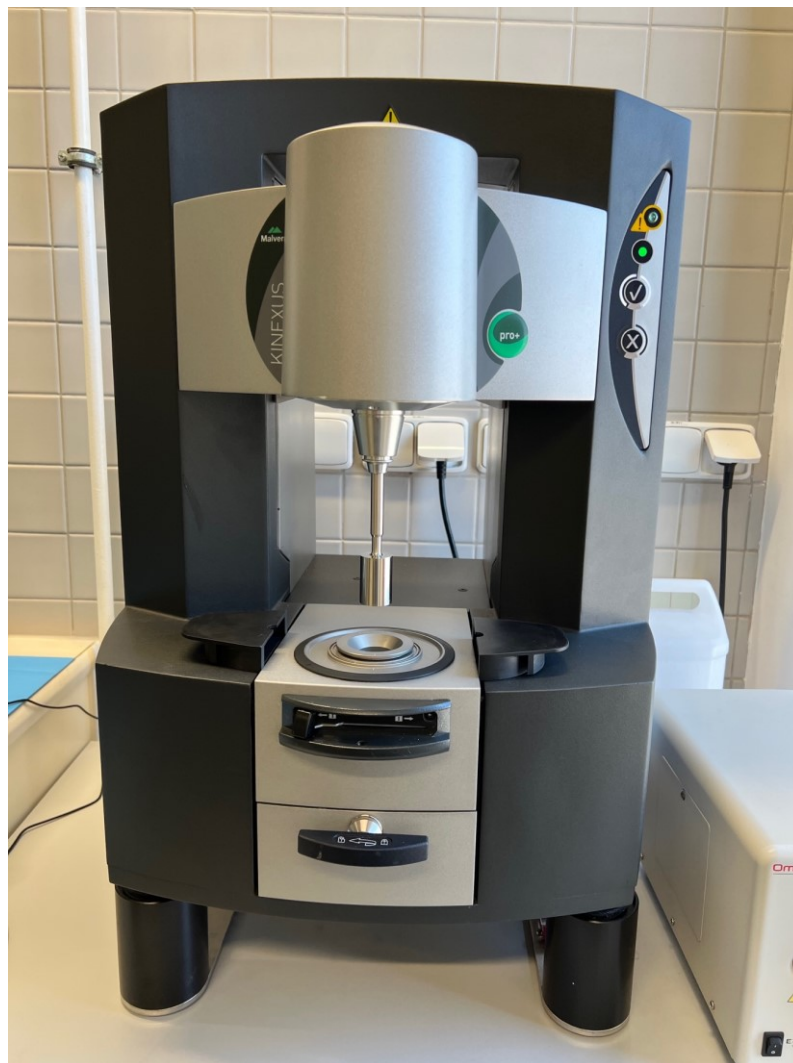
Po zapnutí přístroje byla provedena kalibrace podle návodu výrobce a před každým měřením byla měřicí elektroda řádně omyta a opláchnuta destilovanou vodou tak, aby nebylo ovlivněno následující měření.



Obrázek 28 pH metr WTW 526

### 8.3 Měření dynamické viskozity

Pro měření viskozity byl využit reometr Malver–Kinexus Pro+ (Obrázek 29) v konfiguraci válec (C25 DIN SL0056 SS) – válec (PC25 DIN C0324 AL) podle normy ČSN EN 12092. Druhý zmíněný válec je mini zásobník, do kterého bylo připraveno 11 cm<sup>3</sup> testovaného vzorku. Následně byl takto připravený vzorek stabilizován na požadovanou teplotu, při které bylo měření prováděno. V našem případě byla teplota u všech vzorků konstantní 20 °C.

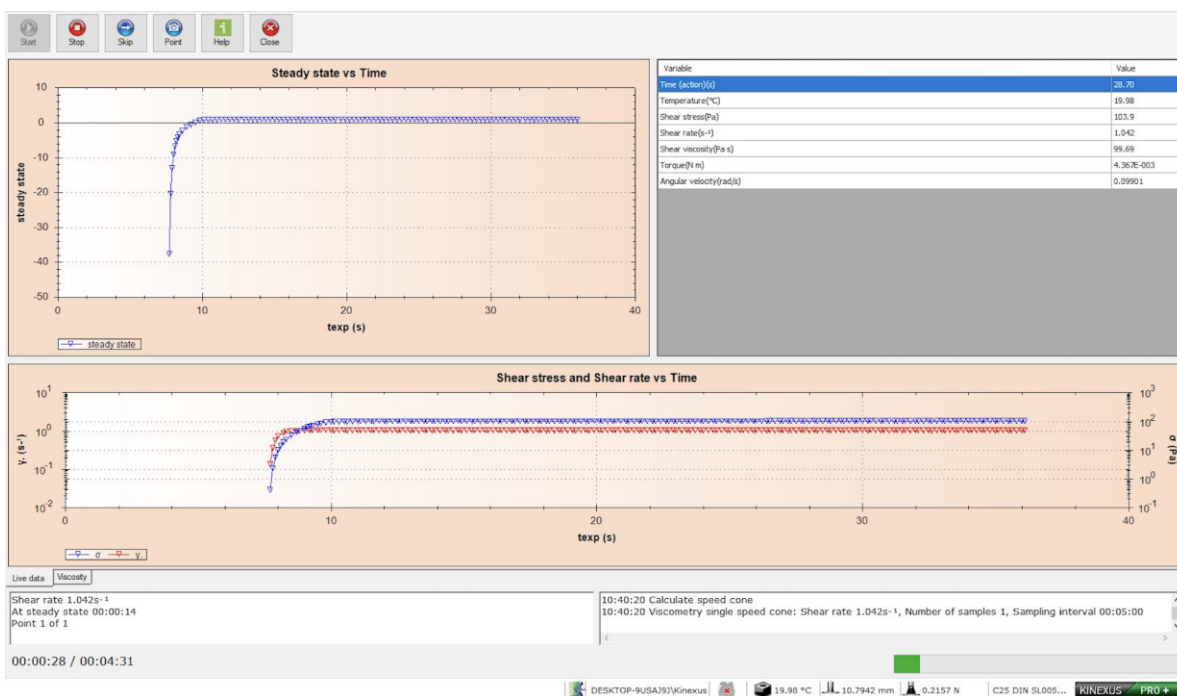


Obrázek 29 Malver–Kinexus Pro+



Prvně byly změřeny viskozity u komerčně dostupných lepidel, každý vzorek byl změřen dvakrát, aby byla zajištěna reprodukovatelnost měření. Tyto dvě hodnoty nebyly rozdílné o více než 3 %, přesně jak uvádí příslušná norma. Naměřené hodnoty byly porovnány s údaji v technických listech jednotlivých lepidel. Na základě tohoto vyhodnocení byla stanovena smyková rychlost, která odpovídá reálným hodnotám viskozity uvedených v technických listech. Smyková rychlost  $1,042 \text{ s}^{-1}$  byla použita pro měření všech připravených vzorků. Měření probíhalo po dobu, dokud se hodnota viskozity neustálila. Opět byly všechny vzorky přeměřeny dvakrát po sobě, aby se ověřila reprodukovatelnost měření.

Celé měření bylo zaznamenáváno v počítačovém programu Airspace (Obrázek 30), kde jsou zobrazeny všechny důležité hodnoty jako je: teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ), čas měření (s), smykové napětí (Pa), smyková rychlost ( $\text{s}^{-1}$ ), smyková viskozita (Pa), kroutící moment (Nm) a úhlová rychlost (rad/s).



Obrázek 30 Prostředí programu Airspace

Tabulka 9 Naměřené hodnoty viskozity při teplotě 20 °C, smykové rychlosti 1,042 s<sup>-1</sup> (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)

Vzorek	Viskozita [mPa.s]	Stav	Vzorek	Viskozita [mPa.s]	Stav
<b>Aquence XP 190</b>	50 000	OK	<b>č.15</b>	34 000	OK
<b>LATYL ES 5BF</b>	65 000	OK	<b>č.16</b>	12 000	NOK
<b>COLLMEX 6462</b>	100 000	OK	<b>č.17</b>	15 000	NOK
<b>č.1</b>	87 000	OK	<b>č.20</b>	87 000	NOK
<b>č.6</b>	35 000	OK	<b>č.21</b>	129 000	NOK
<b>č.9</b>	63 000	OK	<b>č.22</b>	103 000	OK
<b>č.10</b>	69 000	OK	<b>č.23</b>	58 000	OK
<b>č.11</b>	66 000	OK	<b>č.24</b>	79 000	OK
<b>č.12</b>	55 000	OK	<b>č.25</b>	39 000	OK
<b>č.13</b>	120 000	OK	<b>č.26</b>	214 000	NOK

Tabulka 9 ukazuje naměřené hodnoty viskozity pro jednotlivé vzorky lepidel. Vzorky běžně používaných lepidel z praxe dosahují viskozity od 50 000 mPa.s do 110 000 mPa.s což bylo vyhodnoceno jako rozmezí, které bude sledováno i u připravených vzorků. Připravené vzorky č.16 a č.17 vykazují velmi nízkou viskozitu, a proto jsou z dalších zkoušek vyřazeny. Naopak vzorek č.26 dosahuje příliš vysoké viskozity, což je také nežádoucí, a proto je tento vzorek pro další zkoušky nepoužitelný. Vzorky č. 20 a č.21 jsou viskozitou v rozmezí, které je požadováno, avšak svým složením korespondují s dalšími připravenými vzorky a nebudou tak použity pro další měření. Celkem bylo vybráno 12 připravených vzorků, u kterých bude prováděno další měření.

Ze zkušeností získaných v praxi je viskozita velmi důležitým parametrem etiketovacích lepidel. Hraje velkou roli při nanášení lepidla na etiketovací zařízení (Obrázek 31), kdy je lepidlo přiváděno na rotační válec, na kterém je pomocí stírací lišty nastaveno přesné množství lepidla, které je poté nanášeno na pogumované paletky k přenesení etiket ze zásobníku na láhve. Pokud by viskozita lepidla byla příliš vysoká, nebylo by lepidlo kontinuálně rozestíráno na nanášecí válec a mohlo by se také hromadit v horní části. Naopak nízká viskozita by mohla znamenat větší zanášení celého etiketovacího stroje lepidlem zejména při vysokých rychlostech nad 25 000 lahví za hodinu.

