

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.

Seznam doporučené literatury:

1. Gijsbertus 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: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 19. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

|
Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V rámci této bakalářské práce bylo cílem charakterizovat vlastnosti a chování UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi. Naší snahou bylo pochopit chování UV vytvrditelného laku, abychom byly schopni připravit směs laku a rozpouštědel tak, aby vše odpovídalo daným požadavkům. Přehled o vlastnostech, chování a charakterizaci UV vytvrditelných byl popsán v teoretické části. V experimentální části jsme se pomocí základních parametrů co se týče charakteristiky dané problematiky snažily vyhodnotit a pochopit chování UV vytvrditelného laku. Po charakterizaci základních vlastností UV vytvrditelného laku, byla měřena tloušťka vrstvy laku nanesená na polykarbonátové desky a jednotlivé vzorky byly nadále srovnávány. Podle získaných výsledků jsme schopni upravit UV vytvrditelný lak podle zadaných požadavků.

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

ABSTRACT

Within this bachelor thesis, the aim was to characterize the properties and behavior of UV curable varnish based on acrylate. Our aim was to understand the behavior of UV curable varnish, so that we would be able to prepare a mixture of varnish and solvents so that everything would meet the requirements. An overview of the properties, behavior and characterization of UV curable was described in the theoretical part. In the experimental part, we tried to evaluate and understand the behavior of UV curable varnish using basic parameters in terms of the characteristics of the issue. After characterizing the basic properties of the UV curable lacquer, the thickness of the lacquer layer applied to the polycarbonate plates was measured and the individual samples were further compared. According to the obtained results, we are able to modify the UV curable varnish according to the specified requirements.

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

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 UV LAKY.....	11
1.2 ZÁKLADNÍ TYPY LAKŮ.....	14
1.3 AKRYLÁTOVÉ PRYSKYŘICE.....	14
1.3.4 Akrylované silikony	16
2 VYTVRZOVÁNÍ.....	19
2.1 ZPŮSOBY VYTVRZOVÁNÍ A SUŠENÍ NÁTĚRU	19
3.2 NANÁŠENÍ NÁSTRÍKEM	25
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	62

ÚVOD

S rostoucí popularitou UV vytvrditelných laků dochází k jejich stále širšímu využití. S tím dochází k zavádění stále nových způsobů aplikací, metod nanášení, ale i problémů jenž musejí být řešeny. U námi zkoumané problematiky nanášení UV vytvrditelného laku metodou polévání docházelo k nárůstu tloušťky vrstvy laku ve směru polévání. Cílem této práce bylo charakterizovat vlastnosti a chování UV vytvrditelných laků a být tak schopni připravit ideální kombinaci laku a rozpouštědel, která by odpovídala daným požadavkům.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 UV LAKY

Laky jsou látky, jejichž velkou předností je jejich všestranné použití (např. na kovy, sklo, dřevo, plasty) v různém průmyslovém odvětví (automobilový, stavební, potravinářský průmysl). Na trhu se vyskytuje celá řada UV laků, lišící se zejména chemickým složením a jejich použitím. [1]. Hlavní funkce laků spočívá především k dosažení požadovaného vzhledu výsledného nátěru (barva, lesk), a ochraně materiálu proti jeho mechanickému (koroze, poškrábání, oděr) nebo chemickému poškození (působení kyselého deště, ptáčího trusu, povětrnostních vlivů). [1]

Vývoj nových technologií v průmyslovém odvětví barev výrazně ovlivňují požadavky trhu na ochranu životního prostředí, zejména z pohledu používání rozpouštědel. Obecně lze konstatovat, že podíl používaných laků na bázi rozpouštědel výrazně klesá, zatím co podíl hybridních systémů laků šetrných k životnímu prostředí, založených na bázi vodních, práškových a radiačně vytvrditelných (ultrafialovým zářením/ elektronovým paprskem), neustále roste. [1]

Například systémy laků založených na vodní bázi jsou dobře vyvinuté, stále jim však chybí uspokojivé výsledky v případě, že jsou přímo vystaveny vlivu životního prostředí, zejména kvůli jejich citlivosti na vlhkost. Navíc sušení nátěrů na vodní bázi vyžaduje více energie a speciálně navržené sušicí stroje. Nejšetrnější k životnímu prostředí jsou právě práškové a radiačně vytvrditelné systémy ultrafialovým zářením a elektronovým paprskem. Nevýhody těchto lakovacích systémů souvisí s jejich vlastnostmi. U radiačně vytvrditelných systémů zase dochází k inhibici kyslíkem. Kromě toho složky absorbující UV záření (jako jsou pigmenty, přísady nebo UV absorbéry), které jsou přítomny v laku, mohou způsobovat problémy s vytvrzením. [1]

V současné době představuje UV vytvrzování alternativní vytvrzovací systém k tepelnému vytvrzování, na rozdíl od minulosti, kdy se uvažovalo převážně o vytvrzování na materiálech citlivých na teplotu, jako je papír, dřevo a plasty. Technologie UV vytvrzování využívá při vytvrzování energii fotonů zdroje záření v oblasti krátkých vlnových délek elektromagnetického spektra, aby vytvořila reaktivní jednotky, které spouštějí rychlou řetězovou polymerizační reakci. Z elektromagnetického spektra je rozsah od dlouhovlnného infračerveného záření (NIR), přes viditelné a ultrafialové (UV) k elektronovým paprskům a rentgenovému záření oblasti UV, jenž se dále dělí na UV-A,

UV-B, a UV-C záření, které se využívá převážně pro tuto technologii. Energie fotonu je definovat touto rovnicí: [1]

$$E=hf=hc/\lambda \dots \dots \dots (1)$$

Kde: f je frekvence (Hz)

λ je vlnová délka (nm)

h planckova konstanta (J·s)

Rovnice (1) pojednávající o energii fotonu říká, že čím kratší je vlnová délka, tím vyšší je energie fotonu. UV záření v oblasti vlnových délek 300–400 nm, by již mělo být schopno rozštěpit vazbu C – C. Fotony elektronového paprsku a rentgenového záření nesou dostatečně vysokou energii pro rozštěpení vazeb CC nebo C – H, proto nepotřebují speciální fotoiniciátory k vytvoření volných radikálů, které slouží jako iniciátory polymerace. V případě vystavení UV záření se však fotoiniciátory běžně využívají, protože procesy přímého štěpení vazeb k vytvoření volných radikálů nejsou dostatečně účinné. [1]

Dosud se UV vytvrditelné systémy používaly hlavně v aplikacích čirého nátěru, kde dosahují výborného účinku a výkonu. Kdy povrch lakované vrstvy vystavené útokům chemických látek nebo mechanickým vlivům dokáže velice účinně obstát. Proto jsou velice důležité použité formulace pro povlaky vytvrditelné záření, kde závisí na specifických požadavcích na výkon a na aplikační technice. Tradiční složení UV vytvrditelných laků je stále 100% kapalné (nebo také běžně označovaný jako 100% pevné, přestože jsou použity v kapalné formě, aby bylo zdůrazněno, že neobsahují žádná rozpouštědla nebo jiné těkavé látky). Mezitím je však vzhledem k zvažování UV vytvrzování jako alternativy k tepelnému vytvrzování, použití malých množství rozpouštědel za účelem snížení viskozity. [1]

1.1 Výhody a nevýhody použití UV laků

Z celé řady výhod a nevýhod použití UV vytvrditelných laků jsou zde shrnuty ty nejdůležitější:

1.1.1 Výhody použití

A) Ekonomické výhody

- Úspora energie
- Vysoká rychlost výroby
- Malé nároky na prostor
- Možnost okamžitého zpracování po vytvrzení

B.) Ekologické výhody

- Obecně složení bez rozpouštědel (redukce VOC)
- Možnost snadné recyklace
- Úspora energie

C.) Další výhody

- podkladový materiál není nutno tolik přehřívat
- Vysoká trvanlivost produktu
- Univerzální aplikace
- Vysoká mechanická a chemická odolnost
-

1.1.2

1.1.3 Nevýhody použití

- Vyšší materiálové náklady ve srovnání s polyestery nebo epoxidy
- Citlivost na vlhkost (kationtový vytvrzovací systém)
- Obtížné vytvrzování pigmentovaných povlaků (tloušťka > 5 μm)

I přes všechny výhody UV laků, je jejich použití velmi omezené. K hlavním důvodům patří omezené používání UV vytvrditelných nátěrů v exteriérových prostorách ve srovnání s konvenčními nátěry. [3]

1.2 Základní typy laků

Laky na bázi polyakrylátů jsou tvořeny kopolymery akrylátových a metakrylátových esterů, v menší míře může dojít k začlenění i jiných nenasycených monomerů (např. styren, vinyltoluen). Kopolymery vytvořené výhradně z akrylátů nebo methakrylátů se nazývají akryly. Tyto monomery se liší, pokud se jedná o alkoholové zbytky esterové skupiny, což také umožňuje začlenění dalších funkčních skupin. Použití různých monomerů umožňuje širokou variabilitu fyzikálních a chemických vlastností výsledného polymeru. Lze upravit hydrofilitu, hydrofobitu, acidobazické vlastnosti nebo i teplotu skelného přechodu. [4]

Produkty z pryskyřice mohou být pevné látky, roztoky v organických rozpouštědlech nebo vodě, emulze nebo disperze. Akrylátové pryskyřice mají oproti jiným pryskyřicím několik výhod:

- 1) Polyakryláty vykazují vysoký stupeň chemické odolnosti.
- 2) Jsou bezbarvé, a nežloutnou ani při jejich dlouhodobém tepelném namáhání.
- 3) Neabsorbují elektromagnetické záření nad 300 nm, a proto jsou odolnější vůči působení UV záření (záleží na konkrétním složení).
- 4) neobsahují nestabilní dvojně vazby.
- 5) Polyakryláty dosahují vysokého lesku.
- 6) Akryláty a zejména methakryláty jsou odolné vůči hydrolýze (pokud neobsahují styren nebo podobné aromatické sloučeniny).[4]

1.3 Akrylátové pryskyřice

Laky na bázi akrylátové pryskyřice jsou polymery složené převážně z esterů kyseliny akrylové nebo kyseliny methakrylové. Systematický název podle IUPAC pro kyselinu akrylovou je kyselina prop-2-enová, zatímco pro kyselinu methakrylovou to je kyselina 2-methylpropenová.[2,15)



obr 1.2.1 : Estery kyseliny akrylové a kyseliny methakrylové (2)

Ačkoli estery kyseliny akrylové a estery kyseliny methakrylové mají celkem odlišné vlastnosti, polymery vyrobené z obou kyselin se nazývají akrylátové pryskyřice. Spousta produktů obsahuje směsi obou esterů. [2]

1.3.1 Akrylátové epoxidy

Epoxyakryláty představují velmi populární UV vytvrzovací systémy. Jsou-li vystaveny UV záření, rychle podléhají radikálové polymeraci. Jsou široce používány v litografických barvách a lacích, jakož i v deskách plošných spojů, dřevěných, betonových a plastových nátěrech. Mají dobré všestranné vlastnosti kombinované s rychlým vytvrzováním a výjimečným adhezním účinkem především díky přítomnosti polárních hydroxylových a etherových skupin v epoxidové struktuře. Zároveň vykazují vynikající odolnost proti korozi. Používají se jak aromatické tak i alifatické epoxidy. Nejběžnější akrylované a methakrylované epoxidové oligomery tvoří diglycidylether bisfenolu A (DGEBA) a jeho derivátech. [8]

1.3.2 Akrylátové polyestery

Akrylátových polyesterů se vyrábí v široká škála a používají se zejména v tiskařských barvách, nebo při natírání dřevěných a papírových materiálů. Jsou atraktivní zejména z důvodů nízkým pořizovacích nákladům, a velkému počtu dostupných esterů, které tak umožňují širokou variabilitu výsledných vlastností.

Tato třída UV vytvrditelných pryskyřic má často všestranné využití, ale pouze průměrné vlastnosti ve srovnání s jinými systémy pryskyřic. Obvykle mají nižší viskozitu než epoxidové pryskyřice, ale univerzálnější využití, protože jsou kompatibilnější s jinými prepolymermi. [8]

1.3.3 Akrylátové uretany

Mezi další skupinu UV vytvrditelných systémů patří akryláty modifikované uretany. Vyrábí se reakcí polyesterů nebo polyether diolů nízké molekulové hmotnosti s přebytkem

alifatických nebo aromatických diisokyanátů. Zbývající diisokyanátové funkční skupiny se potom uzavírají diacrylátovým monomerem, což vede ke vzniku akrylovým funkcionalizovaným monomerům. Často se přidávají reakční ředidla s jednou nebo více vinylovými skupinami ke snížení viskozity laku. U laku následně dojde k zesíťování polymerací volných po vystavením UV záření.

Tyto systémy vykazují na všech podkladových materiálech dobré všestranné vlastnosti jako je dostatečná tvrdost filmu, elasticita a vysoká rychlost vytvrzování v závislosti na použitém laku.[8]

1.3.4 Akrylované silikony

Silikony jsou dobře známé svými vynikajícími vlastnostmi, zejména dobrou odolností vůči teplu, povětrnostním vlivům a chemickou odolností. Mají také dobrou adhezi k mnoha substrátům (kovy, plasty) a tepelnou odolnost v poměrně širokém rozmezí provozních teplot. Mezi jejich další důležité vlastnosti patří dobrá odolnost proti poškrábání a oděru, odolnost vůči žloutnutí, a dobré elektrické vlastnosti.[8]

Tato třída UV vytvrditelných pryskyřic se často používá jako ochranné povlaky optických vláken, senzorů, konektorů, kondenzátory, induktorů a různých spínačů. Nacházejí své uplatnění jako lepidla vytvrditelná ultrafialovým paprskem pro náročné aplikace, kde je vyžadována vynikající flexibilita, houževnatost a odolnost proti otěru. Tato třída lepidel má však obvykle nízkou pevnost spoje, což omezuje jejich užitečnost. [8]

1.4 Složení laků

Jak už bylo zmíněno, tak primární funkcí nátěrových systémů a barev je ochrana mnoha průmyslových a spotřebních výrobků. Důležitým faktem je z čeho jsou laky, barvy a různé nátěry složeny. Obecně jsou laky a barvy kapalné směsi, které se nanášejí na povrchy výrobků pomocí štětce, válečku nebo stříkáním. Tyto směsi jsou dodávány v různých podobách, jako například ve vodě, jako pasta rozstříkovatelná nebo kartáčovatelná, aby splňovaly požadavky na konečné použití. Jednoduše řečeno, nátěrové hmoty jsou kapalné směsi, které se nanášejí na povrch jako tenká rovnoměrná tekutá vrstva, která v průběhu sušení nebo vytvrzování vytváří tvrdý a přilnavý film. Po nanesení se mokřý kapalný film přemění na suchý a přilnavý povlak fyzikálním sušením nebo chemickým vytvrzováním. Povaha vytvořených filmů závisí na složení laku a mění se, například od průhledných po neprůhledné a lesklé až matné. [5] Při pohledu na rozmanitost typů nátěrových hmot není

překvapující, že různé typy laků se skládají z různých složek. Filmotvorné látky jsou v podstatě polymerními materiály a nazývají se pryskyřice nebo pojiva. Pryskyřice a pojiva mají schopnost vytvářet průhledné a přilnavé filmy, nemohou však skrýt nebo zničit povrch, na který byly nanášeny. Pigmenty jsou jemně rozptýlené anorganické částice různé barvy, které mají schopnost rozptýlit se v materiálu a zajistit jeho neprůhlednost. Obecně barvy nebo laky se skládají z pigmentu dispergovaného v pryskyřičném pojivu, ředěného na přijatelnou viskozitu například rozpouštědlem nebo vodou. Úlohou rozpouštědla je v podstatě poskytnout vhodnou konzistenci směsi pigment / pryskyřice tak, že může být nanášena rovnoměrně jako tenká vrstva za použití aplikačního zařízení, kterým je například štětec či stříkací pistole. Za účelem řízení některých vlastností nátěrových hmot, jako je viskozita, doba sušení, průhlednost, stabilita vrstvy laku při skladování a snadnost jeho aplikace (nanášení) se do směsi laků skládajících se z pryskyřice, pigmentu a rozpouštědel v malých množstvích přidávají některá aditiva.

