

# Měření povrchového napětí roztoků UV vytvrditelných laků

Michaela Balharová

---

Bakalářská práce



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michaela Balharová**  
Osobní číslo: **T17037**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Měření povrchového napětí roztoků UV vytvrditelných laků**

### Zásady pro vypracování

1. V průběhu procesu lakování může docházet ke vzniku nežádoucích defektů. Mezi ty nejčastější patří nedostatečné rozlévání laku po povrchu desky, nehomogenita lakované vrstvy projevující se rozdílnou tloušťkou laku na celé ploše desky, nedostatečná interpenetrační vrstva (IPL). Snahou je tyto defekty charakterizovat a předcházet jejich vzniku, tak aby došlo k jejich potlačení.
2. Vypracujte rešerši zabývající se problematikou procesu lakování ve vertikálním směru, UV vytvrditelných laků a možnostmi stanovení povrchového napětí roztoků.
3. Proveďte základní experimenty měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou a metodou visící kapky v závislosti na koncentraci použitých rozpouštědel a teplotě.
4. Diskutujte vliv koncentrace použitých rozpouštědel a teploty na povrchové napětí UV vytvrditelného laku.
5. Zhodnoťte vliv výše zmíněných parametrů na proces lakování ve vertikálním směru.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. Ebnasajjad, S. 3 – Surface Tension and Its Measurement. Handbook of Adhesives and Surface Preparation. S. Ebnasajjad. 2011: Oxford, William Andrew Publishing.
2. Butt, H.J., K. Graf, and M. Kappl, Physics and Chemistry of Interfaces. 2006: Wiley.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Musilová, Ph.D.**  
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Abstrakt česky

V rámci bakalářské práce bylo charakterizováno chování UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi s rozpouštědly v různých poměrech. V teoretické části je zpracován přehled o povrchovém napětí a o použitých metodách měření. Dále jsou zde popsány UV vytvrditelné laky na akrylátové bázi, přičemž je zde popsána i charakteristika technologického procesu lakování, která je používána v praxi právě s námi použitým lakem. V praktické části byla stanovena rychlost odpařování rozpouštědel v lakovací směsi, aby bylo zjištěno, které rozpouštědlo má jakou funkci v lakovací směsi. Dále bylo stanoveno povrchové napětí Wilhelmyho metodou a metodou visící kapky, které poskytují informace o chování směsi při různých koncentracích rozpouštědel a laku.

Klíčová slova:

UV vytvrditelný lak, povrchové napětí, Wilhelmy metoda, visící kapka

## **ABSTRACT**

Abstrakt ve světovém jazyce

The bachelor thesis characterized the behavior of UV hardenable varnish on an acrylic basis with solvents in different concentrations. In the theoretical part, an overview of surface tension and the measurement methods used is prepared. Furthermore, uv hardened varnishes on acrylic basis are described here, and the characteristics of the technological painting process, which is used in practice with the varnish used by us, are also described here. In the practical part, the rate of evaporation of the solvents in the paint mixture has been determined. Furthermore, the surface tension of the Wilhelmy method and the hanging drop method were determined. These methods which provides information about the behavior of the mixture at different concentrations of solvents and varnish.

Keywords:

UV hardcoating training, surface tension, Wilhelmy method, pendent drop

Děkuji své vedoucí paní Ing. Lence Musilové, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a velkou vstřícnost při vypracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala mé rodině za morální podporu v průběhu studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>9</b>
<b>1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE .....</b>	<b>10</b>
1.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ .....	10
1.2 MEZIMOLEKULOVÉ SÍLY .....	10
1.3 VZNIK POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....	11
1.4 FÁZOVÉ ROZHRAŇÍ.....	11
1.5 POVRCHOVÁ ENERGIE .....	11
1.6 SMÁČIVOST .....	11
<b>2 UV VYTVRDITELNÉ LAKY .....</b>	<b>13</b>
2.1 LAKY VYTVRDITELNÉ UV ZÁŘENÍM.....	13
2.2 SPECIFIKACE LAKU .....	13
2.3 SLOŽENÍ UV VYTVRDITELNÝCH LAKŮ .....	13
<b>3 TECHNOLOGICKÝ PROCES LAKOVÁNÍ .....</b>	<b>15</b>
3.1 TECHNOLOGIE NANÁŠENÍ LAKU POLÉVÁNÍM CLONOU .....	15
3.2 FÁZE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU .....	17
3.2.1 Materiálový vstup.....	17
3.2.2 Příprava povrchu .....	17
3.2.3 Polévací komora.....	17
3.2.4 Odkapová zóna.....	17
3.2.5 Odpařovací zóna.....	18
3.2.6 Vytvrzovací komora.....	18
3.2.7 Laminace .....	19
<b>4 METODIKA MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ.....</b>	<b>20</b>
4.1 WILHELMYHO METODA .....	20
4.2 METODA VISÍCÍ KAPKY .....	21
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>23</b>
<b>5 POPIS EXPERIMENTU .....</b>	<b>24</b>
5.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA CHEMIKÁLÍ.....	24
5.1.1 UV vytvrditelný akrylátový lak SILFORT UVHC3000K.....	24
5.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ LAKOVACÍCH SMĚSÍ .....	25
5.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	26
<b>6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>27</b>

6.1	STANOVENÍ RYCHLOSTI ODPAŘOVÁNÍ ROZPOUŠTĚDEL.....	27
6.2	STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ WILHELMYHO METODOU.....	30
6.3	STANOVENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ METODOU VISÍCÍ KAPKY .....	33
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>36</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>37</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>39</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>40</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>41</b>
<b>SEZNAM ROVNIC .....</b>		<b>42</b>



## ÚVOD

S UV vytvrditelnými laky se setkáváme stále více a více. Jedná se o mokrou povrchovou úpravu, která se využívá v mnoha aplikacích. V jejich aplikacích se klade důraz hlavně na mechanické vlastnosti jako je otěru a oděru vzdornost, UV stabilita, odolnost proti povětrnostním podmínkám aj. V běžném životě se s nimi můžeme setkat u dílů na automobilech, u krytů venkovních bazénů, či zástěn sprchových koutů.

K výhodám UV vytvrditelných laků patří ekonomické výhody z hlediska úspory energie, díky obvykle rychlému vytvrzování při pokojové teplotě, možnost okamžitého zpracování po vytvrzení, z hlediska ekologického možnost snadné recyklace a tím nízká produkce odpadu, úspora energie díky použití UV záření. K dalším výhodám patří všestranné aplikace, vysoká odolnost vytvrzeného laku proti poškrábání či chemikáliím, odolnost proti oděru a lepší houževnatost. K nevýhodám patří vyšší materiálové náklady, než je tomu např. u alkydů, polyesterů či epoxidů, citlivost na vlhkost či obtížnější vytvrzování pigmentových povlaků u tloušťky vyšší než 5  $\mu\text{m}$ .

Díky vysokým nárokům na mechanické vlastnosti se často setkáváme i s kazi na lakovaných výrobcích. Tyto vady mohou být způsobeny nedostatečnou interpenetrační vrstvou, nerovnoměrným plošným pokrytím laku, pomerančovou kůrou, žloutnutím nebo odlupováním nátěru. Vady mohou být způsobeny špatnou povrchovou úpravou substrátu před samotným lakováním nebo nevhodně zvolenými parametry lakovací směsi.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ A POVRCHOVÁ ENERGIE

## 1.1 Povrchové napětí

Povrchové napětí je příčinou jevu, při němž se povrch kapaliny chová jako pružná blána. Povrchové napětí  $\gamma$  se definuje jako síla  $F$  v rovině povrchu, která působí na jednotku délky  $L$ , lze vyjádřit vztahem (1): [12]

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad (1)$$

Povrchové napětí souvisí s mezimolekulovými silami. Praktický příklad lze vidět v přírodě u hmyzu pohybujícího se na vodní hladině (např. vodoměrka) nebo u drobných těles, která mají větší hustotu než kapalina a nepotopí se, neprorazí - li tento pružný povrch. [1]

Povrchové napětí ovlivňuje optimální rozlévání laku po povrchu substrátu a tím i výslednou homogenitu lakované vrstvy. Stejnorodost povrchu po lakování je důležitá zejména kvůli možným defektům souvisejícím s IPL vrstvou.

## 1.2 Mezimolekulové síly

Mezimolekulové síly působí mezi základními stavebními částicemi látky (atomy, ionty, molekuly). Jakékoliv dvě molekuly na sebe působí interakčními silami závisujícími na druhu těchto molekul a na vzdálenosti mezi nimi. Rozlišují se na dva hlavní druhy:

- 1) Síly přitažlivé – jsou výsledkem elektrické přitažlivosti dvou molekul plynoucích z určitého uspořádání elektronů v obou molekulách. Přitažlivé síly se nazývají kohezní neboli soudržné síly, které rozlišujeme na Londonovy, van der Waalsovy, polární, vodíkové můstky atd.
- 2) Síly odpudivé – jsou výsledkem vzájemného elektrostatického odpuzování atomů, iontů, elektronových obalů vnějších elektronů vzájemně působících molekul atd.