V praxi je většina etiketovacích zařízení vybavena čerpadly s možným ohřevem lepidla. To velmi usnadňuje případnou změnu viskozity daného lepidla přímo ve výrobě. Většina používaných lepidel má doporučené aplikační teploty od 24 °C do 34 °C. Tento přehřev lepidel při nanášení na etiketovací zařízení je využíván především v zimních měsících, kdy mohou být lepidla skladována při nižších teplotách a jejich viskozita může být vyšší, než je uvedeno v technickém listu a než je obsluha etiketovacího zařízení zvyklá.



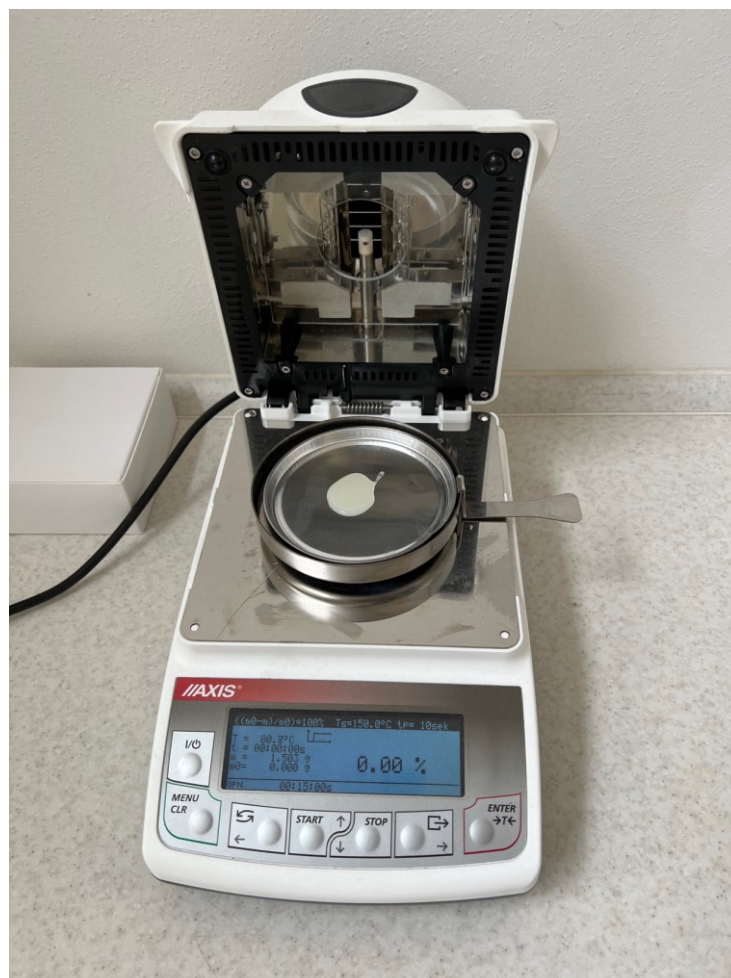
Obrázek 31 Aplikace lepidla na etiketovací stroj

## 8.4 Stanovení obsahu sušiny

Dalším z uváděných parametrů etiketovacích lepidel je procentuální obsah pevných látek. Podstata zkoušky a průběh měření je dán normou ČSN EN 827.

Jednotlivé vzorky byly přesně naváženy na připravenou misku, která byla umístěna do vlhkostního analyzátoru (Obrázek 32). V našem případě bylo naváženo  $1,500 \text{ g} \pm 0,010 \text{ g}$  vzorku od každého druhu. Celý program sušení trvá 15 minut, kdy je vzorek zatížen teplotou  $T=150 \text{ }^\circ\text{C}$  tak, aby došlo k odpaření veškeré vody a zůstal pouze obsah pevných látek.

Na displeji přístroje je zobrazováno množství odpařené vody v (%), a pro procentuální vyjádření obsahu pevných látek je nutné zobrazenou hodnotu na displeji odečíst od celkových 100 %.



Obrázek 32 Vlhkostní analyzátor AXIS

Jako referenční hodnoty byly použity vzorky reálných lepidel jako v předešlých kapitolách. Hodnoty pevných látek vyjádřených v procentech jsou uvedeny v Tabulce 10. Z tabulky je patrné, že každý výrobce nastavuje obsah pevných látek dle vlastních zkušeností a receptur jednotlivých výrobků. Všeobecně se dá ale říct, že obsah pevných látek v etiketovacích lepidlech je blízko 50 % celkového složení.

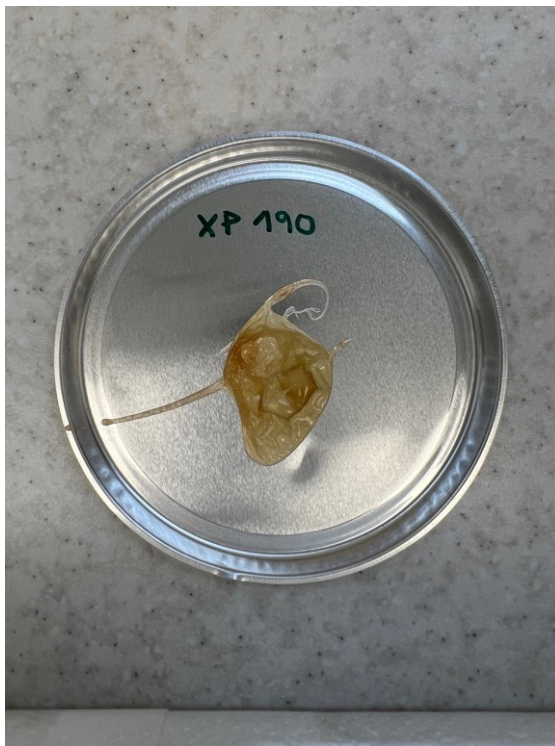
Následně byly stejným způsobem změřeny i připravené vzorky. Z tabulky jde opět vidět, že i připravené vzorky dosahují podobných hodnot jako reálně používaná lepidla. V tomto případě tak všechny připravené vzorky vyhovují požadovaným hodnotám a lze je tedy použít k dalším zkouškám a měření.

Tabulka 10 *Obsah pevných látek v jednotlivých vzorcích [%]*

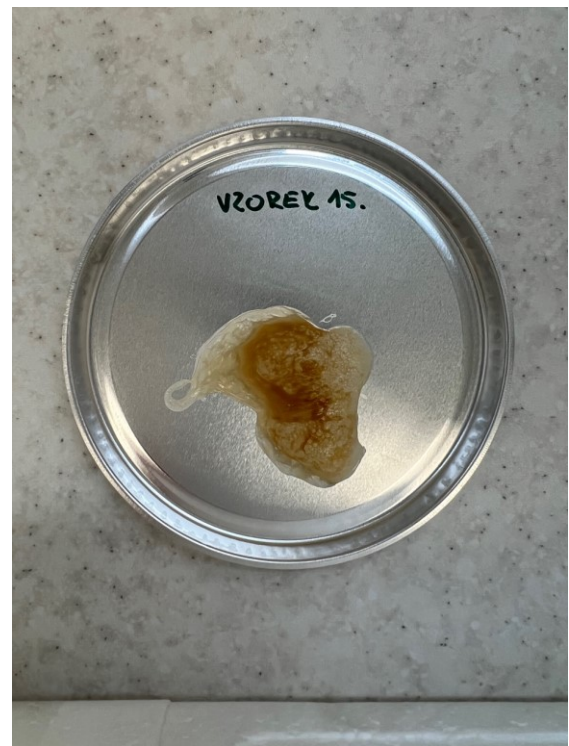
	<b>Obsah pevných látek [%]</b>		<b>Obsah pevných látek [%]</b>
<b>Aquence XP 190</b>	50,10	<b>č.12</b>	48,30
<b>LATYL ES 5BF</b>	45,50	<b>č.13</b>	49,60
<b>COLLMEX 6462</b>	40,20	<b>č.15</b>	50,10
<b>č.1</b>	48,00	<b>č.22</b>	48,40
<b>č.6</b>	42,10	<b>č.23</b>	48,30
<b>č.9</b>	54,10	<b>č.24</b>	50,90
<b>č.10</b>	50,80	<b>č.25</b>	55,20
<b>č.11</b>	51,00		

Po skončení měření byly misky i se zbytky vzorků vyjmuty. U vysušených vzorků je však velmi dobře viditelná rozdílná barva jednotlivých vzorků. Lze tak opakovaně porovnat a vyhodnotit barevnou škálu jako v kapitole 8.1 *Vzhled jednotlivých lepidel*.

Obrázek č. 33 ukazuje zbytek lepidla Aquence XP 190, který při měření obsahu pevných látek vykazuje obsah 50,10 %, a je tak shodný s připraveným vzorkem č.15 (Obrázek 34), který při této zkoušce vykazuje totožný obsah pevných látek, ale má však nepatrně tmavší barvu. Což je dáno typem použitého škrobu SB3, který má výrazně tmavší barvu než škrob SB1.



Obrázek 33 Vzorek Aquence XP 190



Obrázek 34 Vzorek č.15

## 8.5 Nanášení lepidel

Z přechozí kapitoly 8.4 *Stanovení obsahu sušiny* vyšlo najevo, že všechny připravené vzorky jsou velmi podobné komerčně používaným lepidlům a jsou tak vhodné k dalším zkouškám, ve kterých bude zkoumána jejich použitelnost v praxi, kde jsou na lepidla kladeny vysoké nároky vzhledem k náročným klimatickým podmínkám.

Následovala skupina zkoušek, při kterých bylo potřeba nanést přesně definované množství jednotlivých vzorků na skleněné zkušební destičky a následně také na papírové etikety, které byly lepeny na skleněné láhve, tak jak je běžné v praxi. V praxi se pro přesné nanášení definované vrstvy lepidla používají pravítka či stěrky.

