

Charakterizace UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi

Nnamdi Okonkwo

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Nnamdi Okonkwo
Osobní číslo:	T17746
Studijní program:	B2808 Chemie a technologie materiálů
Studijní obor:	Polymerní materiály a technologie
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Charakterizace UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat rešerši na zadané téma.
2. Provést základní experimenty.
3. Vyhodnotit ztěžejní výsledky práce a podrobně diskutovat hlavní závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Gijbertus de With, Polymer Coatings A Guide to Chemistry, Characterization, and Selected Applications, 2018 Wiley VCH
2. Joseph V Koleske, Paint and Coating Testing Manual, 2012 ASTM International
3. Reinhold Schwalm, UV Coatings Basics, Recent Developments and New Applications, 2006 Elsevier Science

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. srpna 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Simona Mrkvičková, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. srpna 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, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

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

Hlavní cíl této bakalářské práce spočívá především v charakterizaci vlastností a chování UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi. Naším cílem bylo pochopit chování UV vytvrditelného laku tak, abychom byly schopni připravit lakovací směs, která bude splňovat náročné požadavky na jeho aplikace a zároveň povede k potlačení nebo snížení defektu rozdílné tloušťky laku po celém jeho povrchu. Z toho důvodu byly připraveny 2 různé poměry směsí laku a rozpouštědel. K nalezení ideálního poměru laku vůči směsi rozpouštědel byla nejprve provedena charakterizace fyzikálních vlastností jednotlivých směsí. Jednalo se především o analýzu kinematické a dynamické viskozity a hustoty v závislosti na hmotnostní koncentraci použité směsi rozpouštědel. Kromě charakterizace lakovací směsi byla charakterizována i lakovaná deska, respektive byla stanovena tloušťka vrstvy laku na několika místech od horního ke spodnímu okraji desky.

Klíčová slova: UV vytvrditelný lak, viskozita, hustota, tloušťka lakované vrstvy

ABSTRACT

The main goal of this bachelor thesis is mainly to characterize the properties and behavior of UV curable acrylate-based lacquer. The goal was to understand the behavior of UV curable lacquer so that we would be able to prepare a lacquer mixture that will meet the demanding requirements of its application. Moreover, the reduction of lacquer thickness over its entire surface will be done. For this reason, different ratios of lacquer and solvent mixtures were prepared. To find the ideal ratio of lacquer to solvent mixture, the physical properties of the individual mixtures were characterized. An analysis of kinematic and dynamic viscosity and density depending on the mass concentration of the solvent mixture were used. In addition to the characterization of the lacquer mixture, the coated sheet was also characterized. The thickness of the lacquer layer was determined at several places from the upper to the lower edge of the sheet.

Keywords: UV curable lacquer, viscosity, density, lacquer layer thickness

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Lence Musilové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 NÁTĚROVÉ HMOTY	11
1.1 HISTORIE POUŽITÍ NÁTĚROVÝCH BAREV	12
1.2 ZÁKLADNÍ TYPY NÁTĚROVÝCH HMOT	13
2.1.1. Olejové nátěrové hmoty	13
2.1.1. Nitrocelulózové nátěrové hmoty	13
2.1.1. Akrylátové nátěrové hmoty	14
2.1.1. Alkydové nátěrové hmoty (syntetické)	14
2.1.1. Polyesterové nátěrové hmoty	14
2.1.1. Polyuretanové nátěrové hmoty	14
2.1.1. Epoxidové nátěrové hmoty	14
2.1.1. Silikonové nátěrové hmoty	15
1.3 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	15
2 UV LAKY	18
2.1 ZÁKLADNÍ TYPY UV LAKŮ	19
2.1.1. Akrylátové epoxidy	19
2.1.2. Polyesterové akryláty	19
2.1.3. Akrylátové uretany	20
2.1.4. Akrylátové silikony	20
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY UV VYTVRDITELNÝCH LAKŮ	21
2.2.2. Nevýhody použití UV vytvrditelných laků	22
2.3 SLOŽENÍ UV LAKŮ	22
3.1 FOTOINICITÁRY	26
4 METODY NANÁŠENÍ LAKŮ	28
4.1 NANÁŠENÍ LAKU METODU POLÉVÁNÍ.....	28
4.2 LAKOVÁNÍ MÁČENÍM.....	29
4.3 LAKOVÁNÍ CLONOU.....	30
5 CHARAKTERIZACE LAKU	32
5.1 VSKOZITA	32
5.2 HUSTOTA	34
5.3 TLOUŠŤKA FILMU	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
6 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍSTROJE	40
6.1 PŘÍSTROJE	40
6.2 MATERIÁLY	40
7 PŘÍPRAVA VZORKŮ A POSTUP MĚŘENÍ	42

7.1	POSTUP PŘÍPRAVY VZORKŮ	42
8	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	44
8.1	POMĚR SMĚSI: 60 % LAKU A 40 % ROZPOUŠTĚDLA	44
A.	System lak / (dowanol / butan-1-ol).....	44
B.	System lak / (dowanol / butan-2-ol).....	47
8.2	POMĚR SMĚSI: 72% LAKU A 28% ROZPOUŠTĚDLA.....	50
A.	System lak / (dowanol / butan-1-ol).....	50
B.	System lak / (dowanol / butan-2-ol).....	52
C.	System lak / (dowanol / izopropylalkohol)	53
	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK.....	65

ÚVOD

Žijeme v době rychlého technického pokroku a s tím stále se zvyšujících nároků v oblasti materiálového inženýrství. S tímto rychlým vývojem jsou však současně vytvářena omezení a regulace zohledňující životní prostředí, ve kterém žijeme. Současná doba je tedy otevřená aplikaci nových materiálů šetrných k okolnímu světu. Existuje tak velké množství nátěrových hmot vytvrditelných pomocí ultrafialového (UV) záření, které poskytuje díky svému jedinečnému složení rozdílné vlastnosti, které předurčují jejich konkrétní aplikaci. Mezi klíčové faktory, které ovlivňují jejich jakost a tím i celkovou životnost nátěrů patří vlastnosti použitého substrátu, na který je nátěr nanesen, volba vhodné technologie nanášení a v neposlední řadě dokonalé provedení všech jednotlivých výrobních operací. V této bakalářské práci se proto pokoušíme nalézt takový lakovací systém, který by svými vlastnostmi odpovídal aplikačním požadavkům spojených s kvalitou finálního produktu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NÁTĚROVÉ HMOTY

Nátěrové hmoty jsou materiály, které po jejich nanesení na podkladový materiál vytvoří ochranný či dekorativní film o dané tloušťce. Nejčastěji se jedná o tekuté, pastové nebo práškové výrobky, které se na povrch substrátu nanášejí pomocí různých metod a zařízení. K tvorbě nátěrového filmu dochází pomocí fyzikálního zasychání (vratný děj) nebo chemického vytvrzování (nevratný děj). Fyzikální zasychání filmu je známé jako sušení, kdy po aplikaci nátěrové barvy dochází k odpaření rozpouštědel. Při chemickém vytvrzení filmu dochází pomocí chemické reakce, která může být zahájena energií (teplo, záření) ke vzniku příčných vazeb, a tedy i síťové struktury. Vlastnosti výsledného nátěru určuje zejména jeho složení, nejčastěji se jedná o různé pryskyřice (pojivo), pigmenty, aditiva a rozpouštědla. Vhodnou volbou těchto složek lze rovněž přizpůsobit parametry nátěrové hmoty, jež jsou klíčové při jejich nanášení, jako jsou viskozita, hustota a hmotnostní koncentrace. Složení nátěru má také velký vliv na výsledné vlastnosti nátěru, jako je lesk, elasticita, odolnost proti poškrábání, tvrdost, a adhezi. Nátěrové hmoty musí splňovat celou řadu požadavků, jako například poskytují ochranu proti korozi, povětrnostním vlivům, a mechanickému poškození, zároveň plní například dekorační a ekonomickou funkci. Neméně důležitým faktorem při jejich volbě jsou také stále se zpřísnující nároky kladené na ochranu životního prostředí a lidského zdraví. [1, 2, 3, 4]



Obrázek 1: Příklad použití nátěrové hmoty [48].

1.1 Historie použití nátěrových barev

První zmínky o použití barev pocházejí již z pravěku. Lidé se odjakživa zajímali o estetiku a existují značné důkazy o tom, že lidé používají barvy k výzdobě a umění. Tyto barvy byly složeny z různých přírodních látek, jako je škrob, včelí vosk, dřevěné uhlí a dalších jako jílu s minerály. [2, 5]



Obrázek 2: Zobrazení pravěké malby [49].

Kolem roku 1000 našeho letopočtu, byly poprvé popsány nátěrové hmoty v knize „Schedula Diversarium Artium od autorů Rodgerus von Helmershausen“. Tyto barvy byly primárně založeny na lněném oleji a přírodních pryskyřicích (jantarové) a na počátku 15. století bylo poprvé použito rozpouštědlo pro snížení viskozity nátěrových hmot. S příchodem průmyslové revoluce v 18. století došlo k nárůstu poptávky po nátěrových hmotách zejména kvůli potřebné ochraně rozvíjejících se průmyslových materiálů. S tímto rozvojem nátěrových hmot vznikaly i první problémy odrážející se na lidském zdraví. Je důležité zmínit, že až do poloviny 20. století byly všechny nátěrové hmoty na bázi rozpouštědel a do roku 1960 neexistovaly téměř žádné předpisy omezující používání toxických látek nebo těkavých organických sloučenin (VOC). Následné zavedení předpisů a prvního zpřísnování odhalilo jejich škodlivé účinky na bezpečnost, zdraví a životní prostředí. Na základě těchto poznatků byl vytvořen nový systém nátěrových hmot, podle kterého je můžeme rozdělit na: [2, 5]

- vysoce pevné nátěrové hmoty - systém, který využívá rozpouštědla ve sníženém množství
- vodou ředitelné nátěrové hmoty - systém, u kterého došlo k nahrazení rozpouštědel (VOC) vodou.
- práškové nátěrové hmoty - systém bez těkavých látek.

Tyto nové systémy vyžadovaly zcela nový vývoj nátěrových surovin a nanášecích technologií. Největší rozvoj byl, zaznamenám ve 20. století, kdy byly objeveny akrylátové, polyuretanové, epoxidové a nitrocelulózové systémy. V současné době je pro průmysl nátěrových hmot velkou výzvou se vypořádat zejména s ekologickými požadavky při jejich stávající účinnosti a ceny. [2, 5]

1.2 Základní typy nátěrových hmot

V současné době existuje velké množství nátěrových hmot s odlišnými vlastnostmi. Jak už bylo zmíněno výše, každá nátěrová hmota poskytuje díky svému jedinečnému složení rozdílné vlastnosti, které předurčují jejich konkrétní aplikaci. Nátěrové hmoty můžeme rozlišovat podle několika kritérií, například podle použitého ředidla (např. vodou ředitelné, rozpouštědlové) či pojiva (olejové, polyesterové, epoxidové, akrylátové, atd.) nebo podle způsobu tvorby nátěrového filmu (sušením, chemickým nebo radiačním vytvrzováním). [1, 6]

2.1.1. Olejové nátěrové hmoty

Olejové nátěrové hmoty patří mezi nejstarší organické nátěrové materiály, jejichž základní složku tvoří olej (např. lněný, sójový) nebo tzv. pryskyřičné olejové pojivo. Barvy rovněž obsahují různá plnidla a pigmenty. K vytvrzení výsledného polymerního filmu dochází pomocí tzv., autooxidační reakce, tedy reakce vzdušného kyslíku s dvojnými vazbami nenasycených mastných kyselin. Rychlost reakce bude ovlivňovat množství nenasycených mastných kyselin v použitém oleji. Vytvrzovací reakci olejových nátěrových hmot může spustit celá řada iniciátorů, např. světlo, teplo či různé druhy záření. Výsledný film vykazuje velmi dobrou odolnost vůči povětrnostním vlivům a vyznačuje se především velmi dlouhou životností nátěru. Naopak jejich nevýhody spočívají v častém žloutnutí laku a v nemožnosti jej kombinovat s jinými nátěrovými hmoty. [1, 7]

2.1.1. Nitrocelulózové nátěrové hmoty

Nitrocelulózové nátěrové hmoty (NH), jsou systémy, jejichž základ tvoří nitrocelulóza. Jedná se o směsi pojiv, změkčovadel a pigmentů rozpuštěných či dispergovaných v organických rozpouštědlech. Velkou výhodou nitrocelulózových nátěrových hmot je poměrně rychlé zasychání filmu, ke kterému dochází odpařováním použitého rozpouštědla (fyzikální zasychání). Finální vlastnosti filmu určuje termoplastický ráz použité filmotvorné složky. [1]

2.1.1. Akrylátové nátěrové hmoty

Akrylové laky patří mezi jednu z největších skupin v oblasti nátěrových hmot. Základ těchto barev tvoří kopolymery akrylátových a metakrylátových esterů. Mezi jejich velké přednosti patří vysoká odolnost vůči povětrnostním a chemickým vlivům. Poskytují vysoký lesk. Oproti ostatním lakům se vyznačují nízkou viskozitou. Při nanášení těchto laků dochází k obtížím s regulací tloušťky nanesené vrstvy laku. [1, 8]

2.1.1. Alkydové nátěrové hmoty (syntetické)

Jedná se o nátěrové hmoty vyznačující se všestranným použitím. Alkydové nátěry představují estery vícesytných alkoholů mastných kyselin. Jejich vytvrzený film vykazuje velmi dobrou mechanickou odolnost, pružnost, odolnost vůči působení kapalin či povětrnostní a klimatickou odolnost, které jim zaručují jejich použití v exteriéru. Jejich velkou nevýhodou je značné použití rozpouštědel. Nejčastěji se používají v průmyslu a stavebnictví. [1, 9]

2.1.1. Polyesterové nátěrové hmoty

Polyesterové nátěrové hmoty se označují jako tzv. vysoko-sušinné bez-rozpouštědlové hmoty na bázi nenasyčených polyesterových pryskyřic. Jedná se tedy o produkty z vícefunkčních nenasyčených alkoholů a vícesytných nenasyčených kyselin. Kromě hydroxylových nebo karboxylových skupin mohou také obsahovat další funkční skupiny umožňující jejich zesílení (např. Akrylové nebo epoxidové skupiny). Tato Jedná se o velmi významnou skupinu nátěrových hmot zajišťující dobré vlastnosti výsledného filmu. [1]

2.1.1. Polyuretanové nátěrové hmoty

Polyuretany patří mezi velice populární skupinu laků v oblasti nátěrových hmot. Nejčastěji se dělí na systémy jednosložkové (vytvření vzdušnou vlhkostí), dvousložkové čisté a dvousložkové kombinované s nitrocelulózou a akryláty. Jedná se o nátěrové hmoty tvořené alkyd akryláty, izokyanáty a rozpouštědly. Díky všestrannosti těchto surovin poskytují tyto nátěrové hmoty několik výhod, mezi které lze zařadit vynikající odolnost proti ořezu, chemickou odolnost. Nejčastěji se používají v automobilovém průmyslu. [10]

2.1.1. Epoxidové nátěrové hmoty

Epoxidové nátěrové hmoty představují tzv. dvousložkový systém tvořený nízkomolekulární epoxidovou pryskyřicí (jedna složka) a roztokem polyamidové pryskyřice (druhá složka),

který funguje jako tzv. tvrdidlo. Jedná se o skupiny laků zajišťující dobrou přilnavost nátěru k substrátu, vynikající tvrdost filmu a v poslední řadě i odolnost vůči oděru a chemickým látkám. Mezi jejich nevýhody naopak patří špatná odolnost vůči povětrnostním vlivům a UV zářením. Navíc se jedná o poměrně drahé systémy. [11]

2.1.1. Silikonové nátěrové hmoty

Jedná se o univerzální nátěrové materiály vykazující vysokou tepelnou stabilitu, transparentnost, nízkou povrchovou energii a vysokou teplotou skelného přechodu (T_g). Tyto vlastnosti zajišťují vynikající vodoodpudivost, odolnost proti povětrnostním vlivům, UV záření a tepelnému namáhání. [1,12]

1.3 Složení nátěrových hmot

Složení nátěrových hmot ovlivňuje požadované vlastnosti finálního produktu, které se může lišit podle způsobu nanášení, druhu upravovaného substrátu (plast, dřevo, kov sklo), ekologického zatížení či pořizovacích nákladů. Nátěrové hmoty většinou tvoří různá pojiva (pryskyřice), rozpouštědla, pigmenty a různá aditiva. Tou nejdůležitější složkou nátěrových systémů tvoří pojiva, protože z velké části určují jak vlastnosti tekutého laku, tak i vytvrzeného filmu. Výběr pojiva určuje způsob nanášení nátěrové hmoty, přilnavost k podkladu, chování při sušení (vytvrzování), mechanické vlastnosti, chemickou odolnost a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Rozpouštědla ani pigmenty nemusejí být vždy přítomny (bez rozpouštědlové a transparentní systémy). Přidávaná aditiva mohou mít zásadním způsobem modifikovat reologické chování nátěrové hmoty a rychlost vytvrzení. Můžeme je rozdělit na těkavé (organická rozpouštědla) a netěkavé přísady (pryskyřice, změkčovadla, barviva, pigmenty a plniva). Každá z těchto složek plní svou specifickou funkci [1, 2, 5].