Dosah mezimolekulových sil se liší dle druhu. Přitažlivé síly mezi molekulami se zmenšují se vzájemnou vzdáleností molekul nepřímo úměrně. Jejich pokles je mezi molekulami velmi rychlý. Avšak odpudivé síly mezi molekulami klesají výrazně rychleji než síly přitažlivé. Proto v určité chvíli nastane rovnováha mezi přitažlivými a odpudivými silami. [1]

### 1.3 Vznik povrchového napětí

Povrchové napětí vzniká tak, že molekuly kapaliny jsou z jedné strany obklopeny molekulami plynu nebo částicemi pevných látek a ze strany druhé molekulami kapalin. Tyto mezimolekulové síly na obou stranách rozhraní kapaliny a jiné látky jsou většinou různě veliké. To je důvod, proč se síly působící na molekulu v povrchové vrstvě kapaliny nebudou shodovat se silami působící na molekulu uvnitř kapaliny. [1]

### 1.4 Fázové rozhraní

Fáze je část termodynamické soustavy, jenž je fyzikálně i chemicky homogenní a od části soustavy je oddělena ostrým fázovým rozhraním, nepůsobí – li vnější síly.

Fázové rozhraní je oblast styku dvou fází, kde přechází vlastnosti jedné fáze na vlastnosti druhé. Fázové rozhraní je charakterizováno svojí plochou a křivostí povrchu u zakřivených rozhraní.

Dle skupenského stavu rozlišujeme tato fázová rozhraní:

- kapalina/plyn (l/g)
- kapalina/kapalina (l/l)
- pevná látka/plyn (s/g)
- pevná látka/kapalina (s/l)
- pevná látka/pevná látka (s/s) [4, 5]

### 1.5 Povrchová energie

Povrchová energie je část energie potenciální, jenž mají molekuly v povrchové vrstvě kapaliny navíc, ve srovnání s energií potenciální tentýž molekul uvnitř kapaliny.

Povrchová energie je jedním z rozhodujících kritérií pro přilnavost laků, nátěrů nebo třeba lepidel na povrchu. Adheze lepidel, nátěrů aj. by měla být lepší se stoupající povrchovou energií. [6]

### 1.6 Smáčivost

Smáčivost vyjadřuje schopnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. Stupeň smáčení je určen projevem adhezních a kohezních sil, jedná se o síly přitažlivé a

odpudivé mezi částicemi povrchových vrstev stýkajících se látek. Jedná se o důležitý parametr při lepení, natírání apod. Smáčivost povrchů se studuje dynamickou kapkovou metodou a umožňující zobrazení a měření kontaktního úhlu na rozhraní. [7]

## **2 UV VYTVRDIRTELNÉ LAKY**

UV vytvrditelné laky jsou nátěrové systémy, které jsou tvrzené ultrafialovým zářením. Díky svým výhodám nabývají na popularitě a to hlavně kvůli kombinacím ekologických vlastností a ekonomičnosti. V průmyslu se UV nejprve rozšířily v dřevařském a grafickém průmyslu. [2]

### **2.1 Laky vytvrditelné UV zářením**

Hlavní složkou laku jsou fotoiniciátory, které vyvolávají chemickou reakci v laku. Nejprve dojde k absorpci ultrafialového záření dané délky, dojde k rozpadu a tím i ke vzniku energie. Vzniklé radikály reagují s monomery a oligomery akrylu. U této reakce dochází k okamžitému vytvoření síťové struktury molekul, které se změni z kapalné na pevnou. [11]

Doba vytvrzování UV laků se pohybuje v sekundách. S nalakovanými díly lze ihned po vytvrzení manipulovat. Rychlost schnutí však závisí na výkonu, délce, ale i počtu zářičů a vzdálenosti nalakovaných desek. Existují dva mechanismy pro vytvrzování: radikálový a kationtový. Užívanějším typem je radikálový mechanismus. [2]

### **2.2 Specifikace laku**

UV laky bývají obecně tvořeny pryskyřicemi o nízké molekulové hmotnosti v rozmezí 300 – 5000 g/mol. Typické UV vytvrditelné laky se skládají z oligomerů, monomerů působících jako ředidla, fotopolymerizačního iniciátoru, koiniciátoru a jiných přísad, jako jsou stabilizátory, antioxidanty, pigmenty a plastifikátory. Výsledná vytvrzená vrstva laku musí mít požadované vlastnosti, mezi které patří: lesk, odolnost proti poškrábání a otěru, odolnost proti povětrnostním podmínkám a UV záření. [10]

### **2.3 Složení UV vytvrditelných laků**

Základ vytvrditelných laků pomocí UV záření tvoří estery akrylových kyselin, např.: polyestery, polyethery, polyuretany, či epoxidy a vinylethery. Tyto monomery a oligomery tvoří podstatnou část samotného UV laku a to asi 90%. Od poměru akrylátových monomerů a oligomerů se pak odvíjí i viskozita těchto laků. Úkolem monomerů je snížení a viskozity, zatímco u oligomerů její zvýšení. [11]

UV laky mohou být dále tvořeny aditivy, jakými jsou povrchově aktivní látky, vyrovnávací činidla, odpeňovače, regulátory průtoku, flexibilizátory, pigmenty, UV stabilizátory

apod. Již zmíněné kluzké prostředky zajišťují dobrou kluznost vrstvy laku. Síťovací či rozlinové prostředky mají za úkol rychlé a rovnoměrné rozlití vrstvy laku na substrátu. [11]

### **3 TECHNOLOGICKÝ PROCES LAKOVÁNÍ**

K nejdůležitějším faktorům, které ovlivňují kvalitu a živostnost nátěru na substrátu patří zejména vhodně zvolený technologický způsob nanášení a vlastnosti podkladu. Všechny technologie mají své výhody a nevýhody. Před zvolením vhodného technologického postupu je třeba brát v potaz požadavky na množství upravovaných vzorků, jejich velikost, tvar, členitost povrchu apod. Před samotným lakováním je důležitá příprava substrátu, která se pojí s prostředím, kde se substrát nachází. Např.: před nanášením laku na velkoformátové polymerní desky musí dojít k vybití statické elektřiny, která se zde tvoří při odstraňování ochranné fólie desky. Pokud by k tomuto odstranění nedošlo, mohla statická elektřina podnítit výbuch v lakovací lince nebo by došlo k vytvoření reliéfů na lakované desce. Dále se odstraňují případné prachové částice ulpívající na povrchu. Velkou roli hrají i vzhled a tloušťka nátěru, vlastnosti lakovací směsi, ke kterým patří těkavost rozpouštědel a s ním spojená rychlost jejich odpařování či rozliv po celé ploše substrátu.

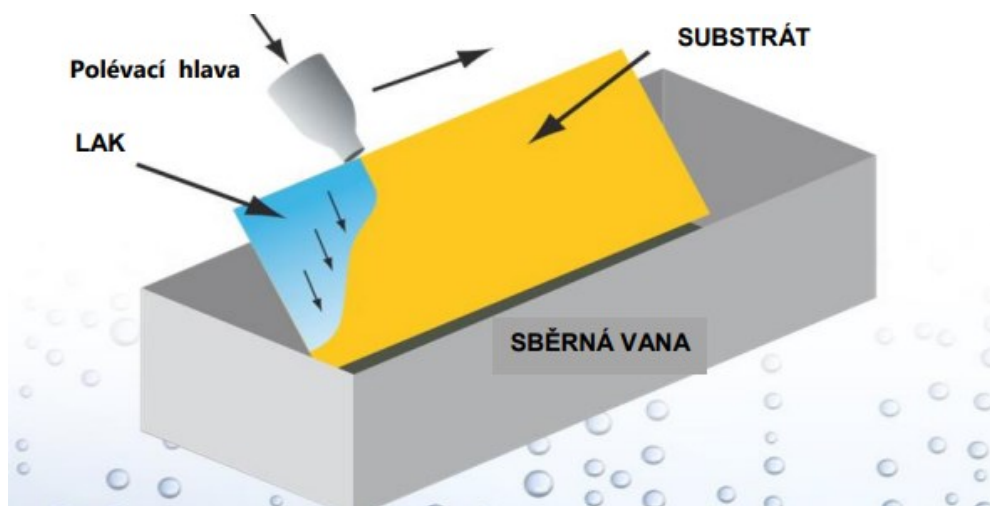
Způsoby nanášení lakovacích směsí mohou být různé. Nanášení nátěru může probíhat ručním provedením pomocí štětce nebo válečku. Tyto způsoby jsou poněkud zdlouhavé a pro velkoplošné výrobky zcela nevhodné. Proto jsou zde další způsoby nanášení lakovací směsi. Patří k nim máčení do nátěrových hmot, pneumatické, vysokotlaké a nízkotlaké stříkání, elektrostatické nanášení, nanášení navalováním nebo elektroforézní nanášení. Technologie nanášení laku poléváním clonou je popsáno níže. [3]

#### **3.1 Technologie nanášení laku poléváním clonou**

K nanášení vrstvy laku na polymerní desku se v podstatě využívá gravitačního spádu, kdy se vytvoří clona z nanášeného laku, kterou lakovaná deska prochází na dopravníku. Po průchodu clonou lakovací směsi, která dopadá na povrch desky, se tvoří povrchový film. Velikostí otvoru polévací hlavy, tlakem v ní a rychlostí pohybu desky se reguluje množství nanášeného laku. Tento technologický proces je vhodný k nanášení laku pro velkoformátové desky. [3]

Na Obrázku č. 4 lze vidět princip lakování clonou.