V našem případě byla použita manuální spirálová natahovací tyč od firmy Erichsen (Obrázek 35). Spirálová tyč je vhodná k nanášení povlaků a vrstev na flexibilní povrchy, protože spirála dokáže tento nerovnoměrný povrch přitlačit k podkladu a požadovaná tloušťka vrstvy je pak dána mezerami mezi spirálou. K dispozici je několik možných tloušťek požadované vrstvy. Pro naše zkoušky byly použity dvě spirály pro vytvoření vrstev o tloušťce 120  $\mu\text{m}$  a 178  $\mu\text{m}$ .

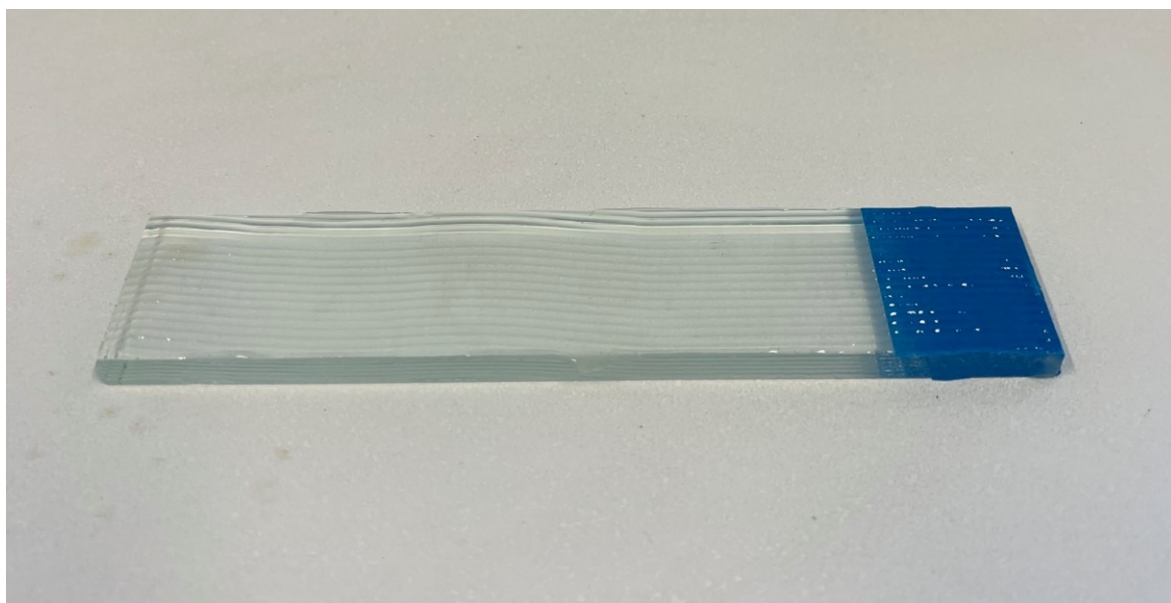


Obrázek 35 Nanášecí pravítko Erichsen

## 8.6 Vymývání čerstvého lepidla při úplném kontaktu s vodou

Pro posuzování odolnosti etiketovacích lepidel vůči vodě byla jako první zkouška použita odolnost čerstvého lepidla v přímém kontaktu s vodou o konstantní teplotě 15 °C. Zkouška spočívala v nanesení přesně definovaného množství lepidla dle kapitoly 8.5 *Nanášení lepidel* na skleněnou destičku o rozměrem 30x145mm (obrázek 36).

Takto připravená skleněná destička byla ihned po nanesení lepidla ponořena do vody o teplotě 15 °C a byla sledována doba, za kterou dojde k úplnému vyplavení lepidla z povrchu skleněné destičky. Ukončení měření nastalo v momentě, kdy bylo ze skleněné destičky vyplaveno alespoň 90 % lepidla, což bylo možné sledovat vizuálně.



Obrázek 36 Skleněná destička 30 x 145 mm s vrstvou lepidla (v pravé části nanasena maskovací páska, která slouží k odstranění přebytečného lepidla po nanesení)

V Tabulce 11 jsou zapsány časy v minutách pro jednotlivé vzorky lepidel a také pro obě tloušťky nanášených vrstev, kdy došlo k úplnému vyplavení lepidla z povrchu skleněné destičky. Při porovnání časů u obou vrstev bylo zjištěno, že tloušťka nanášené vrstvy má nepatrný vliv na dobu, za kterou je lepidlo zcela vyplavené a nemá tak další význam tuto proměnnou zkoumat. Celá zkouška trvala 60 minut a vzorky, které byly i po této době rezistentní vůči vodě, jsou označeny hodnotou 60+ (Obrázek 37). U vzorků, kde došlo k úplnému vyplavení lepidla z povrchu, je pak zaznamenán přesný čas, který byl potřeba k odstranění celé vrstvy lepidla (Obrázek 38).



Tabulka 11 *Odolnost lepidel při přímém kontaktu s vodou [min]*

Odolnost proti vymývání	vrstva 120 $\mu$ m [min]	vrstva 178 $\mu$ m [min]
<b>Aquence XP 190</b>	60+	60+
<b>LATYL ES 5 BF</b>	5	6
<b>COLLMEX 6462</b>	45	48
<b>č.1</b>	2	3
<b>č.6</b>	4	4
<b>č.9</b>	5	7
<b>č.10</b>	6	9
<b>č.11</b>	7	9
<b>č.12</b>	7	8
<b>č.13</b>	15	15
<b>č.15</b>	15	15
<b>č.22</b>	60+	60+
<b>č.23</b>	60+	60+
<b>č.24</b>	60+	60+
<b>č.25</b>	60+	60+

Obrázek 37 *Vzorek č.22 s odolností 60+ minut*Obrázek 38 *Vzorek č.6 s odolností 4 minuty*

## 8.7 Odolnost lepidla vůči kondenzační vodě

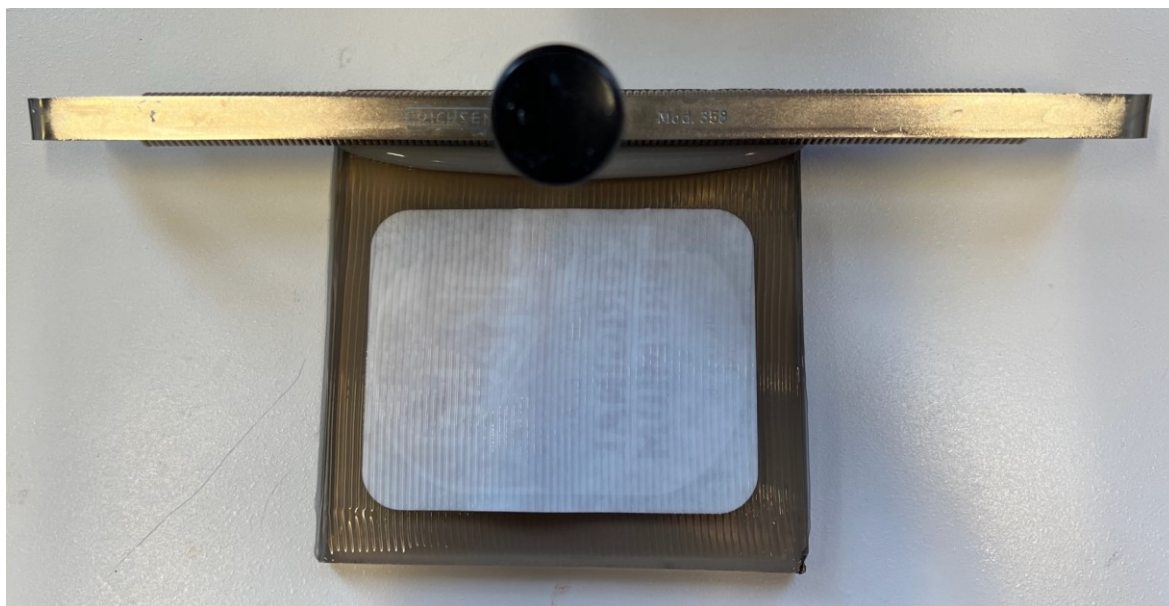
Zkouška odolnosti vůči kondenzační vodě byla provedena jako simulace podmínek, které jsou běžné při etiketování lahví v nápojovém průmyslu. Pokud se zaměříme na etiketování pivních lahví zjistíme, že tato aplikace bývá často nejproblémovější z důvodů, že například pivo je stáčeno do lahví při velmi nízkých teplotách, okolo 6 °C. Po naplnění piva do láhve bývá většinou za plnicím strojem zařazen oplach celé láhve od přebytečné pивní pěny. Následuje pak velmi krátká doba předtím, než dojde k nalepení etikety na láhev. To znamená, že etiketování probíhá na velmi studené a mokré láhve. Po nanesení lepidla a etikety jsou pak láhve ihned vkládány do plastové přepravky a jsou stohovány na paletách, na kterých jsou dále skladovány. Ve skladech bývá většinou chladno a vlhko, což zabraňuje rychlému schnutí mokré láhve a také vysychání lepidla pod etiketou. Láhve jsou tak vystaveny neustálému orosování až do doby, kdy se vyrovná teplota láhve s okolní teplotou, a to může trvat i několik hodin. Při použití nevhodného lepidla je pak ve skladech vidět, jak lepidlo vytéká pod etiketou směrem ke dnu láhve. Na láhvi jsou pak dobře viditelné stopy po tečení lepidla (Obrázek 39). Proto je nutné složení lepidla nastavit tak, aby bylo lepidlo odolné tomuto jevu a zabránilo se případnému odpadnutí etikety.