A. Pryskyřice

Základem všech typů nátěrových hmot jsou pryskyřice, které umožňují vytvoření tenkého polymerního filmu. Pryskyřice (pojiva) významně ovlivňují vlastnosti výsledných filmů, jako je tvrdost, přilnavost nebo chemická odolnost a také, řídí většinu fyzikálních, chemických a mechanických vlastností nanesených filmů. Ačkoli existuje mnoho komerčně

dostupných typů polymerů, jen málo z nich je použitelná jako pojiva pro nátěrové hmoty. [1, 2]

B. Pigmenty

Pigmenty jsou jemně rozptýlené barevné i transparentní nerozpustné částice s vysokým indexem lomu (obvykle nad 1,70). Jejich hlavní funkcí v nátěrové hmotě je dodání barevného odstínu a zajištění krycí schopnosti, tedy schopnosti nátěrového filmu zakrýt původní povrch. Využívají se zejména pro zlepšení optických vlastností, mechanické a chemické odolnosti, odolnosti vůči UV záření a korozi. Lze je rozdělit na základě jejich původu (přírodní a syntetické), a chemické povahy (organické, anorganické a kovové). [13]

C. Aditiva

Nezbytnou složku nátěrových hmot tvoří přísady (aditiva), které se přidávají obvykle v malém množství (až do 5% hmotnostních). I velmi malé množství přidaných aditiv totiž výrazně ovlivní výsledné vlastnosti produktu. Nejčastěji se používají k usnadnění jejich přípravy a samotného nanášení. Mezi základní aditiva patří UV stabilizátory, změkčovadla, fotoiniciátory, retardéry hoření, odpěňovače či matovací činidla. [1, 14]

D. Rozpouštědla

Neméně důležitou služku pak tvoří rozpouštědla. Rozpouštědla jsou látky, které výrazně ovlivňují jejich kvalitu. Jejich hlavní role spočívá v převedení pojiva, tzn. filmotvorné látky do tekutého stavu. Hlavním účelem rozpouštědel je jejich využití při výrobě a nanášení nátěrových hmot, primárně se používají ke kontrole viskozity, povrchového napětí a hustoty (dle zvolené metody nanášení) laků, ovlivňují tokové vlastnosti, vznik homogenní vrstvy, výslednou tloušťku filmu, dobu vytvrzení, lesk atd. Je využíváno mnoho typů organických rozpouštědel (VOC), avšak se stále se zpřísnujícími požadavky na snížení emisí je vyvíjeno značné úsilí o snižování jejich obsahu. Možnou náhradou organických rozpouštědel jako primárního nosiče může být voda. V současné době jsou také vyvíjeny alternativní systémy nátěrových hmot, jako jsou UV vytvrditelné, práškové, vodou ředitelné nebo systémy s vysokým obsahem pevných látek. Ideální rozpouštědlo by mělo být dostatečně těkavé, netoxické, s dobrou rozpustností a v neposlední řadě nízkými náklady na jejich výrobu. [5, 2]

Základní typy rozpouštědel:

Rozdělení organických rozpouštědel se zakládá na jejich chemické struktuře. Organická rozpouštědla jsou dělena do následujících skupin:

- *Uhlovodíková rozpouštědla*

Uhlovodíková rozpouštědla jsou organické sloučeniny, které se nejčastěji získávají z ropných surovin. Obsahují jednu nebo více tříd uhlovodíků (např. lineární, rozvětvené nebo cyklické alkany a aromáty). Mezi hlavní faktory, které ovlivňují jejich výsledné vlastnosti lze zařadit jejich molekulární hmotnost a druh uhlovodíku. Díky nepolárnímu charakteru rozpouštědel se využívají především v kombinaci s méně polárními pojivy (např. alkydy) například k ředění barev a laků. Do této skupiny řadíme alifatické uhlovodíky nebo aromatické uhlovodíky. [2, 15]

- *Okysličená rozpouštědla*

Tuto skupinu rozpouštědel tvoří organické sloučeniny složené z molekul složených z atomů vodíku, uhlíku a kyslíku. Díky své výborné rozpustnosti a dostupnosti jsou okysličená rozpouštědla velmi důležitou skupinou rozpouštědel. Tato rozpouštědla jsou na rozdíl od uhlovodíkových rozpouštědel synteticky vyráběna a představují tak čisté jednosložkové chemické produkty. Vzhledem k jejich silnější rozpustnosti se používají jako aktivní rozpouštědla pro většinu syntetických pryskyřic. Patří zde například alkoholy, ketony nebo estery. [2, 15]

- *Ostatní rozpouštědla*

Do této skupiny rozpouštědel lze zařadit organické sloučeniny skládající se z vodíku, uhlíku a dalších atomů jako chloru nebo dusíku. Patří zde například chlorované uhlovodíky s velice dobrou rozpustností. [2, 15]

2 UV LAKY

UV laky jsou nátěrové hmoty či laky vytvrditelné pomocí UV záření. Jejich využití i obliba v posledních letech výrazně vzrostla. UV vytvrzování má mnoho výhod, pokud jde o menší spotřebu energie, nižší emise, vyšší produktivita (díky krátkým časům vytvrzení) a zpracování při nižší teplotě (vhodné pro substráty citlivé na teplotu jako je dřevo, plast nebo papír). Nátěrové hmoty tvrditelné UV zářením obvykle neobsahují žádná organická rozpouštědla, která mají nepříznivý vliv na životní prostředí. Radiačně vytvrditelné systémy, patří mezi nejekologičtější systémy nátěrových hmot. Rozpouštědla jsou do UV laků přidávána především z důvodu snížení viskozity. UV vytvrditelné systémy využívají energii fotonů zdrojů záření v oblasti krátkých vlnových délek elektromagnetického spektra, které jsou schopny vytvořit volné radikály, jež iniciují rychlou řetězovou reakci. Z elektromagnetického spektra viz (obr. 3) je využíváno zejména ultrafialové záření (UV). UV záření je dále klasifikováno na UV-A, UV-B, a UV-C záření, využívané hlavně pro tuto technologii. Rovnice (1) definuje energii fotonu jako: [14, 16]

$$E = hv = hc/\lambda \quad (1)$$

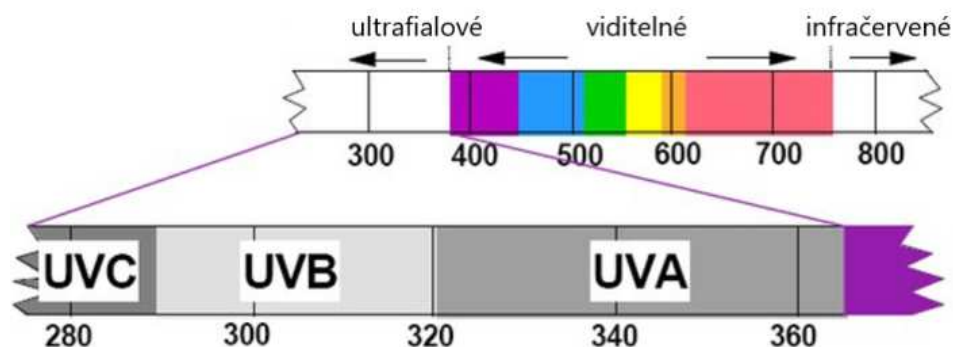
Kde:

ν ... frekvence [Hz]

λ ... vlnová délka [nm]

h ... planckova konstanta [J·s]

Z rovnice (1) lze vidět, že se zkracující se vlnovou délkou dochází k nárůstu energie fotonu. UV záření v oblasti vlnové délky 300–400 nm by již mělo být schopno štěpit vazby C – C. Fotony elektronového paprsku mají dostatečně vysokou energii pro štěpení těchto vazeb. [14, 16]

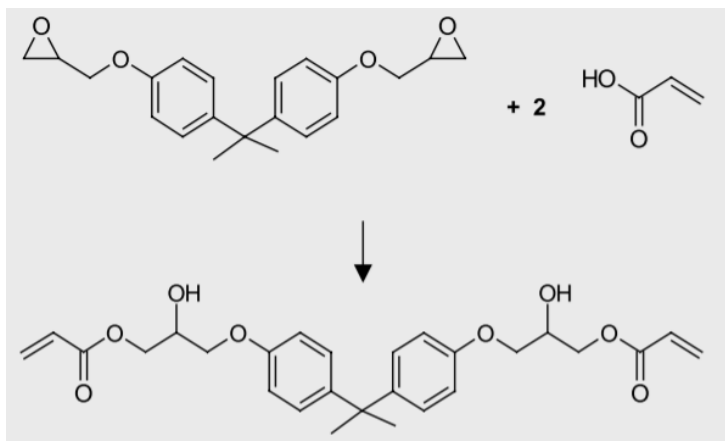


Obrázek 3: Rozdělení elektromagnetického spektra [50].

2.1 Základní typy UV laků

2.1.1. Akrylátové epoxidy

Epoxi-akryláty patří mezi populární UV vytvrzovací systém, připravovaný např. reakcí bisfenolu-A diglycidyletheru s kyselinou akrylovou (viz. obr. 4).



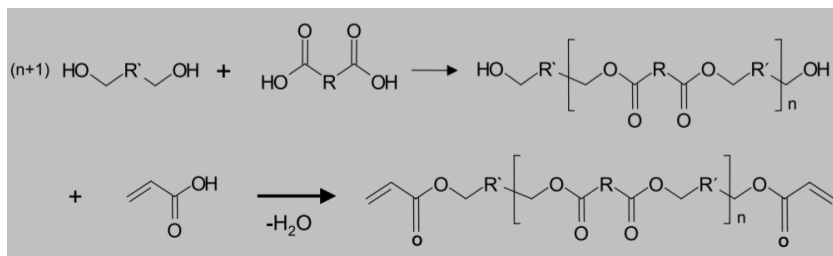
Obrázek 4: Reakce bisfenolu-A diglycidyletheru s kyselinou akrylovou [13].

Díky výborným vlastnostem jako například dobré flexibilitě, odolnosti vůči rozpouštědlům, vysoké tepelné stabilitě, rychlému vytvrzení (po vystavení UV záření, rychle podléhají radikálové polymeraci) a výborné adhezi (vliv polárních hydroxylových a etherových skupin), jsou hojně využívány pro všechny různé aplikace (od běžných produktů po trupy lodí) a materiály. Vzhledem k jejich vyšší viskozitě zejména u epoxiakrylátů (typ Bisfenol-A) se obvykle do těchto laků přidávají reaktivními ředidla. Využívají se jak aromatické, tak alifatické epoxidy, mezi nejvyužívanější však patří akrylátové a methakrylátové epoxidové oligomery. Vytvrzené epoxiakrylátové nátěry se vyznačují dobrou chemickou stabilitou. Akrylátové epoxidy se často používají jako inkousty při potiskování papíru a dřeva. [14, 16, 17]

2.1.2. Polyesterové akryláty

Akrylátové polyesterové patří mezi velmi atraktivní pryskyřičné systémy kvůli jejich relativně nízkým nákladům a velkému počtu dostupných esterů. Jsou ideální pro nanášení na ploché povrchy (proužky, desky, listy) a pro podklady citlivé na teplotu (papír, plasty). U těchto laků je nutné přidávat ředidla pro úpravu viskozity. Jejich molekulová hmotnost se obvykle

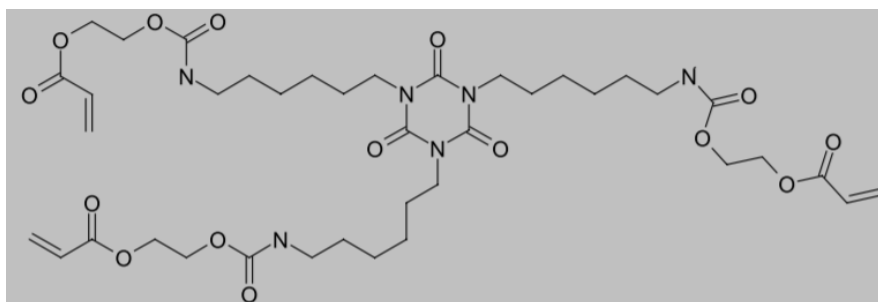
pohybuje v rozmezí 500 až 2000 g / mol. Bývají syntetizovány esterifikací polyester / etherpolyolů s kyselinou akrylovou (viz. obr. 5). [14, 16, 17]



Obrázek 5: Příklad esterifikace polyester / etherpolyolů s kyselinou akrylovou [14].

2.1.3. Akrylátové uretany

Tento systém UV vytvrditelných pryskyřic je známý pro své všestranné vlastnosti a širokou škálu aplikací na velké množství rozdílných povrchů. Obvykle mají dobrou až výjimečnou tvrdost filmu, vysokou flexibilitu, rychlé vytvrzení a dobrou chemickou odolnost v závislosti na použitém prepolymeru a jeho funkčnosti. Jsou to jednoduché adiční produkty multifunkčních izokyanátů. Pro vyšší viskozitu akrylátových uretanů jsou často ředěny reaktivními ředidly. Díky svým přednostem jsou často využívány jako odolné podlahové nátěry a jako nátěry pro flexibilní balení. [14, 16, 17]

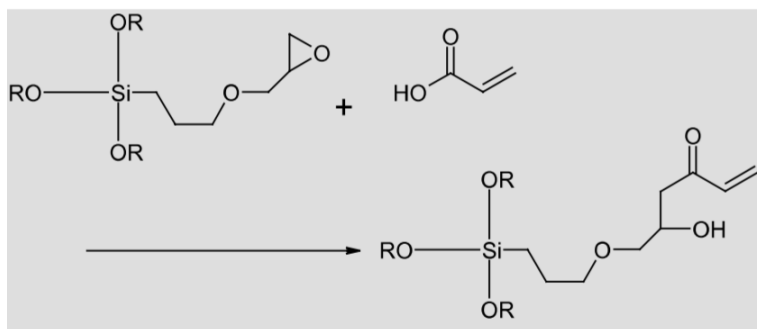


Obrázek 6: Příklad uretanového akrylátu [14].