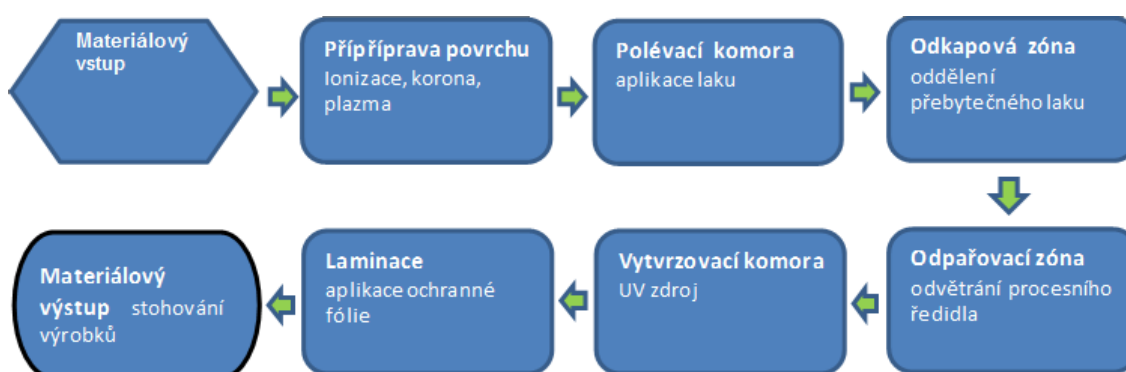


Obrázek č. 4: Princip nanášení lakované vrstvy [3]

Tato technologie představuje souvislý technologický proces s jednotlivými na sebe navazujícími operacemi bez možnosti přerušení tohoto technologického řetězce. K tomuto požadavku je uzpůsobena a navržena celá lakovací linka. [3]

Výhody lakování jsou v poměrně rychlém nanášení lakovací směsi na velkoformátové plošné desky. Lak, který steče, se zachytí ve sběrné nádobě a následně dochází k recyklaci. Tím nedochází ke zbytečným ztrátám. Tato technologie není vhodná pro členité výrobky, jelikož by nedošlo k dostatečnému pokryvu povrchu výrobku lakovací směsí.

Popis lakovací linky lze vidět na schématu Obrázek č.: 1



Obrázek č. 1: Zkrácené procesní schéma lakovacího procesu [3]

## **3.2 Fáze technologického procesu**

### **3.2.1 Materiálový vstup**

Jedná se o produkty určené k nanesení ochranné vrstvy laku. Manipulace s nimi probíhá standardním způsobem a to tak, aby byly umístěny v optimální pozici pro připravované operace a následné polévání. Zároveň musí být co nejvíce eliminována možnost kontaktu s technologií či s obsluhou a to až do konce technologického cyklu. Manipulace se provádí vysokozdvíhými vozíky, poloautomatickými nebo automatickými manipulátory či řetězovými dopravníky. [3]

### **3.2.2 Příprava povrchu**

Základní podmínkou pro správné nanesení laku na povrch substrátu je jeho čistota. Přítomnost prachu či jiná kontaminace např.: tuky, mastnota nebo většími částice, je nežádoucí. Substrát je chráněn před okolními vlivy fólií, která se odstraní po prvotním očištění desky po vstupu do kontrolované zóny. Jakmile dojde k odstranění fólie, dočistí se substrát od možné zbytkové kontaminace. Je-li kladen důraz na vyšší smáčivost, a tím zvýšení povrchového napětí, substrát se dle potřeb technologicky upraví. Povrchová úprava zajišťující lepší smáčivost má zajistit optimální rozlévání laku po povrchu a homogenitu lakované vrstvy. [3]

### **3.2.3 Polévací komora**

Polévání je zásadní fází procesu lakování. Jedná se o aplikaci laku na povrch substrátu. Celý proces se uskutečňuje v polévací komoře, kde se substrát umístí po předchozí přípravě povrchu. Lakovací směs se nanáší kontinuálně homogenním tokem laku skrze štěrbinu polévací hlavy. Pohybuje se daný substrát a polévací hlava je ve statickém stavu. Významným parametrem při procesu je definovaný přebytek laku dopadající na povrch substrátu takovým způsobem, aby se zajistilo utvoření homogenní vrstvy laku. Zmíněný přebytek laku je vytvářen dávkovaným množstvím laku, výškou a umístěním polévací hlavice vzhledem k substrátu, a také viskozitou laku. [3]

### **3.2.4 Odkapová zóna**

Po skončení fáze polévání je důležité nechat přebytečný lak ze substrátu odkapat a shromáždit pro další polévání, jelikož je lak plně recyklovatelný a po určité úpravě, filtraci

a ředění procesním ředidlem se vrací zpátky do procesu. Doba odkapu je doba, která je nutná k vytvoření rovnoměrné vrstvy laku a končí po odkapání 98 % přebytečného laku. Pokud by byla doba odkapu příliš dlouhá, tak by to negativně ovlivnilo rovnoměrnost lakované vrstvy vertikálním směrem. Umístění substrátu ve vertikálním směru (díky gravitační síle a viskozitě) má za vliv i rozdíl tloušťky vrstev laku na horní a spodní části substrátu. [3]

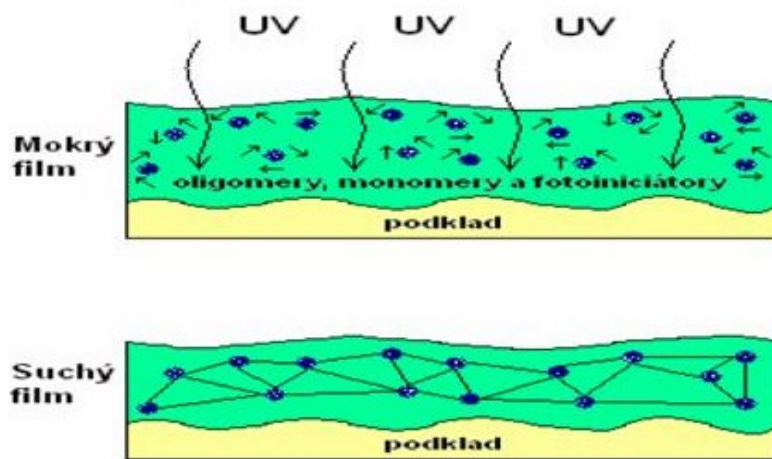
### **3.2.5 Odpařovací zóna**

Fáze odpařování je velmi důležitá zejména z pohledu finálních vlastností laku, čímž jsou jeho tvrdost a přilnavost k povrchu. Pro fázi polévání je lak naředěn na požadovanou viskozitu, tzn., že obsahuje objemově požadovaná procenta procesního ředidla, která je nutno odpařit před procesem vytvrzení. Je to důležité kvůli možnosti negativního ovlivnění vlastností laku. Ke kýženému odpařování ředidla dochází v odpařovací komoře, kde je účinnost a rychlost odpařování ovlivněna časem, teplotou a množstvím ventilovaného vzduchu. Čas je při této fázi důležitý z důvodu vytvoření odpovídající přilnavosti k substrátu. Vzniká zde mezi lakem a substrátem chemická vazba na molekulární úrovni a tvoří se mezivrstva zajišťující odpovídající adhezi po vytvrzení laku. V této fázi se vytvoří IPL vrstva (interpenetrační vrstva laku). Nadměrně dlouhý nebo krátký čas potřebný k odpaření může způsobit snížení adheze natolik, že dojde k následnému oddělení lakované vrstvy. [3]

### **3.2.6 Vytvrzovací komora**

Tato fáze lakovacího procesu zajistí, že kapalný lak vytvoří tvrdou, celistvou vrstvu na povrchu substrátu, která je odolná proti otěru. Vytvrzení povrchu probíhá za pomoci UV záření a energie dodané UV emitory. Fotosenzitivní lak reaguje na dodané záření v UV světelném spektru a fotoiniciátory obsažené v laku spouští polymerní reakci, kdy se naváží jednotlivé molekuly laku a následně vytvoří polymerní řetězce. Důsledkem procesu je tenká vrstva transparentního laku s pořadovými vlastnostmi. [3]

Na obrázku č. 3 je vidět, jak působí UV záření na fotosenzitivní lak.



Obrázek č. 3: Princip vytvrzení fotosenzitivního laku UV zářením [3]

### 3.2.7 Laminace

V této fázi procesu se aplikuje ochranná fólie na povrch substrátu. Fólie má svou funkci k zabránění mechanickému poškození lakované vrstvy. Finální nalakovaný substrát s fólií putuje z lakovací linky k dalšímu zpracování při jiném procesu, např. ohýbání, ořez na menší rozměry apod., nebo dochází ke stohování a následnému uskladnění. [3]

## 4 METODIKA MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Měření povrchového napětí se jeví na první pohled jako snadné, ačkoliv to může být zavádějící. Není-li substrát řádně připraven k měření povrchového napětí, a pokud není při vytváření testovací kapky použita čistá kapalina, tak některé důležité praktické otázky, jako je odpařování kapky, zachování ostrého obrazu, se neuvažuje, pak lze získat špatné a nepoužitelné výsledky měření. Tyto výsledky pak mohou vést ke špatným závěrům. Bylo vyvinuto mnoho metod pro měření kontaktního úhlu, ale jen několik se je dne užíváných.