Obrázek 39 Tečení lepidla po láhvi při nasvícení UV světlem

Láhve byly ochlazeny na teplotu 6 °C ponořením do studené vody v laboratorním termostatickém kabinetu, kde lze nastavit požadovanou teplotu na  $\pm 0,1$  °C. Před vytažením lahví z termostatického kabinetu byla změřena jejich teplota pomocí digitálního bezkontaktního teploměru FLUKE MAX 62 aby bylo zajištěno, že všechny láhve mají stejnou teplotu v rozmezí 5,5 až 6,5 °C. Tím, že byly všechny láhve zcela ponořeny ve vodě, je také zajištěno, že mají dokonale mokrý povrch přesně tak, jak je běžné při etiketování v praxi.

Následovalo nanesení vrstvy lepidla na zadní stranu etikety: etiketa byla umístěna na skleněnou podložku o rozměru 150 x 150 mm, kam bylo nanесeno množství lepidla a následně bylo toto lepidlo nanесeno na etiketu pomocí spirálového pravítka (Obrázek 40), jak bylo popsáno v kapitole 8.5 *Nanášení lepidel*. Takto připravená etiketa byla ihned nalepena na mokrou a studenou láhev a ta byla ihned umístěna do klimatické komory.



Obrázek 40 *Nanášení lepidla na zadní stranu etikety pomocí spirálového pravítka*

V klimatické komoře (Obrázek 41) pak byly láhve ponechány po dobu 2 a 4 hodin při teplotě 15 °C a vlhkosti 90 %. Po vytažení lahví z klimatické komory byly láhve sušeny při pokojové teplotě 21 °C po dobu 24 hodin. Poté bylo zkoumáno posunutí etikety na láhvi a také zůstatek etikety po jejím odtržení.



Obrázek 41 Mokrě láhve umístěné v klimatické komoře POL-EKO

Výsledky testu, kdy byly láhve vystaveny velmi vlhkému prostředí, jsou uvedeny v Tabulce 12. Jako první ukazatel byla zvolena pozice etikety a její případné posunutí směrem dolů po láhvi. Zde bylo hodnocení provedeno vizuálně a závěr byl vyhodnocen jako vyhovující (OK) nebo nevyhovující (NOK), pokud došlo k posunutí či natočení etikety na láhvi. Druhým ukazatelem bylo množství etikety, které zůstalo na láhvi po jejím zaschnutí a následném odtržení.

Tabulka 12 *Vyhodnocení odolnosti vůči kondenzační vodě (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)*

<b>Odolnost vůči kondenzační vodě</b>	<b>Pozice etikety 2 hod</b>	<b>Zůstatek etikety 2 hod</b>	<b>Pozice etikety 4 hod</b>	<b>Zůstatek etikety 4 hod</b>
<b>Aquence XP 190</b>	OK	100 %	OK	90 %
<b>LATYL ES 5 BF</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>COLLMEX 6462</b>	OK	100 %	OK	90 %
<b>č.1</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.6</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.9</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.10</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.11</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.12</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.13</b>	OK	75 %	NOK	0 %
<b>č.15</b>	OK	75 %	OK	50 %
<b>č.22</b>	OK	100 %	OK	90 %
<b>č.23</b>	OK	100 %	OK	90 %
<b>č.24</b>	OK	100 %	OK	90 %
<b>č.25</b>	OK	100 %	OK	90 %

### 8.7.1 Stav etiket po 2 hodinách

Všechny připravené vzorky vykazovaly po 2 hodinách klimatického zatížení při teplotě 15 °C a vzdušné vlhkosti 90 % dobré výsledky. Posunutí etiket ani pootočené etikety na láhvi nenastalo ani u jednoho vzorku a je tak pro všechny vzorky toto vizuální hodnocení vyhovující.

Po 24 hodinách sušení lahví byly postupně odtrženy nalepené etikety a byl zhodnocen procentuální zůstatek etikety na láhvi. U tohoto posouzení již byly zřejmé rozdíly v jednotlivých vzorcích. Vzorky s přídavkem škrobu (Obrázek 42) vykazují daleko menší procentuální zůstatek etikety na láhvi oproti vzorkům s obsahem PVA (obrázek 43).



Obrázek 42 Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel se škroby po 2 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorek reálného lepidla LATYL ES 5 BF, dále pak připravené vzorky č.1, č.10, č.15)



Obrázek 43 Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel s obsahem PVA po 2 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorky reálných lepidel Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 dále pak připravené vzorky č.23, č.24)

### 8.7.2 Stav etiket po 4 hodinách

Při čtyřhodinovém vystavení lahví s nalepenými etiketami při teplotě 15 °C a vzdušné vlhkosti 90 % již byly viditelné nedostatky u připravených vzorků s přidavkem škrobů. U těchto druhů lepidel došlo k posunutí či pootočení nalepené etikety a tím pádem je toto vyhodnocení označeno jako nevyhovující (Obrázek 44). Připravené vzorky s obsahem PVA opět vykazují bezproblémovou odolnost vůči kondenzační vodě a k žádnému viditelnému posunutí etikety na láhvi nedošlo ani u jednoho vzorku.



Obrázek 44 Vyhodnocení posunutí etikety na láhvi po 4hodinovém testu (zleva správně nalepena etiketa před zahájením testu v klimatické komoře, dále komerční lepidlo LATYL ES 5 BF a připravený vzorek č.1 kde je viditelné posunutí etiket)



Následovalo odtržení etiket ze suchých lahví po 24hodinovém sušení při pokojové teplotě. Poté bylo zhodnoceno, kolik procent etikety zůstalo na láhvi. Výsledky korespondují s výsledky po 2 hodinách, kdy vzorky s přídatkem škrobu nejsou vyhovující vůbec, jelikož na láhvích nezůstala v podstatě žádná etiketa (Obrázek 45). U vzorků s obsahem PVA jsou výsledky stále velmi dobré, a proto se dá říct, že jsou takto připravená lepidla bez problému odolná kondenzační vodě (Obrázek 46).



Obrázek 45 Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel se škroby po 4 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorek reálného lepidla LATYL ES 5 BF, dále pak připravené vzorky č.1, č.10, č.15)

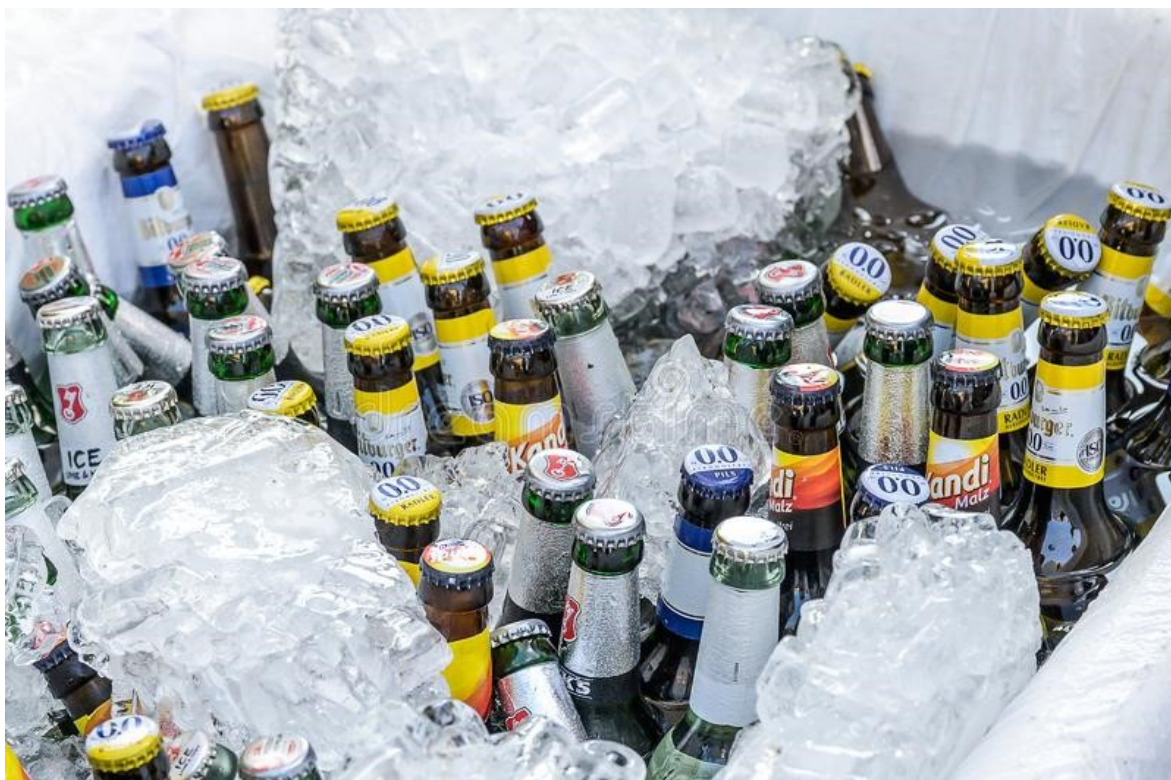


Obrázek 46 Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel s obsahem PVA po 4 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorky reálných lepidel Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 dále pak připravené vzorky č.23, č.24)

## 8.8 Odolnost lepidla vůči ledové vodě

Odolnost lepidla vůči ledové vodě je vyžadována především pro exportní druhy piva, která jsou prodávána na americkém trhu. V zahraničí není obvyklé chlazení pivních lahví v lednici jako u nás, ale daleko častěji je využíváno chlazení v nádobě nebo kádi s ledem (Obrázek 47). S přibývajícím časem dochází k postupnému tání ledových kostek až je v kádi spíše ledová lázeň, ve které jsou pak láhve ponořeny a etiketa s lepidlem je tak v přímém kontaktu s ledovou vodou.

Na rozdíl od odolnosti vůči kondenzační vodě je u tohoto požadavku zřejmé, že dojde k dokonalému zaschnutí lepidla po nanesení etikety a zatížení ledovou vodou je až o několik dní či týdnů později.