2.1.4. Akrylátové silikony

Akrylátové silikony jsou UV vytvrditelné laky známé díky jejich vynikající odolnosti vůči teplu, povětrnostním vlivům a chemickým látkám. Tyto systémy mají rovněž dobrou adhezi ke kovovým a polymerním substrátům. Velmi často se používají jako ochranné nánosy pro optická vlákna a citlivé elektronické prvky, jako jsou různé senzory, konektory, kondenzátory a induktory. Své uplatnění nacházejí (omezené) i jako adheziva pro náročné aplikace. Jejich nevýhodou je nízká pevnost spoje, což omezuje jejich použití. Při jejich

výrobě se využívají oligomerní akryláty na bázi křemíku, kdy za přítomnosti UV záření dochází k polymeraci reaktivních skupin, jako jsou akryláty nebo metakryláty. [14, 16, 17]



Obrázek 7: Příklad silikonového akrylátu [14].

2.2 Výhody a nevýhody UV vytvrditelných laků

Radiační vytvrzování UV vytvrditelných laků sebou přináší celou řadu výhod. Z ekonomického hlediska se jedná systém, který je velice energeticky úsporný a s nízkými nároky na prostor. Z ekologického hlediska se zase jedná o systém, který je šetrný k životnímu prostředí, protože neobsahuje rozpouštědla. Z celé řady výhod a nevýhod použití UV vytvrditelných laků jsou zde zmíněny ty nejdůležitější: [14, 18, 19]

2.2.1. Výhody použití UV vytvrditelných laků

A) Ekonomické výhody

- Energeticky úsporné
- Rychlé vytvrzení
- Malé nároky na prostor
- Po vytvrzení možnost okamžitého zpracování.

B) Ekologické výhody

- Neobsahují rozpouštědla
- Snadná recyklace

C) Další výhody

- Ideální pro použití na materiálech citlivých na teplotu
- Vysoká trvanlivost produktu

- Univerzální aplikace
- Vysoká mechanická a chemická odolnost.

2.2.2. Nevýhody použití UV vytvrditelných laků

- Vyšší materiálové náklady ve srovnání s ostatními nátěrovými systémy
- Vytvrzovací reakce může být inhibována atmosférickým kyslíkem
- Obtížné vytvrzování nánosu o větší tloušťce.

UV vytvrditelné laky nabízejí mnoho výhod, stále však nedosahují svého plného potenciálu v oblasti jejich využití. Mezi hlavní důvody omezující využití UV vytvrditelných laků patří problémy vznikající při vytvrzování nánosu na předmětech složitějších tvarů nebo při jejich exteriérových aplikacích, kdy může snadno docházet k inhibici vytvrzení kyslíkem. Další omezení se objevují při snaze o vytvrzení tlustějších nánosů, kdy síla záření emitovaná UV lampou klesá s druhou mocninou vzdálenosti. [14, 18, 19]

2.3 Složení UV laků

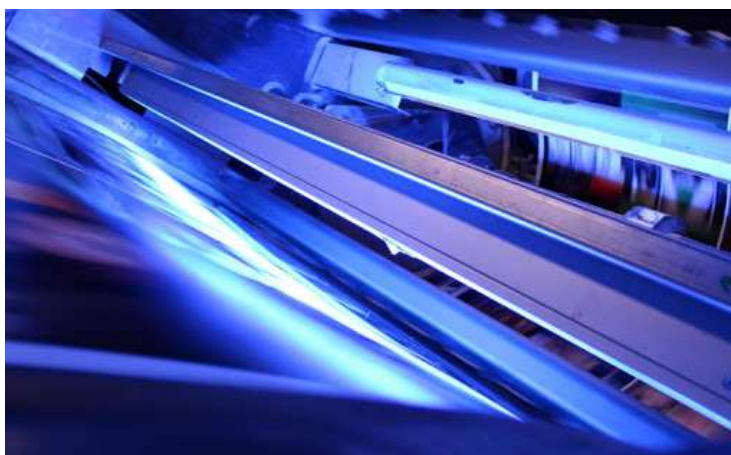
UV vytvrditelné laky tvoří zejména oligomery či monomery pryskyřic neboli pojiv, které tvoří 25% až 90% obsahu laku. Tato pojiva jsou zodpovědná za filmotvorné a základní vlastnosti laku, mezi které patří rychlost vytvrzení, flexibilita, adheze, tvrdost nebo chemická odolnost. Další významnou složku UV laků tvoří z 15% až 60% reaktivní ředidla, což jsou sloučeniny s nízkou molekulovou hmotností. Využívají se především ke změně viskozity, a to dle způsobu aplikace laku. V neposlední řadě je nutné zmínit fotoiniciátory, které usnadňují proces fotopolymerace a tvoří zhruba 1% až 8% obsahu laku. Při absorpci záření se rozpadají a vytvářejí tak volné radikály zahajující proces vytvrzení. Další složku tvoří aditiva, mezi které se řadí například stabilizátory, antioxidanty, změkčovadla, UV absorbenty a pigmenty. [14, 20]

Tabulka 1: Složení a funkce UV vytvrditelného laku [14].

Složky	obsah (%)	funkce
pojiva	25-29	určují základní vlastnosti laku
reaktivní ředidla	15-60	ovlivňují viskozitu
fotoiniciátory	1-8	ulehčují iniciaci fotopolymerace
aditiva	1-70	upravují základní vlastnosti laku

3 FOTOPOLYMERACE

Fotopolymerace je typem radikálové polymerace, kdy jsou pomocí energie UV záření štěpeny vazby mezi uhlíky nebo vazby mezi uhlíkem a vodíkem, a vznikající volné radikály iniciující řetězovou reakci zesíťení polymerního řetězce (filmu). Nejpoužívanějším UV vytvrzovaným systémem jsou nátěrové hmoty na bázi akrylátu. Mezi jejich přednosti patří krátké vytvrzovací časy a výborné mechanické, optické a chemické vlastnosti. Další výhodou akrylátových systémů je, že je jim k dispozici velké množství, což umožňuje přizpůsobitelnost vlastností laku. Základní nevýhodou fotopolymerace, je že při ní může docházet k inhibici kyslíkem, což významně snižuje rychlost vytvrzování v přítomnosti vzduchu a může vést ke vzniku lepkavých (nedotvrzených) povrchů. [21, 22]

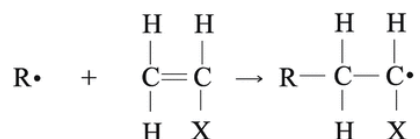


Obrázek 8: UV vytvrzování [51].

Průběh polymerace lze rozdělit do několika základních kroků:

Iniciace

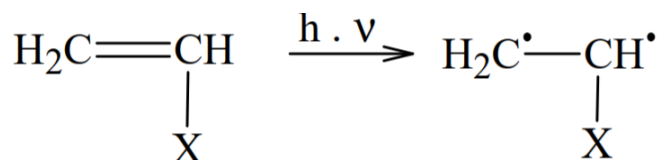
Při iniciaci je nejdříve nutné vytvoření tzv. volného radikálu, čehož lze dosáhnout například pomocí energie UV záření, tepla nebo za pomoci cizího radikálu (viz. obr. 9). Po vytvoření prvního volného radikálu dochází k jeho reakci s první molekulou monomeru. [23-25]



Obrázek 9: Vznik volného radikálu [24].

Fotoiniciace

Možným průběhem iniciace je iniciace zahájena zářením, ke které dochází pomocí záření o krátké vlnové délce, tedy vysokoenergetického záření, kdy dochází ke srážce světelného fotonu s molekulou monomeru. Takto reakce má za následek převedení molekuly do excitovaného stavu (biradikál) (viz. obr. 10). [14, 26, 25]

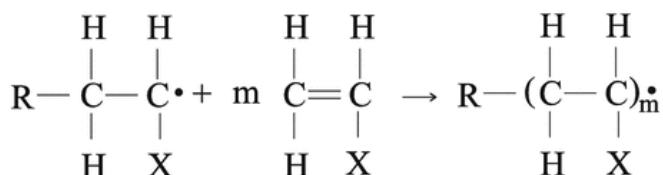


Obrázek 10: Excitace molekuly zářením [25].

Při fotoiniciaci se nejčastěji využívá UV záření, jehož vlnová délka se pohybuje okolo 350 nm. Ke zvýšení účinnosti této metody se přidávají fotoiniciátory, které se po absorpci UV záření rozpadají, a vytváří tak volné radikály, které následně iniciují radikálové vytvrzení. Mezi výhody fotoiniciace patří, že může probíhat za pokojové i nižší teploty. Proto se často používá u materiálů citlivých na teplo jako je dřevo, papír nebo plasty. [14, 26, 25]

Propagace

Po proběhnutí iniciace, při které došlo k vytvoření prvního volného radikálu a jeho reakci s první molekulou monomeru dochází k řetězové reakci, kdy tento radikál (makro-radikál) reaguje s dalšími molekulami monomeru (viz. obr. 11). Tento proces nazýváme propagací, dochází při něm k nárůstu řetězce. [23-25]

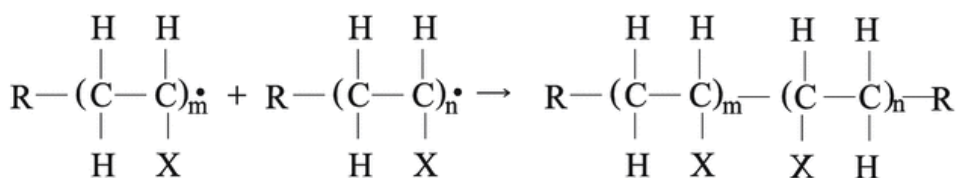


Obrázek 11: Průběh propagace [24].

Terminace

K terminaci neboli ukončení růstu polymerního řetězce dochází, když reaktivní radikál uskuteční jinou reakci než adiční na další molekulu monomeru. To se může uskutečnit několika způsoby:

- rekombinace – u rekombinace dochází ke spojení dvou radikálů pomocí kovalentní vazby. Může, proběhnou rekombinací dvou makroradikálů (viz. obr. 12, 13) nebo rekombinací makroradikálu s iniciátorem (viz. obr. 14). [23-25]



Obrázek 12: Příklad rekombinace [24].

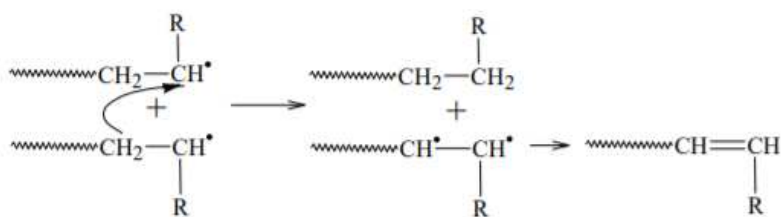


Obrázek 13: Příklad rekombinace makroradikálů [25].



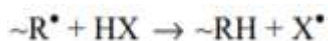
Obrázek 14: Příklad rekombinace makroradikálu s iniciátorem [25].

- disproporcionace – při disproporcionaci dochází k přenosu atomu vodíku mezi jednotlivými makroradikály, čímž dochází ke vzniku dvou řetězců s rozdílným zakončením (viz. obr. 15). U jednoho řetězce se vytváří dvojná vazba a u druhého zůstává zakončení normální. [23-25]



Obrázek 15: Příklad disproporcionace - přenos vodíku [25].

- transfér – u transféru neboli přenosu dochází k reakci radikálu s nějakou neaktivní látkou, kterou může tvořit například rozpouštědlo. V reakci mezi radikálem a neaktivní látkou dojde k tomu, že nepárový elektron radikálu nezanikne, ale přenesse se na druhou molekulu a ta se tak stane radikálem (viz obr. 16). [23-25]

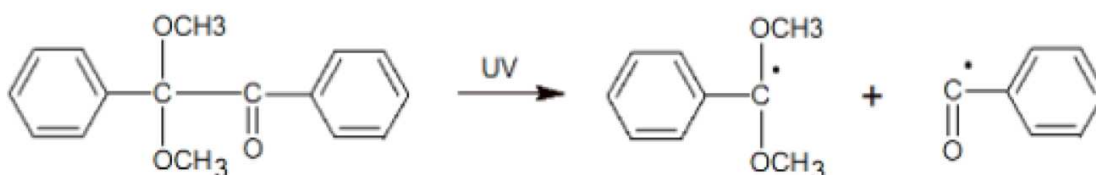


Obrázek 16: Transfér volného elektronu [25].

3.1 Fotoiniciátory

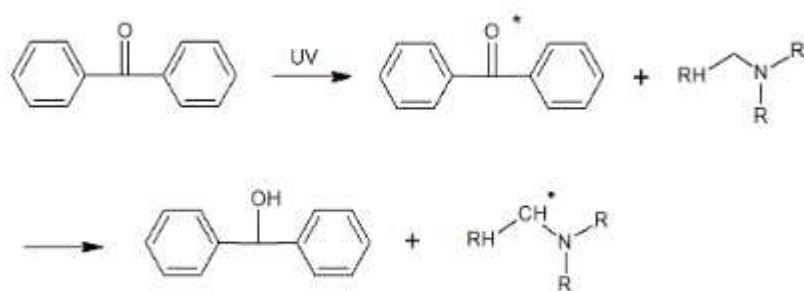
Fotoiniciátory nebo také UV iniciátory jsou sloučeniny, které jsou schopny při vystavení UV záření absorbovat jeho radiaci, následně degradovat, a tak vytvářet volné radikály iniciující proces vytvrzení. Po vzniku volných radikálů dochází k reakci s monomery nebo oligomery obsažených v laku, čímž dochází k iniciaci růstu polymerního řetězce (propagaci). Jsou schopny značně urychlit proces vytvrzení. Patří mezi základní složky UV vytvrzitelných systémů, jako jsou laky, barvy nebo UV vytvrzitelné inkousty. Rozlišujeme dva hlavní typy fotoiniciátorů produkujících volné radikály a jsou označeny jako: [2, 20, 21]

- *Fotoiniciátory typu I (Norrish Typ I)*, které po absorpci vysokofrekvenčního záření vytváří volné radikály, kdy dochází k intramolekulárnímu štěpení vazeb mechanismem homolytické fragmentace neboli *a-štěpení*. Obvykle se do této skupiny fotoiniciátorů řadí sloučeniny obsahující benzoylové skupiny, kdy jsou fotony absorbovány karbonylovou skupinou iniciátoru, která se takto dostává do excitovaného stavu. Následně dochází ke štěpení excitované uhlíkové vazby a vzniku dvou radikálových fragmentů. Jako příklad si můžeme uvést reakci, při které dochází ke vzniku methoxybenzoylového a benzoylového radikálu štěpením 2,2-dimethoxy-1,2-difenylethan-1-onu (viz. obr. 17). [2, 20, 21]



Obrázek 17: Reakce štěpení 2,2-dimethoxy-1,2-difenyl-ethan-1-onu. [20]

- *Fotoiniciátory typu II (Norrish Typ II)* – u tohoto II typu fotoiniciátorů jsou po absorpci UV záření volné radikály vytvářeny odevzdáním nebo odtržením vodíku z druhé sloučeniny, ze které se tak stává volným radikálem iniciujícím řetězovou reakci. Pro tuto skupinu fotoiniciátorů jsou typické sloučeniny jako je například benzofenon s jeho deriváty nebo isopropylthioxanthon s terciárními aminy. Funkcí aminů je poskytovat vodíky excitovaným fotoiniciátorům (viz obr. 18). Po poskytnutí vodíku aminem se z něj stává velmi reaktivní alkyl-amino radikál v dalším kroku iniciující řetězovou reakci vytvrzení. [2, 20, 21]



Obrázek 18: Terciální amin jako donor vodíku [20].