Typická nátěrová hmota obsahuje několik přísad přidávaných za účelem zlepšení nebo modifikace výsledných vlastností nátěru. Obecně lze jednotlivé složky nátěrových hmot rozdělit do následujících kategorií:

- Pryskyřice a pojiva
- Pigmenty
- Aditiva
- Rozpouštědla

1.4.1 Pryskyřice a pojiva

Pryskyřice (filmotvorné látky nebo pojiva) jsou nejdůležitějšími složkami nátěrových hmot, protože mnoho důležitých vlastností suchých filmů, jako je tvrdost, přilnavost, chemická odolnost a odolnost vůči rozpouštědlům, závisí především na povaze použitých pryskyřic. Po nánosu nátěrových hmot dochází k vytvoření tenkých filmů různými fyzikálními nebo chemickými mechanismy vytvrzování. Termín pojivo se často používá pro označení pryskyřice, protože jednou z jeho rolí je „vázat“ částice pigmentu v suchém filmu. Pryskyřice používané u laků a barev jsou polymerní materiály se schopností tvorby filmu. Pryskyřice řídí většinu fyzikálních, chemických a mechanických vlastností nánosů.

Je důležité zmínit, že ačkoli existuje mnoho komerčně dostupných typů polymerů, jen málo z nich se dá použít jako pojiva pro nánosy. [5]

1.4.2 Pigmenty

Pigmenty jsou jemně rozptýlené anorganické částice různé barvy s vysokým indexem lomu. Pokud jsou rovnoměrně dispergovány v pryskyřici, určují výslednému filmu barvu a neprůhlednost. Tudíž barva a neprůhlednost jsou primární funkcemi pigmentů. Kromě toho některé pigmenty vykazují funkční vlastnosti, jako je odolnost proti korozi, odolnost vůči UV záření a odolnost vůči povětrnostním podmínkám. Pigmenty se také používají k řízení reologie, trvanlivosti a mechanických vlastností fólií. Pigmenty jsou klasifikovány na základě jejich původu, na přírodní a syntetické, a na základě jejich funkcí jako organické, anorganické, kovové a pigmenty se zvláštním účinkem. [5]

1.4.3 Přísady

Aby se usnadnila výroba, skladování a zlepšila trvanlivost a vlastnosti laků, je nezbytné do nátěrů zabudovat speciální přísady. Aditiva jsou sloučeniny přidávané v malých množstvích (až do 5% hmotnostních), které podstatně zlepšují nebo modifikují vlastnosti nátěrů. Mezi tyto sloučeniny patří například smáčecí a dispergační činidla (pomáhají dispergovat pigmentové částice v médiu), změkčovadla, UV stabilizátory a konzervační látky. Jejich typy a množství musí být pečlivě zvoleno, protože při jejich nevhodném použití mohou mít nežádoucí účinky. [5]

1.4.4 Rozpouštědla

Rozpouštědla se primárně používají k řízení viskozity nátěrů pro konkrétní aplikaci. Jedná se v podstatě těkavé látky, které se musí po nanesení nátěru odpařit. Rozpouštědla také ovlivňují tečení a vyrovnávání, dobu schnutí nátěru a výsledný lesk. V nátěrových hmotách se používá široká škála typů organických rozpouštědel. Mnoho z těchto rozpouštědel jsou těkavá organická rozpouštědla neboli VOC, které mají škodlivé účinky na lidské zdraví a životní prostředí. V posledních několika desetiletích bylo v rozvinutých zemích vyvinuto značné úsilí o snížení emisí VOC a stále více jsou stanoveny přísné regulační požadavky na použití takových rozpouštědel v nátěrových hmotách. Náměrové hmoty, které používají vodu jako primární nosič nahrazující organická rozpouštědla, proto významně rostly oproti potahům založeným na rozpouštědlových systémech jako preferovaným typům potahů pro řadu využití. [5]

2 VYTVRZOVÁNÍ

Proces vytvrzování ultrafialovým zářením je určován převážně požadovanou aplikací nánosů. Zamýšlený konečný produkt řídí základový materiál, na který má být vrstva laku povlečena. Může se jednat o otěruvzdorný čirý nátěr určený k instalaci parket nebo potiskový lak pro papírové karty, barevný základní nátěr a čirý nátěr pro plastové automobilové díly nebo kovové cívky, jakož i flexibilní ochranný nátěr pro okenní rámy.

Funkce nátěrových hmot, jako například zbarvení součásti, ochrana proti korozi, poškrábání, chemickému napadení nebo proti působení povětrnostních vlivů, určuje typ a vlastnosti daných nátěrových hmot, jakož i jeho požadovanou tloušťku.

Cílové vlastnosti, jako je vysoký lesk, odolnost proti oděru, barevné efekty, tvrdost, flexibilita, chemická odolnost musí být zajištěna chemickým složením, které tvoří základní pryskyřice, rozpouštědlo, fotoiniciátory a různé přísady. Kromě toho musí být proveden vhodný výběr složek, aby byl umožněn účinný proces vytvrzování.

Například v nánosech obsahujících pigmenty nebo UV stabilizátory musí být UV lampy nastaveny tak aby spektrální absorbance fotoiniciátoru byla přizpůsobena spektrální oblasti, ve které jsou pigmenty nebo UV absorbéry poměrně průhledné. Toto podrobné vyladění složení nánosů je nezbytné pro přizpůsobení lampového systému chemii povlaku, aby se zajistil ekonomicky výhodný proces vytvrzování.

Kromě fyzikálních vlastností vytvrzeného materiálu, který má být získán, je ekonomika procesu lakování velice důležitou proměnnou, která rozhoduje o typu použitého nánosů. Pro výpočet celkových nákladů lakovacího procesu tedy nemusí být zvažovány nejen materiálové náklady, ale také návrh celého procesu nastavení zařízení, aby bylo možné vzájemně porovnávat různé procesy lakování. UV vytvrditelné laky vždy konkurují tepelně tvrzeným systémům na bázi rozpouštědel, vodních nebo práškových nátěrů. [3]

2.1 Způsoby vytvrzování a sušení nátěru

Metody vytvrzování lze rozdělit do tří skupin:

- Vytvrzování pomocí tepelného nosiče např. vzduchu
- Vytvrzování zářením jako IR, UV, elektronovými paprsky, laserovými paprsky či plazmovým obloukem.

- Vytvrzování pomocí elektrických procesů kam patří indukční vytvrzování, odolnost, vysokofrekvenční a mikrovlnné vytvrzování.

2.1.1

Tepelné vytvrzování

Vytvrzování cirkulujícím proudem horkého vzduchu je nejdůležitější způsob vytvrzování. Teplo způsobuje odpařování par rozpouštědla z nátěrového filmu proudem vzduchu. Přenos tepla a tím i tvorba filmu se děje z vnějšku dovnitř. Vytvrzování laku je také možné u dílů, které mají komplikovaný tvar. Protože musí být celý výrobek zahříván, je zapotřebí dlouhá doba vytvrzování a tedy i velké pece. Spotřeba tepla je relativně vysoká, protože výrobek, nátěrový film, přepravní zařízení, části dopravního systému i čerstvý vzduch musí být zahřívány. [4]

2.1.2 Vytvrzování zářením

Metody ozařování se v posledních několika letech stávají stále důležitějšími. Vytvrzování zářením probíhá rychleji než při vytvrzování teplým cirkulujícím vzduchem, protože nemusí být zahříván celý výrobek. Uspokojivě lze však ošetřit pouze velké ploché části výrobku.[4]

- a. Mikrovlny s frekvencí 3 600 GHz jsou generovány v magnetronech a přenášeny v dutých vodičích. Vykazují vlnové efekty, jako je interference, které vedou k lokalizovaným koncentracím energie. Interakce mezi polárním materiálem v nátěrové fólii a elektromagnetickým alternačním polem se projevuje makroskopicky jako zahřívací efekt. Protože se mikrovlny odrážejí od elektricky vodivých povrchů, lze tuto metodu použít pouze pro nevodivé substráty (dřevo, plasty nebo papír). [4]
- b. Infračervené (IR) záření o vlnové délce 0,76 μm-1 mm je absorbováno, odraženo nebo přenášeno objektem. V lakované vrstvě je absorbované záření přeměněno na teplo. Nátěr je tak vytvrzován směrem zespodu nahoru, díky čemuž může docházet k neustálému odpařování rozpouštědel. Vlnová délka a intenzita infračerveného záření musí odpovídat vytvrzené barvě. Absorpční chování je určeno pigmentem, jeho koncentrací a vlastním pojivem. Dlouhovlnné IR záření je absorbováno pigmenty na povrchu, zatímco krátkovlnné záření o délce vln 0,76-2 μm může barvou pronikat. [4]

- c. K vytvrzování barev se rovněž používá UV záření, které iniciuje fotochemickou reakci, které vedou k zesíťování. Přidaný fotoiniciátor se v barvě rozkládá na volné radikály, které iniciují polymeraci pojiva. Vytvrzování UV zářením má praktický význam pro vytvrzení bezbarvých akrylátových laků. Doba vytvrzení se pohybuje řádově v sekundách. [4]
- d. Elektronový paprsek je rozptylován do záclonového paprsku. Elektrony opouštějí skříň distribuce paprsku přes velmi tenký plech. Když tyto svazky elektronů dopadnou na monomery pojiva, iniciují polymeraci v nátěrovém filmu. Polymerizace probíhá za zlomek vteřiny a musí být prováděna ve vakuu nebo v atmosféře inertního plynu. Zařízení musí být stíněno, aby byla chráněna obsluha. Pomocí laserových paprsků lze dosáhnout ostře lokalizovaného vytvrzování. [4]

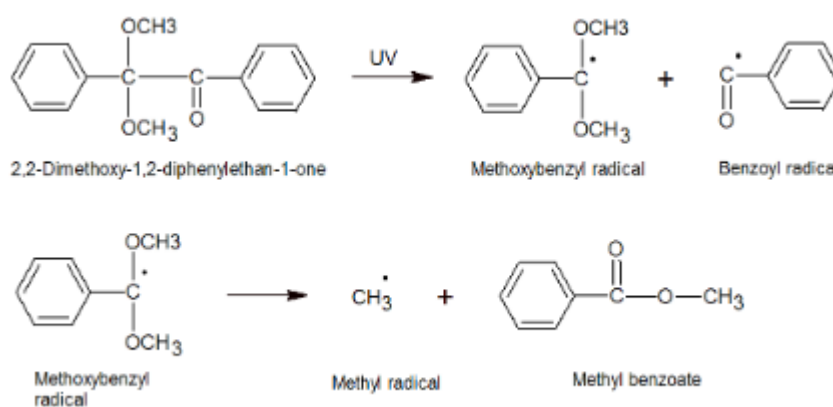
2.2 Radikálová polymerace

Vytvrditelné laky na akrylátové bázi se vytvrzují pomocí volných radikálů. Když je lak osvětlen určitou formou záření, tato energie se v něm rozpadá a vytváří volné radikály. Volné radikály jsou extrémně reaktivní. Dochází k chemické reakci - iniciaci. Tato řetězová reakce pokračuje velmi rychle do dalšího kroku zvaného propagace (polymerizace a zesíťení). Jakmile je zdroj ultrafialového záření odstraněn, reakce se okamžitě zastaví. Reakce se také zastaví, když se setkají dva radikály, které spolu vzájemně reagují - terminace.[9] Protože jsou radikály tak reaktivní, reakce může být obtížně kontrolovatelná. Při vytvrzovací reakci může docházet k inhibici kyslíkem. Radikály, které existují, při ozáření, mohou místo toho, aby reagovaly se složkami v laku reagovat s molekulami kyslíku z okolního vzduchu. Tím dochází k předčasnému ukončení reakce. Kvůli tomu dochází ke vzniku kratších polymerních řetězců, což nám zapříčiňuje vznik lepkavého povrchu s horšími mechanickými vlastnostmi.[9]

2.2.1 Fotoiniciátory

- (a) Fotoiniciátory jsou sloučeniny, které při vystavení UV záření vytvářejí volné radikály. Ty pak reagují s monomery nebo oligomery za účelem iniciace růstu polymerního řetězce. Jsou základními složkami všech inkoustů, laků, barev a laků vytvrditelných UV zářením. [10]
- (b) Fotoiniciátory lze rozdělit do dvou skupin - skupin typu I a skupinu typu II. Do první skupiny fotoiniciátorů typu I patří obvykle sloučeniny obsahující