Obrázek 47 Chlazení lahví v lázni s kostkami ledu (ilustrační foto)

Samotná zkouška odolnosti vůči ledové vodě probíhala podle testovací metody zmíněné v kapitole 4.9 *Odolnost lepidla v ledové vodě*. Pro dosažení nízké teploty byl opět využit laboratorní termostatický kabinet, do kterého byla umístěna nádoba s vodou. Teplota uvnitř kabinetu byla nastavena na 6 °C stejně jako u předchozí zkoušky tak, aby se nanášení lepidla co nejvíce přiblížilo podmínkám v praxi. Nejprve byly do této nádoby umístěny čisté láhve, které bylo nutné před nanesením etikety ochladit a vytvořit dokonale mokré povrch.

Ihned po vytažení lahví z termostatického kabinetu následovalo nanesení lepidla na zadní stranu etikety stejným způsobem jako je popsáno v předchozí kapitole. Láhve s nalepenou etiketou pak byly sušeny při pokojové teplotě 21 °C po dobu 24 hodin. Mezitím byla teplota v termostatickém kabinetu nastavena na 4 °C, tak jak uvádí testovací metoda popsána v Tabulka 2 *Testovací metody odolnosti v ledové vodě*. Po 24 hodinách kdy byly láhve i etikety dokonale suché následovalo jejich ponoření do nádoby s ledovou vodou umístěnou v termostatickém kabinetu (Obrázek 48).



Obrázek 48 *Láhve v ledové vodě uvnitř termostatického kabinetu*



Nejlepší odolnost vůči ledové vodě vykazují opět připravené vzorky s obsahem PVA, které jsou tak velmi podobné komerčně používanými lepidly Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 (Obrázek 49). Naopak naprosto nevyhovující jsou připravené vzorky s obsahem škrobů, které až na vzorek č.15 neobstály v této zkoušce ani v nejkratším sledovaném čase. Toto zjištění tak pouze potvrzuje předchozí dvě zkoušky odolnosti vůči kondenzační vodě a také vyplavování lepidla v přímém kontaktu s vodou, ve kterých byly tyto vzorky také nevyhovující.



Obrázek 49 Srovnání vzhledu odtržených etiket po testu odolnosti vůči ledové vodě po 24 hodinách (zleva komerční lepidla Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 další dvě láhve jsou připravené vzorky č.23 a č.24)

## 8.9 Modifikace vzorků pomocí aditiva

Jelikož připravené vzorky s obsahem škrobů neobstály v žádné ze zkoušek odolnosti, byla provedena možná modifikace parametrů těchto vzorků pomocí přidání aditiva AP1. Jako testovací vzorek bylo vybráno připravené lepidlo č.15 které v předchozích zkouškách nedosahovalo požadovaných vlastností odolnosti vůči kondenzaci a v ledové vodě.

Do lepidla č.15 bylo postupně přidáno a rozmícháno aditivum AP1 v různých procentuálních koncentracích. Byly vybrány tři různé koncentrace tohoto aditiva (1 %, 3 % a 5 %) z celkového objemu čistého lepidla. U takto modifikovaných lepidel pak byla provedena opakovaně zkouška odolnosti vůči ledové vodě. Bylo však zjištěno, že žádná z použitých koncentrací odolnost takto modifikovaného lepidla neprodlouží, a naopak zhorší vizuální vzhled lepidla na láhvi po odstranění etikety (Obrázek 50).

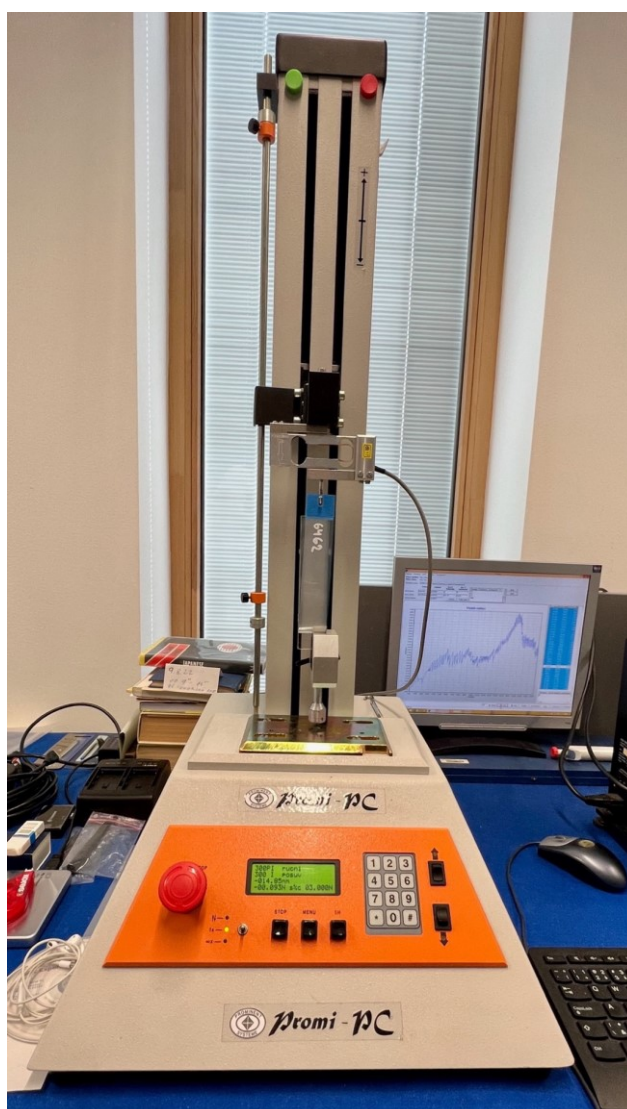
Pro úpravu odolnosti vůči vodě by tak bylo třeba vybrat a vyzkoušet jiná aditiva než to, které bylo použito. Vhodnější bude použít aditiva plně rozpustná, nikoliv aditiva s obsahem pevných částic.



Obrázek 50 Vizuální srovnání připraveného lepidla č.15 po přidání aditiva AP1

## 8.10 Porovnání přilnavosti pomocí odlupovacího testu

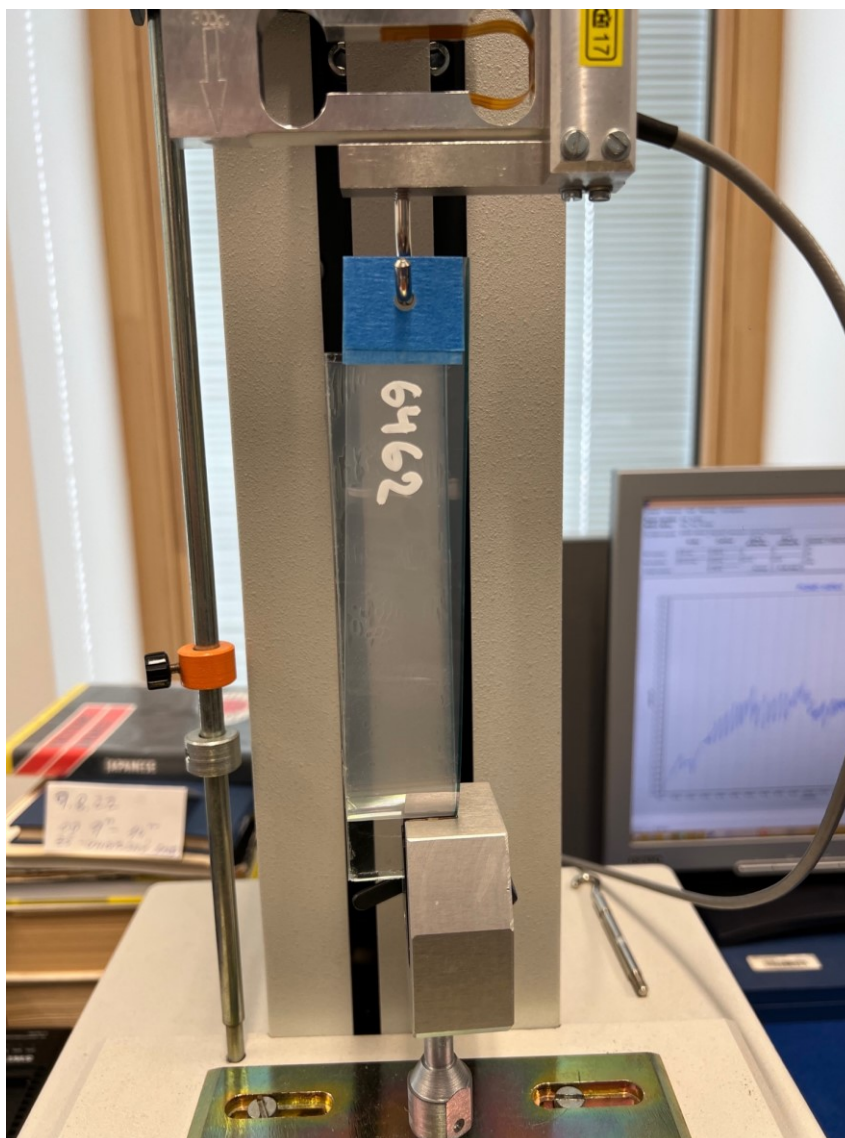
Na závěr práce bylo realizováno porovnání přilnavosti nejpoužitelnějších vzorků připravených lepidel s komerčně dostupnými lepidly. Pro toto porovnání byly vybrány jako referenční vzorky Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462. Z předchozích kapitol jako nejpoužitelnější z připravených vzorků vyšel vzorek č.23, který svými vlastnostmi a parametry je nejbližší právě prvně zmíněnému lepidlu Henkel Aquence XP 190. Pro srovnání je toto měření provedeno také u vzorku č.15, který obsahuje pouze přídavek škrobu, nikoliv PVA, a svými parametry není vyhovující. Měření probíhalo na zkušebním přístroji PROMI-PC (Obrázek 51), který umožňuje velmi přesné měření i při nízkých silách, které jsou předpokládány u připravených vzorků lepidel. Samotné měření probíhalo dle normy ČSN EN ISO 8510-2.