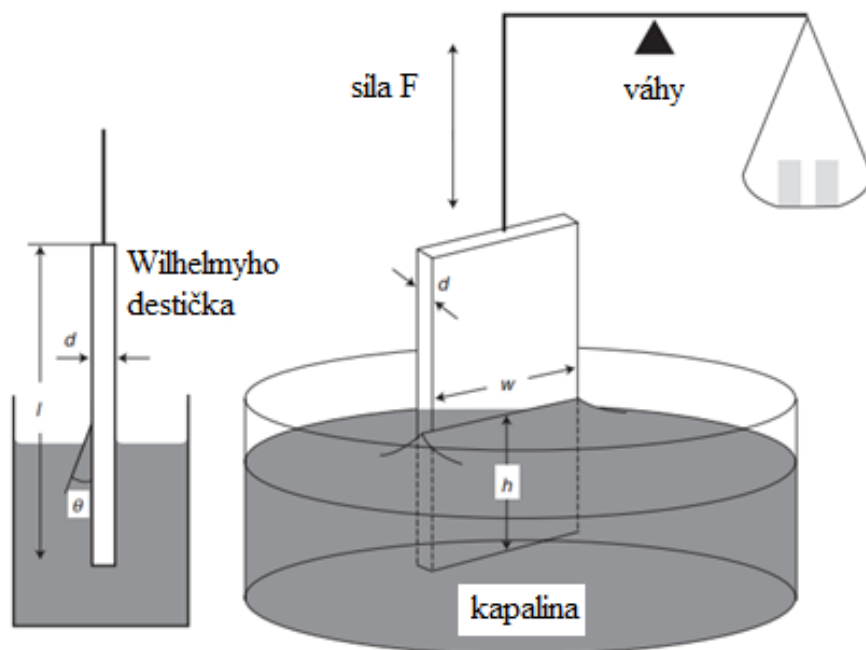
Rozdělení dvou nejužívanějších přístupů k měření povrchového napětí jsou:

- 1) Statické měření povrchového napětí – měření kontaktního úhlu kapky na rovném a neporézním substrátu pomocí videokamery nebo goniometru (umožňuje měřit úhel svírající mezi povrchem a kapalinou)
- 2) Dynamické měření povrchového napětí – měření kontaktního úhlu pomocí tenzometru zahrnující i měření interakčních sil, zatímco se destička ponoří do testovací kapaliny [8]

### 4.1 Wilhelmyho metoda

Wilhelmyho metoda je jedna z nejpoužívanějších technik k měření povrchového napětí. V této metodě je používána tenká platinová destička, která je rovnovážně a vertikálně zavěšena. Destička je ponořena částečně do kapaliny, jejíž povrchové napětí má být určeno. Kapalina destičku smáčí a po jejím obvodu vytvoří meniskus. Pokud je kontaktní úhel mezi kapalinou a deskou nulový, tak je povrch kapaliny orientovaný téměř svisle vzhůru. Což můžeme vidět na Obrázku č.: 2:  $F$  je síla potřebná k vyvážení destičky,  $l$  je délka destičky,  $d$  je tloušťka destičky,  $w$  je šířka destičky,  $h$  je výška, do které je destička ponořena,  $\theta$  je úhel svírající deska s kapalinou. Síla je zde měřena vahami s vysokou citlivostí.

$$\gamma = \frac{F}{L \cdot \cos \theta} \quad (2)$$



Obrázek č. 2: Stanovení povrchového napětí kapaliny Wilhelmyho metodou [8]

Wilhelmyho metodu můžeme použít pro měření ve stacionárním, ale i dynamickém uspořádání. Díky senzitivním vahám je přístroj citlivý na vibrace z okolí. Použitá destička musí mít stejnorodý povrch, aby nedocházelo ke zkreslení měření. [14,15]

## 4.2 Metoda visící kapky

Princip metody visící kapky je založen na analýze zakřivení tvaru visící kapky. Pomocí dávkovače se vytlačuje kapka na špičku jehly. Kapka kapaliny se vytlačuje do plynné fáze – vzduchu, čímž vzniká mezifázové napětí mezi vnitřní a vnější fází, což je způsobeno vyšším tlakem uvnitř kapky. Kapka se přirozeně snaží zaujmout co nejmenší objem díky povrchovému napětí. Uvnitř kapky vzniká hydrostatický tlak přispívající k vnitřnímu tlaku, který také ovlivňuje zakřivení. [9]

$$\Delta p_h = \Delta \rho \cdot l \cdot g \quad (3)$$

Kde  $\Delta \rho$  je rozdíl hustot kapaliny a lehčí fáze,  $g$  je gravitační zrychlení,  $l$  je vzdálenost mezi koncem jehly a bodem měření.

Hydrostatický tlak závisí na vzdálenosti – pod koncem jehly je nejmenší a s nabývajícím vzdáleností se zvyšuje. To je důvod, proč má kapka hruškový tvar.

Tvar kapky závisí na gravitaci. Míru působení gravitační síly popisuje Bondovo číslo, jehož hodnota narůstá se zvýšením gravitace.

$$B_0 \frac{\Delta \rho g R_0^2}{\gamma} \quad (4)$$

Při měření se se zaznamenává tvar kapky na video, vypočte se Bondovo číslo dané kapky a díky  $B_0$  a  $\Delta \rho$  se vypočítá povrchové napětí.[9, 14]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 POPIS EXPERIMENTU

Experiment se prováděl za laboratorních podmínek, tedy při teplotě 25 °C a atmosférického tlaku. Každé měření povrchového napětí bylo provedeno 3krát, přičemž k vyhodnocení byl použit průměr z těchto třech měření. Lakovací směsi při měření byly vždy temperovány na okolní teplotu, tedy 25 °C. Pro měření povrchového napětí Wilhelmyho metodou byly teploty měření 25 °C a 35 °C, přičemž okolní prostředí bylo vždy temperováno na teplotu požadovanou experimentem.

### Příprava reálného vzorku:

Dle požadovaných poměrů bylo vypočteno množství rozpouštědel potřebného k přípravě testovaných směsí laku., viz Tabulka č. 2. Po přidání čistých rozpouštědel k čistému laku došlo k dokonalému smísení složek a vytvoření homogenní lakovací směsi, se kterou se dále pracovalo.

### Stanovení rychlosti odpařování rozpouštědel

Pro stanovení rychlosti odpařování bylo využito gravimetrického stanovení, kdy pomocí analytických vah byl zjišťován úbytek hmotnosti v závislosti na čase. Použité váhy byly uzavřené, aby nedošlo k ovlivnění měření okolní cirkulací vzduchu. Úbytek hmotností byl zaznamenáván po dobu 120 minut. Vzorky použitých směsí byly temperovány na laboratorní teplotu, aby nedošlo k ovlivnění měření. Vyhodnocením měření byly závislosti ubývající hmotnosti na čase, přičemž k lepšímu srovnání tyto hmotnosti byly přepočteny na hmotnostní procenta.

## 5.1 Základní charakteristika chemikálií

### 5.1.1 UV vytvrditelný akrylátový lak SilFORT UVHC3000K

Jedná se o čirý lak na akrylátové bázi složený z akrylátových monomerů a oligomerů s obchodním názvem. Přesné složení je uvedeno v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Fyzikální vlastnosti používaného UV laku při 25 °C [13]

<b>Fyzikální vlastnosti</b>	<b>UVHC3000K</b>
-----------------------------	------------------

Obsah pevných částic [hm. %]	45
Hustota $\rho \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$	1,025
Viskozita dynamická $\eta [mPa \cdot s^{-1}]$	9
Hlavní rozpouštědlo	1 – methoxy – 2 – propanol
Volitelná rozpouštědla	Isobutanol, n-butanol, isopropanol
Odolnost proti oděru [ $\Delta$ zákalu v %]	<10

#### Standardní postup při vytvrzování:

- 1) Substrát musí zbavit nečistot, i když je přímo dodán od výrobce. Nejprve dojde k odstranění ochranné fólie. Samotné čištění se provádí alkoholovým prostředkem, kvůli možnému ulpění lepidla z fólie a deionizovanou vodou.
- 2) Proces lakování viz kapitola 3. 2
- 3) Teplota okolního vzduchu při nanášení lakovací směsi by se měla pohybovat okolo 25 °C s relativní vlhkostí držící se pod 50 %.
- 4) Poté, co se odpaří rozpouštědla, by se měl substrát předeheat na teplotu 65 – 95 °C a to po dobu 1,5 – 3 minuty pro lepší adhezi laku v závislosti na použitém materiálu.
- 5) K vytvrzování by měla být použita lampa Fusion F600 „H“ s doporučenou energií v ideálním případě  $5,0 \frac{J}{cm^2}$  (míněno pro UV – A oblast). [13]

## **5.2 Příprava vzorků lakovacích směsí**

K přípravě lakovacích směsí byl použit UV vytvrditelný lak a rozpouštědla 1 – methoxy -2 propanol (Dowanol) jako základní rozpouštědlo, but – 1 – ol (B1) but – 2 – ol (B2) a isopropanol (IPA) jako rozpouštědla volitelná (tedy B1, B2, IPA). Podle požadovaného poměru laku a rozpouštědla byly připraveny vzorky směsí. Jednalo se poměr 40:60 hm. % (lak: rozpouštědlo), kde byla použita volitelná rozpouštědla B1 a B2. Dále se připravily vzorky lakovacích směsí v poměru 72:28 hm. % (lak: rozpouštědlo), kde byla použita volitelná rozpouštědla B2, IPA. Volitelná rozpouštědla byla použita v různých poměrech, viz Tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Poměry základního a volitelných rozpouštědel v lakovacích směsích

<b>1 - methoxy - 2 - propanol: but - 1 -ol [hm. %]</b>	<b>1 - methoxy - 2 - propanol: but - 2 -ol [hm. %]</b>	<b>1 - methoxy - 2 - propanol: isopropanol[hm. %]</b>
100 : 0	100 : 0	100 : 0
90 : 10	95 : 5	95 : 5
80 : 20	80 : 20	80 : 20
70 : 30	70 : 30	70 : 30
60 : 40	60 : 40	60 : 40
50 : 50	50 : 50	50 : 50
40 : 60	40 : 60	40 : 60
30 : 70	30 : 70	30 : 70
20 : 80	20 : 80	20 : 80
10 : 90	5 : 95	5 : 95
0 : 100	0 : 100	0 : 100