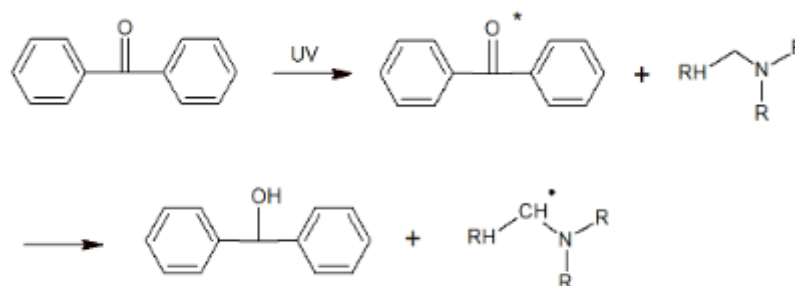
benzoylové skupiny. Karbonylová skupina iniciátoru absorbuje foton a je transformována do excitovaného stavu. Následné homolytické štěpení excitované uhlíkové vazby vede ke vzniku dvou radikálových fragmentů. Například štěpením 2,2-dimethoxy-1,2-difenylethan-1-onu se z velké části získá methoxybenzylový a benzoylový radikál. Benzoylový radikál iniciuje polymeraci volných radikálů, zatímco methoxybenzylový radikál se rozkládá za vzniku stabilnějšího methylového radikálu a methylbenzoátu. [10]



Obr. č.22.2.1.1 Štěpení 2,2-dimethoxy-1, 2-difenyl-ethan-1-onu

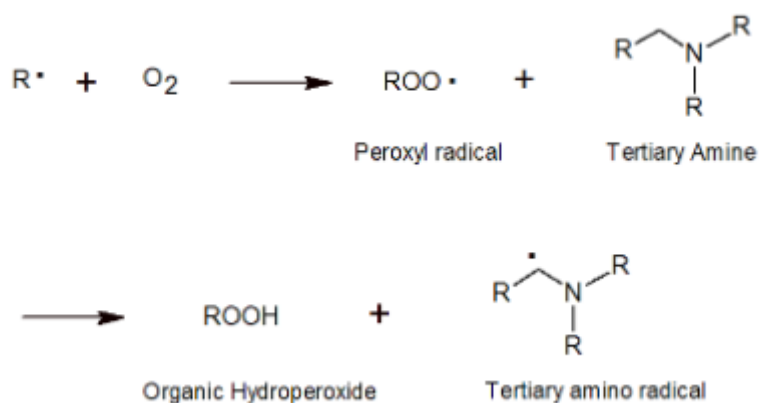
Dva další velmi časté iniciátory skupiny typu I jsou 1-hydroxycyklohexylfenylketon a 2-hydroxy-2-methyl-1-fenylpropanon. Oba jsou rozpustné v mnoha rozpouštědlech a lze je kombinovat s jinými iniciátory. [10]

- (c) Druhá skupina fotoiniciátorů typu II absorbuje UV záření a vytváří excitované molekuly, které pak odštěpují elektron nebo atom vodíku z donorové molekuly. Donorová molekula pak reaguje s monomerem, aby zahájila polymeraci. Běžné fotoiniciátorové systémy typu II zahrnují benzofenon a jeho deriváty a isopropylthioxanthon v kombinaci s synergentem, jako jsou terciární aminy. Aminy fungují jako aktivní dárci vodíku pro vzrušené fotoiniciátory. Odebrání vodíku produkuje velmi reaktivní alkyl-amino radikály, které následně zahajují polymeraci. [10]



Obr. č.32.2.1.2 Proces odebrání vodíku fotoiniciátorem

Terciární aminy také snižují inhibici vzduchem. Kyslík, který difunduje do směsi, reaguje s rostoucími radikálovými polymerními řetězci za vzniku nereaktivních peroxy radikálů. Terciární aminy reagují s těmito radikály a převádějí je na reaktivní alkylamino-radikály, a tím brání inhibici vzduchem tedy kyslíkem. [10]



Obr. č.42.2.1.3 Proces zabránění inhibice kyslíkem aminem

Další důležitou skupinou aminových synergistů jsou akrylované aminy. Akrylát umožní reagovat s řetězcovými radikály a tím snížit potenciál povrchové migrace (méně lepivosti). Poskytují také rychlejší vytvrzení povrchu, sníženou těkavost a zvýšenou odolnost vůči rozpouštědlům. [10]

3 ZPŮSOBY NANÁŠENÍ LAKU

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 sebou přináší 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. [4]

Nanášení laků a nátěrových hmot může být provedeno různými způsoby:

- nanášení štětcem, válečkem nebo nanášecí rukavicí
- nanášení pneumatickým stříkáním
- nanášení vysokotlakým (8-25 MPa) nebo nízkotlakým (0.2 – 0.6 MPa) stříkáním
- nanášení v elektrickém poli
- nanášení máčením
- nanášení navalováním elektroforézní
- nanášení poléváním (tryskami, clonou).

3.1 Nanášení poléváním

Nanášení 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.[11]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 je regulovatelné geometrií polévací hlavy nebo rychlostí pohybu samotné polévací trysky.. Přebytný lak, který odkapává, se pak shromáždí, přefiltruje a znovu zavede do lakovacího systému. [11]Aby mohlo dojít k vytvoření homogenní vrstvy laku , musí být lak schopen volně stékat po povrchu, a proto je nezbytná příprava podkladové vrstvy materiálu. Obvykle se používají laky s nízkou viskozitou, ke kterým se přidávají

povrchově aktivní látky, aby se podpořily jeho smáčecí vlastnosti. Protože lak může volně stékat po povrchu, měla by být celá povrchová vrstva rovnoměrně rozložena, což po zaschnutí zanechá vynikající film. Jednou z výhod je to, že veškeré částice prachu ležící na povrchu, který má být potažen, jsou odnášeny pryč. Další výhodou je, že u této technologie je zapotřebí poměrně malé množství nátěrové hmoty (laku), protože veškerý přebytek je zařazen zpět do systému.[11] Nanášení poléváním se obvykle aplikuje na komponenty zavěšené vertikálně, přičemž lak teče díky gravitaci, ačkoli existují také procesy, kde komponenty procházejí pod kontinuálním tokem, když se pohybují podél dopravníkového pásu. Pro tento proces se často používá termín nanášení clonou.[11]

3.2 Nanášení nástřikem

Rovnoměrnějšího a hladšího povrchu lze dosáhnout spíše při použití nástřikovým lakováním než kartáčováním nebo válcováním, protože posledně uvedené metody mají tendenci zanechávat strmé značky a nerovnoměrnou tloušťku. [6]

3.3 Nanášení máčením

Ponorné lakování je jednou z nejjednodušších a nejstarších metod nanášení nátěrových hmot. Kromě ponořování do rozpouštědel nebo vodou ředitelných barev se pro výrobu ve velkém měřítku stala důležitá i elektrolytická depozice. Při konvenčním ponořování jsou zpracovávané produkty ponořeny do barvy a přebytky následně odstraněny. Kapalná barva přilne k povrchu a poté se vysuší nebo vypálí. Je třeba dbát na to, aby výrobky při ponořování neklouzaly a aby se vzduchové bubliny nezachytávaly. Rychlost, při které je výrobek vyjímán z lázně, musí být zvolena tak, aby mohl nadměrný nátěr ulpívající na povrchu odtéct. Doba vypouštění nátěrové hmoty a odpařování musí být dostatečně dlouhá, aby se zajistilo uspokojivé odpařování rozpouštědel. [4]

4 ZÁKLADNÍ ANALÝZY LAKŮ

4.1 Viskozita

Viskozita se dá popsat jako odpor tekutiny vůči změně tvaru nebo pohybu sousedních částí vůči sobě navzájem. Viskozita se označuje jako odpor proti toku. Recirkulační viskozita se nazývá tekutost, míra snadnosti proudění. Například med má vyšší viskozitu než voda.

Protože část tekutiny, která je nucena se pohybovat, nese do jisté míry sousedící části, což znamená, že viskozita může být považována za vnitřní tření mezi molekulami. Toto tření je zapříčiněno rychlostními rozdíly v tekutině. Viskozita je hlavním faktorem při určování sil, které musí být překonány, když jsou kapaliny používány při mazání a transportovány v potrubích. Řídí tok kapaliny v takových procesech, jako je stříkání, vstřikování a povrchové potahování. [12]

Pro mnoho tekutin je smykové napětí, které je zapříčiněno třením mezi molekulami kapaliny výsledkem přímo úměrné rychlosti smykového pnutí nebo rychlosti deformace. Jinými slovy, smykové napětí děleno rychlostí smykového pnutí je pro danou tekutinu konstantní při stálé teplotě. Tato veličina se nazývá dynamická viskozita a často jednoduše viskozita. Tekutiny, které se chovají tímto způsobem, se nazývají newtonské tekutiny. [12] Rozměry dynamické viskozity jsou síla násobená časem dělená plochou. Jednotka viskozity je tedy newton-sekunda na metr čtvereční, která je obvykle vyjádřena jako pascal-sekunda v jednotkách SI. Viskozita kapalin se zvyšováním teploty rychle klesá, zatímco viskozita plynů se zvyšováním teploty roste. Tedy při zahřívání proudí tekutiny snadněji, zatímco plyny proudí pomaleji. [12]

Pro některé aplikace je kinematická viskozita užitečnější než dynamická viskozita.

Kinematická viskozita je dynamická viskozita tekutiny dělená její hustotou. Rozměry kinematické viskozity jsou plocha dělená časem. Příslušné jednotky jsou metr čtvereční za sekundu. [12]

4.1.1 Vlivy ovlivňující viskozitu

A. Vliv teploty

Viskozita je extrémně citlivá na změny teploty. Všechna srovnávací měření by měla být prováděna při stejné teplotě. Hodnota viskozity bez záznamu teploty je zbytečná. Každá tekutina je změnou teploty ovlivněna odlišně, ale změna stupně je obvykle pro

konkrétní kapalinu konstantní. Obecně může být viskozita vzorku laku snížena zvýšením teploty a zvýšena snížením teploty. [6]

B. Vliv rozpouštědel

Vyšší viskozita roztoku je výsledkem vyššího podílu sušiny. Rozpustné pryskyřice (polymery) způsobují výraznější změny viskozity než nerozpustné pigmenty nebo různá aditiva. [6]

4.1.2 Typy viskozimetrů

K měření viskozity se používají viskozimetry různých fyzikálních principů a konstrukcí. Mezi ty nejčastější patří viskozimetry kapilární (průtokové), rotační nebo tělískové. Kromě výše uvedených typů viskozimetrů, se velmi často ke stanovení viskozity (konzistence) laků v průmyslu používají tzv. výtokové pohárky, které měří čas výtoku dané nátěrové hmoty či laku (dle normy ČSN EN ISO 2431). K dispozici jsou zhruba tři typy viskozimetrů:

- kapilární viskozimetr
- rotační viskozimetr
- viskozimetr s padající kuličkou (Hoplerův viskozimetr)

Kapilární i rotační viskozimetry jsou postaveny v různých verzích, které umožňují přesné stanovení viskozity v dobře definovaných průtokových polích. Zejména rotační viskozimetry umožňují přesné nastavení profilu konstantního průtoku, a proto jsou k dispozici ve vysoce přesných a drahých verzích jako rotační reometry. Kapilární viskozimetry jsou nejlepším kompromisem mezi přesným stanovením viskozity a cenově výhodným měřicím zařízením, a jsou proto nejčastěji nalezeným typem viskozimetrů. Rotační i kapilární viskozimetry jsou k dispozici v jednoduchých a levných verzích jako Brookfieldovy viskozimetry a průtokové kelímky. Tyto přístroje nemají definovaný profil toku a nemohou být použity k určení přesné viskozity, ale jsou široce používány při kontrole a řízení kvality zkoumaných vzorků. Viskozimetry s klesající koulí jsou také relativně jednoduchá měřicí zařízení s nedefinovaným profilem průtoku, ale umožňují stanovení viskozity po kalibraci standardními tekutinami.[7]

4.1.2.1 Kapilární viskozimetr

Kapilární viskozimetry patří k typu viskozimetrů pracujících s tekutým vzorkem. Jsou to nejčastěji používané viskozimetry pro stanovení vnitřní viskozity. Tok zkoumaného

kapalného vzorku se dosáhne gravitací. Vzorek teče pod svou vlastní hmotností známou kapilární délkou L s definovaným poloměrem R . Měří se doby běhu známého objemu vzorku mezi dvěma danými body. Pomocí těchto provozních časů lze vypočítat kinematickou viskozitu. Na rozdíl od jiných typů viskozimetrů lze teplotu v kapilárních viskozimetrech dobře regulovat, protože celá uzavřená kapilára může být ponořena do vodní lázně. [7]

4.1.2.2 Rotační viskozimetr

rotační viskozimetr funguje na principu jednoduchého koaxiálního válcového systému s miskou a válcem s vnějším poloměrem R a výškou h , která je snížena do misky. [7]

4.1.2.3 Viskozimetr s padající kuličkou

Klesající sférický viskozimetr sestává z trubice s poloměrem R , která je naplněna roztokem vzorku. V této zkumavce prochází koule s poloměrem r danou tekutinou. Po krátké době zrychlení dosáhne rychlost konstantní hodnoty, která je výsledkem rovnováhy mezi odporem tření a gravitací. Měří se čas, kdy musí koule překrýt danou vzdálenost mezi dvěma značkami.[7]

4.1.2.4 Hopplerův viskozimetr

Hopplerův viskozimetr je zvláštní formou viskozimetru s padající koulí, který pracuje s kuličkou o průměru velmi blízkém průměru skleněné trubice.[7]

4.2 Hustota

Hustota je fyzický parametr, který hraje zásadní a důležitou roli ve všech materiálových stavech, ať už pevných, kapalných nebo plynných. Měří se v celém průmyslu, aby bylo možné nahlédnout do materiálů, například jejich čistoty, koncentrace složek a složení. Hustota tekutých produktů má velký dopad na jejich kvalitu, chování a použití. [13]

4.2.1 Vlivy ovlivňující hustotu

A. Teplota

Objem a stav materiálu se mění s teplotou. Teplota má proto důležitý vliv na hustotu. Proto přesné měření hustoty vyžaduje přesné stanovení teploty a dobrou teplotní stabilitu. Vynikajícím příkladem teplotní závislosti hustoty je teploměr. S rostoucí teplotou se objem

rtuti či alkoholu uvnitř teploměru rozšiřuje a tak teplota roste. Stejná hmotnost, ale větší objem, znamená menší hustotu. [14]

B. Tlak vzduchu a nadmořská výška

Místní tlak vzduchu a nadmořská výška mají také vliv na hustotu kapalin a moderní měřiče hustoty kompenzují tyto ovlivňující faktory, tak, že neovlivňují výsledky. [14]

C. Viskozita

V závislosti na tom, jak změříte hustotu, může výsledek ovlivnit viskozita látky. Například při měření pomocí digitálního měřiče hustoty závisí frekvence kmitání nejen na hustotě vyplněného vzorku, ale i na jeho viskozitě. V důsledku kmitání trubice se mezi tekutinou a stěnou trubice vyskytují tření a vede k tlumení. Tlumení se zvyšuje se zvyšující se viskozitou vzorku, což vede k odečtu. Moderní měřiče hustoty kompenzují tento účinek a automaticky provádějí korekci viskozity pomocí speciální techniky, při které se používají dva různé režimy oscilace. [14]