Obrázek 51 Zkušební přístroj PROMI-PC



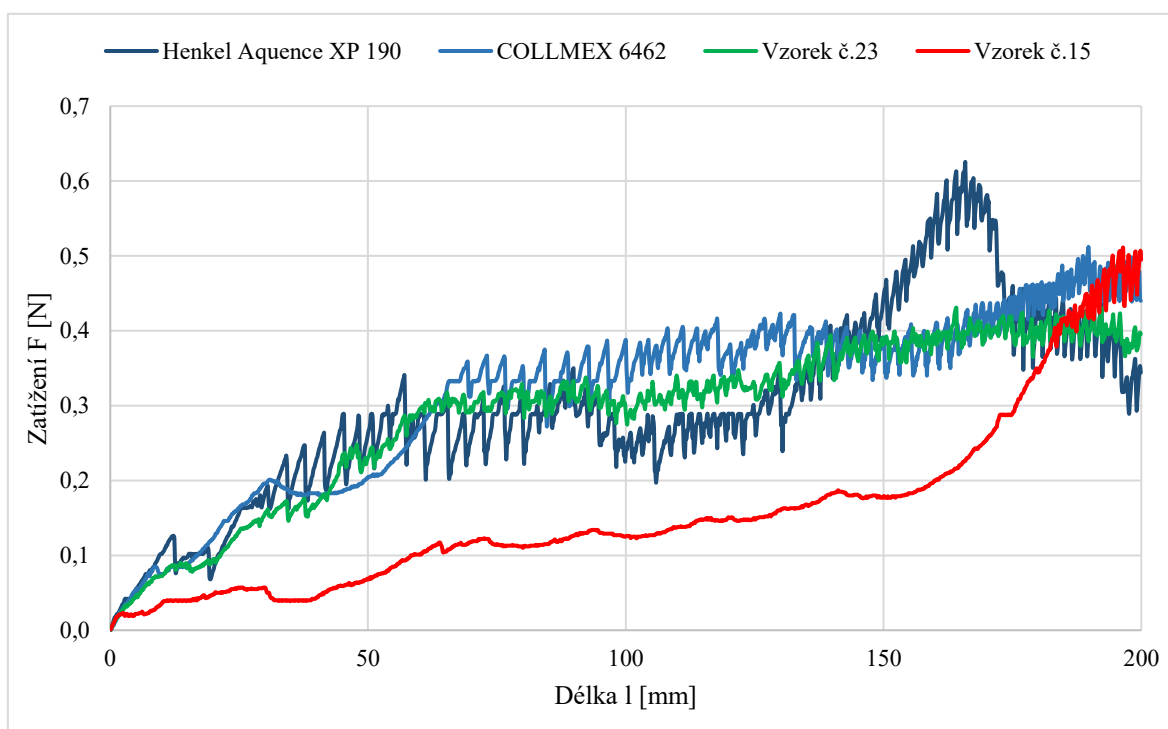
Vzorky jednotlivých lepidel byly nanášeny na skleněnou destičku stejným způsobem jako bylo popsáno v kapitole 8.6 *Vymývání čerstvého lepidla při úplném kontaktu s vodou*, kdy byla krajní část skleněné destičky zamaskována pomocí lepicí pásky tak, aby bylo možné destičku upnout do spodních pevných čelistí (Obrázek 52) a tento prostor tak zůstal bez nanášeného lepidla. Následně byl na připravenou vrstvu lepidla nalepen PP pásek o rozměrech 30x280mm a tloušťce 170 $\mu$ . Pásek byl na jednom konci vyztužen lepicí páskou, ve které byl udělán otvor ve vzdálenosti 10 mm od kraje. Otvor sloužil k upnutí PP pásku na horní pohyblivou čelist (háček). Připravený vzorek byl ihned vložen do zkušebního zařízení a bylo zahájeno měření, tak aby nebylo ovlivněno vytvrzením vrstvy lepidla.



Obrázek 52 Zkušební destička upnutá mezi čelistmi (dolní samosvorná čelist pevná, horní pohyblivá čelist řešena formou háčku)

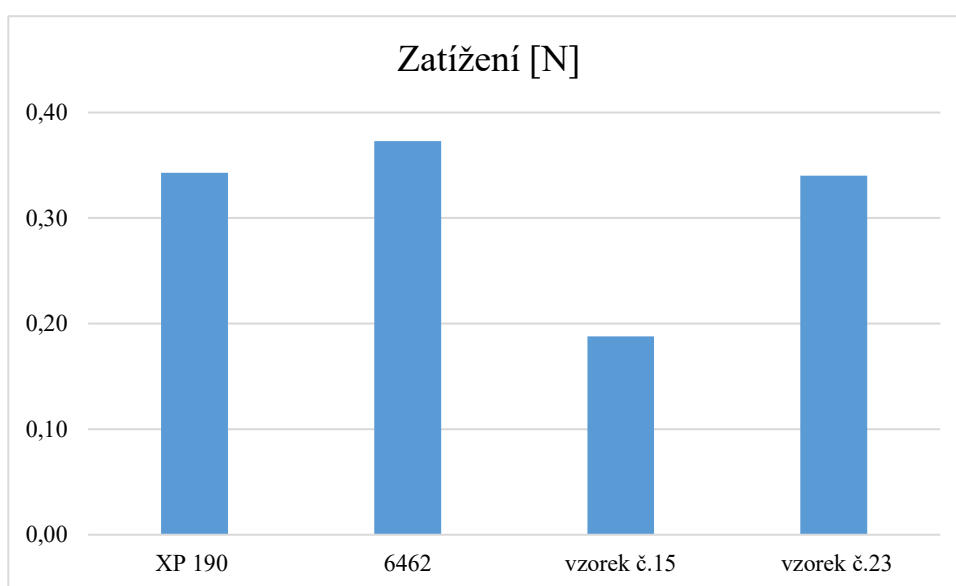
Průběh měření byl zaznamenávám do grafu (Graf 8), který zobrazuje nárůst síly, která je potřebná k oddělení PP pásku od vrstvy lepidla na zkušební skleněné destičce po celé její délce. Výsledky jednotlivých vzorků jsou pak porovnány v grafu 8 ze kterého je patrné, že referenční vzorky Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 korespondují s průběhem nárůstu síly s připraveným vzorkem č.23. Naopak připravený vzorek č.15 je zcela odlišného průběhu a je tak patrné, že není tak možné jeho využití v praxi.

Při porovnání viskozit komerčních lepidel, kdy vzorek Henkel Aquence XP 190 vykazoval viskozitu 50 000 mPa.s a vzorek lepidla COLLMEX 6462 vykazoval viskozitu dvojnásobnou zjistíme, že viskozita nemá žádný vliv na výslednou přilnavost lepidel. Přilnavost bude tak nejvíce ovlivňovat složení a poměr použitých surovin, jako je možné vyhodnotit z porovnání vzorku č.23 a vzorku č.15.



Graf 8 Průběh zkoušky v odlupování ohebného vzorku z tuhého adherendu (průběh narůstajícího zatížení v závislosti na délce zkušební vzorku)

Počátek narůstání zatížení je pozvolný u všech vzorků a mohl by tak velmi ovlivnit výslednou sílu, která je vypočítána jako průměr všech sil po celé zkušební délce. Proto je prvních 50 mm zkušební délky z tohoto průměru vyřazeno. Výsledná síla je tak počítána pouze z rozmezí 50,00 mm až po 199,99 mm při všechny vzorky. Průměry výsledných sil jsou znázorněny v Grafu 9 ze kterého je patrné, že komerční lepidla Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 vykazují průměrnou přilnavost v rozmezí od 0,30 do 0,40 N. V tomto rozmezí je také připravený vzorek č.23, který je tak srovnatelný ve všech parametrech.



Graf 9 Výsledné hodnoty přilnavosti při měření v odlupu při 180° (zleva dvě komerční lepidla dále pak dva připravené vzorky)

## 9 ZÁVĚREČNÁ DISKUZE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ

Cílem práce byla příprava několika vzorků s rozdílným složením a následné srovnání s komerčně dostupnými lepidly používanými v tomto odvětví.

I přes složitou dostupnost některých surovin se podařilo zajistit všechny suroviny potřebné k přípravě jednotlivých vzorků a bylo tak připraveno celkem 26 vzorků s rozdílným složením, které byly rozděleny do kategorií s obsahem škrobu, s obsahem PVA a kombinací obou surovin.

Při měření viskozity na rotačním reometru Malver–Kinexus Pro+ bylo zjištěno, že i komerčně používaná lepidla od několika předních výrobců vykazují rozdílné viskozity v poměrně velkém rozptylu hodnot od 50 000 mPa.s až po 100 000 mPa.s. Při vyhodnocení viskozit připravených vzorků byly použity pro další měření pouze ty vzorky, které spadají do zmíněného rozsahu viskozity.

U těchto 12 vzorků následovalo měření obsahu pevných látek s použitím vlhkostního analyzátoru Axis, při kterém bylo zjištěno, že připravené vzorky dosahují podobných hodnot jako komerčně používaná lepidla. Obsah pevných látek v etiketovacích lepidlech je blízko 50 % z celkového složení. Obsah může být upraven na základě nutnosti snížení viskozity či nákladů na výrobu.

Odolnost definované vrstvy lepidla nanesené pomocí laboratorního spirálového pravítka podstoupilo všech 12 zmíněných vzorků a 3 vzorky komerčních lepidel. Z této zkoušky pak vyplynulo, že lepidla pouze s obsahem škrobů nemají dostatečnou odolnost a jsou tak vyplavována během několika minut podobně jako komerční lepidlo Paramelt LATYL ES5 BF. Naopak připravené vzorky kombinací PVA a škrobů vykazují výbornou odolnost vůči vyplavování a jsou srovnatelné s komerčními lepidly Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462.

Při zkoumání odolnosti v klimatické komoře při působení vzdušné vlhkosti 90 % a teplotě 15 °C bylo potvrzeno, že připravené vzorky lepidel pouze s obsahem škrobů jsou již po 2 hodinách tohoto zatížení znatelně vyplaveny, což bylo prokázáno odtrhnutím etikety po 24hodinovém sušení láhve při pokojové teplotě. Naopak vzorky s obsahem PVA a škrobů vykazují výbornou přilnavost i po 4hodinovém zatížení v klimatické komoře a předpokládá se, že by vydržely několikanásobně delší zatížení v nepříznivých podmínkách vlhkosti a nízké teploty.