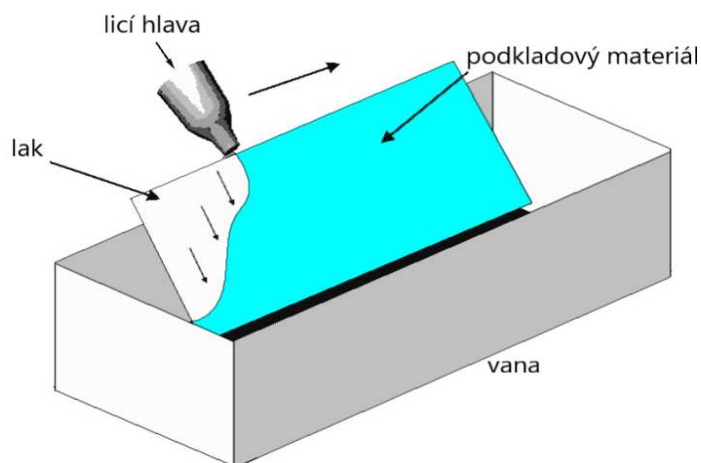
Jednou z výhod, jež terciální aminy poskytují je, že brání znehodnocení kvality vytvrzeného laku způsobenou inhibicí kyslíkem, který má schopnost difundovat do vytvrzovaného nátěru a vytvářet nereaktivní peroxy-radikály (vznikají reakcí atmosférického kyslíku s rostoucími makromolekulami v procesu vytvrzování). Terciální aminy jsou schopny zabraňovat inhibici kyslíkem převedením těchto radikálů na reaktivní alkylamino-radikály. Je dobré se zmínit o akrylátových aminech, které snižují lepkavost povrchu nanesené vrstvy laku, poskytují rychlejší časy vytvrzení, snižují těkavost a zvyšují odolnost vůči rozpouštědlům. [2, 20, 21]

4 METODY NANÁŠENÍ LAKŮ

Mezi klíčové faktory, které ovlivňují jakost a tím i celkovou životnost nátěrů patří vlastnosti podkladu, na který je nátěr nanesen, volba vhodné technologie nanášení a v neposlední řadě dokonalé provedení všech jednotlivých výrobních operací. Každá technologie nanášení má své přednosti i nedostatky. V podstatě neexistuje technologie, která by mohla být označena za univerzální z pohledu tvaru a velikosti výrobku. Při volbě lakovací technologie je zapotřebí zvážit celou řadu kritérií, mezi které patří například, velikost a tvar lakovaných předmětů, kvalita výsledného nánosu a jeho vlastnosti, tloušťka lakované vrstvy, prostředí, kterému bude lakovaný výrobek vystaven, vlastnosti použité nátěrové hmoty (laku), atd. [1, 2, 5, 13, 27]

4.1 Nanášení laku metodu polévání

Nanášení metodou poléváním je ideální pro lakování předmětů se složitými geometrickými tvary zejména pro sériovou výrobu. Tato technologie poskytuje řadu zajímavých výhod ve srovnání s jinými lakovacími technologiemi. Při tomto způsobu nanášení laku se využívá principu gravitačního spádu. Kontinuální a homogenní tok laku skrze štěrbinu polévací hlavy vytvoří tzv. clonu. Polévací hlava se dá do pohybu po předem naprogramované trajektorii (definované tvarem a rozměry desky), aby po obvodě staticky umístěné desky dopadl nanášený lak a došlo tak k vytvoření povrchového filmu. Množství naneseného laku lze regulovat pomocí geometrie polévací hlavy nebo rychlostí pohybu samotné polévací trysky. Přebytečný lak, který odkapává, je postupně shromažďován, přefiltrován a následně znovu zaveden zpět do lakovacího procesu (viz obr. 19). [28,29]



Obrázek 19: Proces lakování metodou polévání [52].

Aby mohlo dojít k vytvoření homogenní vrstvy laku na substrátu, musí lak volně stékat po celé jeho ploše. Proto se často používají laky o nižší viskozitě (viz obr. 20). [28,29]



Obrázek 20: Příklad aplikace laku na substrát [28].

Jednou z nevýhod této nanášecí technologie je, že při nanášení laku může docházet k postupnému hromadění laku ve spodních částech desky a tím pádem vzniku rozdílné tloušťky lakované vrstvy laku mezi horním a spodním okrajem desek (viz obr. 21). Tento jev se vyskytuje zejména u větších objektů, kvůli delším časům stékání po povrchu a většímu množství aplikovaného nátěru. [28,29]

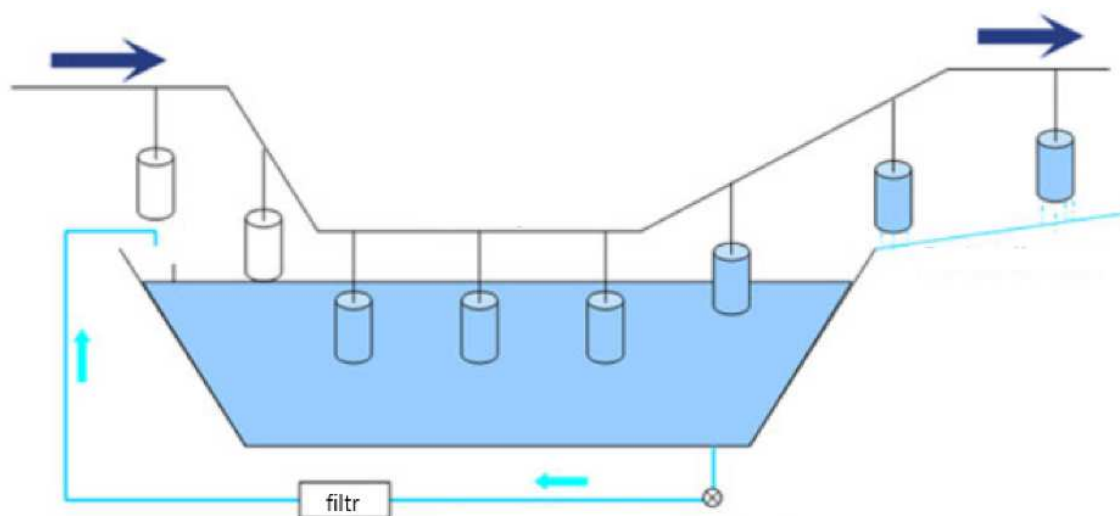


Obrázek 21: Ukázka hromadění laku ve spodní části desky [53].

4.2 Lakování máčením

Lakování máčením je jednou z nejjednodušších a nejstarších metod lakování průmyslového zboží. Snadno se automatizuje, má mnohem nižší spotřebu materiálu ve srovnání s mnoha ostatními metodami lakování. Nevýhodou této metody jsou problémy spojené s kontrolou tloušťky nanášené vrstvy laku a vady s ním spojené, jako jsou například stopy po stékajících

kapkách. Při lakování máčením dochází k ponoření produktu do lakovací lázně s lakem, následně je vytažen a na chvíli odstaven z důvodu odkapání přebytečného laku a dopraven do sušárny, kde je po dostatečně dlouhou dobu ponechán z důvodu dostatečného odpaření rozpouštědel, a tedy i správného vytvrzení filmu (viz obr. 22). Proces sušení může být urychlen zahříváním a vrstva laku vytvrzena pomocí tepla, UV nebo IR záření, v závislosti na složení laku. Problémy této metody lakování se projevují zejména u složitějších předmětů obsahujících různé dutiny, skulinky a další zákoutí nebo také hromaděním laku na okrajích předmětů. [2, 13, 29]

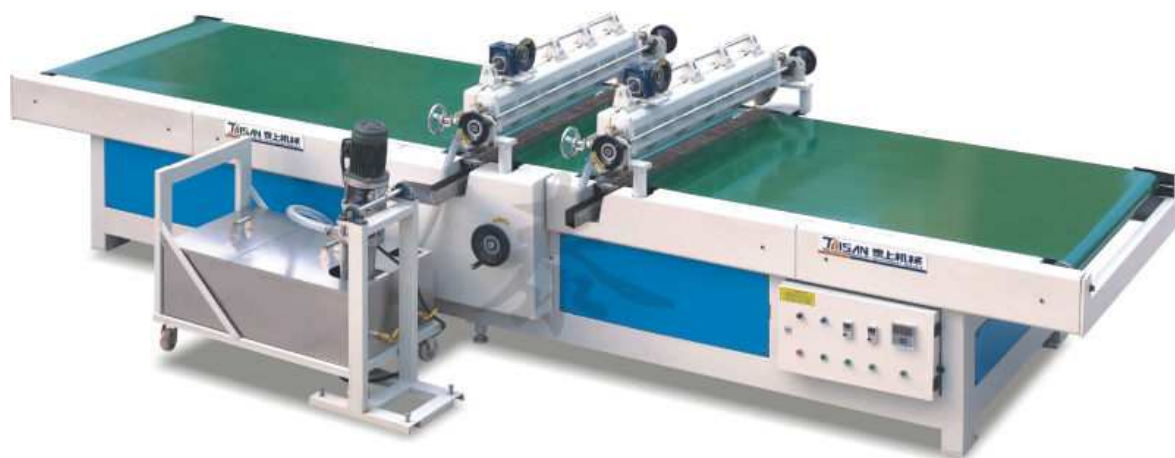


Obrázek 22: Proces lakování metodou máčení [29].

4.3 Lakování clonou

Mezi další metodu nanášení laků vhodnou především pro aplikaci na větší, ploché komponenty patří lakování clonou. Princip této metody spočívá v tom, že je lak nanášen ze zásobníku s podélnou štěrbinou na předměty pohybující se na dopravních pásech pod ním (viz obr. 23). Lak je tedy nanášen na lakovaný předmět clonou díky čemuž dochází k rovnoměrnému pokrytí celého povrchu předmětu. Tloušťka nanesené vrstvy je v tomto případě řízena viskozitou laku, šířkou štěrbinou v polévací hlavě a rychlostí posuvu dopravního pásu, na kterém je předmět umístěn. Mezi výhody této metody patří způsob, jakým je kontrolován přetok laku, který se nechytí na substrátu, kdy dochází k hromaděním tohoto laku ve sběrné lázni, ze které je po přefiltrování vrácen zpět do licí hlavy. Tato technologie nanášení je zvláště vhodná pro laky vytvrzitelné zářením, kdy je po procesu lakování, zajištěno kontinuální vytvrzení lakovaných ploch. Nejčastěji se využívá v nábytkářském průmyslu k potahování stolních desek, dřevěných rámců atd. Lze ho využít i v

plastikářském, papírenském či kovovém průmyslu při lakování plastových substrátů, papírových obalů a kovových předmětů. [2, 5, 29]



Obrázek 23: lakovací jednotka pro nanášení clonou [29].

5 HAĀKTĀĀIZAĀ LAKĀ

Jedním z důležitých faktorů v průmyslu nátěrových hmot je jejich charakterizace a testování kvality. Mezi nejčastěji hlídané vlastnosti patří například viskozita, hustota nebo měření tloušťky vrstvy laku (mokrého i suchého filmu). [1, 5, 27]

5.1 Viskozita

Viskozita popisuje vnitřní tření v reálné tekutině, nebo také odpor tekutiny při tečení (deformace toku). Viskozita tekutiny charakterizuje vlastnost reálných kapalin, u kterých je předpokládáno vnitřní tření při pohybu jednotlivých vrstev tekuté látky, oproti kapalinám ideálním, u kterých není žádné vnitřní tření předpokládáno. Při pohybu kapaliny dochází k vnitřnímu tření mezi jejími molekulami, kdy dochází k disipaci energie, tedy přeměně kinetické energie na teplo. Pohybem jednotlivých vrstev kapalin dochází vlivem třecí síly ke vzniku smykového (tečného) napětí, které roste s rostoucí rychlostí proudění kapaliny (gradient rychlosti). Vztah tečného napětí k rychlosti smykové deformace neboli gradientu rychlosti v kolmém směru na tok kapaliny popisující newtonské kapaliny popisuje rovnice (2). [30-33]

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

Kde:

τ ... smykové napětí [Pa]

η ... dynamická viskozita [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\text{s} = \text{Pa}\cdot\text{s}$]

$\frac{dv}{dy}$... gradient rychlosti [s^{-1}]

Podílem dynamické viskozity a hustoty (viz rovnice (3)) získáme hodnotu kinematické viskozity, jejíž jednotkou je m^2s^{-1} . Toho se využívá při znalosti jedné z viskozit a hustoty kapaliny k přepočtu a zjištění hodnoty druhé viskozity. [30-33]

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Kde:

ν ...kinematická viskozita [m^2s^{-1}]

η ...dynamická viskozita [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\text{s} = \text{Pa}\cdot\text{s}$]

ρ ...hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Hlavním faktorem, který ovlivňuje viskozitu, je teplota. Obecným trendem je, že s rostoucí teplotou dochází ke snížení viskozity, a naopak s klesající k jejímu navýšení. Z tohoto důvodu je velice důležité udržovat konstantní teplotu po dobu celého měření. Mezi další faktory patří vliv použitého rozpouštědla, které ovlivňuje expanzi polymerního řetězce a tlak. [30-33]

Základní typy viskozimetrů

Nástroje využívané k měření viskozity se nazývají viskozimetry. Byly vyvinuty protože, viskozitu nelze měřit přímo. K dispozici jsou zhruba tři třídy viskozimetrů, do kterých patří kapilární viskozimetry, rotační viskozimetry a viskozimetry fungující na principu padající kuličky. [30, 34, 35]

Viskozimetr fungující na principu padající kuličky

Viskozimetry, které fungují na principu padající kuličky, jsou tvořeny skleněnou trubicí o daném poloměru, která se naplní roztokem testovaného vzorku o neznámé viskozitě. Do této trubice je následně vhozena kulička o známé hustotě, která po krátké době dosáhne konstantní rychlosti, což je výsledkem dosažení rovnováhy mezi odporem tření a gravitací. Měří se doba pádu kuličky mezi definovanou vzdáleností vyznačenou na viskozimetru dvěma ryskami. Mezi výhody tohoto typu viskozimetru patří jeho přesnost a snadná regulace teploty. Jeho nevýhodou je, že může být použit pouze pro průhledné Newtonské kapaliny. [30, 34, 36, 37]

Hopplerův viskozimetr

Příkladem viskozimetru s padající kuličkou je viskozimetr Hopplerův (viz obr. 24). U tohoto typu viskozimetru je potřebná kalibrace a též znalost hustoty kuličky a kapaliny. Při měření padá kulička ve skleněné trubici skloněné od vertikály o 10° a měří se čas průchodu kuličky mezi dvěma ryskami. Kuličky mohou být různého průměru a materiálu (sklo, kov) díky čemuž lze měřit v širokém rozsahu viskozity. Následně je vypočítána hodnota dynamické viskozity za pomoci konstanty K udávanou výrobcem z následujícího vztahu (4): [30, 34, 36, 37]

$$\eta = K \cdot \Delta\rho \cdot t \quad (4)$$

Kde:

K... konstanta udávaná výrobcem

$\Delta\rho$... rozdíl hustot mezi kapalinou a kuličkou [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

t... čas pádu kuličky po určité délce kapiláry [s]

Tento typ viskozimetru se využívá ke kontrole kvality a charakterizaci vzorků v různých průmyslových odvětvích i v akademických institucích. [30, 34, 36, 37]



Obrázek 24: Hopplerův viskozimetr [54].