5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI LAKOVANÝCH DESEK

Mají-li být splněny požadavky pro daný povlak musejí být od samého začátku dodrženy potřebné postupy. Pro každý požadavek je nezbytné dobré spojení vrstvy laku s podkladovým materiálem. To je jediný způsob, jak zabránit destruktivnímu vlivu vody, atmosférického kyslíku nebo chemikálií na podkladový materiál, který má být chráněn. Fyzikální pnutí ve formě expanze, stlačení nebo kroucení nesmí dále snižovat vazbu se substrátem ani ovlivňovat soudržnost vrstvy. Povlak musí také trvale odolávat namáhání způsobenému poškrábáním a nárazem. Příslušné parametry pro přilnavost, elasticitu během pomalého nebo rychlého vystavení stresu a pro fyzickou tvrdost musí dosáhnout určité minimální úrovně odolnosti v daném teplotním rozsahu, který se vyskytuje v různých klimatických zónách světa. [3]

Specifikace a testování úrovně kvality může být provedeno dvěma různými způsoby. Na jedné straně jsou vrstvy laku vystaveny napětím, se kterými se běžně v praxi setkáváme. Fyzickým ohýbáním natíraných kovových plechů, vypalováním kovových koulí nebo štěpků silnic, umělým poškozením nebo odlupováním definovanými nástroji jsou příklady metod testování, které se používají po celá desetiletí. Jejich cílem je charakterizovat vlastnosti povlaků. Ukazatele určené tímto způsobem často zahrnují složité vazby mezi různými fyzikálními vlastnostmi, jejichž hodnocení lze často provést pouze udělením známek. Na druhé straně se moderní výzkum laků snaží popsat vlastnosti povlaků fyzikálními parametry, jako je modul pružnosti či adheze. Tyto ukazatele, které je třeba přesně měřit, jsou prospěšné, pokud jde o objektivizaci výsledků zkoušek a kontrole testovaných vzorků. Jsou velice užitečné, kdykoli je pozorovatelný jasný vztah mezi charakterizovanými vlastnostmi laku a jeho fyzikálními vlastnostmi.

5.1 Adheze

Adhezi neboli přilnavost nátěru lze definovat jako soubor působících sil, kterými je nátěr držen k povrchu substrátu. Vyjadřuje se jako odpor nátěru, který vzniká při jeho odstraňování z povrchu materiálu (substrátu). Pokud se povlak dokonce jen částečně delaminuje ze svého substrátu, již nesplňuje svůj účel. Pevná vazba povlaku k substrátu, který také zůstává neporušený působením vlhkosti, světla, solí a plynů nebo-li pod vlivy, se kterými se v praxi setkáváme, je nezbytným požadavkem pro dlouhodobou ochranu. [3]

Přilnavost povlaku není určována pouze vlastnostmi laku. Stejně tak je třeba vzít v úvahu zvláštní vlastnosti lakovaného předmětu. Aby se dosáhlo optimální adheze, musí procesu lakování předcházet čisticími procesy nebo před úpravami vytvářejícími vrstvy. Dobrá míra přilnavosti tedy není určena pouze vlastnostmi laku, ale je výsledkem vhodného výběru a přizpůsobení materiálů a podkladu./1/ 373

5.2 Tloušťka filmu

Kromě vizuální stránky je pro dlouhodobou ochranu produktů nezbytný výběr nátěrových materiálů a techniky nanášení. Pro všechny požadavky na laky existuje optimální tloušťka nanesené vrstvy. Pro zajištění dobrého toku, vizuálního zakrytí substrátu a dobrého ochranného účinku proti plynům a vodní páře je žádoucí vysoká tloušťka filmu. Mohou však být vyrovnány zhoršením fyzikálních či technologických vlastností se zvětšující se tloušťkou filmu a v neposlední řadě ziskovostí procesu potahování. Definice optimální tloušťky filmu a distribuce tloušťky filmu a jeho sledování jsou proto důležitými předběžnými kontrolami pro zajištění kvality povlaků.[1,341). Tloušťku nátěru lze stanovit v (a) mokřém či (b) suchém stavu. Při stanovení tloušťky mokrého filmu se využívá tzv. mokré stopy, kterou zanechává testovací hřeben. K jejímu stanovení dochází ihned po nanesené 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.

5.2.1 Měření tloušťky filmu spektroskopickým refraktometrem

Pro měření tloušťky průhledného filmu v nanometrovém měřítku je k dispozici spektroskopická reflektometrie, která kompenzuje nedostatek konfokální optiky.

Tloušťku fólie lze měřit pomocí spektra odrazivosti získaného ze spektroskopické reflektometrie po nastavení parametrů optickým simulačním modelem.

Tloušťku průhledných filmů můžeme měřit pomocí 6 vlnových délek v bílém světle. Oblast měření je nastavitelná uživatelem. Tento způsob je použitelný pro širokou škálu laků. [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Postup přípravy vzorků

Před vlastní přípravou vzorků byla nejprve stanoveno dávkování jednotlivých složek (laku, jednotlivých rozpouštědel). Byly připraveny 2 různé poměry testovacích směsí, a to poměr (72 hm. % laku ku 28% rozpouštědla) a poměr (60 hm. % laku ku 40 hm. % rozpouštědla). U daného poměru směsi byla jednotlivá rozpouštědla míchána v 11 odlišných koncentracích (narůstajících po 10 hm. %) a to od 0 hm % do 100 hm. %. Jednalo se tedy o tyto kombinace:

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

1) Lak / (dowanol / B1)

2) lak / (dowanol / B2)

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

1) xxxxxxxxxxxx / (dowanol / B1)

2) xxxxxxxxxxxx / (dowanol / B2)

3) xxxxxxxxxxxx / (dowanol / isopropylalkohol)

Dále se museli přesně vypočítaná množství navážít na laboratorních vahách s přesností na 0,01g. Po navážení přesného množství jednotlivých složek, byly všechny složky smíchání v daných poměrech, dobře promíchány a uloženy do prostoru bez přístupu světla.

Příprava vzorků při měření kinematické a dynamické viskozity, hustoty

Při měření kinematické a dynamické viskozity bylo zapotřebí odměření malé dávky testovaného vzorku, který byl vložen do předem vyčištěné skleněná kapilární trubice. Po nadávkování vzorku do skleněné kapilární trubice, byla do trubice vložena železná kulička a trubice uzavřena. Po uzavření byla celá trubice i se vzorkem vložena do zařízení mikroviskozimetru lovis 2000 ME od firmy Anton Paar. V průběhu měření byl poté zaznamenáván čas pádu kuličky v měřeném vzorku, ze kterého byla následně vypočítána hodnota viskozity.

Měření hustoty probíhalo tak, že určité množství vzorku nastříknuto do speciální U – trubice z borosilikátového skla, která je elektronicky rozkmitána na svoji charakteristickou frekvenci. Hustota je poté spočítána z oscilační periody U-trubice a referenčního

oscilátoru. Data byla spočítána poměrem různých měření u kterých byla vyhodnocena příslušná chyba měření. Dále došlo k vyhodnocení dat, které byly následně zpracovány.

Postup nanášení laku na podkladový materiál

Při nanášení laku bylo nejprve nutno odstranění ochranné folie z podkladového materiálu. Dále byl podkladový materiál, tedy nařezané polycarbonátové desky očištěny nejprve 96% ethanolem a poté kvůli elektrostatickému náboji ještě destilovanou vodou. Po této úpravě bylo možno na očištěné polycarbonátové desky nanést souvislou vrstvu laku. Lak byl nanášen metodu polévání, kdy bylo množstvím 20g vzorku naneseno na polycarbonátovou desku. Po této úpravě bylo nutno nechat vzorek 3 – 5 minut odstát v tmavém prostoru v závislosti na poměrech jednotlivých rozpouštědel ve vzorku. Když byl vzorek po danou dobu odstaven, byl přenesen do sušárky, kde proběhlo předsušení filmu. Takto upravený vzorek mohl být následně vytaven ultrafialovému záření z UV lampy po dobu 1 minuty.

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Při tomto experimentu bylo naším cílem dosáhnout co nejmenšího rozdílu tloušťky laku na horní a spodní straně polycarbonátových desek. Velkým problémem se při této metodě nanášení laku na desky stala právě rozdílná tloušťka vrstvy laku na horní a spodní straně lakovaných desek. Naším úkolem tím pádem bylo nalezení ideálního systému, který by vedl k minimalizaci rozdílu tloušťky laku na horní a spodní straně desek.

K řešení toho problému byly připraveny 2 různé poměry směsí laku a rozpouštědel. Byl využíván akrylátový lak xxxxxxxxxxxxxxxx a různá rozpouštědla v odlišných poměrech. První poměr směsi se skládal z 60% laku a 40% rozpouštědla a dále byl rozdělen na 2 systémy laku, které se lišily použitými rozpouštědly. Druhý poměr směsi se skládal ze 72% laku a 28% rozpouštědla, který byl dále rozdělen na tři podsystémy s rozdílnými rozpouštědly. Tyto rozpouštědla se lišily svými vlastnostmi. V každém ze systémů byly využity dvě rozpouštědla v jedenácti různých poměrech. Jedno rozpouštědlo sloužilo k nabotnění vrstvy polycarbonátové desky, čímž dochází ke zlepšení adheze mezi polycarbonátovou deskou a nanášenou vrstvou laku. Toto rozpouštědlo se musí odpařovat pomaleji, aby dosáhlo svého účinku. Druhé rozpouštědlo se odpařovalo rychleji a mělo za úkol snížení viskozity laku a tím pádem i snížení rozdílu tloušťky laku mezi horní a spodní stranou desek.

K nalezení ideálního systému jsme na samém začátku museli nejdříve charakterizovat chování a vlastnosti jednotlivých systémů. K této charakterizaci jsme vyhodnocovali parametry kinematické viskozity, dynamické viskozity a hustoty v závislosti na hmotnostní koncentraci vzorku při čtyřech různých teplotách (20°C, 25°C, 30°C, 35°C). Vyhodnocené data byly srovnávány mezi jednotlivými systémy při daných poměrech. Dále po nanesení laku na polycarbonátové desky byla xxxxxxxxxxxxxxxx spektroskopickým refraktometrem změřena tloušťka vrstvy laku v několika výškách od horní ke spodní straně desek. Poté byly srovnávány všechny systémy mezi sebou a určeny základní charakteristiky a vyhodnocení ideálního systému a poměru laku s rozpouštědlem k dosažení požadovaného rozdílu tloušťky vrstvy laku od horní ke spodní straně lakovaných desek.

8.1 Poměr směsi: 60% laku a 40% rozpouštědla

Nejprve byl připraven poměr směsi 60% laku na 40% rozpouštědla. U tohoto poměru laku jsme připravily dva rozdílné systémy lišící se typy rozpouštědel. Při přípravě těchto systémů při daném poměru laku a rozpouštědel jsme vždy dodržovaly stejné dávkování laku a měnily jsme podíly jednotlivých rozpouštědel. Konstantě využívaným rozpouštědlem byl dewanol, který se využil u obou systému a druhým rozpouštědlem, tetokrát u každého systému odlišným byl pro první systém butan-1-ol a pro druhý systém butan-2-ol. Dewanol je typickým rozpouštědlem využívaným k ředění toho typu laku a slouží k dosažení homogení tloušťky vrstvy laku na polycarbonátové desce. Rozpouštědla butan-1-ol a butan-2-ol sloužily ke zlepšení adheze mezi polycarbonátovou deskou a vrstvou laku.

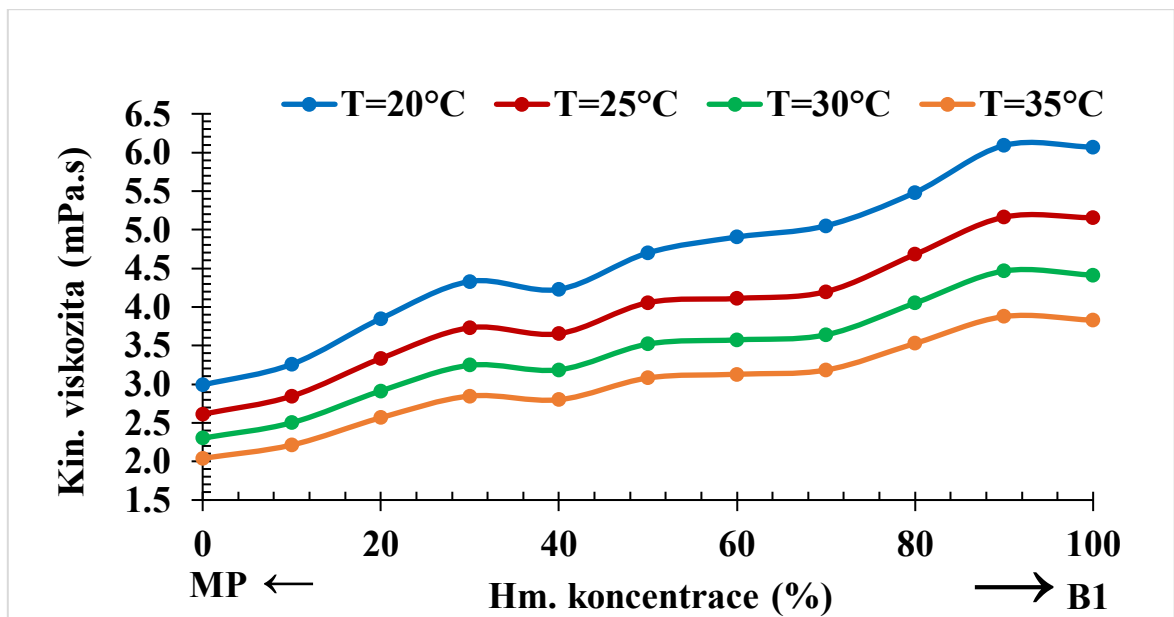
8.1.1 Systém lak / rozpouštědlo (dewanol / butan-1-ol)

U prvního systému laku v kombinaci se směsí rozpouštědel dewanol a butan-1-ol můžeme na obrázku závislosti kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách pozorovat poměrně rychlý nárůst hodnoty kinematické viskozity se zvyšující se hmotnostní koncentrací ředila butan-1-olu ve vzorku. Také si můžeme všimnout náhlého snížení páte a jedenácté hodnoty kinematické viskozity oproti předchozímu vzorku s nižší hmotnostní koncentrací butan-1-olu a vyšší hmotnostní koncentrací dewanolu, což mohlo být způsobeno chybou při přípravě vzorku vzhledem ke stále se držícímu rostoucímu trendu. Měření při různých teplotách neukazuje velké rozdíly snad až na trend, že při klesající teplotě dochází ke snižování rozdílů hodnot kinematické viskozity nebo také mezi jednotlivými křivkami kinematické viskozity jednotlivých se se snižující teplotou přibližují. S narůstajícím podílem butan-1-olu dochází ke zvýraznění tohoto trendu.