Tyto zjištěné poznatky korespondují i se zkouškou odolnosti lepidel v ledové vodě, které bylo provedeno po 24hodinovém sušení nanesených etikety na lahvích při pokojové teplotě. Takto připravené láhve byly ponořeny do ledové vody o teplotě 4 °C a každé 3 hodiny byly 5x pootočeny o 180 °. V této zkoušce nejlépe obstály připravené vzorky č.23 a č.24 které jsou touto odolností srovnatelná s komerčními lepidly Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462.

Vzorek č.23 dle svého složení byl vybrán jako nejvhodnější pro případné použití v praxi a byla u něj změřena přilnavost při zkoušce v odlupu. Naměřené hodnoty byly opět porovnány s komerčními lepidly, která taktéž obstála v předchozích zkouškách. Přilnavost vzorku č.23 čerstvého lepidla na skleněné zkušební destičce a PP pásku dosahuje podobných hodnot jako zmíněná komerční lepidla.

Takto připravený vzorek lepidla by bylo možné dále upravovat a sledovat vliv změny obsahu jednotlivých surovin na zmíněné parametry. Tím by se docílilo optimalizace složení a dosažení vyváženého poměru mezi potřebnými parametry a výrobní cenou.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BRIŠ, P., J. KUBĚNA a J. ŠTRKAŇ. *Lepení v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0247-1.
- [2] MÜLLER, B. a W. RATH. *Formulating Adhesives and Sealants*. 1. Hanover, Germany: Vincentz Network, 2010. ISBN ISBN 3-86630-804-3.
- [3] PACKHAM, D. E. *Handbook of adhesion*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2005. ISBN 0-471-80874-1.
- [4] EMBLEM, A. a H. EMBLEM, ed. *Packaging technology: fundamentals, materials and processes*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-1-84569-665-8.
- [5] SILVA, L. F.M. da, A. ÖCHSNER a R. D. ADAMS. *Handbook of Adhesion Technology*. Second Edition. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN ISBN 978-3-319-55410-5.
- [6] ASHLEY, R.J., M.A. COCHRAN a K.W. ALLEN. Adhesives in packaging. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 1995, **15**(2), Pages 101-108. ISSN 0143-7496. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0143749695987458>
- [7] EBNESAJJAD, S. *HANDBOOK OF ADHESIVES AND SURFACE PREPARATION: Technology, Applications and Manufacturing*. Editor Sina EBNESAJJAD. Oxford: William Andrew, 2011. ISBN 978-1-4377-4461-3.
- [8] SKEIST, I., ed. *Handbook of adhesives*. 3rd ed. New York: Chapman & Hall, 1990. ISBN 978-1-4612-8019-4.
- [9] MISKO, G. G. FDA Regulation of Adhesives in Food Packaging. *Food Safety magazine* [online]. 2015. Dostupné z: <https://www.food-safety.com/articles/3610-fda-regulation-of-adhesives-in-food-packaging>
- [10] PIZZI, A. a K. L. MITTAL, ed. *Handbook of adhesive technology*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2018]. ISBN 978-1-4987-3644-2.
- [11] WYPYCH, G. *Handbook of adhesion promoters*. 1. Toronto: ChemTec Publishing, 2018. ISBN 978-1-927885-29-1.
- [12] LAW, K. a H. ZHAO. *Surface Wetting: Characterization, Contact Angle, and Fundamentals*. 1. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3-319-25212-4.
- [13] HIEMENZ, P. C. a R. RAJAGOPALAN. *Principles of Colloid and Surface Chemistry*. 3rd rev. and exp. Ed. New York: Marcel Dekker, 1997. ISBN 0-8247-9397-8.
- [14] MITTAL, K.L. *Advances in Contact Angle, Wettability and Adhesion*. Canada: John Wiley & Sons, Scrivener Publishing, 2013. ISBN 978-1-118-47292-7.

- [15] LEE, L. *Fundamentals of Adhesion*. 1. New York: Springer Science+Business Media, 1991. ISBN 978-1-4899-2075-1.
- [16] MITTAL, K.L. *Advances in Contact Angle, Wettability and Adhesion*. Volume 4. Hoboken, USA: John Wiley, 2019. ISBN 978-1-119-59254-9.
- [17] EBNESAJJAD, S. a C. F. EBNESAJJAD. *Surface treatment of materials for adhesive bonding*. Second edition. Amsterdam: Elsevier/William Andrew, 2014. ISBN 978-0-323-26435-8.
- [18] PASHLEY, R. M. a M. E. KARAMAN. *Applied Colloid and Surface Chemistry*. 1. Chichester: John Wiley, 2004. ISBN 0470868821.
- [19] KRONBERG, B., K. HOLMBERG a B. LINDMAN. *Surface chemistry of surfactants and polymers*. Chichester: Wiley, 2014. ISBN 978-1-119-96124-6.
- [20] JOB, G. a R. RÜFFLER. *Physical chemistry from a different angle: introducing chemical equilibrium, kinetics and electrochemistry by numerous experiments*. 1. Cham: Springer. ISBN 978-3-319-15665-1.
- [21] MORTIMER, R. G. *Physical Chemistry*. Third Edition. Canada: Elsevier Academic Press, 2008. ISBN 978-0-12-370617-1.
- [22] PINSON, J. a D. THIRY. *Surface Modification of Polymers: Methods and Applications*. 1. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. ISBN 978-3-527-34541-0.
- [23] KIRWAN, M. J. *PAPER AND PAPERBOARD PACKAGING TECHNOLOGY*. 1. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005. ISBN 978-1-4051-2503-1.
- [24] HAN, J. *Innovations in Food Packaging*. USA: Elsevier Science & Technology Books, 2005. ISBN 978-0-123-11632-1.
- [25] HAN, J. *Innovations in Food Packaging*. Second Edition. USA: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-394601-0.
- [26] KIRWAN, M. J. *Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology*. Second Edition. UK: John Wiley, 2013. ISBN 978-0-470-67066-8.
- [27] YAM, K. L. *ENCYCLOPEDIA OF PACKAGING TECHNOLOGY*. Third Edition. USA: A John Wiley & Sons, Inc., Publication. ISBN 978-0-470-08704-6.
- [28] HUI, Y.H., L. MEUNIER-GODDIK, A. S. HANSEN, J. JOSEPHSEN, W. NIP, P. S. STANFIELD a F. TOLDRÁ. *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. 1. USA: Marcel Dekker. ISBN 0-8247-4780-1.
- [29] ROBERTSON, G. L. *Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide*. 1. USA: Taylor and Francis Group. ISBN 978-1-4200-7844-2.

- [30] COLES, R. a M. KIRWAN. *Food and Beverage Packaging Technology*. Second Edition. Oxford, UK: Blackwell Publishing. ISBN 978-1-4051-8910-1.
- [31] *Krones AG* [online]. Germany: © Krones. Dostupné z: <https://www.krones.com/en/products/machines/cold-glue-labellers.php>
- [32] SEBEL, H. *ADHESIVES BASED UPON POLYVINYL ALCOHOL AND STARCH*. Germany. 533,981. Uděleno Dec.18,1974.
- [33] DHERET, C., P. J. HAYES, S. J. SMITH, S. L. BLADON, J. HARRINGTON a M. SARDINA. *AQUEOUS ADHESIVE COMPOSITIONS USEFUL AS BOTTLE LABELING ADHESIVES*. Germany. 09/848,971. Uděleno May 4,2001.
- [34] WHITE, T. A. a J. HEIGHTS. *VISCOSITY-STABLE CASEIN ADHESIVES*. The United States of America. 2,613,155. Uděleno Oct. 7, 1952.
- [35] MITRA, A. *FUNDAMENTALS OF QUALITY CONTROL AND IMPROVEMENT*. Fifth edition. USA: John Wiley, 2021. ISBN 978-1-119-69233-1.
- [36] MENARD, K. P. a N. R. MENARD. *Dynamic Mechanical Analysis*. Third Edition. USA: Taylor & Francis Group, 2020. ISBN 978-1-482-25551-5.
- [37] *Reologie: Učební texty Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně* [online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_03.pdf)
- [38] ČSN EN 12092. *Lepidla-Stanovení viskozity*. 1. ČR: Český normalizační institut, 2002.
- [39] HENKEL AG & CO. KGAA. *WATER-BASED POLYMER SYSTEM FOR LABELING ADHESIVE APPLICATIONS*. 2015. Germany. 15181261.7. Zapsáno 17.08.2015.
- [40] STAMM, M. *Polymer Surfaces and Interfaces: Characterization, Modification and Applications*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-73864-0.
- [41] ČSN EN ISO 8510-2. *Lepidla-Zkouška v odlupování zkušebního tělesa z ohebného a tuhého adherendu-Část 2: Odlupování pod úhlem 180 stupňů*. 1. ČR: Český normalizační institut, 2011.
- [42] CHERKASHINA, A., A. RASSOKHA a O. KOMAROVA. Development and Research of a Label Caseine Adhesive for Packaging the Industrial and Household Products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, (2(6 (104)), 56-66, 2020), 11 pages. ISSN 1729-3774. Dostupné z: doi:10.15587/1729-4061.2020.201689



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

EUR	společná evropská měnová jednotka
°C	stupně Celsia
PVA	polyvinylalkohol
VOC	emise těkavých organických sloučenin
UV	ultrafialové
Eb	elektronový paprsek
kJ	kilojoule
mol	jednotka látkového množství
$\gamma_{SV}$	povrchové napětí materiálu
$\gamma_{SL}$	volná mezifázová energie mezi pevnou látkou a kapalinou
$\gamma_{LV}$	povrchové napětí kapaliny
$\theta$	kontaktní úhel
S	koeficient rozestření
H	hystereze kontaktního úhlu
$\theta_A$	kontaktní úhel při postupu
$\theta_R$	kontaktní úhel při ústupu
$\theta_W$	Wenzlův úhel
$\theta$	kontaktní úhel hladkého povrchu
$r$	faktor drsnosti
$\theta_{CB}$	Cassie-Baxterův úhel
f	frakce kontaktu mezi kapalinou a plynem
$\Delta G$	změna Gibbsovy volné energie povrchu
$2\gamma_A$	povrchové napětí na vzniklém rozhraní kapalina/plyn
$W_k$	kohezní práce potřebná k narušení sloupce kapaliny
$\gamma_A$	povrchové napětí na vzniklém rozhraní

