

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Katedra polygrafie a fotofyziky

VLIV RYCHLOSTI TISKU NA STUPEŇ VYTVRZENÍ  
UV BAREV A LAKŮ

Jana Břízová

Bakalářská práce

2019

University of Pardubice

Faculty of chemical technology

Department of graphic arts and photophysics

INFLUENCE OF PRINTING SPEED  
ON THE CURING LEVEL OF UV INKS AND VARNISHES

Jana Břízová

Bachelor thesis

2019

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana Břízová**  
Osobní číslo: **C15161**  
Studijní program: **B3441 Polygrafie**  
Studijní obor: **Polygrafie**  
Název tématu: **Vliv rychlosti tisku na stupeň vytvrzení UV barev a laků**  
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

### Zásady pro vypracování:

1. Na základě studia odborné literatury se podrobně seznámte s problematikou vytvrzování barev a laků UV zářením.
2. V experimentální části práce proveďte srovnávací studii vlivu rychlosti tisku a dávky ozáření na vytvrzení UV zářením tvrditelných barev a laků. Hodnocení stupně konverze testovaných barev a laků proveďte pomocí infračervené spektroskopie.
3. Dosažené výsledky analyzujte a souhrnně zpracujte ve formě závěrečné písemné práce.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Bohumil Jašúrek, Ph.D.**

Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 6. 2019

Jana Břízová

#### Poděkování:

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Bohumilu Jašůrkovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a trpělivost při zpracování této bakalářské práce, také panu Liboru Oplatkovi z tiskárny Model obaly v Opavě, za poskytnutí materiálů a spolupráci. Dále bych chtěla poděkovat svému otci a svému příteli za podporu při studiu.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce je zaměřena na studii vlivu rychlosti tisku a dávky ozáření na stupeň vytvrzení ofsetových UV barev a laku. V teoretické části jsou popsány informace související s UV barvami a laky. V experimentální části práce jsou pak vyhodnocovány a porovnávány naměřené hodnoty stupně konverze UV zářením tvrditelných barev a laků v závislosti na rozdílné rychlosti tisku a nastavení rtuťové výbojky (zdroj záření). Stupeň dosažené konverze byl hodnocen infračervenou spektroskopií pomocí ATR techniky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

UV barva, UV lak, infračervená spektroskopie, stupeň konverze, rychlost tisku, dávka ozáření

## **TITLE**

Influence of printing speed on the curing level of UV inks and varnishes

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is focused on the study of influence of printing speed and irradiation dose on the curing level of UV inks and varnish. In the theoretical part are described the information related with UV inks and varnishes. In the experimental part of the thesis, there are evaluated and compared the measured values of the curing level of UV curable inks and varnishes depending on the different printing speed and setting of the mercury lamp (radiation source). The degree of conversion was evaluated by infrared spectroscopy using ATR technique.

## **KEYWORDS**

UV ink, UV varnish, infrared spectroscopy, degree of conversion, printing speed, irradiation dose

## OBSAH

|   |    |
|---|----|
| SEZNAM ILUSTRACÍ .....  | 9  |
| SEZNAM TABULEK .....  | 10 |
| Úvod.....   | 12 |
| 1 Teoretická část.....  | 13 |
| 1.1 UV zářením tvrditelné barvy.....                                    | 13 |
| 1.1.1 Složení UV zářením tvrditelných barev a laků.....                 | 13 |
| 1.1.2 Mechanismus vytvrzování UV zářením tvrditelných barev a laku..... | 16 |
| 1.1.3 Výhody a nevýhody UV barev a laků oproti konvenčním barvám .....  | 17 |
| 1.1.4 Použití UV barev a laků.....                                      | 18 |
| 1.2 Nízkomigrační UV barvy a laky .....                                 | 19 |
| 1.2.1 Nízkomigrační tisk/provoz .....                                   | 21 |
| 1.3 Zdroje UV záření – rtuťové výbojky.....                             | 24 |
| 1.4 Způsoby měření vytvrzení UV barev a laků .....                      | 25 |
| 1.5 Infračervená spektroskopie .....                                    | 26 |
| 2 Experimentální část .....   | 29 |
| 2.1 Experimentální materiály .....                                      | 29 |
| 2.1.1 Potiskovaný substrát .....  | 29 |
| 2.1.2 UV barvy UltraCURA® Sens Process Low Migration .....              | 30 |
| 2.1.3 UV lak Wessco LM 27.428.22 .....                                  | 30 |
| 2.2 Experimentální přístroje a zařízení .....                           | 30 |
| 2.2.1 Tiskový stroj KBA Rapida 106 .....                                | 30 |
| 2.2.2 Infračervený spektrometr Nicolet Avatar 320 .....                 | 31 |
| 2.2.3 Software Omnic .....  | 31 |
| 2.3 Příprava a postup měření vzorků.....                                | 31 |
| 2.4 Vyhodnocování naměřených vzorků.....                                | 33 |
| 2.5 Výsledky a diskuze .....  | 34 |
| 3 Závěr.....  | 45 |
| 4 Použitá literatura.....   | 46 |