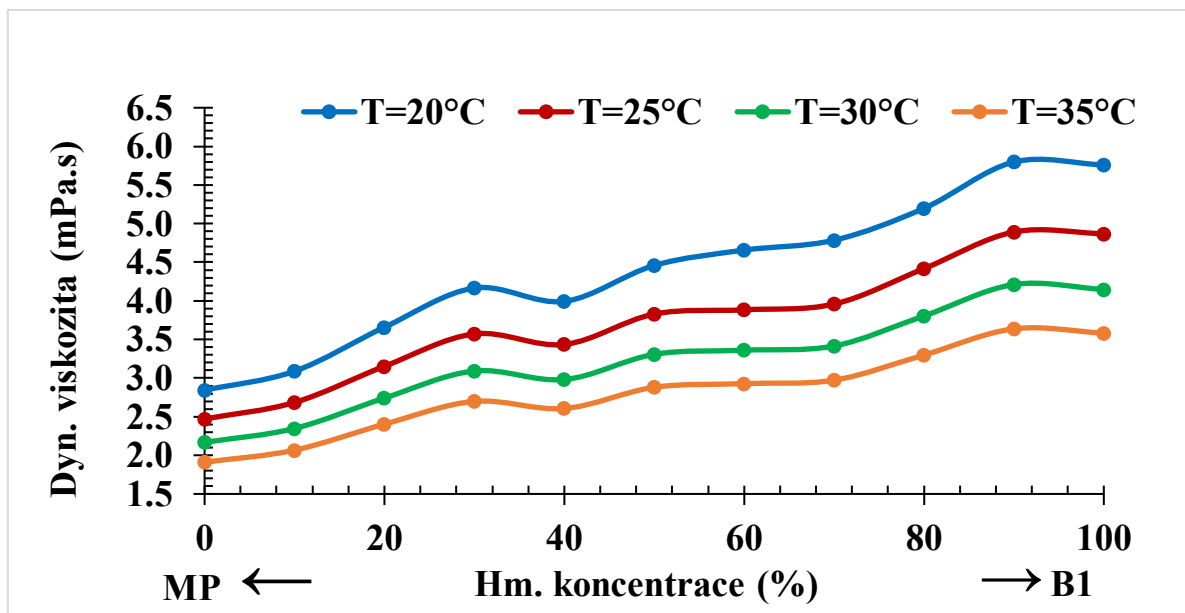
U druhého obrázku závislosti dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách si můžeme opět všimnou rostoucího trendu se zvyšováním podílu butan-1-olu a anomálie u páte a jedenácté hodnoty dynamické viskozity. Také se opět ukazuje trend, kdy dochází ke snižování rozdílů mezi jednotlivými hodnotami dynamické viskozity s klesající teplotou. Opět dochází ke zvýraznění tohoto trendu s narůstajícím podílem butan-1-olu.

U obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci můžeme pozorovat zvláštní průběh všech křivek, kdy dochází k jejich nerovnoměrnému průběhu. Ze začátku tudíž od vzorku

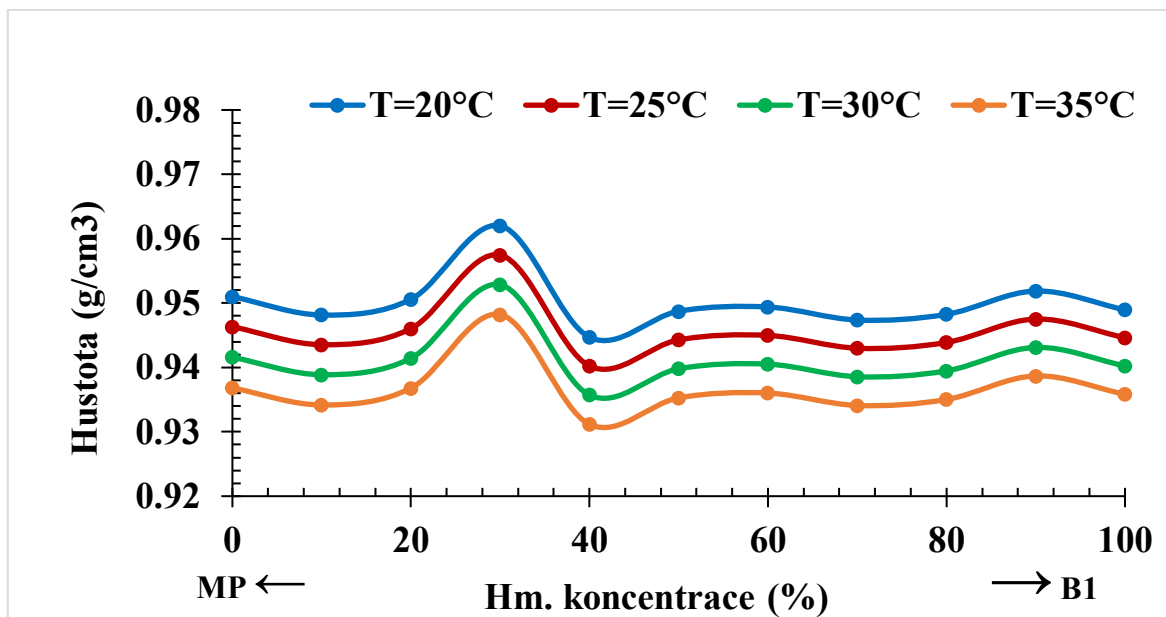
s nejnižším množstvím butan-1-olu můžeme vidět klesající trend, který náhle prudce vzroste, dále klesne pod hodnotu vzorku s nejnižším podílem butan-1-olu a následně je průběh skoro rovnoměrný, kdy u poslední jedenácté hodnoty opět vidíme trend klesající. U vyhodnocení hustoty odlišná teplota tolik neovlivnila rozdíly mezi křivkami průběhu jednotlivých teplot.



Obrázek 5 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 6 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 7 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

Tloušťka

Po vyhodnocení základních charakteristik laku jako je kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota v závislosti na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách a nanesení vrstvy laku na polycarbonátové desky byla měřena tloušťka této vrstvy. tloušťka této vrstvy u tohoto systému byla měřena pouze pro tři rozdílné vzorky s poměrem rozpouštědel 70/30, 50/50 a 30/70 hmotnostních procent dawanolu vůči butan-1-olu. U vzorků s těmito poměry byla tloušťka měřena ve třech vzdálenostech od horního kraje desky a to jednom, třech a pěti centimetrech. U všech vzorků si můžeme všimnout, že s narůstající vzdáleností od horního kraje desky dochází i k nárůstu tloušťky vrstvy laku. To je problém, který se snažíme vyřešit kombinací různých typů rozpouštědel a nalezení ideálního poměru popřípadě pochopení principu chování laku k vyhovění požadavků kladených na tloušťky vrstvy laku. Z výsledků tloušťky vrstvy laku si také lze všimnout, že s narůstajícím podílem butan-1-olu dochází nárůstu tloušťky vrstvy laku, což může být zapříčiněno narůstající kinematickou a dynamickou viskozitou. Hustota těchto vzorků ukazuje na anomálii u v vzorku s poměrem 70/30, kdy je rozdíl tloušťek vrstvy laku od horní ke spodní straně desky větší než u následujícího vzorku s poměrem 50/50.

Tabulka 2 tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)	1	3	5	Δ tloušťky
poměr MP/B1-LAK (hm. %)	tloušťka laku (μm)			(μm)
	(tloušťka IPL nenaměřitelná)			
70/30	2.1	2.8	3.4	1.3
	1.9	2.6	3.3	1.4
	1.9	2.7	3.4	1.5
	2.0	2.9	3.4	1.5
	2.7	3.0	3.4	0.7
	2.2	3.0	3.4	1.1
50/50	2.6	3.2	3.4	0.8
	3.0	3.0	4.1	1.0
	2.5	3.4	3.8	1.3
	3.4	3.5	4.6	1.3
	3.2	3.9	7.8	4.6
	2.1	3.4	3.7	1.6
30/70	2.8	4.5	4.9	2.2
	2.4	3.6	4.5	2.1
	2.6	3.5	3.7	1.1
	3.1	4.2	4.0	0.9
	2.9	4.0	4.5	1.6
	2.7	3.8	4.2	1.4

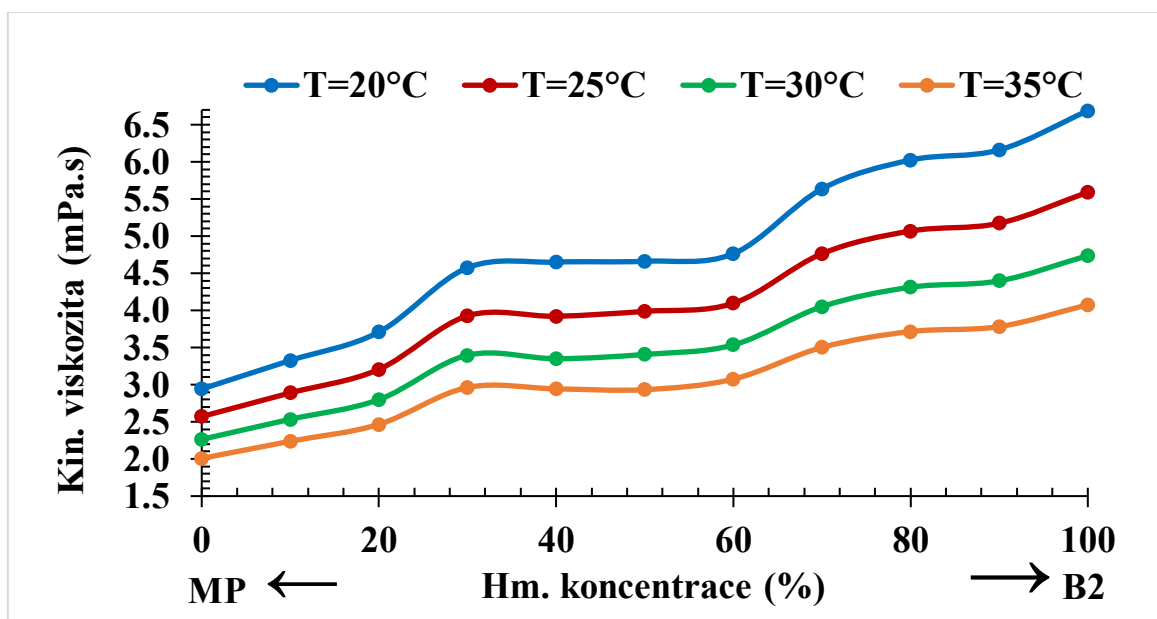
8.1.2 Systém lak / (dowanol / butan-2-ol)

U prvního systému laku v kombinaci se směsí rozpouštědel dowanol a butan-2-ol můžeme u obrázku závislosti kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách pozorovat rychlý nárůst hodnoty kinematické viskozity se zvyšující se hmotnostní koncentrací ředila butan-2-olu ve vzorku. Také si můžeme všimnout skoků čtvrté, osmé a jedenácté hodnoty kinematické viskozity oproti předchozím vzorkům s nižší hmotnostní koncentrací butan-2-olu a vyšší hmotnostní koncentrací dowanolu, což mohlo být způsobeno chybou při přípravě vzorku vzhledem ke stále se držícímu rostoucímu trenu

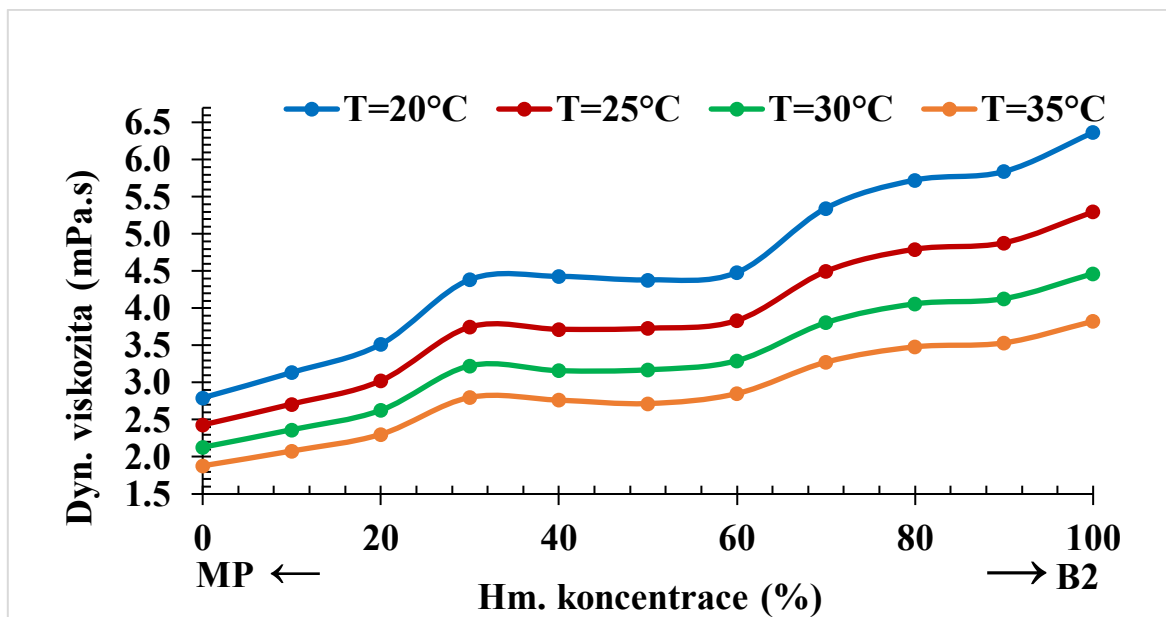
v průběhu všech křivek. Měření při různých teplotách neukazuje velké rozdíly snad až dna trend, že při klesající teplotě dochází ke snižování rozdílů hodnot kinematické viskozity nebo také jednotlivé křivky kinematické viskozity se snižující teplotou přibližují. S narůstajícím podílem butan-2-olu dochází ke zvýraznění tohoto trendu.