5.2 Hustota

Hustota značená ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] je definována jako podíl hmotnosti m [kg] a objemu V [m^3] (viz rovnice (5)).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Kde:

ρ ... hustota látky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

m ... hmotnost látky [kg]

V ... objem látky [m^3]

Je to jeden z nejdůležitějších fyzikálních parametrů hrající důležitou roli při charakterizaci vlastností všech materiálů ať už pevného, kapalného nebo plynného skupenství. Umožňuje ověřit čistotu látek či pomoci při určení koncentrace jednotlivých složek a jejich vzájemného poměru. Významně ovlivňuje kvalitu a chování látek. Mezi hlavní faktory ovlivňující hustotu patří podobně jako u viskozity teplota. Teplota má na hustotu velký vliv a pro přesné měření hustoty je zapotřebí tepelná stabilita, aby nemohlo docházet například ke změně objemu. Většina látek má při zahřívání tendenci zvětšovat svůj objem, což je zapříčiněno vlivem tepelné energie na molekuly látky, kdy vyvolaným tepelným pohybem molekul dochází k nárůstu průměrných vzdáleností mezi molekulami a tím taky zvětšení objemu a snížení hustoty hustotě. Dalšími faktory ovlivňujícími hustotu mohou být viskozita látky nebo tlak na ni působící. [38,39]

Digitální hustoměr

Většina moderních digitálních hustoměrů funguje na principu oscilující U-trubice. Tato trubice má tvar písmene U a je vyrobena z borosilikátového skla (viz obr. 25), jehož výhodou je dobrá chemická odolnost a možnost vizuálně pozorovat dávkované vzorky, a zabránit tak přítomnosti bublin nebo cizích částic, které mohou negativně ovlivnit hodnotu hustoty.



Obrázek 25: U-trubice z borosilikátového skla [55].

Vzorek, jehož hustotu se snažíme zjistit, musí být nejdříve nadávkován do U-trubice. Trubice naplněná vzorkem je následně rozkmitána na její charakteristickou frekvenci, která je dána hustotou vzorku, pomocí magnetického nebo přesnějšího piezoelektrického oscilátoru. Platí, že čím vyšší je hustota vzorku uvnitř buňky, tím nižší je frekvence kmitání. Tyto kmity jsou následně zaznamenány optickými senzory a výsledná hodnota hustoty je vypočítána z hodnoty periody oscilace měřeného vzorku a referenčního oscilátoru (viz rovnice (5)). [38, 40-42]

$$\rho = A \cdot \tau^2 - B \quad (5)$$

Kde:

τ ... podíl periody oscilace měřeného vzorku a u referenčního oscilátoru [Pa]

A, B ... konstanty přístroje

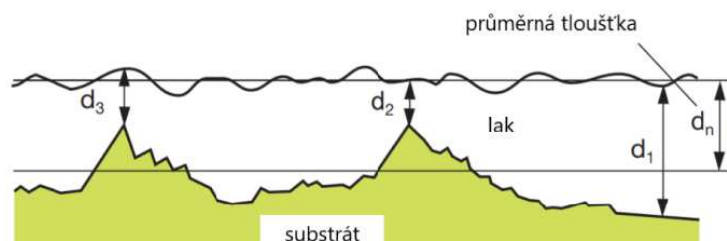
Digitální hustoměry fungující na principu oscilační U-trubice jsou velmi efektivní přístroje (viz obr. 26), které umožňují rychlé a přesné měření hustoty kapalin v širokém rozmezí teplot. Další výhodou je, že pro nadávkování a změření hustoty stačí jen velmi malé množství vzorku. Modernější hustoměry v sobě mají zabudovány ještě referenční oscilátor, umožňující přesnější měření. Vzhledem k snadnosti použití a přesnosti měření digitální hustoměry často nahrazují ostatní konvenční hustoměry. [40-42, 43]



Obrázek 26: Digitální hustoměr od firmy Anton Paar [4].

5.3 Tloušťka filmu

Termín tloušťka filmu může být definován pouze jako průměrná hodnota tloušťky nanesené vrstvy laku, vzhledem k nerovnoměrnosti substrátu a metodě měření (viz obr. 27). [27, 44-57]



Obrázek 27: Tloušťka nanesené vrstvy laku [27].

Představuje velice důležitý parametr v průmyslu nátěrových hmot. Tloušťka vrstvy laku je významně ovlivněna výběrem nátěrového materiálu a zvolenou technikou nanášení. Vzhledem ke všem požadavkům na vlastnosti vrstvy laku existuje optimální tloušťka nanesené vrstvy. S rostoucí tloušťkou vrstvy laku dochází ke zlepšení ochranného účinku vůči vnějším vlivům, ale zároveň ke zhoršení mechanických vlastností. Vždy je hledán optimální kompromis v závislosti na požadavcích a využití výsledného produktu. Tloušťku nátěru (filmu) lze stanovit v (a) mokřem či (b) suchém stavu. Při stanovení tloušťky mokřeho filmu se využívá tzv. mokřé stopy, kterou zanechává testovací hřeben. K jejímu stanovení dochází ihned po nanesení nátěru na povrch, protože v průběhu postupného odpařování rozpouštědel laku se tloušťka vrstvy velmi rychle mění. Při stanovení tloušťky suchého nátěru rozlišujeme metody nedestruktivní a metody destruktivní. [27, 44-57]

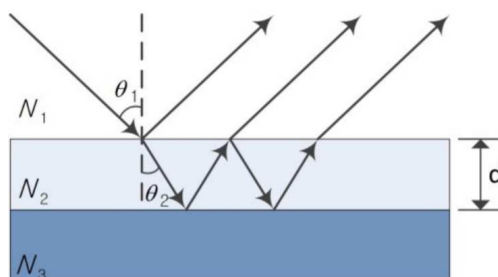
Spektroskopický refraktometr

Měření tloušťky filmu pomocí spektroskopického refraktometru (viz obr. 28) umožňuje velice přesné určení tloušťky. Vzhledem k schopnosti tohoto systému měřit velice tenké vrstvy laku a snadnosti jeho použití je stále více využíván. [44-57]



Obrázek 28: Spektroskopický refraktometr [56].

Princip měření tloušťky filmu pomocí spektroskopické refraktometrie spočívá v emitaci elektromagnetického záření o dostatečně vysoké frekvenci, které proniká vrstvami tenkého filmu a je postupně odrazeno nejdříve od povrchové vrstvy a následně od každé další hraniční plochy (viz obr. 29). Po odražení proniklého záření nazpět dochází k interferenci neboli překrytí odražených vln záření s určitým fázovým posunem, ze kterého je následně vypočítána tloušťka vrstvy laku. [27, 44-57]



Obrázek 29: Prostup záření tenkou vrstvou filmu (N je index lomu, θ je úhel dopadu elektromagnetického záření, d je tloušťka filmu) [57].

Tloušťka je následně počítána podle vztahu (6):

$$d = \frac{\Delta m}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \times \frac{1}{\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \quad (6)$$

Kde:

$\lambda_1, \lambda_2 \dots$ počátek a konec vlnové délky v rozsahu vlnových délek použitých pro výpočet [nm]

$m \dots$ počet vrcholů v rozsahu vlnových délek použitých pro výpočet

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍSTROJE

6.1 Přístroje

- Mikroviskozimetr - lovis 2000 ME Anton paar
- Spektroskopický refraktometr
- Horkovzdušná sušárna Memmert
- Laboratorní váhy
- UV lampa UVH 12926/90-0
 - Jmenovitý výkon (W/cm): 160
 - Výkon celkový (W): 20000
 - Rozteč Elektrod-EA (mm): 1290
 - Celková délka (mm): 1420
 - Průměr trubice (mm): 26,5
 - Délka vodičů (mm): 500/500
 - UVC – rozsah 200 – 280 nm (W): 3000
 - UVB – rozsah 280 - 315 nm (W): 1600
 - UVA – rozsah 315- 400 nm (W): 1400
 - Teplota v bodě Tmax (°C): 350
 - Teplota výbojkové trubice (°C): 700-900

6.2 Materiály

V experimentální části práce byly použity následující materiály.

- **UV vytvrditelný lak**

Námi použitý nátěrový materiál byl UV vytvrditelný lak zakládající se na akrylátové bázi. Jeho vlastnosti jsou navrženy tak, aby polykarbonátu poskytoval optimální ochranu vůči povětrnostním, chemickým vlivům a mechanickému poškození.

- **rozpouštědla**

- 1-methoxy-2-propanol (dowanol (značeno jako MP)
- Izopropylalkohol neboli propan-2-ol (značeno IPA)
- butan-1-ol (značeno jako B1)

- butan-2-ol (značeno jako B2)

- **ostatní látky**

- etanol 96%

- destilovaná voda

- **Podkladový materiál**

UV vytvrditelný lak byl nanášen na předem připravené extrudované polykarbonátové desky (PC) o rozměrech 200x30x3 mm. Polykarbonátové desky mají výborné vlastnosti, jako vysokou transparentnost a výbornou pevnost. Mohou být však snadno poškrábány, a tak znehodnoceny. Z tohoto důvodu jsou upravovány pomocí laků, které materiál chrání před mechanickým poškozením, žloutnutím a povětrnostním vlivům.



Obrázek 30: Polykarbonátová deska [58].

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ A POSTUP MĚŘENÍ

7.1 Postup přípravy vzorků

Před přípravou samotných vzorků bylo nejprve určeno procentuální obsažení jednotlivých složek (lak, rozpouštědlo). Byly připraveny 2 různé poměry směsí o procentuálním rozdělení 72 hm. % laku vůči 28 % rozpouštědla a 60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla. U daných poměrů směsí byla jednotlivá rozpouštědla připravena v 11 odlišných koncentracích narůstajících po 10 hm. % a to od 0 hm. % do 100 hm. %. Jednalo se tedy o tyto kombinace:

A. Systém (60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla)

1. Lak / (dowanol / B1)
2. Lak / (dowanol / B2)

B. Systém (72 hm. % laku ku 28 hm. % rozpouštědla)

1. lak / (dowanol / B1)
2. lak / (dowanol / B2)
3. lak / (dowanol / IPA)

Dále bylo nutné přesně vypočítaná množství navážít na laboratorních vahách s přesností na $\pm 0,01\text{g}$. Po navážení daného množství jednotlivých složek, byly všechny složky smíchány v daných poměrech a uloženy do prostoru bez přístupu světla.

o Příprava vzorků pro stanovení viskozity a hustoty

Při měření dynamické viskozity bylo zapotřebí odměření malé dávky testovaného vzorku, který byl vložen do předem vyčištěné skleněné kapilární trubice. Následně byla do trubice vložena kovová kulička o známé hustotě, a trubice z obou stran uzavřena. Po uzavření byla celá trubice i s nadávkovaným vzorkem vložena do mikroviskozimetru (Lovis 2000 ME, Anton paar). Měření probíhalo automaticky, v jeho průběhu byl zaznamenáván čas pádu kuličky ve vzorku, ze kterého byla následně vypočítána hodnota viskozity. Viskozita připravených vzorků byla stanovena při teplotě 25, 30 a 35 °C. Uvedené hodnoty viskozity byly určeny jako průměr z pěti nezávislých měření každého vzorku s příslušnou směrodatnou odchylkou, která nepřesáhla hodnotu 10 %, a proto není zobrazena v příložených grafech uvedena.

Měření hustoty probíhalo tak, že bylo pomocí stříkačky nadávkováno určité množství vzorku do U – trubice z borosilikátového skla, která byla elektronicky rozkmitána na svou charakteristickou frekvenci a hustota poté spočítána z oscilační periody U-trubice a referenčního oscilátoru. Hustota připravených vzorků byla stanovena při teplotě 25, 30 a 35 °C. Uvedené hodnoty hustoty byly určeny jako průměr z pěti nezávislých měření každého vzorku s příslušnou směrodatnou odchylkou, která nepřesáhla hodnotu 10 %, a proto není zobrazena v příložených grafech uvedena.

- Postup nanášení laku na podkladový materiál

Při nanášení laku bylo nejprve nutno odstranění ochranné folie z podkladového materiálu. Dále byl podkladový materiál, tedy polykarbonátové desky o příslušných rozměrech očištěny 96 % etanolem a poté kvůli elektrostatickému náboji ještě destilovanou vodou. Po této úpravě byla na desky nanесena souvislá vrstva laku. Lak byl nanášen metodou polévání, kdy bylo na vzorek umístěný ve vertikální poloze aplikováno 20 g lakovací směsi laku (ve směru shora dolů). Po aplikaci laku byl vzorek ponechán beze změny na svém místě, aby mohlo dojít k odkapání přebytečného laku (3–5 minut v závislosti na poměrech obsahu jednotlivých rozpouštědel). Poté byl vzorek přenesen do sušárny, kde proběhlo jeho předsušení a to při teplotě 60 °C po dobu 1 minuty. Teprve takto upravené vzorky byly následně vytvrzeny pomocí UV lampy po dobu 1 minuty.

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Jednou z nevýhod, která se při nanášení laku metodou poléváním ve vertikálním směru vyskytuje, je právě výskyt rozdílné tloušťky vrstvy laku mezi horním a spodním okrajem lakovaných desek, kdy s rostoucí vzdáleností od horního okraje dochází k nárůstu tloušťky. Naším úkolem tím pádem bylo nalezení takového systému laku a rozpouštědel, který by vedl k potlačení nebo snížení tohoto defektu. Z toho důvodu byly připraveny 2 různé poměry směsí laku a rozpouštědel (72 hm. % laku vůči 28 % rozpouštědla a 60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla). V každém ze systémů byly využity dva typy rozpouštědel o jedenácti různých poměrech. Jedno z rozpouštědel bylo vždy voleno tak, aby došlo k nabobtnání polykarbonátové desky (vliv na výslednou adhezi laku a substrátem). Naopak druhé rozpouštědlo bylo voleno tak, aby svou povahou dostatečně ovlivnilo počáteční viskozitu laku při jeho nanášení, viskozitu laku při jednotlivých fázích sušení ale i konečný vzhled nátěru.

K nalezení ideálního poměru laku vůči směsi rozpouštědel bylo nejdříve zapotřebí charakterizovat fyzikální vlastnosti jednotlivých směsí. Jednalo se především o analýzu kinematické a dynamické viskozity a hustoty v závislosti na hmotnostní koncentraci použité směsi rozpouštědel. Kromě charakterizace lakovací směsi byla charakterizována i lakovaná deska, respektive byla stanovena pomocí spektroskopického refraktometru tloušťka vrstvy laku na několika místech od horního ke spodnímu okraji desky. Vyhodnocená data byla následně vzájemně porovnána.