---

$\gamma_B$	povrchové napětí na vzniklém rozhraní
$\gamma_{AB}$	povrchové napětí na vzniklém rozhraní
$W_A$	adhezní práce
g	jednotka hmotnosti gram
m <sup>2</sup>	jednotka plochy metr čtvereční
mm	jednotka délky milimetr
s	jednotka času vteřina
cl	jednotka objemu setina litru
$\tau$	smykové napětí
$\eta$	dynamická viskozita
$\gamma$	gradient rychlosti smykové deformace
N	jednotka síly Newton
ČSN	označení českých technických norem
EN	označení evropských norem
ISO	označení mezinárodní organizace pro normalizaci
DIN	německý institut pro normy a standardizace
TEA	triethanolamin
rpm	rychlost otáček
ml	jednotka objemu mililitr
$\mu\text{m}$	jednotka rozměru mikro metr
$\mu$	jednotka tloušťky mikron
PP	polypropylen

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 <i>Technologie pro přípravu škrobových lepidel (vlastní zdroj)</i> .....	17
Obrázek 2 <i>Podoba disperzních lepidel na vodní bázi (vlastní zdroj)</i> .....	19
Obrázek 3 <i>Rozpouštědlová lepidla jsou určena pro okamžité lepení savých i nesavých materiálů s okamžitou pevností (vlastní zdroj)</i> .....	20
Obrázek 4 <i>Různé formy tavných lepidel (granulát, tavné polštářky, tavné tyčinky, tavné bloky)</i> .....	22
Obrázek 5 <i>Mezní vrstvy lepeného spoje [2]</i> .....	23
Obrázek 6 <i>Různé mechanismy adheze</i> .....	24
Obrázek 7 <i>Povrchové napětí znázorněné jako kapka vody</i> .....	25
Obrázek 8 <i>Složky mezifázového napětí potřebné k odvození Youngovy rovnice.</i> .....	26
Obrázek 9 <i>Fáze smáčení povrchu (a.) dokonalé smáčení, b.) dobré smáčení, c.) nesmáčení</i> .....	27
Obrázek 10 <i>Hystereze kontaktní úhlu na hydrofobních materiálech</i> .....	29
Obrázek 11 <i>Dva rovnovážné stavy kapky vody na neheterogenních površích (a=Wanzelův model, b=Cassie model)</i> .....	30
Obrázek 12 <i>Kohezní práce</i> .....	32
Obrázek 13 <i>Adhezní práce</i> .....	33
Obrázek 14 <i>Rozestírání</i> .....	33
Obrázek 15 <i>Polydimethylsiloxan, silný hydrofobizační prostředek</i> .....	34
Obrázek 16 <i>Hydrofobizovaný skleněný povrch</i> .....	34
Obrázek 17 <i>Správná orientace papírových vláken</i> .....	37
Obrázek 18 <i>Lineární etiketovací stroj</i> .....	38
Obrázek 19 <i>Karuselový etiketovací stroj</i> .....	39
Obrázek 20 <i>Karuselový etiketovací stroj Krones</i> .....	40
Obrázek 21 <i>Schéma rotačního reometru</i> .....	44
Obrázek 22 <i>Obecný popis odlupovacího testu</i> .....	45
Obrázek 23 <i>Laboratorní váha VWR</i> .....	51
Obrázek 24 <i>Sestava laboratorního míchadla s ohřevem a kontaktním teploměrem IKA</i> ....	55
Obrázek 25 <i>Směs bez alkalizačního činidla</i> .....	60
Obrázek 26 <i>Směs po alkalizaci</i> .....	60
Obrázek 27 <i>Porovnání barvy lepidla LATYL ES 5 BF vs. připravený vzorek</i> .....	61
Obrázek 28 <i>pH metr WTW 526</i> .....	63
Obrázek 29 <i>Malver–Kinexus Pro+</i> .....	64
Obrázek 30 <i>Prostředí programu Airspace</i> .....	65
Obrázek 31 <i>Aplikace lepidla na etiketovací stroj</i> .....	67

Obrázek 32	<i>Vlhkostní analyzátor AXIS</i> .....	68
Obrázek 33	<i>Vzorek Aquence XP 190</i> .....	70
Obrázek 34	<i>Vzorek č.15</i> .....	70
Obrázek 35	<i>Nanášecí pravítko Erichsen</i> .....	71
Obrázek 36	<i>Skleněná destička 30 x 145 mm s vrstvou lepidla (v pravé části nanesena maskovací páska, která slouží k odstranění přebytečného lepidla po nanesení)</i> .....	72
Obrázek 37	<i>Vzorek č.22 s odolností 60+ minut</i> .....	73
Obrázek 38	<i>Vzorek č.6 s odolností 4 minuty</i> .....	73
Obrázek 39	<i>Tečení lepidla po láhvi při nasvícení UV světlem</i> .....	74
Obrázek 40	<i>Nanášení lepidla na zadní stranu etikety pomocí spirálového pravítka</i> .....	75
Obrázek 41	<i>Mokrě láhve umístěné v klimatické komoře POL-EKO</i> .....	76
Obrázek 42	<i>Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel se škroby po 2 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorek reálného lepidla LATYL ES 5 BF, dále pak připravené vzorky č.1, č.10, č.15)</i> .....	78
Obrázek 43	<i>Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel s obsahem PVA po 2 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorky reálných lepidel Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 dále pak připravené vzorky č.23, č.24)</i> .....	79
Obrázek 44	<i>Vyhodnocení posunutí etikety na láhvi po 4hodinovém testu (zleva správně nalepena etiketa před zahájením testu v klimatické komoře, dále komerční lepidlo LATYL ES 5 BF a připravený vzorek č.1 kde je viditelné posunutí etiket)</i> .....	80
Obrázek 45	<i>Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel se škroby po 4 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorek reálného lepidla LATYL ES 5 BF, dále pak připravené vzorky č.1, č.10, č.15)</i> .....	81
Obrázek 46	<i>Vizuální porovnání zůstatku etikety na láhvi při použití lepidel s obsahem PVA po 4 hodinách v klimatické komoře (zleva vzorky reálných lepidel Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 dále pak připravené vzorky č.23, č.24)</i> .....	82
Obrázek 47	<i>Chlazení lahví v lázni s kostkami ledu (ilustrační foto)</i> .....	83
Obrázek 48	<i>Láhve v ledové vodě uvnitř</i> .....	84
Obrázek 49	<i>Srovnání vzhledu odtržených etiket po testu odolnosti vůči ledové vodě po 24 hodinách (zleva komerční lepidla Henkel Aquence XP 190 a COLLMEX 6462 další dvě láhve jsou připravené vzorky č.23 a č.24)</i> .....	86
Obrázek 50	<i>Vizuální srovnání připraveného lepidla č.15 po přidání aditiva AP1</i> .....	87
Obrázek 51	<i>Zkušební přístroj PROMI-PC</i> .....	88
Obrázek 52	<i>Zkušební destička upnutá mezi čelistmi (dolní samosvorná čelist pevná, horní pohyblivá čelist řešena formou háčku)</i> .....	89

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 <i>Metody měření povrchového napětí kapalin</i> .....	31
Tabulka 2 <i>Testovací metody odolnosti v ledové vodě</i> .....	47
Tabulka 3 <i>Hodnoty viskozity pro různé hodnoty pH akrylátu A1</i> .....	52
Tabulka 4 <i>Závislost smykové rychlosti na viskozitě</i> .....	54
Tabulka 5 <i>Složení vzorků lepidel na bázi škrobů, množství uvedeno v [g]</i> .....	57
Tabulka 6 <i>Složení vzorků lepidel na bázi PVA, množství uvedeno v [g]</i> .....	58
Tabulka 7 <i>Složení vzorků lepidel kombinace škrobů a PVA množství uvedeno v [g]</i> .....	59
Tabulka 8 <i>Vizuální porovnání a vyhodnocení barev (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)</i> .....	62
Tabulka 9 <i>Naměřené hodnoty viskozity při teplotě 20 °C, smykové rychlosti 1,042 s<sup>-1</sup> (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)</i> .....	66
Tabulka 10 <i>Obsah pevných látek v jednotlivých vzorcích [%]</i> .....	69
Tabulka 11 <i>Odolnost lepidel při přímém kontaktu s vodou [min]</i> .....	73
Tabulka 12 <i>Vyhodnocení odolnosti vůči kondenzační vodě (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)</i> .....	77
Tabulka 13 <i>Vyhodnocení odolnosti vůči ledové vodě (OK – vyhovující, NOK – nevyhovující)</i> .....	85

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 <i>Regionální rozdělení poptávky po lepidlech v roce 2007 (100 % odpovídá 11 milionů tun) [2]</i> .....	12
Graf 2 <i>Oblasti použití lepidel [2]</i> .....	13
Graf 3 <i>Jednotlivé aplikační formy lepidel [2]</i> .....	15
Graf 4 <i>Obecné složení kaseinových lepidel</i> .....	42
Graf 5 <i>Obecné složení syntetických lepidel</i> .....	43
Graf 6 <i>Závislost změny viskozity na hodnotě pH</i> .....	53
Graf 7 <i>Reologický profil akrylátu A1</i> .....	53
Graf 8 <i>Průběh zkoušky v odlupování ohebného vzorku z tuhého adherendu (průběh narůstajícího zatížení v závislosti na délce zkušební vzorku)</i> .....	90
Graf 9 <i>Výsledné hodnoty přilnavosti při měření v odlupu při 180° (zleva dvě komerční lepidla dále pak dva připravené vzorky)</i> .....	91