### 5.3 Použité přístroje

- Váhy značky Mettler Toledo Classic

Jedná se o analytické váhy, které váží až do 120 g s přesností 0,01 g

- Tenziometr Sigma 700/ 701

Jedná se o přístroj používající se k měření povrchového napětí pomocí Wilhelmyho metody

- Goniometr Pendant drop Kruss

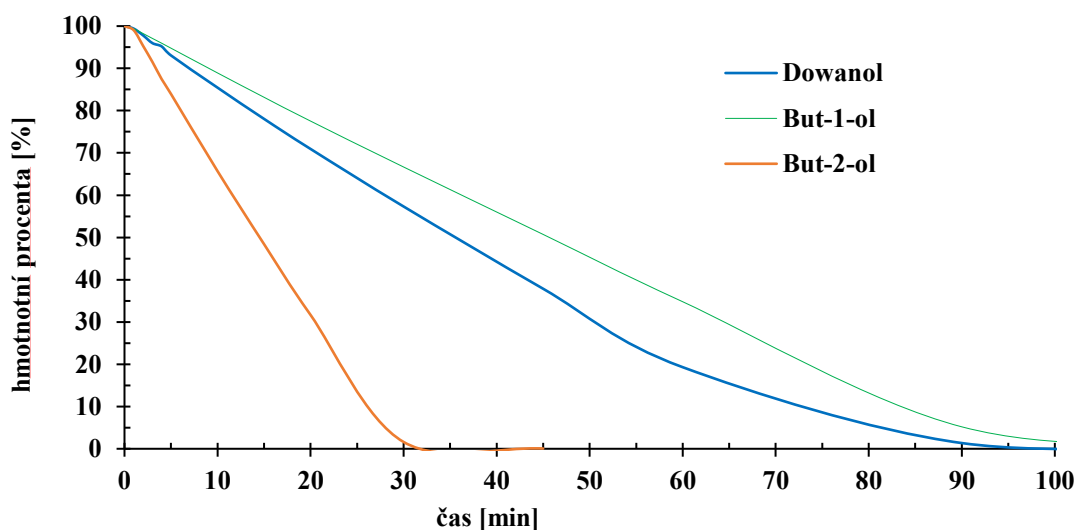
Jedná se o přístroj používající se k měření povrchového napětí pomocí visící kapky

## 6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A DISKUZE

V této kapitole jsou shrnuty výsledky hmotnostního úbytku rozpouštědel v závislosti na čase, výsledky měření povrchové energie Wilhelmyho metodou a metodou visící kapky při různých poměrech rozpouštědel v lakovací směsi.

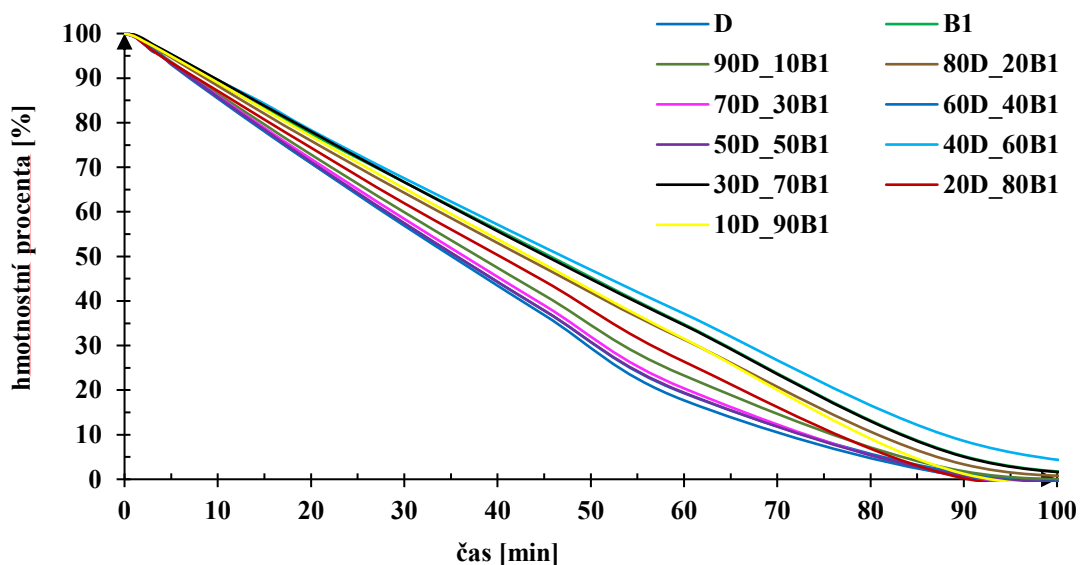
### 6.1 Stanovení rychlosti odpařování rozpouštědel

Rychlost odpařování rozpouštědel reguluje počáteční viskozitu laku při jeho nanášení, viskozitu laku v jednotlivých fázích sušení, ale i samotný vzhled konečného nátěru na substrátu. Stanovení rychlosti odpařování rozpouštědel bylo provedeno ke zjištění pomaleji se odpařujícího rozpouštědla (to zodpovídá za vytvoření interpenetrační vrstvy – tedy dobré adheze) a naopak rychle se odpařujícího rozpouštědla (tím ovlivňuje rovnoměrné rozložení tloušťky laku po celé ploše substrátu).

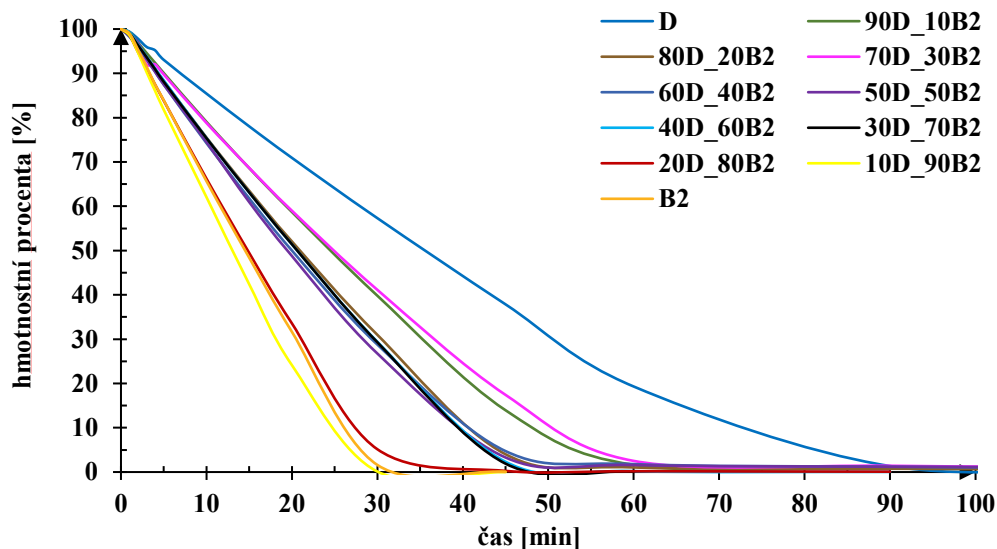


Obrázek č. 5: Systém čistých rozpouštědel Dowanol, B1, B2

Na základě uvedeného grafu (Obrázek č. 5) lze říci, že pomaleji se odpařující rozpouštědlo v systému Dowanol + B1 + lak má vliv na vytvoření IPL vrstvy je B1. Naopak v systému Dowanol + B2 + lak se pomaleji odpařuje Dowanol.

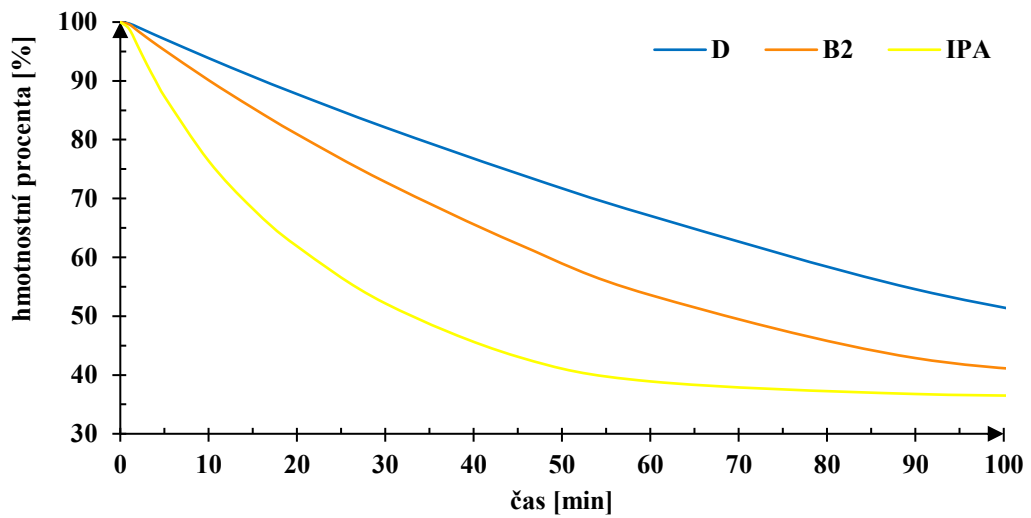


Obrázek č. 6: Systém Dowanol + B1 + lak při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak: rozpouštědlo)