8.1 Poměr směsi: 60 % laku a 40 % rozpouštědla

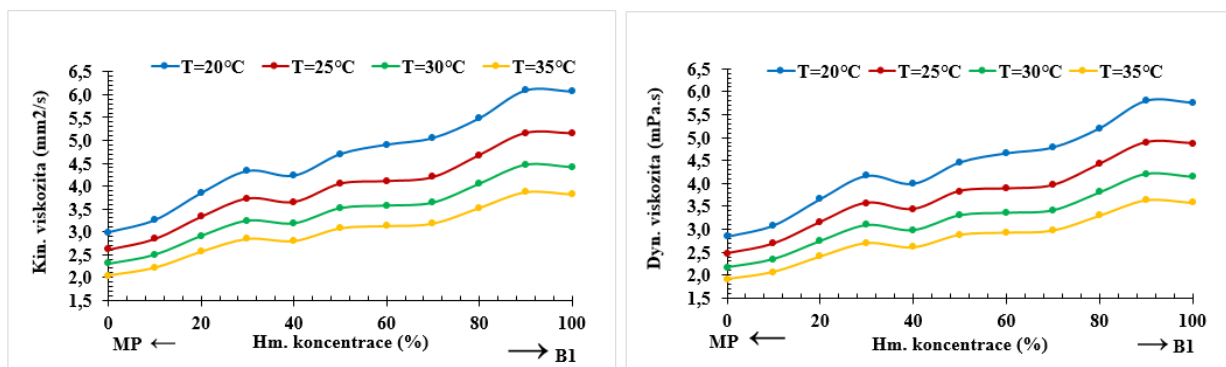
Nejprve byl připraven poměr směsi 60 % laku na 40 % rozpouštědel. U tohoto poměru jsme připravily dva rozdílné systémy lišící se použitými rozpouštědly. V připravené směsi byl vždy použit dowlanol (MP). V jeho kombinaci byl dále použit nejprve butan-1-ol (B1) a poté butan-2-ol (B2).

A. Systém lak / (dowlanol / butan-1-ol)

- Stanovení kinematické a dynamické viskozity

Závislost kinematické viskozity lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dowlanolu (MP) a butan-1-olu, můžeme vidět na obrázku 31 (vlevo). Z těchto výsledků je vidět postupný nárůst hodnoty kinematické viskozity se zvyšující se hmotnostní koncentrací (B1) ve vzorku,

u kterého dojde při použití čistého (B1) k ustálení na hodnotu $6,3 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}$. Teplotní závislost viskozity neukazuje velké rozdíly snad až na skutečnost, že s rostoucí teplotou dochází k poklesu hodnoty viskozity mezi první a poslední měřenou koncentrací.

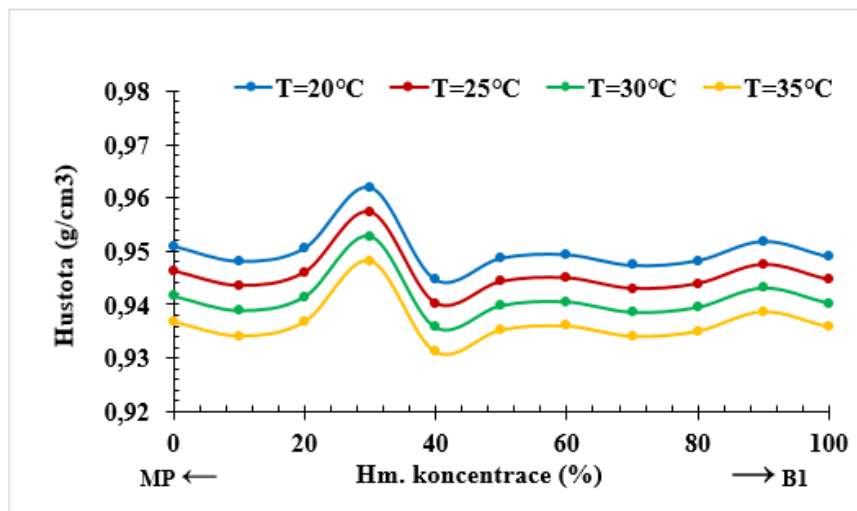


Obrázek 31: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.

V případě závislosti dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci (MP) a (B1), který je zobrazen na obrázku 31 (vpravo), můžeme vidět obdobné chování jako v případě viskozity kinematické. Kinematická viskozita postupně narůstá z hodnoty $2,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$) až na hodnotu $5,2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$).

- o Stanovení hustoty

Kromě viskozity byla u lakovacích směsí sledována i hustota. Závislost hustoty lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dowanolu (MP) a (B1) je přiložena na obrázku 32. Z těchto výsledků je zřejmé, že hustota lakovací směsi, ve které převládá dowanol odpovídá hodnotě $\rho = 0,951 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$) a hodnotě $\rho = 0,948 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$), když převládá (B1). Rovněž bylo zjištěno, že v rozsahu koncentrací od 20 hm. % do 40 hm. % dochází k náhlému nárůstu hustoty a to až na hodnotu $\rho = 0,962 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$). Mimo tento koncentrační rozsah lze závislost hustoty považovat za lineární.



Obrázek 32: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.

- Stanovení tloušťky suchého nátěru

Jak už bylo zmíněno výše, kromě charakterizace fyzikálních vlastností lakovacích směsí byla provedena i charakterizace lakované desky. Po nanesení vrstvy laku na polykarbonátovou desku a jeho vytvrzení byla měřena jeho tloušťka. Tloušťka laku byla u tohoto systému stanovena pouze pro tři hmotnostní koncentrace rozpouštědel (MP) / (B1) a to na třech různých místech. Detailní přehled všech použitých koncentrací a příslušných hodnot tloušťky pro zvolenou lakovací směs je obsažen v tabulce 2. Z těchto výsledků je vidět, že s narůstající vzdáleností od horního kraje desky dochází k nárůstu tloušťky vrstvy laku, což může souviset s postupným nárůstem viskozity lakovací směsi. Nejmenší nárůst tloušťky, pozorovaný mezi spodním a horním okrajem desky byl zjištěn u směsi s koncentrací 50/50 hm. % (MP) a (B1).

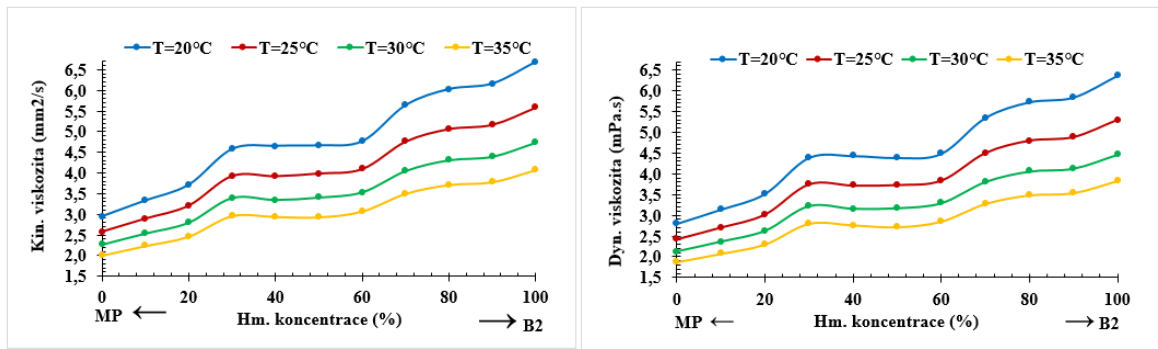
Tabulka 2: Naměřená tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)		1	3	5	Δ tloušťky
poměr MP/B1-LAK (hm. %)	plazmovací cyklus	tloušťka laku (μm)			(μm)
		(tloušťka IPL nenaměřitelná)			
70/30	1	2,1	2,8	3,4	1,3
	2	1,9	2,6	3,3	1,4
	3	1,9	2,7	3,4	1,5
	4	2,0	2,9	3,4	1,5
	5	2,7	3,0	3,4	0,7
	6	2,2	3,0	3,4	1,1
50/50	1	2,6	3,2	3,4	0,8
	2	3,0	3,0	4,1	1,0
	3	2,5	3,4	3,8	1,3
	4	3,4	3,5	4,6	1,3
	5	3,2	3,9	7,8	4,6
	6	2,1	3,4	3,7	1,6
30/70	1	2,8	4,5	4,9	2,2
	2	2,4	3,6	4,5	2,1
	3	2,6	3,5	3,7	1,1
	4	3,1	4,2	4,0	0,9
	5	2,9	4,0	4,5	1,6
	6	2,7	3,8	4,2	1,4

B. Systém lak / (dowanol / butan-2-ol)

- o Stanovení kinematické a dynamické viskozity

Závislost kinematické viskozity lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dawanolu (MP) a butan-2-olu (B2), můžeme vidět na obrázku 33 (vlevo). Výsledky kinematické viskozity lakovací směsi s (B2) vykazují podobný trend jako při použití (B1). Viskozita směsi s rostoucí koncentrací (B2) roste a to až do koncentrace 30 hm. %. Poté dochází ke vzniku tzv. plató (koncentrační rozmezí 30 – 60 hm. %), ve kterém zůstává viskozitní závislost konstantní a to u všech měřených teplot. S dalším nárstem (B2) ve směsi viskozita roste.

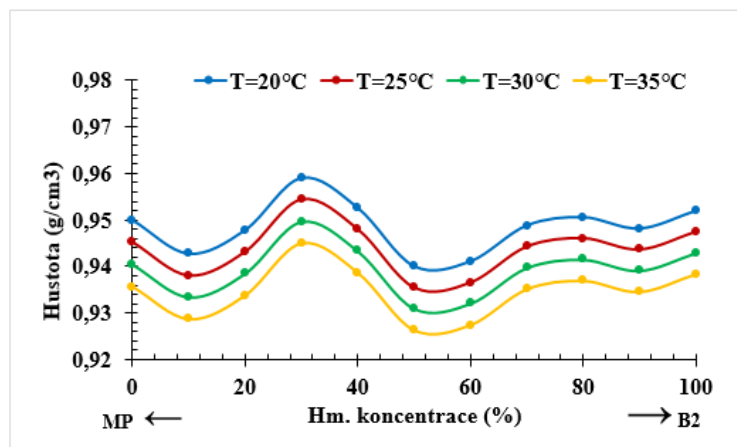


Obrázek 33: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.

Obdobné chování bylo zjištěno i v případě závislosti dynamické viskozity lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dowlanolu a butan-2-olu (B2), který je přiložen na obrázku 33 (vpravo).

o Stanovení hustoty

Výsledky z měření závislosti hustoty lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dowlanolu (MP) a (B2), která je přiložena na obrázku 34, vykazují podobný trend jako při použití (B1). Hustota lakovací směsi, ve které převládá dowlanol odpovídá hodnotě $\rho = 0,951 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$) a hodnotě $\rho = 0,947 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$), když převládá (B2). Naopak v rozsahu koncentrací od 20 hm. % do 50 hm. % dochází k náhlému nárůstu hustoty a to až na hodnotu $\rho = 0,954 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$). S dalším zvyšováním koncentrace (B2) ve směsi, hodnota hustoty klesne až na hodnotu $\rho = 0,935 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$). Zbýlý průběh závislosti je víceméně konstantní.



Obrázek 34: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.

- Stanovení tloušťky suchého nátěru

Stanovenou tloušťku laku lakovací směsi ředěné rozpouštědly (MP)/(B2) spolu s přehledem všech použitých koncentrací shrnuje tabulka 3. Uvedené výsledky tloušťky potvrdily předpoklad, že tloušťka lakované vrstvy by mohla mít koncentračním rozsahu od 40 hm. % do 60 hm. %. rovnoměrnější rozložení a nemuselo by docházet k takovému nárůstu hodnot mezi spodním a horním okrajem desky. V uvedeném koncentračním rozsahu odpovídá rozdíl v naměřené tloušťce mezi horním a spodním okrajem desky hodnotě 0,8 μm (při použití (B)), zatímco při použití rozpouštědla (B1) hodnotě 1,5 μm . Nad uvedeným koncentračním rozsahem (B2) dochází k opětovnému nárůstu tloušťky laku.

Tabulka 3: Naměřená tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)		1	3	5	Δ tloušťky
poměr MP/B2-LAK (hm. %)	plazmovací cyklus	tloušťka laku (μm)			(μm)
		(tloušťka IPL nenaměřitelná)			
70/30	1	2,1	2,5	2,6	0,5
	2	1,9	2,4	2,7	0,8
	3	1,7	2,2	2,5	0,8
	4	1,9	2,0	2,6	0,7
	5	1,9	1,9	2,4	0,5
	6	2,1	2,3	2,8	0,7
50/50	1	2,1	2,3	2,7	0,6
	2	2,0	2,3	2,9	0,9
	3	2,1	2,6	2,7	0,6
	4	2,9	2,3	2,8	0,2
	5	2,3	3,2	3,9	1,6
	6	2,1	3,1	4,5	2,4
30/70	1	3,0	3,2	3,8	0,8
	2	2,8	3,4	3,7	0,9
	3	2,9	3,5	5,3	2,4
	4	3,3	4,6	5,8	2,5
	5	2,6	4,0	3,9	1,2
	6	3,5	4,4	5,2	1,7

Při porovnání obou lakovacích směsí tzn. *lak/(dowanol/B1)* a *lak/(dowanol/B2)* v poměru (60 % laku a 40 % rozpouštědla), si lze všimnout, že při změně rozpouštědla u druhého systému na směs dowanolu s butan-2-olem došlo k výraznému snížení rozdílu tloušťky vrstvy laku mezi horním a spodním okrajem desek. Druhý systém byl oproti prvnímu systému značně účinnější a nárůst tloušťky byl mnohem postupnější. Tloušťka laku na celé

ploše vzorku, je příliš nízká (zhoršení mechanických vlastností laku), proto byl podíl laku ve směsi zvýšen.

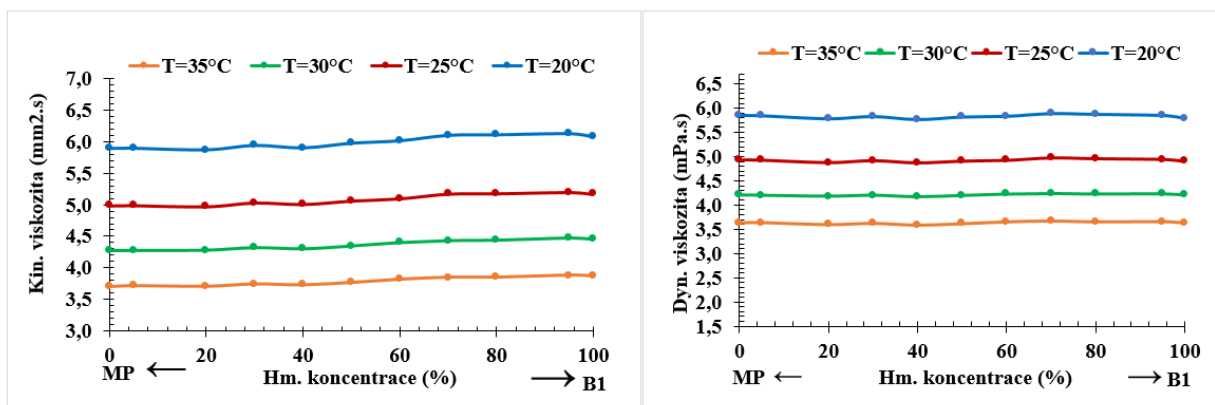
8.2 Poměr směsi: 72% laku a 28% rozpouštědla

Vzhledem k tomu, že průběh hodnot a výsledky vyhodnocení tloušťky vrstvy laku nebyly dostatečně účinné, byl připraven nový poměr směsi a to (72% laku vůči 28% rozpouštědla). U tohoto poměru byly připraveny tři rozdílné systémy lišící se použitými rozpouštědly. V připravené směsi byl vždy použit downol. V jeho kombinaci byl dále použit butan-1-ol (B1), butan-2-ol (B2) a nakonec izopropylalkohol (IPA).