U druhého obrázku závislosti dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách si můžeme opět všimnou rostoucího trendu se zvyšováním podílu butan-2-olu a anomálie u čtvrté, osmé a jedenácté hodnoty dynamické viskozity. Také se opět ukazuje trend, kdy dochází ke snižování rozdílů mezi jednotlivými hodnotami dynamické viskozity s klesající teplotou. Opět dochází ke zvýraznění toho trendu s narůstajícím podílem butan-2-olu.

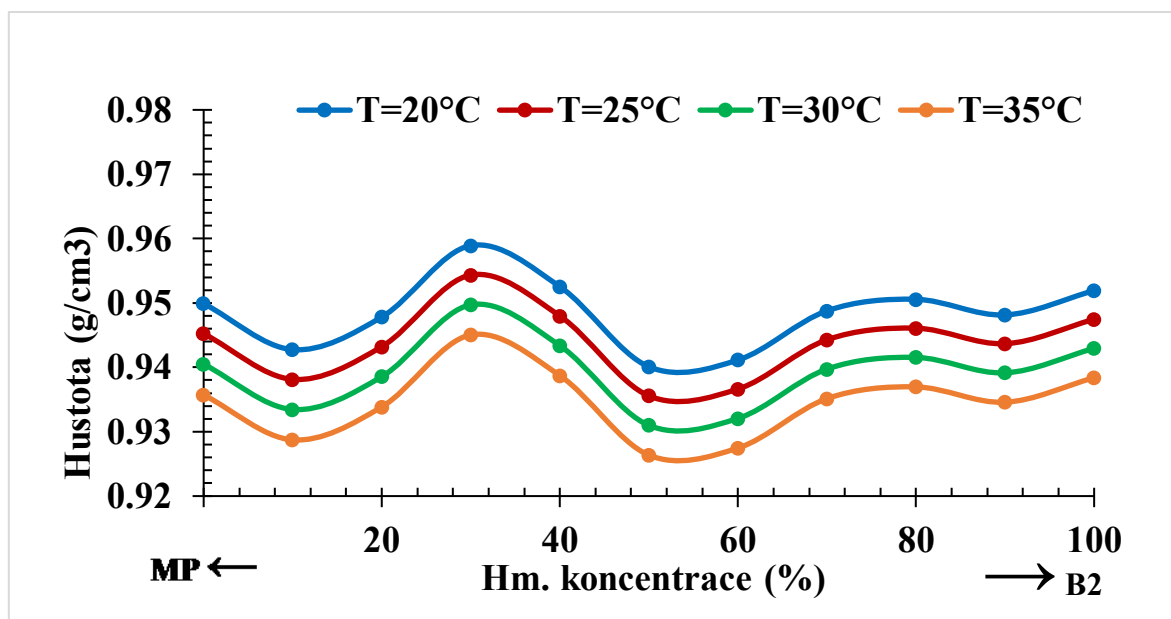
U obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci můžeme pozorovat zvláštní průběh všech křivek, kdy dochází k jejich nerovnoměrnému průběhu. Ze začátku tudíž od vzorku s nejnižším množstvím butan-1-olu můžeme vidět klesající trend, který náhle prudce vzroste, dále klesne pod hodnotu vzorku s nejnižším podílem butan-1-olu a nejvyšším podílem dvanácti a následně se průběh mírně ustaluje, kdy u poslední jedenácté hodnoty vidíme trend narůstající. U vyhodnocení hustoty odlišná teplota tolik neovlivnila rozdíly mezi průběhem křivek jednotlivých teplot.



Obrázek 8 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 9 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 10 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

Tloušťka

Po vyhodnocení základních charakteristik laku jako je kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota v závislosti na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách a nanesení vrstvy laku na polycarbonátové desky byla měřena tloušťka této vrstvy. Tloušťka této vrstvy u tohoto systému byla měřena pouze pro tři rozdílné vzorky

s poměrem rozpouštědel 70/30, 50/50 a 30/70 hmotnostních procent dvanololu vůči butan-1-olu. U vzorků s těmito poměry byla tloušťka měřena ve třech vzdálenostech od horního kraje desky a to jednom, třech a pěti centimetrech. U všech vzorků si můžeme všimnout, že s narůstající vzdáleností od horního kraje desky dochází i k nárůstu tloušťky vrstvy laku. Z výsledků tloušťky vrstvy laku si také lze všimnout, že s narůstajícím podílem butan-2-olu dochází k nárůstu tloušťky vrstvy laku, což může být zapříčiněno narůstající kinematickou a dynamickou viskozitou. U těchto výsledků můžeme pozorovat že anomálie z obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci tolik neovlivnily trošku vrstvy laku a to z toho důvodu, že lze pozorovat postupně narůstajícího rozdílu tloušťky vrstvy laku s rostoucím podílem butan-2-olu.

Tabulka 3 tloušťka vrstvy laku

vzdálenost od kraje desky (cm)	1	3	5	Δ tloušťky
poměr MP/B2-LAK (hm. %)	tloušťka laku (μm)			(μm)
	(tloušťka IPL nenaměřitelná)			
70/30	2.1	2.5	2.6	0.5
	1.9	2.4	2.7	0.8
	1.7	2.2	2.5	0.8
	1.9	2.0	2.6	0.7
	1.9	1.9	2.4	0.5
	2.1	2.3	2.8	0.7
50/50	2.1	2.3	2.7	0.6
	2.0	2.3	2.9	0.9
	2.1	2.6	2.7	0.6
	2.9	2.3	2.8	0.2
	2.3	3.2	3.9	1.6
	2.1	3.1	4.5	2.4
30/70	3.0	3.2	3.8	0.8
	2.8	3.4	3.7	0.9
	2.9	3.5	5.3	2.4
	3.3	4.6	5.8	2.5
	2.6	4.0	3.9	1.2

Porovnání jednotlivých systému

Na první pohled si lze všimnout, že při změně rozpouštědla u druhého systému na směs dvanololu s butan-2-olem došlo k výraznému snížení rozdílu tloušťky vrstvy laku od horní ke spodní straně desky a také se snížení tloušťky vrstvy laku jako takové. Druhý systém byl oproti prvnímu systému značně účinnější se týče snížení rozdílu tloušťky vrstvy laku mezi horní a spodní stranou desky. Nárůst tloušťky byl také mnohem postupnější a podařilo se snížit celkovou tloušťku vrstvy laku.

8.2 Poměr směsi: 72% laku a 28% rozpouštědla

Vzhledem k tomu, že průběh hodnot a výsledky vyhodnocení tloušťky vrstvy laku se nám nezdály dostatečně účinné, tak jsme připravili další poměr směsi laku, kdy jsme použily 72% laku na 28% rozpouštědla. U tohoto poměru směsi laku došlo k nárůstu podílu laku opoiti snížení podílu rozpouštědla. K tomu nás vedly výsledky tloušťky vrstvy laku z prvního poměru směsi 60% laku a 40% rozpouštědla, kdy byla tloušťka vrstvy laku příliš tenká a nedošlo k vytvoření vrstvy ipl, která slouží ke zlepšení adheze mezi podkladovým materiálem a nanesenou vrstvou laku. U tohoto poměru laku a rozpouštědel jsme tentokrát připravily tři rozdílné systémy s lišícími se typy rozpouštědel. Při přípravě těchto systémů při daném poměru laku a rozpouštědel jsme vždy dodržovaly stejné dávkování laku a měnily jsme podíly jednotlivých rozpouštědel. Konstantě využívaným rozpouštědlem byl dvanol, který jsme využily u všech třech systému a druhým rozpouštědlem, tetokrát u každého systému odlišným byl pro první systém butan-1-ol a pro druhý systém butan-2-ol a pro třetí systém isopropylalkohol. Dvanol, který je typickým rozpouštědlem využívaným k ředění toho typu laku slouží k dosažení homogení tloušťky vrstvy laku na polycarbonátové desce. Rozpouštědla butan-1-ol, butan-2-ol a další isopropylalkohol sloužily k vytvoření vrstvy ipl tedy, zlepšení adheze mezi polycarbonátovou deskou a vrstvou laku.

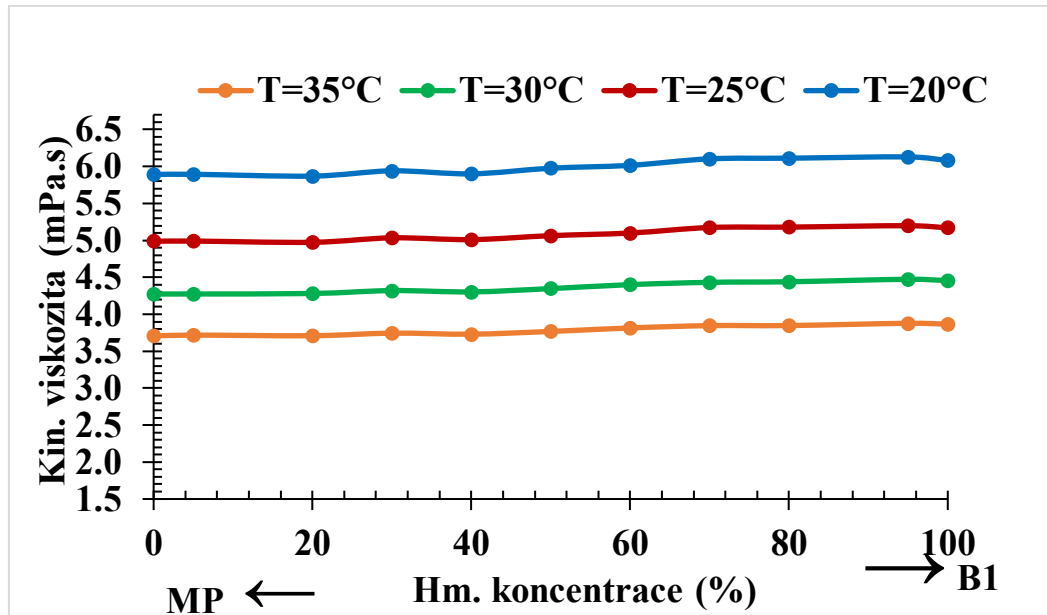
8.2.1 Systém lak / (dvanol / butan-1-ol)

U prvního systému laku v kombinaci se směsí rozpouštědel dvanololu a butan-1-olu můžeme u obrázku závislosti kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách pozorovat poměrně konstantní průběh hodnot kinematické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci, což je v pořádku, protože se snažíme dosáhnout

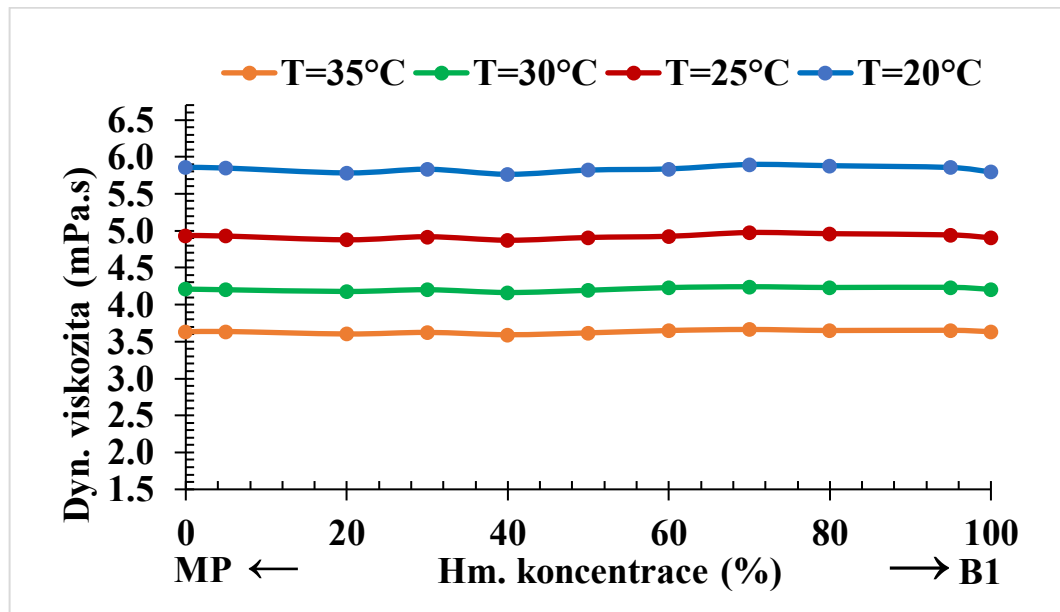
konstantního průběhu křivek s měnícími se podíly rozpouštědel. Nebo také s měnícími se podíly rozpouštědel nedochází ke změně hodnot kinematické viskozity, tudíž průběh křivek kinematické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci se s narůstajícím podílem butan-1-olu nemění, je přibližně konstantní. Také si lze všimnout, že při změně teplot nedochází k rozdílným průběhům křivek a lze pozorovat, že se snížením teploty dochází k celkovému nárůstu kinematické viskozity a trendu, kdy dochází ke snížení rozdílů hodnot kinematické viskozity s rostoucí teplotou neboli křivky jednotlivých teplot se přibližují.

U druhého obrázku závislosti dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách si můžeme opět všimnout poměrně konstantního průběhu hodnot tentokrát dynamické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci, což je opět v pořádku, protože se cílem bylo dosáhnout konstantního průběhu křivek s měnícími se podíly rozpouštědel. Nebo také, aby nedocházelo ke změně hodnot dynamické viskozity s měnícími podíly rozpouštědel, což znamená, že měnící se poměr rozpouštědel neovlivňuje hodnoty viskozit. Také si lze všimnout, že při změně teplot nedochází k rozdílným průběhům křivek a lze pozorovat, že se snížením teploty dochází k celkovému nárůstu dynamické viskozity a trendu, kdy dochází ke snížení rozdílů hodnot dynamické viskozity s rostoucí teplotou neboli křivky jednotlivých teplot se přibližují stejně jako je tomu u kinematické viskozity.