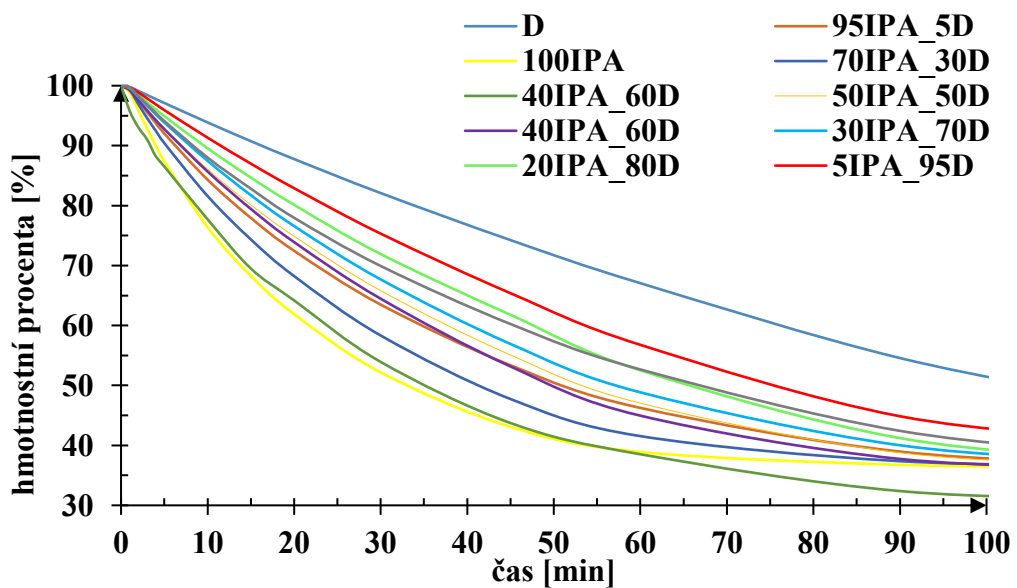
Obrázek č. 7: Systém Dowanol + B2 + lak při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak: rozpouštědlo)

Pokud srovnáme systémy na obrázku č. 6 a 7, tak u systému, kde je volitelné rozpouštědlo B1, se odpařování v závislosti na změně poměrů rozpouštědel výrazně nemění. Avšak podíváme-li se systém s volitelným rozpouštědlem B2, tak se čas odpařování mění (krátí) v závislosti na snižujícím se zastoupení B2.

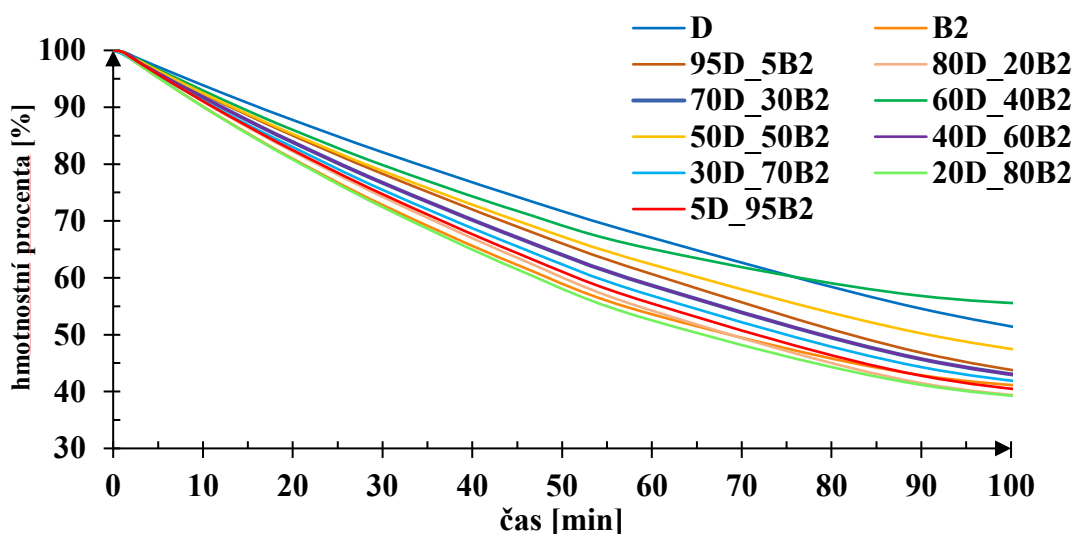


Obrázek č. 8: Systém čistých rozpouštědel Dowanol, B2, IPA

Na základě uvedeného grafu (Obrázek č. 8) lze říci, že pomaleji se odpařující rozpouštědlo v systému Dowanol + B2 + lak má vliv na vytvoření IPL vrstvy je Dowanol. V systému Dowanol + IPA + lak se pomaleji odpařuje také Dowanol.



Obrázek č. 9: Systém Dowanol + IPA + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo)



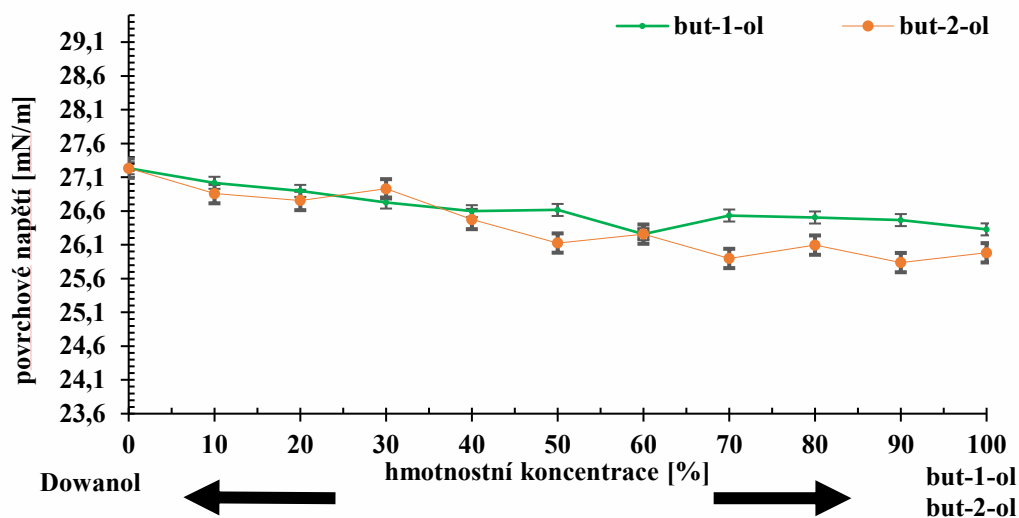
Obrázek č. 10: Systém Dowanol + B2 + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo)

Pokud srovnáme systémy na obrázku č. 9 a 10, tak u systému, kde je volitelné rozpouštědlo B2, se odpařování v závislosti na změně poměrů rozpouštědel výrazně nemění. Avšak podíváme-li se systém s volitelným rozpouštědlem IPA, tak se čas odpařování mění (krátí) v závislosti na zvyšujícím se zastoupení IPA.

## 6.2 Stanovení povrchového napětí Wilhelmyho metodou

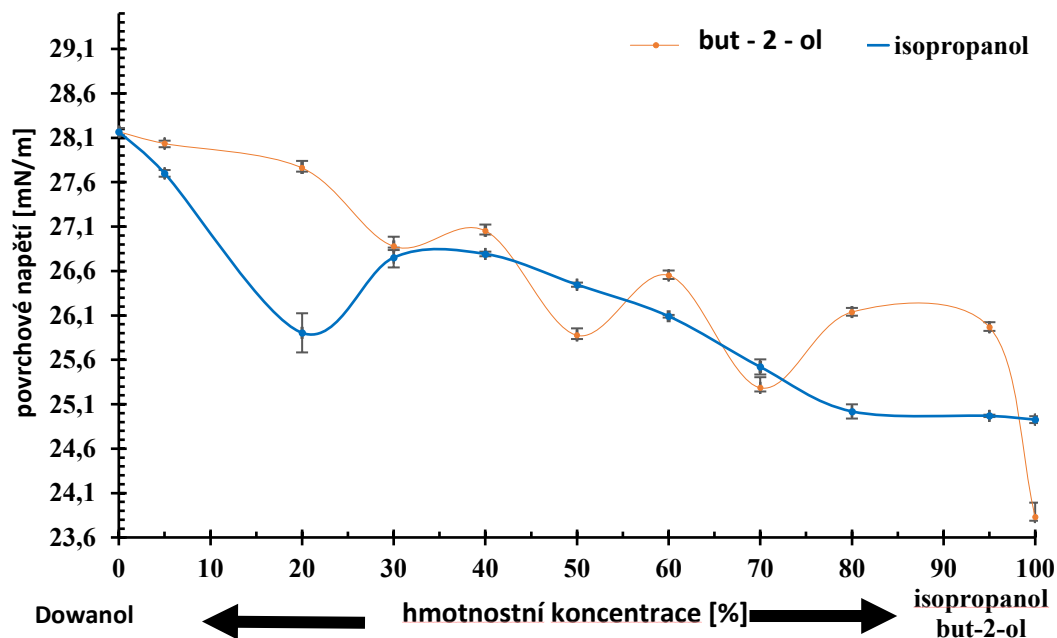
Měření povrchového napětí by prováděno na přístroji Tenziometr Sigma 700/701. Pro měření byly použity skleněné Petriho mističky, které byly čištěny v sérii lázní. První lázní byla kyselina chromsírová, pak následoval oplach v destilované vodě, dále následovala lázeň s kyselinou sírou, následoval oplach destilovanou vodou, další lázeň obsahovala kyselinu chlorovodíkovou, a poté opět následoval oplach destilovanou vodou. Sklo v každé lázni bylo alespoň 30 min. Takto umyté sklo bylo nakonec opláchnuto ještě jednou destilovanou vodou a vloženo do sušárny na 120 °C.