A. Systém lak / (downol / butan-1-ol)

- o Stanovení kinematické a dynamické viskozity

Závislost kinematické (vlevo) a dynamické viskozity (vpravo) lakovací směsi na hmotnostní koncentraci downolu (MP) a (B1), můžeme vidět na obrázku 35. Tyto výsledky potvrzují, že takřka v celém koncentračním rozsahu má viskozita konstantní závislost a její průběh se více méně nemění. Dle očekávání rovněž můžeme pozorovat, že s rostoucí teplotou měření dochází k poklesu viskozity (kinematické i dynamické).

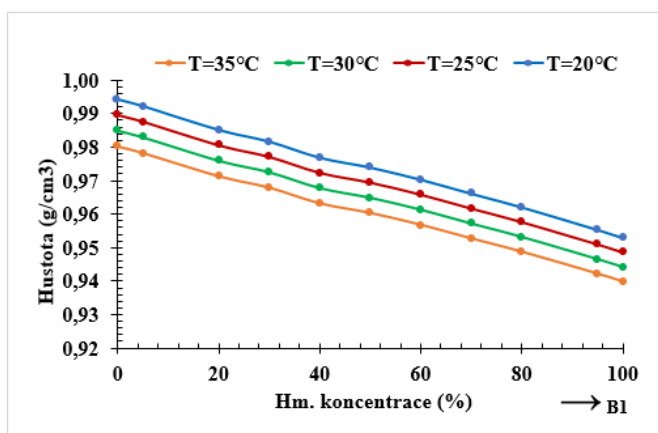


Obrázek 35: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.

- o Stanovení hustoty

Výsledky z měření závislosti hustoty lakovací směsi na hmotnostní koncentraci downolu (MP) a (B1), která je přiložena na obrázku 36 je vidět, že hustota s rostoucím podílem (B1)

v lakovací směsi klesá a to z hodnoty $\rho = 0,989 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$) až na hodnotu $\rho = 0,948 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$).



Obrázek 36: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.

- o Stanovení tloušťky suchého nátěru

Tloušťka laku byla u tohoto systému stanovena v celém koncentračním rozsahu rozpouštědel (MP) / (B1) a to na různých místech lakované desky. Detailní přehled všech použitých koncentrací a příslušných hodnot tloušťky pro zvolenou lakovací směs shrnuje tabulka 4. Jak tyto výsledky naznačují, nejmenší tloušťky laku (mezi horním a spodním okrajem desky) bylo dosaženo u lakovací směsi obsahující 50 hm. % (MP) a 50 hm. % (B1) a 40 hm. % (MP) a 60 hm. % (B1). Naopak nejvyšší rozdíl v tloušťce laku byl zjištěn u lakovací směsi obsahující 80 hm. % (MP) a 20 hm. % (B1).

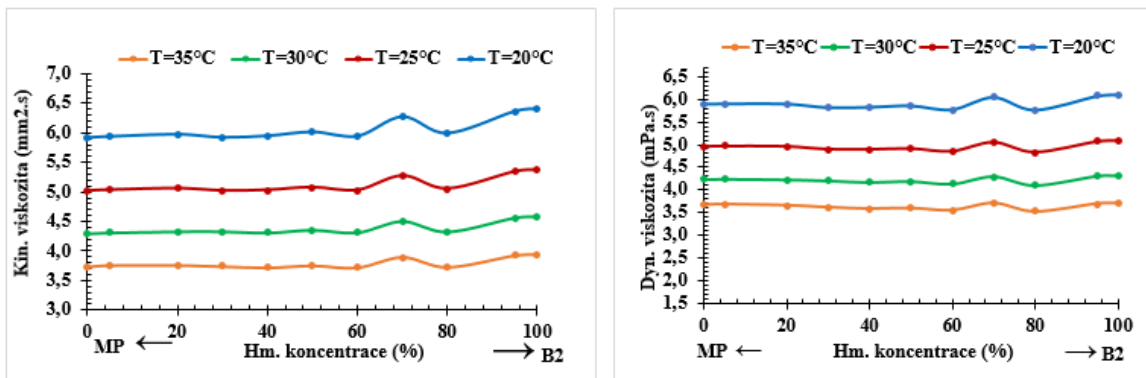
Tabulka 4: Naměřená tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)	1	3	5	7	9	11	Δ tloušťky
poměr MP/B1- LAK (hm. %)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	(μm)
100/0	2,87	4,05	4,92	5,44	6,13	6,60	3,7
95/5	2,91	3,65	4,29	4,97	5,82	6,16	3,2
80/20	3,51	4,52	5,46	6,17	7,62	8,81	5,3
70/30	3,49	4,14	4,80	5,50	6,15	6,56	3,1
60/40	3,11	3,61	4,34	4,92	5,69	6,13	3,0
50/50	3,02	3,51	3,98	4,60	4,91	5,22	2,2
40/60	3,69	4,22	4,71	5,17	5,76	6,42	2,7
30/70	3,29	4,00	4,65	5,32	6,02	6,70	3,4
20/80	3,87	4,33	4,77	5,15	5,72	6,85	3,0
5/95	4,37	4,48	4,95	5,40	6,20	6,89	2,5
0/100	4,16	4,52	5,31	6,08	6,66	7,40	3,2

B. Systém lak/ (dowanol / butan-2-ol)

- o Stanovení kinematické a dynamické viskozity

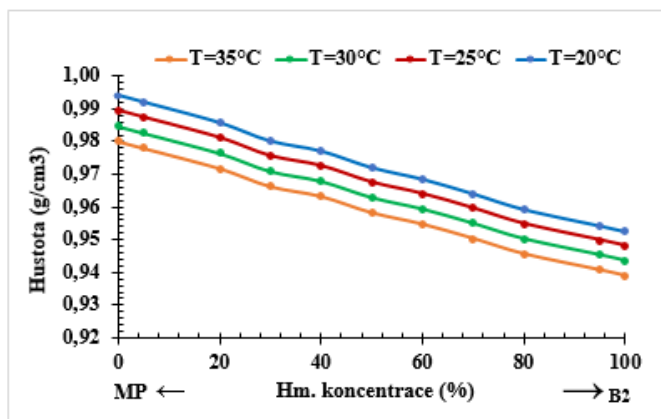
Závislost kinematické (vlevo) a dynamické viskozity (vpravo) lakovací směsi na hmotnostní koncentraci dowanolu (MP) a butan-2-olu (B2), můžeme vidět na obrázku 37. Výsledky viskozitního chování lakovací směsi s (B2) vykazují obdobný trend jako v případě použitého (B1). Viskozita má téměř v celém koncentračním rozsahu konstantní průběh.



Obrázek 37: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.

- o Stanovení hustoty

Obdobné chování závislosti hustoty na hmotnosti koncentraci lakovací směsi s dawanolem (MP) a (B1), byla zjištěna i u lakovací směsi (MP)/(B2), která je zobrazena na obrázku 38. Z této závislosti je vidět, že hustota s rostoucím podílem (B2) v lakovací směsi klesá a to z hodnoty $\rho = 0,989 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$) až na hodnotu $\rho = 0,948 \text{ g/cm}^3$ ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$).



Obrázek 38: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.

- Stanovení tloušťky suchého nátěru

Výsledky stanovené tloušťky vrstvy laku, jejichž podrobnosti shrnuje tabulka 5, ukázaly, že změnou rozpouštědla (B1) za (B2) došlo k jejímu nárůstu. Tloušťka stanovená mezi horním a spodním okrajem desky vzrostla z hodnoty 2,2 μm (lakovací směs 50 hm. % (MP) a 50 hm. % (B1)) na hodnotu 4,3 μm (lakovací směs 50 hm. % (MP) a 50 hm. % (B2)).

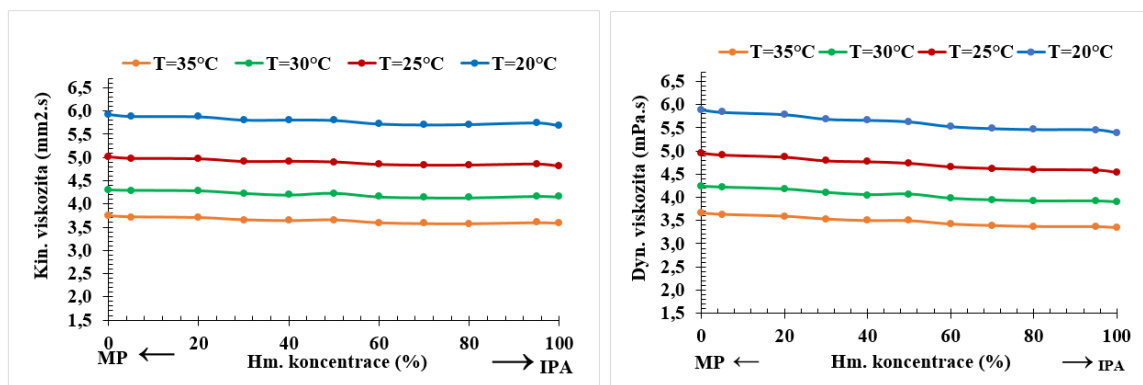
Tabulka 5: Naměřené tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)	1	3	5	7	9	11	Δ tloušťky (μm)
poměr MP/B2-LAK (hm. %)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	
100/0	4,89	6,07	6,93	7,12	7,70	7,64	2,8
95/5	3,32	5,11	6,40	6,98	7,43	7,53	4,2
80/20	3,82	5,10	6,05	6,59	6,99	7,82	4,0
70/30	4,11	5,21	6,30	7,25	7,84	8,12	4,0
60/40	3,79	5,20	6,20	7,07	7,72	8,38	4,6
50/50	4,20	5,28	6,07	6,92	7,77	8,50	4,3
40/60	3,86	3,90	4,37	4,88	5,32	5,64	1,8
30/70	4,01	5,24	5,99	6,70	7,28	7,62	3,6
20/80	3,75	4,84	5,71	6,48	7,18	9,50	5,8
5/95	3,61	4,23	4,96	5,59	6,17	6,62	3,0
0/100	3,25	4,52	5,47	6,27	6,88	7,44	4,2

C. Systém lak / (dowanol / izopropylalkohol)

- Stanovení kinematické a dynamické viskozity

Poslední lakovací směs, u které byla provedena charakterizace viskozitního chování v závislosti na teplotě a hmotnostní koncentraci rozpouštědla obsahovala dowanol (MP) a izopropylalkohol (IPA). Viskozitní závislost tohoto systému je uvedena na obrázku 39. Jde vidět, že viskozitní chování v celém koncentračním rozsahu lze považovat za konstantní a to jak v případě viskozity kinematické (levý graf), tak i viskozity dynamické (pravý graf).

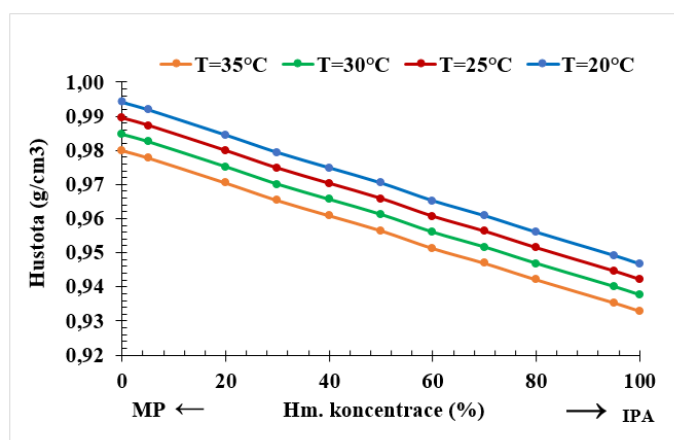


Obrázek 39: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.

Kinematická viskozita lakovací směsi s přebytkem downolu (MP) odpovídá hodnotě 5,0 mm².s (T=25 °C), zatímco v případě přebytku IPA, odpovídá hodnotě 4,8 mm².s (T=25 °C). Obdobné chování můžeme pozorovat v případě závislosti dynamické viskozity (pravý graf).

- o Stanovení hustoty

Závislost hustoty lakovací směsi s downolem (MP) a (IPA), která je uvedena na obrázku 40, ukazuje, že hustota s rostoucím podílem (IPA) v lakovací směsi klesá a to z hodnoty $\rho = 0,989 \text{ g/cm}^3$ (T=25 °C) až na hodnotu $\rho = 0,942 \text{ g/cm}^3$ (T=25 °C). Toto chování se příliš neliší od předchozích lakovacích směsí.



Obrázek 40: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci lakovací směsi.

- o Stanovení tloušťky suchého nátěru

Výsledky měření tloušťky laku u lakovací směsi s downolem (MP) a (IPA) spolu s detailním přehledem zvolených parametrů (koncentrace, vzdálenost) jsou uvedeny v tabulce 6. Při použití rozpouštědla (IPA) namísto rozpouštědla (B) se projevilo nepatrným snížením tloušťky mezi horním a spodním okrajem desky. Tloušťka laku klesla z hodnoty z hodnoty 4,3 μm (lakovací směs 50 hm. % (MP) a 50 hm. % (B2)) na hodnotu 3,6 μm (lakovací směs 50 hm. % (MP) a 50 hm. % (IPA)).

Tabulka 6: Naměřená tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)	1	3	5	7	9	11	Δ tloušťky
poměr MP/IPA- LAK (hm. %)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	tloušťka lak (μm)	(μm)
100/0	5,50	4,99	5,44	6,09	6,57	6,97	1,5
95/5	5,06	4,62	5,20	5,69	6,53	7,37	2,3
80/20	4,78	5,40	5,97	6,93	7,51	8,93	4,1
70/30	4,51	4,88	5,87	6,56	7,25	7,86	3,3
60/40	5,94	5,14	5,95	6,95	7,47	8,43	2,5
50/50	4,26	4,77	5,58	6,52	7,36	7,87	3,6
40/60	4,18	4,70	5,57	6,37	7,11	7,54	3,4
30/70	4,26	4,58	5,73	6,64	7,43	7,83	3,6
20/80	4,37	5,00	5,91	6,81	7,39	8,33	4,0
5/95	4,01	4,59	5,51	6,35	7,25	7,83	3,8
0/100	3,34	4,46	5,15	5,79	6,37	6,92	3,6

Při vzájemném porovnání lakovacích směsí ředěných kombinací rozpouštědel (MP)/(B1), (MP)/(B2) a (MP)/(IPA), lze konstatovat, že nejmenší rozdíl tloušťky lakované vrstvy mezi horním a spodním okrajem desky byl zjištěn u směsi laku ředěného (MP)/(B1). Naopak největší nárůst tloušťky byl pozorován u lakovací směsi obsahující (MP)/(B2). Chování viskozity se u těchto směsí nikterak výrazně nelišilo. Obdobné chování všech lakovacích směsí bylo potvrzeno i v případě hustoty.

Trochu jiná situace bude v případě porovnání použitých poměrů lakovacích směsí, tedy poměru (60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla) a poměru (72 hm. % laku ku 28 hm. % rozpouštědla). Při charakterizaci viskozitního a hustotního chování směsi s nižším podílem laku, bylo zjištěno, že při lakování metodou polévání ve vertikálním směru dochází k vytvoření nižší vrstvy laku, aniž by se podařilo výrazněji eliminovat rozdílnou tloušťku laku mezi horním a spodním okrajem desky. Naopak při zvýšení podílu laku z původních 60 hm. % na 72 hm. % došlo jak k vytvoření silnější vrstvy laku po celé délce vzorku, u které se dá předpokládat i její lepší adheze a mechanická odolnost, tak i k určité stabilizaci laku, která se projevila konstantním průběhem viskozity (kinematická, dynamická) v celém koncentračním rozsahu všech rozpouštědel (B1, B2, IPA).