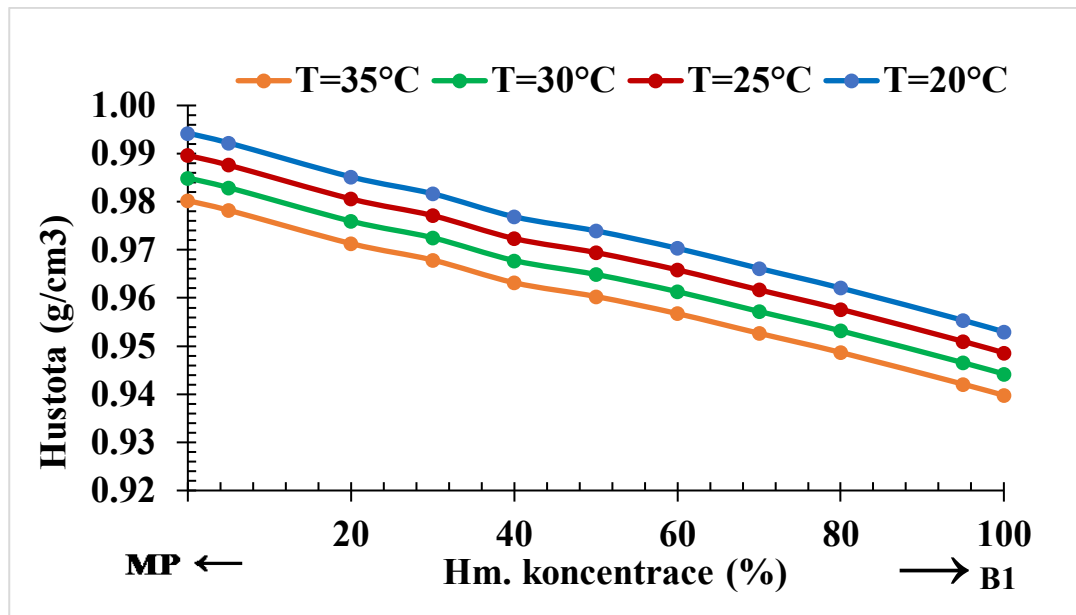
U obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci můžeme pozorovat u všech křivek pozorovat konstantní klesající trend, kdy se zvyšováním podílu butan-1-olu a snižováním podílu dioxanu dochází ke kontinuálnímu snižování hodnot hustoty. Podle tohoto průběhu křivek dochází k postupnému snižování hustoty s rostoucím podílem butan-1-olu. U vyhodnocení hustoty odlišná teplota tolik neovlivňuje rozdíly mezi průběhy křivek jednotlivých teplot.



Obrázek 11 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 12 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 13 závislost hustoty viskozity na hmotnostní koncentraci

Tloušťka

Po vyhodnocení základních charakteristik laku jako je kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota v závislosti na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách a nanesení vrstvy laku na polycarbonátové desky byla měřena tloušťka těchto vrstev. Oproti prvnímu systému poměru laku 60% laku ku 40% rozpouštědel byla tloušťka vrstvy laku u těchto systémů měřena u všech vzorků s rozdílnými poměry rozpouštědel, tedy jedenácti vzorků. Dalším rozdílem oproti prvnímu systému poměru laku 60% laku ku 40% rozpouštědel bylo, že tloušťka byla měřena v šesti různých vzdálenostech od kraje desky a to jednom, třech, pěti, sedmi, devíti a jedenácti centimetrech. U všech vzorků lze pozorovat, že s narůstající vzdáleností od horního kraje desky dochází k postupnému nárůstu tloušťky vrstvy laku s příklíčováním se spodnímu kraji desky. S narůstajícím podílem butan-1-olu a snižujícím podílem dowlanolu docházelo k poměrnému zvyšování tloušťky vrstvy laku, čehož příčina tkví v poměru a vlastnostech jednotlivých rozpouštědel, kdy dowlanol slouží k vytvoření homogenní vrstvy s minimálním rozdílem mezi vrchní a spodní stranou desky a butan-1-ol ke zlepšení adheze a vytvoření ipl vrstvy, což způsobuje i zvyšující tloušťku vrstvy laku s jeho narůstajícím podílem. Rozdíl tloušťek byl poměrně vyrovnaný u všech systému. Pouze u systému s poměrem rozpouštědel 80/20 došlo výraznému nárůstu tloušťky vrstvy laku od horní ke spodní straně desky. Tento jev mohl

být způsoben chybou při lakování vzorku z toho důvodu, že u ostatních systému k tak výraznému nárůstu tloušťky vrstvy laku nedochází.

Tabulka 4 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

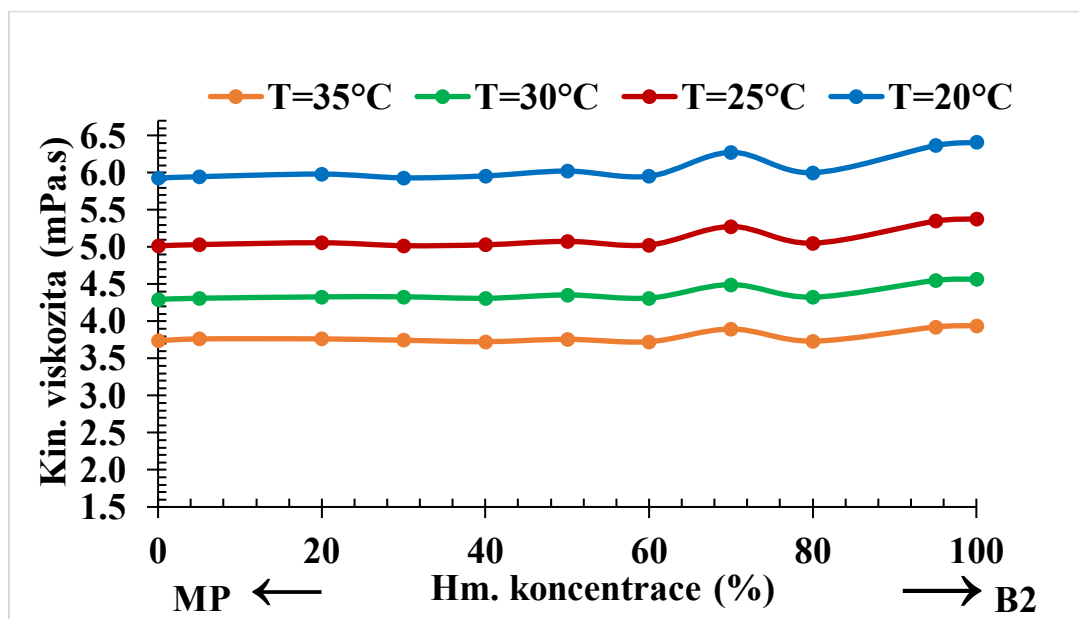
8.2.2 Systém lak/ (dowanol / butan-2-ol)

U druhého systému laku v kombinaci se směsí rozpouštědel dowanolu a butan-2-olu můžeme u obrázku závislosti kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách pozorovat poměrně konstantní průběh hodnot kinematické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci, což je opět vzhledem k naší snaze v pořádku, kdy nám jde o to, aby se s měnícími podíly rozpouštědel nedocházelo ke změně hodnot kinematické viskozity a průběh křivek kinematické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci se s narůstajícím podílem butan-2-olu neměnil a zůstal konstantní. Jedinou výjimku tvoří osmí vzorek, kdy dochází k mírnému vychýlení hodnoty kinematické viskozity, což může být opět způsobeno chybou při přípravě vzorku vzhledem k rovnoměrnému průběhu křivek u ostatních vzorků. Také si lze všimnout, že při změně teplot opět nedochází k rozdílným průběhům křivek a lze pozorovat, že se snížením teploty

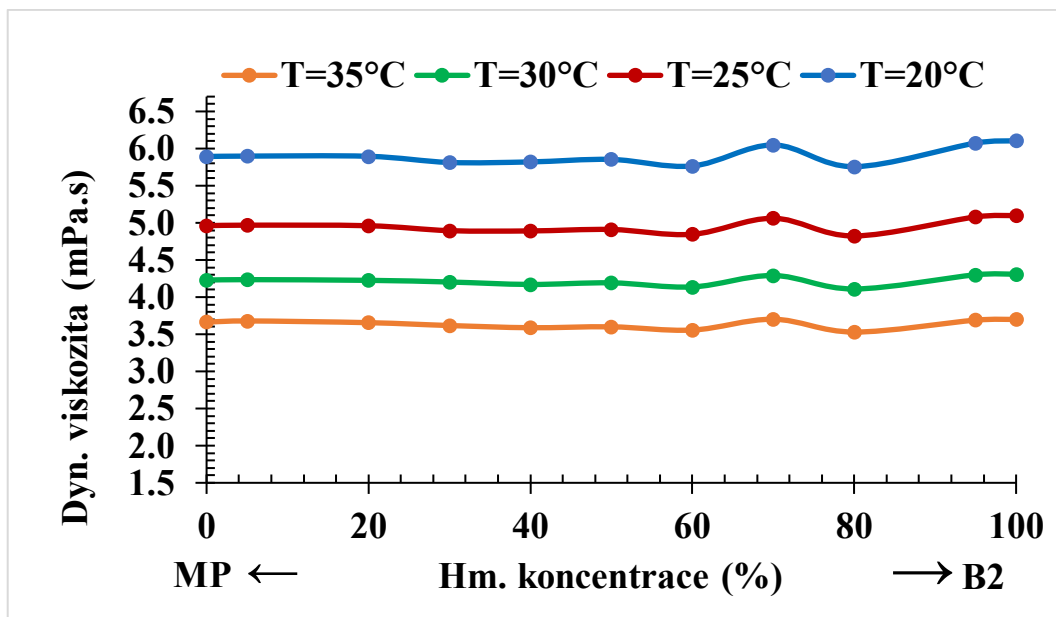
dochází k celkovému nárůstu kinematické viskozity a trendu, kdy dochází ke snížení rozdílů hodnot kinematické viskozity s rostoucí teplotou neboli křivky jednotlivých teplot se přibližují.

U druhého obrázku závislosti dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách vidíme poměrně konstantní průběh hodnot dynamické viskozity v závislosti na hmotnostní koncentraci. Jedinou výjimku tvoří již zmiňovaný osmý vzorek. Při změně teplot nedocházelo k příliš odlišnému průběhu křivek. Hodnoty dynamické viskozity se však s měnící se teplotou lišily. Při narůstající teplotě docházelo ke snižování hodnot dynamické viskozity, což odpovídá typickému chování viskozity. Všechny trendy probíhaly podobně jako u kinematické viskozity.

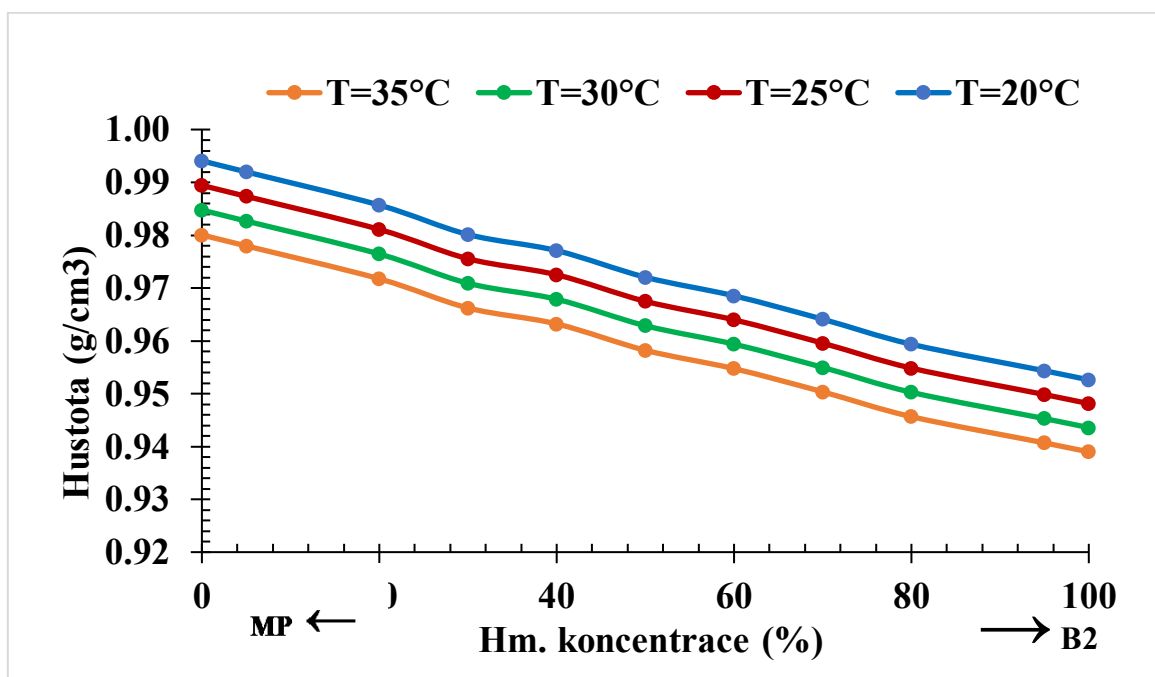
U obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci můžeme pozorovat u všech křivek konstantní klesající trend, kdy se zvyšováním podílu butan-2-olu a snižováním podílu dvanolu dochází ke kontinuálnímu snižování hodnot hustoty podobně jako je tomu u prvního systému. S měnící se teplotou nedocházelo k rozdílnému průběhu křivek ani nerovnoměrně měnící se hodnotě hustoty.