Poté, co bylo připraveno sklo k použití, byly vzorky lakovací směsi temperovány na teplotu 25 °C. Při měření při 35 °C bylo sklo i lakovací směsi temperovány v sušárně. Samotné měření probíhalo pomocí Wilhelmyho platinové destičky. Čištění destičky bylo prováděno pomocí ethanolu a vody (oplach se prováděl 3krát) a poté byl vyžehán nad plamenovým hořákem.



Obrázek č. 11: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + B1 + lak při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

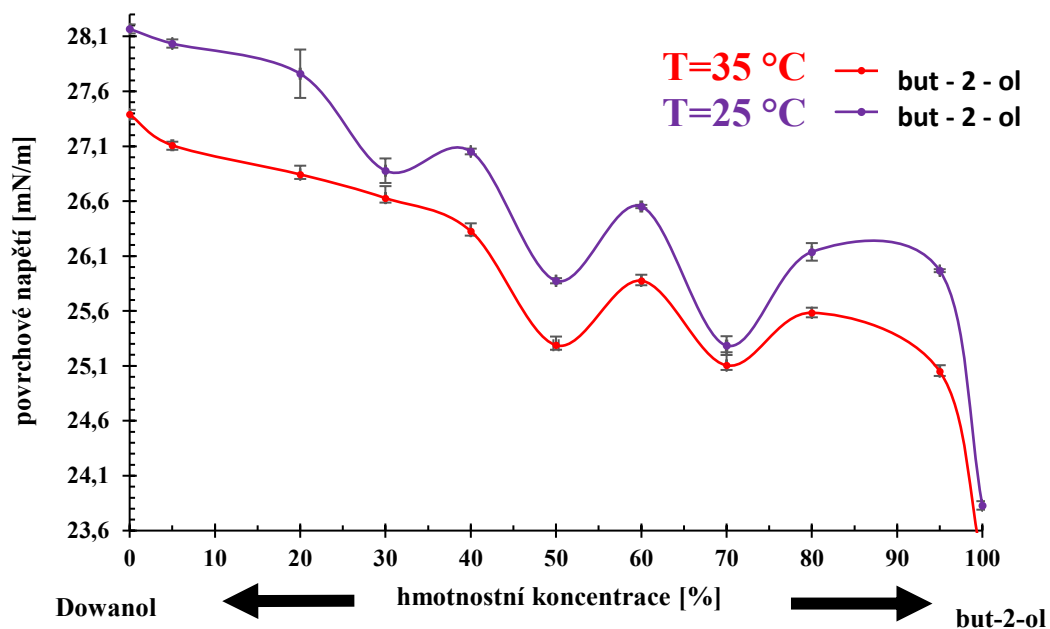
Graf (Obrázek č. 11) nám popisuje lineární klesání povrchového napětí v závislosti na měnícím se procentuálním zastoupení volitelných rozpouštědel.



Obrázek č. 12: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

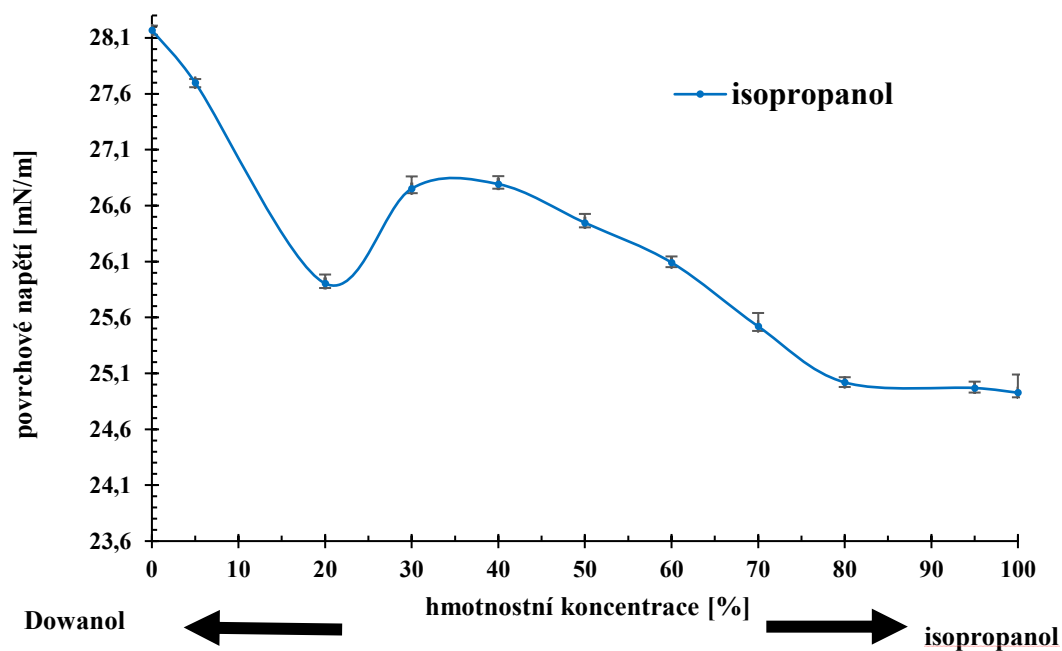


Na grafu (Obrázek č. 12) lze vidět snižování povrchového napětí, ačkoliv s výkyvy v určitém procentuálním zastoupení rozpouštědel. Vzhledem k opakovanému měření (vždy 3krát) by nemělo jít o chybu v měření, nýbrž o určité chování systému.



Obrázek č. 13: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C a 35 °C

Ze závislosti lze pozorovat zase se snižující povrchové napětí jen s tím rozdílem, že při dalším měření byla zvýšena teplota z 25 °C na 35 °C. Tím bylo zjištěno, že se lak chová velmi podobně i ve vyšší teplotě.

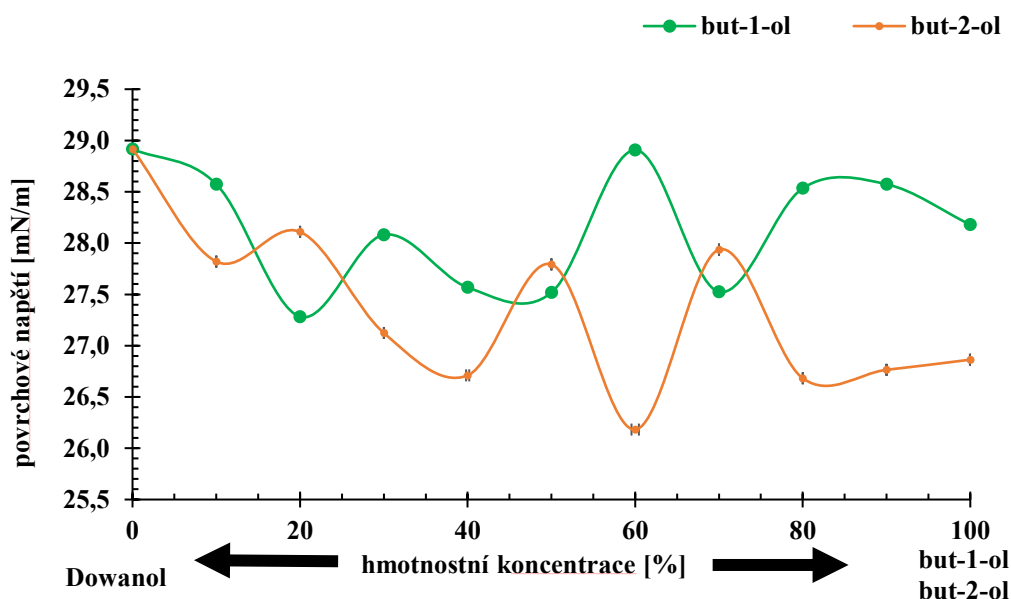


Obrázek č. 14: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol +IPA + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

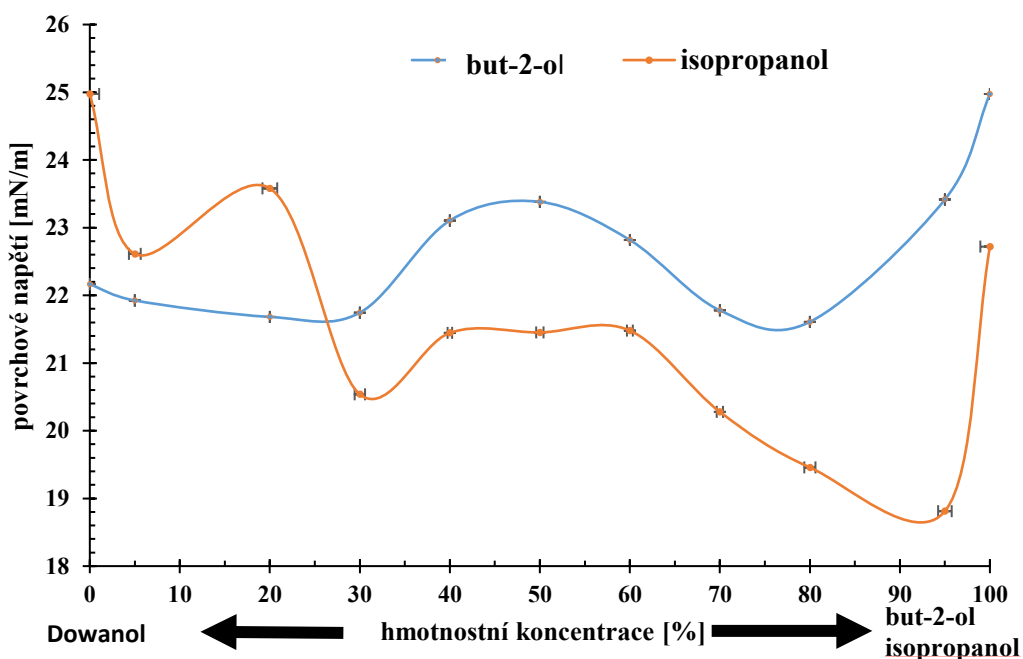
Ze závislosti povrchového napětí lze vidět, že lineárně klesá napětí s rostoucím zastoupením IPA. Avšak při koncentraci 20 hm. % Dowanolu povrchové napětí rapidně kleslo.