ZÁVĚR

Zásadní nevýhodou zvolené metody polévání ve vertikálním směru, je výskyt rozdílné tloušťky vrstvy laku mezi horním a spodním okrajem lakovaných desek, kdy s rostoucí vzdáleností od horního okraje dochází k nárůstu tloušťky laku. Naším cílem proto bylo nalezení takového lakovacího systému, který by vedl k potlačení nebo snížení tohoto defektu, a který by svými vlastnostmi odpovídal požadavkům spojených s kvalitou finálního produktu. Z toho důvodu byly připraveny 2 různé poměry směsí laku a rozpouštědel (72 hm. % laku vůči 28 % rozpouštědla) a (60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla). U těchto poměrů byla jednotlivá rozpouštědla připravena v 11 různých koncentracích narůstajících po 10 hm. % (od 0 hm. % do 100 hm. %). Jedno z rozpouštědel bylo vždy voleno tak, aby došlo k nabobtnání polykarbonátové desky (vliv na výslednou adhezi laku a substrátem). Naopak druhé rozpouštědlo bylo voleno tak, aby svou povahou dostatečně ovlivnilo počáteční viskozitu laku při jeho nanášení, viskozitu laku při jednotlivých fázích sušení ale i konečný vzhled nátěru. Proto byla použita rozpouštědla dowlanol (MP), butan-1-ol (B1), butan-2-ol (B2) a propan-2-ol (IPA). K nalezení ideálního poměru laku vůči směsi rozpouštědel bylo nejdříve zapotřebí charakterizovat fyzikální vlastnosti jednotlivých směsí. Jednalo se především o analýzu kinematické a dynamické viskozity a hustoty v závislosti na hmotnostní koncentraci použité směsi rozpouštědel. Kromě charakterizace lakovací směsi byla charakterizována i lakovaná deska, respektive byla stanovena tloušťka vrstvy laku na několika místech od horního ke spodnímu okraji desky. Vyhodnocená data byla následně vzájemně porovnána a při charakterizaci viskozitního a hustotního chování směsi s nižším podílem laku, bylo zjištěno, že při lakování metodou polévání dochází k vytvoření nižší vrstvy laku, aniž by se podařilo výrazněji eliminovat rozdílnou tloušťku laku mezi horním a spodním okrajem desky. Naopak při zvýšení podílu laku z původních 60 hm. % na 72 hm. % došlo k vytvoření silnější vrstvy laku po celém povrchu vzorku, ale i k určité stabilizaci laku, která se projevila konstantním průběhem viskozity (kinematická, dynamická) v celém koncentračním rozsahu všech rozpouštědel (B1, B2, IPA).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FREITAG, Werner, STOYE, Dieter, ed. Paints, Coatings and Solvents. Weinheim. Tokyo: Wiley-VCH, 1998. ISBN 3-527-28863-5.
- [2] MANNARI, Vijay a Chintankumar J. PATEL. Understanding Coatings Raw Materials. Hanover: Vincentz Network, 2015. ISBN 978-3-86630-603-5.
- [3] Vzdelavanirikfer [online]. [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<http://www.vzdelavanirikfer.cz/povrchova-uprava-kovu/naterove-hmoty>
- [4] KOLESKE, Joseph V., ed. Paint and Coating Testing Manual. 15th ed. ASTM International, 2012. ISBN 978-0-8031-7017-9.
- [5] WINKELAAR, Adrie. Coatings Basics. Hanover: Wiley-VCH, 2018. ISBN 978-3-86630-802-2.
- [6] Moglix [online]. c2019 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
<https://www.moglix.com/blog/different-types-of-industrial-paint-coatings/>
- [7] Corrosionpedia [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://www.corrosionpedia.com/definition/5749/oil-based-coating>
- [8] Ihsmarkit [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://ihsmarkit.com/products/acrylic-surface-chemical-economics-handbook.html>
- [9] Alliedmarketresearch [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://www.alliedmarketresearch.com/alkyd-coatings-market>
- [10] Specialchem [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://coatings.specialchem.com/selection-guide/polyurethane-coatings-complete-guide>
- [11] Jhpaintingcorp [online]. c2008-2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<http://jhpaintingcorp.com/services/commercial/epoxy-coatings.html>
- [12] Shinetsusilicone-global [online]. c2016 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/paints_and_coatings_e.pdf
- [13] GIJSBERTUS. Polymer Coatings. Germany: Wiley-VCH, 2018. ISBN 978-3-527-34210-5.
- [14] SCHWALM, Reinhold. UV Coatings Basics, Recent Developments and New Applications. Elsevier Science, 2006. ISBN 978-0444529794.
- [15] Chemicalsafetyfacts [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://www.chemicalsafetyfacts.org/solvents/>
- [16] Polymerdatabase [online]. c2020 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z:
<https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/UV%20Curing%20Resins.html>

- [17] POTH, Ulrich. Acrylic Resins. Hanover: Vincentz Network, 2011. ISBN 978-3-86630-809-1.
- [18] European-coatings [online]. Vincentz Network, c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.european-coatings.com/Publications/EC-Journal>
- [19] Simco-groups [online]. c2014 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://www.simco-groups.com/comparisons-and-advantages-of-u-v-coating-as-compared-to-waterborne-and-solvent-based-coatings/>
- [20] Polymerdatabase [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
- [21] KOLESKE, Joseph V. Radiation curing of coatings. U.S.A: ASTM International, 1930. ISBN 0-8031-2095-8.
- [22] PAPPAS, S. Peter, ed. Radiation Curing Science and Technology. New York: Springer, 1992. ISBN 978-1-4899-0714-1.
- [23] Chem.libretexts [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_\(McMurry\)/06%3A_An_Overview_of_Organic_Reactions/6.04%3A_Radical_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_(McMurry)/06%3A_An_Overview_of_Organic_Reactions/6.04%3A_Radical_Reactions)
- [24] Selke, Susan E. M. Culter, John D.. (2016). Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations (3rd Ed) - 3.7 Stereochemistry. Hanser Publishers. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00CRG7K1/plastics-packaging-properties/stereochemistry>
- [25] STOKLASA, Karel. Nanoed.tul [online]. c2005 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/939/mod_resource/content/2/Skripta_MMCH_I.pdf
- [26] Sc-brno [online]. c2019 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.sc-brno.cz/blog/technologie-uv-barev-v-sitotisku>
- [27] GOLDSCHMIDT a STREITBERGER. Basics of Coating Technology. Germany: Wiley-VCH, 2007. ISBN 978-3-86630-903-6.
- [28] Sirris [online]. c2018 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.sirris.be/flow-coating-combines-high-performance-top-quality-results>
- [29] Dacrylate [online]. c2017 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://www.dacrylate.co.uk/Hub/application.html>
- [30] KULICKE, Werner-Michael a Christian CLASEN. Viscosimetry of Polymers and Polyelectrolytes. Hamburg: Springer, 2004. ISBN 3-540-40760-X.
- [31] Anton-paar [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/cz-cs/zakladyviskozimetrie/>

- [32] Ufmi [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/zakl_fyz/ZF_lab_02.pdf
- [33] Vfu [online]. c2019 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
https://www.vfu.cz/files/3130_83_2.-dynamicka-a-kinematicka-viskozita.pdf
- [34] Atago [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
https://www.atago.net/en/databook-viscosity_kind.php
- [35] Encyclopedia.che.engin.umich [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
<http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Viscometers/Viscometers.html>
- [36] Brookfieldengineering [online]. c2019 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
<https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-viscometers/falling-ball-viscometer>
- [37]
<http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Viscometers/Viscometers.html>
- [38] Anton-paar [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/cz-cs/hustota-a-mereni-hustoty/>
- [39] Chem.libretexts [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
https://chem.libretexts.org/Courses/Palomar_College/PC%3A_CHEM100_-_Fundamentals_of_Chemistry/03%3A_Matter_and_Energy/2.4%3A_Density_and_its_Applications
- [40] Gpsil [online]. c2017 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.gpsil.co.uk/our-products/density-meters/measuring-principle/>
- [41] Gpsil [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:
<https://www.kruess.com/en/campus/density-measurement/what-is-digital-density-measurement/>
- [42] Anton-paar [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/cz-cs/technologie-u-trubice-v-digitalnich-laboratornich-hustomerech/#references>
- [43] Anton-paar [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/cz-cs/technologie-u-trubice-v-digitalnich-laboratornich-hustomerech/#references>

- [44] Shimadzu [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.shimadzu.com/an/uv/support/uv/ap/film.html>
- [45] Lasertec [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.lasertec.co.jp/en/products/special/hybrid/measurement/reflect.html>
- [46] Holmarc [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: https://www.holmarc.com/thin_film_spectroscopic_reflectometer.php
- [47] Osapublishing [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/72D5FE4D-78C9-4DE4-A44422F7210634BF_362703/copp-1-1-29.pdf?da=1&id=362703&seq=0&mobile=no
- [48] Bevedo [online]. c2016 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.bevedo.cz/napoveda/clanky/polyuretanove-naterove-hmoty/>
- [49] Epochaplus [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://epochaplus.cz/5-nejzajimavejsich-galerii-praveku-pohlednete-na-svedectvi-o-talentu-nasich-predku/>
- [50] Researchgate [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/48354598_Systematic_study_of_the_therapeutic_impact_of_daylight_associated_with_clinical_recovery/figures?lo=1
- [51] Jkuv [online]. c2018 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://www.jkuv.org/uv-curing-system-knowledge.html>
- [52] Solgel [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://solgel.com/articles/Nov00/coating.htm>
- [53] Nontoxic-printmaking [online]. c2017 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://nontoxic-printmaking.co.nz/printmaking-techniques/8-flow-coating-copy/>
- [54] Pragolab [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <http://nontoxic-printmaking.co.nz/printmaking-techniques/8-flow-coating-copy/>
- [55] Anton-paar [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://wiki.anton-paar.com/cz-cs/o-zakladech-hmotnosti-a-hustoty/>
- [56] Primadilna [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Tloustkomer-pro-mereni-tloustky-laku-na-zeleznych-kovech-digitalni-BGS-d388.htm>
- [57] KIM, Kwangrak. Fast Analysis of Film Thickness in Spectroscopic Reflectometry using Direct Phase Extraction [online]. In.: 2017, s. 29-33 [cit. 2020-08-14]. DOI: <https://doi.org/10.3807/COPP.2017.1.1.029>. ISSN 2508-7274. Dostupné z:

https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/51316615-4B11-4F85-88F2742395CA6F27_362703/copp-1-1-29.pdf?da=1&id=362703&seq=0&mobile=no

[58] Dek [online]. c2020 [cit. 2020-08-14]. Dostupné z:

<https://www.dek.cz/produkty/detail/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV... ultrafialové záření

VOC ... těkavá organická látka

NH ... nátěrové hmoty

Tg ... teplota skelného přechodu

IR ... infračervené záření

PC ... polykarbonátová deska

MP ... 1-methoxy-2-propanol (dowanol)

B1 ... butan-1-ol

B2 ... butan-2-ol

IPA ... izopropylalkohol

ν ... frekvence [Hz]

λ ... vlnová délka [nm]

h ... planckova konstanta [J·s]

τ ... smykové napětí [Pa]

η ... dynamická viskozita [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s} = \text{Pa}\cdot\text{s}$]

ν ... kinematická viskozita [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

ρ ... hustota látky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

m ... hmotnost látky [kg]

V ... objem látky [m^3]

τ ... podíl periody oscilace měřeného vzorku a u referenčního oscilátoru [Pa]

$\frac{dv}{dy}$... gradient rychlosti [s^{-1}]

m ... počet vrcholů v rozsahu vlnových délek použitých pro výpočet

A, B ... konstanty přístroje

λ_1, λ_2 ... počátek a konec vlnové délky v rozsahu vlnových délek použitých pro výpočet [nm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Příklad použití nátěrové hmoty [48].</i>	11
<i>Obrázek 2: Zobrazení pravěké malby [49].</i>	12
<i>Obrázek 3: Rozdělení elektromagnetického spektra [50].</i>	18
<i>Obrázek 4: Reakce bisfenolu-A diglycidyletheru s kyselinou akrylovou [13].</i>	19
<i>Obrázek 5: Příklad esterifikace polyester / etherpolyolů s kyselinou akrylovou [14].</i>	20
<i>Obrázek 6: Příklad uretanového akrylátu [14].</i>	20
<i>Obrázek 7: Příklad silikonového akrylátu [14].</i>	21
<i>Obrázek 8: UV vytvrzování [51].</i>	23
<i>Obrázek 9: Vznik volného radikálu [24].</i>	23
<i>Obrázek 10: Excitace molekuly zářením [25].</i>	24
<i>Obrázek 11: Průběh propagace [24].</i>	24
<i>Obrázek 12: Příklad rekombinace [24].</i>	25
<i>Obrázek 13: Příklad rekombinace makroradikálů [25].</i>	25
<i>Obrázek 14: Příklad rekombinace makroradikálu s iniciátorem [25].</i>	25
<i>Obrázek 15: Příklad disproportionace - přenos vodíku [25].</i>	25
<i>Obrázek 16: Transfěr volného elektronu [25].</i>	25
<i>Obrázek 17: Reakce štěpení 2,2-dimethoxy-1,2-difenyl-ethan-1-onu. [20].</i>	26
<i>Obrázek 18: Terciální amin jako donor vodíku [20].</i>	27
<i>Obrázek 19: Proces lakování metodou polévání [52].</i>	28
<i>Obrázek 20: Příklad aplikace laku na substrát [28].</i>	29
<i>Obrázek 21: Ukázka hromadění laku ve spodní části desky [53].</i>	29
<i>Obrázek 22: Proces lakování metodou máčení [29].</i>	30
<i>Obrázek 23: lakovací jednotka pro nanášení clonou [29].</i>	31
<i>Obrázek 24: Hopplerův viskozimetr [54].</i>	34
<i>Obrázek 25: U-trubice z borosilikátového skla [55].</i>	35
<i>Obrázek 26: Digitální hustoměr od firmy Anton Paar [4].</i>	36
<i>Obrázek 27: Tloušťka nanesené vrstvy laku [27].</i>	37
<i>Obrázek 28: Spektroskopický refraktometr [56].</i>	37
<i>Obrázek 29: Prostup záření tenkou vrstvou filmu (N je index lomu, θ je úhel dopadu elektromagnetického záření, d je tloušťka filmu) [57].</i>	38
<i>Obrázek 30: Polykarbonátová deska [58].</i>	41
<i>Obrázek 31: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.</i>	45
<i>Obrázek 32: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.</i>	46

<i>Obrázek 33: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 34: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 35: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 36: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 37: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 38: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci.</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 39: Závislost kinematické (vlevo) a dynamické (vpravo) viskozity na hmotnostní koncentraci.....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 40: Závislost hustoty na hmotnostní koncentraci lakovací směsi.</i>	<i>54</i>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Složení a funkce UV vytvrditelného laku [14].....	22
Tabulka 2: Naměřená tloušťka vrstvy laku.....	47
Tabulka 3: Naměřená tloušťka vrstvy laku.....	49
Tabulka 4: Naměřená tloušťka vrstvy laku.....	51
Tabulka 5: Naměřené tloušťka vrstvy laku.....	53
Tabulka 6: Naměřená tloušťka vrstvy laku.....	55