Obrázek 14 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 15 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci

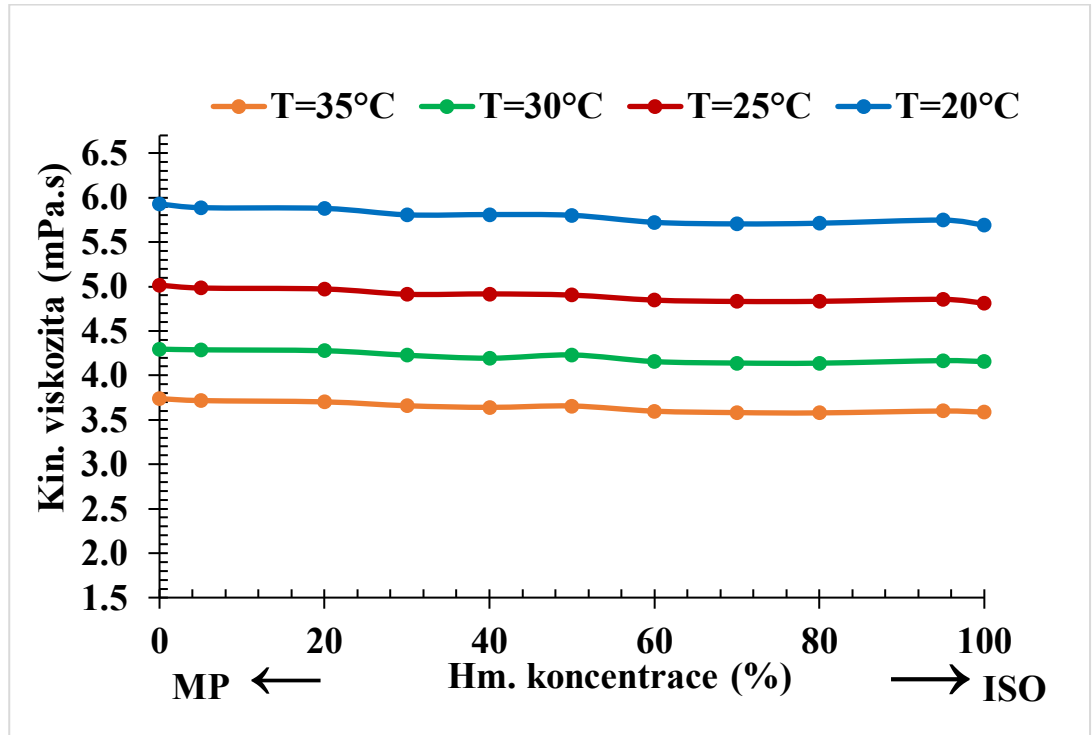


Obrázek 16 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

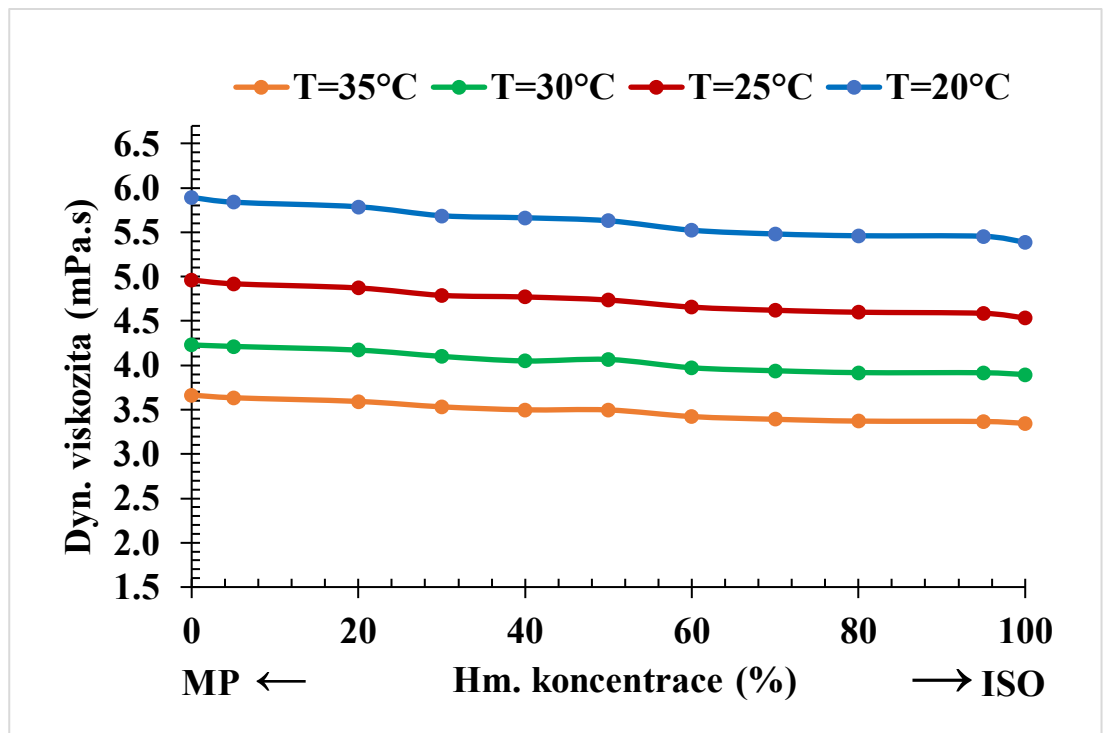
Tloušťka

Poté co byly vyhodnoceny základní charakteristiky laku, jako je kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota v závislosti na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách a nanesení vrstvy laku na polycarbonátové desky byla měřena tloušťka těchto vrstev laku. U toho systému dochází ke snížení rozdílů tloušťky vrstvy laku mezi

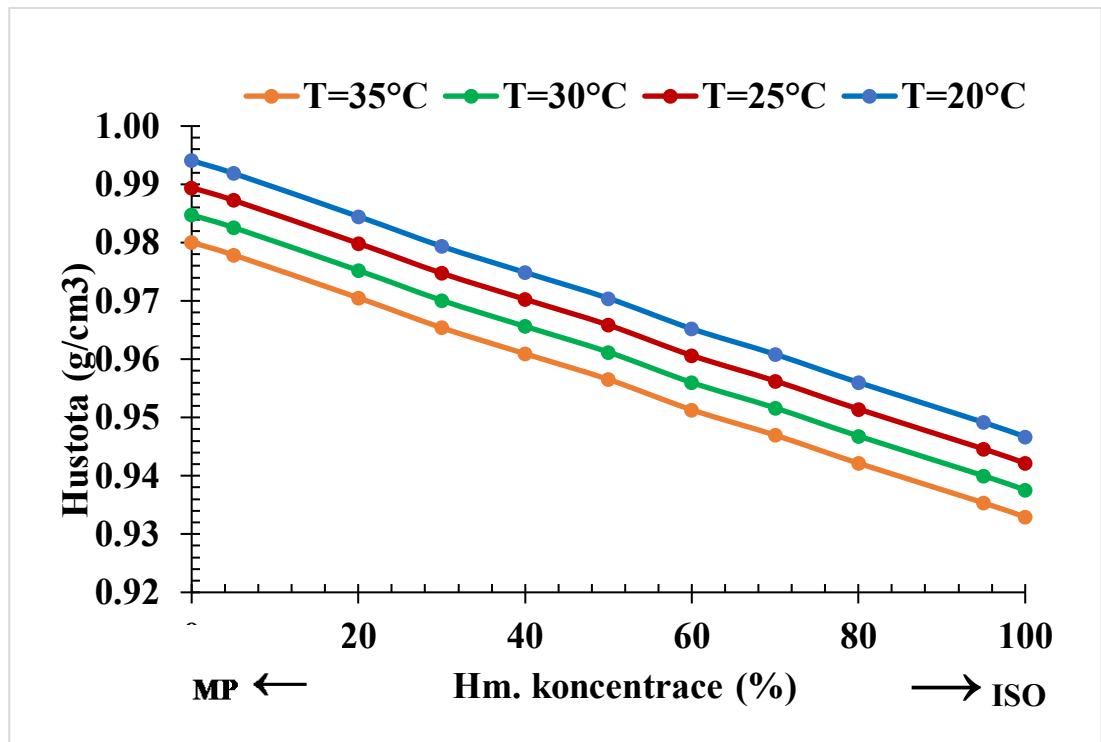
U třetího obrázku závislosti hustoty na hmotnostní koncentraci vidíme rovnoměrné klesající trend s narůstajícím podílem isopropylalkoholu ve směsi. Teplota nějak významně neovlivňuje průběh křivek.



Obrázek 17 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 18 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci



Obrázek 19 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

Tloušťka

U toho systému, kdy bylo využité odlišné rozpouštědlo nedošlo k výrazně odlišným výsledkům co se týče měření tloušťky vrstvy laku. Můžeme pozorovat celkový nárůst tloušťky a také nárůst tloušťky od horní ke spodní straně desek.

Porovnání jednotlivých systémů

U jednotlivých systémů byl pozorován poměrně podobný průběh všech vyhodnocovaných hodnot, jako je kinematická viskozita, dynamická viskozita a hustota v závislosti na hmotnostní koncentraci při čtyřech různých teplotách. U všech systémů byl průběh vyhodnocovaných křivek poměrně konstantní, což bylo cílem.

U vyhodnocení tloušťky vrstvy laku se výsledky poměrně lišily, kdy od prvního ke třetímu systému došlo k nárůstu celkové tloušťky vrstvy laku a v neposlední řadě nejvyšší rozdíl tloušťky vrstvy laku od horní ke spodní straně desek nastal u prvního a druhého systému.

celkové porovnání obou poměrů

U prvního poměru pozorujeme odlišné chování kinematické viskozity, dynamické viskozity a hustoty v závislosti na hmotnostní koncentraci, což má vliv na konečnou tloušťku vrstvy naneseného laku. U tohoto poměru mají tetované vzorky celkově nižší tloušťku vrstvy laku, což je zapříčiněno jejich složením, kdy poměr směsi obsahuje větší objem rozpouštědel. Naopak u druhého systému díky vyššímu podílu laku dochází

k vytvoření tlustší vrstvy laku. Pro charakterizaci chování uv vytvrditelných laků tedy docházíme k tvrzení, že s narůstajícím podílem laku dochází i k nárůstu tloušťky jeho vrstvy. Dále u jednotlivých systémů pozorujeme, že s klesajícím podílem rozpouštědla dowanolu, které slouží ke snížení viskozity laku a vytvoření homogenní vrstvy se tloušťka vrstvy laku zvyšovala. U všech systémů docházelo ke zvyšování tloušťky vrstvy laku od horního kraje desky ke kraji spodnímu. Ideálním systémem se zdá systém využívající rozpouštědlo isopropylalkohol, u kterého lze pozorovat dostatečnou tloušťku vrstvy s nízkým rozdílem tloušťek od horního okraje ke spodnímu.

Tabulka 6 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

ZÁVĚR

Při tomto experimentu jsme charakterizovali základní vlastnosti UV vytvrditelného laku na akrylátové bázi. Naším cílem bylo pochopení a vyhodnocení základních charakteristik UV vytvrditelného laku ve snaze připravit směsi tohoto laku, které by svým chováním odpovídaly zadaným požadavkům. K tomuto účelu byly připraveny dva poměry směsi laku a rozpouštědel u prvního poměru jsme využily 60% laku a 40% rozpouštědel, jenž byl následně rozdělen na dva podsystémy lišící se typy rozpouštědel a druhý systém u kterého jsme využily poměr směsi 72% laku a 28% rozpouštědel, který byl následně rozdělen na tři podsystémy. Charakterizace obou poměrů a systémů laků byly vzájemně porovnány a následně vyhodnoceno chování UV vytvrditelného laku. Následně byly vzorky UV vytvrditelného laku nanášeny na polycarbonátové desky a změřena tloušťka vrstvy laku. Výsledky tohoto měření byly navzájem porovnávány a vzorky laku charakterizovány, tak abychom byly schopni připravit směs laku a rozpouštědel dle zadaných požadavků, jenž se týčou celkové tloušťky vrstvy laku a rozdílu tloušťky vrstvy laku mezi horním a spodním krajem desky. Dle provedených analýz se ukázalo, že ideálním systémem je systém směsi laku využívající kombinaci směsi rozpouštědel downolu a isopropylalkoholu, kdy došlo ke snížení rozdílu tloušťky vrstvy laku mezi horním a spodním okrajem desek a nárůstu celkové tloušťky vrstvy laku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Reinhold Schwalm. UV Coatings Basics, Recent Developments and New Applications [online] © 2006 Elsevier Science. ISBN-13: 978-0444529794.

[3] Prof. Dr. Artur Goldschmidt/Dr. Hans-Joachim Streitberger BASF HANDBOOK ON Basics of Coating Technology 2nd revised edition [online]. © 2007 BASF Coatings AG, Münster/Germany. ISBN 978-3-86630-903-6

[2] Ulrich Poth, Dr. Reinhold Schwalm, Dr. Manfred Schwartz, Dr. Roland Baumstark. Acrylic Resins[online]. © Copyright 2011 by Vincentz Network, Hanover, Germany. ISBN: 978-3-86630-809-1

[4] Dieter Stoye, Werner Freitag. Paints, Coatings and Solvents [online]. © WILEY-VCH Verlag GmH, D-69469 Weinheim (Federal Republic of Germany). 1998 ISBN 3-527-28863-5

[5] Vijay Mannari | Chintankumar J. Patel. Understanding Coatings Raw Materials [online]. © Copyright 2015 by Vincentz Network, Hanover, Germany ISBN: 978-3-86630-603-5

[6] Philip A. Schweitzer, P.E. Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance [online]. © 2006 by Taylor & Francis Group, ISBN-13: 978-1-57444-702-6

[7] Werner-Michael Kulicke, Christian Clasen. Viscosimetry of Polymers and Polyelectrolytes [online]. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004. ISBN 3-540-40760-X

[8] Polymer properties database [online]. © 2015. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/UV%20Curing%20Resins.html>

[9] G A Lindberg ChemTech Blogg [online]. © 2007-2020 G A Lindberg ChemTech AB | G A Lindberg-bolagen. Dostupné z: <https://www.galindberg.se/blogg/uv-curing-acrylic-vs-uv-epoxy/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV ultrafialové záření

EB elektronový paprsek

VOC těkavá organická látka

L délka

R poloměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

1. Obr. č.1 1.2.1 : Estery kyseliny akrylové a kyseliny methakrylové [3] Ulrich Poth, Dr. Reinhold Schwalm, Dr. Manfred Schwartz, Dr. Roland Baumstark. Acrylic Resins[online]. © Copyright 2011 by Vincentz Network, Hanover, Germany. ISBN: 978-3-86630-809-1
2. Obr. č.2 2.2.1.1 Štěpení 2,2-dimethoxy-1, 2-difenyl-ethan-1-onu [2] Polymer properties database [online]. © 2015.Dostupné z:
<https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
3. <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
4. Obr. č.3 2.2.1.2 Proces odebrání vodíku fotoiniciátorem [2] Polymer properties database [online]. © 2015.Dostupné z:
<https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
5. <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
6. Obr. č.4 2.2.1.3 Proces zabránění inhibice kyslíkem aminem [2] Polymer properties database [online]. © 2015.Dostupné z:
<https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Photoinitiators1.html>
7. obr.
https://www.google.com/search?q=lovis+2000+ME+Anton+paar&rlz=1C1CHBF_enCZ808CZ808&sxsrf=ALeKk03xOUVCGERu10Wo-sm8ICbISVs4xw:1590160805655&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiztNPP4sfpAhWCRBUIHcSpDKIQ_AUoAXoECAsQAw&biw=1536&bih=754#imgrc=Q3FvliboMDE7PM
8. Obrázek 5 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci
9. Obrázek 6 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci
10. Obrázek 7 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci
11. Obrázek 8 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci
12. Obrázek 9 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci
13. Obrázek 10 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

14. Obrázek 11 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci
15. Obrázek 12 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci
16. Obrázek 13 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci
17. Obrázek 14 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci
18. Obrázek 15 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci
19. Obrázek 16 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci
20. Obrázek 17 závislost kinematické viskozity na hmotnostní koncentraci
21. Obrázek 18 závislost dynamické viskozity na hmotnostní koncentraci
22. Obrázek 19 závislost hustoty na hmotnostní koncentraci

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti a složení laku

Tabulka 2 Tloušťka vrstvy laku

Tabulka 3 Tloušťka vrstvy laku

Tabulka 4 Tloušťka vrstvy laku

Tabulka 5 Tloušťka vrstvy laku

Tabulka 6 Tloušťka vrstvy laku