### 6.3 Stanovení povrchového napětí metodou visící kapky

Metoda visící kapky pro měření povrchového napětí je velmi citlivá metoda vůči otřesům, proto je jím třeba zabraňovat pomocí antivibračního podstavce. Pro zamezení odpařování rozpouštědel z lakovací směsi byla lakovací směs umístěna i do skleněné kyvety kvůli vzniku prostředí s nasycenými parami. K měření byla použita stříkačka, do které se natáhla lakovací směs. Jehla stříkačky měla průměr 1,83 mm. Pomocí stříkačky byla vytlačena kapka, která byla měřena. Čištění jehly, stříkačky i skleněné kyvety probíhalo oplachem ethanolu, destilované vody a vše se sušilo stlačeným vzduchem.



Obrázek č. 15: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + B1 + lak při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C



Obrázek č. 16: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

S ohledem na vývoj závislosti povrchového napětí na hmotnostním zastoupení rozpouštědel nelze jednoznačně říct, co se se systémem děje. Systém se při stanovení povrchového

napětí metodou visící kapky nechoval standardně. Při měření touto metodou se charakterizovaná kapka lakovací směsi jen těžce udržela po dobu měření z kapiláry. Zdá se tedy, že metoda tomuto systému nevyhovuje.

## ZÁVĚR

Byly porovnány dvě techniky k měření povrchového napětí lakovacích směsí. Jednalo se o metodu tenziometrickou, kterou byla Wilhelmyho metoda a goniometrickou analyzující profil visící kapky. Těmito metodami byly charakterizovány lakovací směsi UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi. Kromě toho byla také studována rychlost odpařování jednotlivých rozpouštědel z lakovacích směsí.

Při stanovení rychlosti odpařování rozpouštědel při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak:rozpouštědlo) se hlavní rozpouštědlo (methoxy – 2 – propanol) odpařovalo výrazně pomaleji vzhledem k but – 2 – olu. Tím pádem zodpovídá za vznik interpenetrační vrstvy při procesu lakování. Avšak vzhledem k but – 1 – olu se odpařuje později, tedy v systému s tímto rozpouštědlem by se hlavní rozpouštědlo mělo podílet na rovnoměrném rozložení laku po substrátu. Porovnáme-li systémy s but – 1 – olem a but – 2 – olem, tak ve druhém systému dochází rychlejšímu odpařování rozpouštědel. Při poměru ředění 72: 28 hm. % se jako nejrychleji odpařující rozpouštědlo jeví isopropanol. Ten se tedy v tomto případě podílí na vzniku IPL.

Při stanovení povrchového napětí tenziometrickou metodou můžeme srovnat poměry ředění 40: 60 hm. % a 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo). V prvním se případě povrchové napětí snižuje, avšak u dvojnásobného zastoupení laku je pokles povrchového napětí výraznější. Při vyšším hmotnostním zastoupení laku byla provedena měření při 25 °C a 35 °C u volitelného rozpouštědla but – 2 – olu při jeho stoupajícím zastoupení na úkor methoxy – 2 – propanolu, se snižovalo povrchové napětí. Obdobné chování bylo zaznamenáno i při vyšší teplotě. Když se zaměnil but – 2 – ol za isopropanol, tak trend klesajícího povrchového napětí zůstal.

Při použití metody visící kapky pro určení povrchového napětí můžeme říct, že povrchové napětí s úbytkem methoxy – 2 – propanolu na úkor volitelných rozpouštědel klesá. I když tato metoda zdá se být pro tyto systémy méně vhodná, protože povrchové napětí výrazně mění své hodnoty.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MECHLOVÁ, Erika. *Molekulová fyzika*. 1. Ostrava: Ediční středisko CIT OU, 2004. ISBN 80-7042-989-5.
- [2] MOKROŠ, Martin. Aplikace laků vytvrzovaných UV zářením a možnosti jejich průmyslového využití. *Transfer*. 2014, **2014**(22), 18-22. ISSN 1801-9315.
- [3] POLYCASA s.r.o., Příbram, Technická zpráva - popis technologie lakování otěru odolných vrstev na polymerní desky, 2015
- [4] MALIJEVSKÝ, Anatol, Josef P NOVÁK, Stanislav LABÍK a Ivona MALIJEVSKÁ. *Breviář z fyzikální chemie* [online]. 1. VŠCHT Praha, 2001 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/BREVALL.pdf>
- [5] BARTOVSKÁ, Ludmila, Marie ŠIŠKOVÁ, Stanislav LABÍK a Ivona MALIJEVSKÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav* [online]. 1. VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2020-05-20]. ISBN 80-7080-579-X. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_isbn-80-7080-579-X/pages-img/](http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pages-img/)
- [6] Smáčivost povrchu 3-D objektů. *Surfacetreat* [online]. Turnov, 2017 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://surfacetreat.cz/cs/smacivost-3d-objektu/>
- [7] BÁRTKOVÁ, H a P KLUSOŇ. *Stanovení povrchové smáčivosti tenkých vrstev a odbourávání povrchově vázaných nečis-tot* [online]. VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013-b6.pdf>
- [8] ERBIL, H.Y. *Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces*. 1. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. ISBN 1-4051-1968-3.
- [9] BERRY, D.J. Measurement of surface and interfacial tension using pendant drop tensiometry. *Journal of colloid and interface science* [online]. 2015, **2015**, 226-237 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002197971500466X>
- [10] BASF. *Dispersion and pigments* [online]. Ludwigshafen Německo, 2017 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.dispersionspigments.basf.com>

- [11] THOMA, Patrik. UV laky technologie nanášení. *Svět tisku* [online]. 2005, **2005**(1) [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.vseotisku.cz/uv-laky-technologie-nanaseni/>
- [12] MORTIMER, R.G. *Physical chemistry*. 3. Elsevier: Academic Press, 2008. ISBN -13:978-0-12-370619-1.
- [13] MOMENTIVE, , Waterford, NY Technical data sheet – SilFORT\* UVHC3000K, 2020. Dostupné z: <https://www.momentive.com/en-us/products/tds/silfort-uvhc3000k?productid=ce61e0de-2878-410f-9e1f-6038f26c2c24>
- [14] KRÜSS [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.kruss-scientific.com/services/educationtheory/glossary/wilhelmy-plate-method/>
- [15] NING a FORTUNATO. Dynamic surface tension measurement with a dynamic Wilhelmy plate. *Technique, Journal of colloid and interface science* [online]. 1999 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: [dostupné z: https://www.sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

symbol	jednotka	význam
B1		But – 1 - ol
B2		But – 2 - ol
d	m	Tloušťka destičky
D		Dowanol, methoxy – 2 - propanol
E	$\frac{J}{cm^2}$	Energie
F	N	Působící síla
g	$s \cdot m^{-2}$	Gravitační zrychlení
h	m	Výška hladiny
IPA		Izopropylalkohol
IPL		Interpenetrační vrstva
L	m	Smáčená délka destičky
w	m	Šířka destičky
$\gamma$	$N \cdot m^{-1}$	Povrchové napětí
$\Delta$		Rozdíl
$\eta$	$Pa \cdot s^{-1}$	Viskozita dynamická
$\theta$	°	Úhel mezi kapalinou se destičkou
$\rho$	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	Hustota
$B_o$		Bondovo číslo



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Zkrácené procesní schéma lakovacího procesu

Obrázek č. 2: Stanovení povrchového napětí kapaliny Wilhelmyho metodou

Obrázek č. 3: Princip vytvrzení fotosenzitivního laku UV zářením

Obrázek č. 4: Princip nanášení lakované vrstvy

Obrázek č. 5: Systém čistých rozpouštědel Dowanol, B1, B2

Obrázek č. 6: Systém Dowanol + B1 + lak

Obrázek č. 7: Systém Dowanol + B2 + lak

Obrázek č. 8: Systém čistých rozpouštědel Dowanol, B2, IPA

Obrázek č. 9: Systém Dowanol + IPA + lak

Obrázek č. 10: Systém Dowanol + B2 + lak

Obrázek č. 11: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + B1 + lak při poměru ředění 40: 60 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

Obrázek č. 12: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak a systému Dowanol + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

Obrázek č. 13: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + B2 + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C a 35 °C

Obrázek č. 14: Graf závislosti povrchového napětí systému Dowanol + IPA + lak při poměru ředění 72: 28 hm. % (lak: rozpouštědlo) a teplotě 25 °C

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka č. 1: Typické fyzikální vlastnosti při 25 °C

Tabulka č. 2: Poměry základního a volitelných rozpouštědel v lakovacích směsích

## SEZNAM ROVNIC

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{F}{L \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

$$\Delta p_h = \Delta \rho \cdot l \cdot g \quad (3)$$

$$B_0 \frac{\Delta \rho g R_0^2}{\gamma} \quad (4)$$