## SEZNAM ILUSTRACÍ

|  |    |
|--|----|
| <b>Obrázek 1:</b> Obecné schéma arylketonu [3] .....   | 15 |
| <b>Obrázek 2:</b> Způsoby migrace [14].....  | 20 |
| <b>Obrázek 3:</b> Schéma středotlaké rtuťové výbojky [3] .....   | 25 |
| <b>Obrázek 4:</b> Změna délky nebo úhlu vazby při vibraci [17].....  | 27 |
| <b>Obrázek 5:</b> Symetrická a asymetrická valenční vibrace [17].....  | 27 |
| <b>Obrázek 6:</b> Schéma Michelsonova interferometru používaném v FTIR spektroskopii [17] ..                                 | 28 |
| <b>Obrázek 7:</b> Schéma ATR [17].....   | 28 |
| <b>Obrázek 8:</b> Tiskový arch měřených vzorků .....   | 32 |
| <b>Obrázek 9:</b> Průběh změny absorpčního pásu dvojné vazby azurové barvy na materiálu<br>Uniboard 350 .....                | 35 |
| <b>Obrázek 10:</b> Dekonvoluce spektra purpurové barvy na materiálu Uniboard 350.....  | 36 |
| <b>Obrázek 11:</b> Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Uniboard 350<br>při 100% výkonu Hg výbojky.....   | 39 |
| <b>Obrázek 12:</b> Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Serviliner 230<br>při 100% výkonu Hg výbojky..... | 41 |
| <b>Obrázek 13:</b> Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Tambrite 240<br>při 100% výkonu Hg výbojky.....   | 44 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabulka 1:</b> Složení barev vytvrzovaných UV zářením [1].....   | 13 |
| <b>Tabulka 2:</b> Typické viskozity pro tiskové barvy [1] .....   | 14 |
| <b>Tabulka 3:</b> Migrační limity [15].....   | 22 |
| <b>Tabulka 4:</b> Podmínky tisku vzorků UV barev a laku .....   | 32 |
| <b>Tabulka 5:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Uniboard 350 .....                                  | 37 |
| <b>Tabulka 6:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Uniboard 350 .....                                | 37 |
| <b>Tabulka 7:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) stanovených pomocí dekonvoluce purpurové barvy na materiálu Uniboard 350 ..... | 37 |
| <b>Tabulka 8:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Uniboard 350 .....                                    | 38 |
| <b>Tabulka 9:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Uniboard 350 .....                                    | 38 |
| <b>Tabulka 10:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Uniboard 350 .....  | 38 |
| <b>Tabulka 11:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Serviliner 230.....                                | 40 |
| <b>Tabulka 12:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Serviliner 230.....                              | 40 |
| <b>Tabulka 13:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Serviliner 230 .....                                 | 40 |
| <b>Tabulka 14:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Serviliner 230.....                                  | 41 |
| <b>Tabulka 15:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Serviliner 230 .....  | 41 |
| <b>Tabulka 16:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Tambrite 240.....                                  | 42 |
| <b>Tabulka 17:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Tambrite 240.....                                | 42 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabulka 18:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Tambrite 240..... | 43 |
| <b>Tabulka 19:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Tambrite 240..... | 43 |
| <b>Tabulka 20:</b> Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Tambrite 240.....        | 43 |

## Úvod

Cílem této práce je zjistit jakými nejvyššími rychlostmi je možné tisknout danou sadu UV zářením tvrditelných barev a laku, aby bylo dosaženo maximálního vytvrzení ultrafialovým zářením a bylo tak co nejvíce omezeno riziko migrace látek v nich obsažených do potiskovaného materiálu, především pak u obalových materiálů určených pro potraviny, hračky atd.

V této bakalářské práci byly použity nízkomigrační ofsetové barvy a lak tvrditelný ultrafialovým zářením. Barvy byly od výrobce Flint Group Germany GmbH a lak od výrobce Schmid Rhyner AG. Tyto barvy a lak byly tištěny na tři vzorky kartonů, Uniboard 350, Serviliner 230 a Tambrite 240. Potištěné materiály byly poskytnuty tiskárnou Model obaly v Opavě.

# 1 Teoretická část

## 1.1 UV zářením tvrditelné barvy

### 1.1.1 Složení UV zářením tvrditelných barev a laků

Barvy a laky vytvrzované ultrafialovým zářením (dále jen „UV barvy a laky“) se typicky skládají z monomerů, oligomerů, fotoiniciátorů, aditiv a v případě barev pigmentů. Typické složení jednotlivých složek v ofsetových UV barvách je uvedeno v Tabulce 1.

**Tabulka 1:** Složení barev vytvrzovaných UV zářením [1]

| Složka         | hm. % |
|----------------|-------|
| monomery       | 10–20 |
| oligomery      | 40–60 |
| fotoiniciátory | 3–8   |
| aditiva        | 1–3   |
| pigmenty       | 15–20 |

Monomery, oligomery a fotoiniciátory jsou ve článku [2] popsány následovně. Monomery obvykle slouží jako reaktivní ředidla, snižují viskozitu barvy/laku na požadovanou hodnotu vhodnou pro danou tiskovou techniku. Typické viskozity pro tiskové barvy jsou uvedeny v Tabulce 2. Většina monomerů vykazuje obecně nižší reaktivitu než oligomery a proto větší přídavek monomerů může negativně ovlivnit rychlost vytvrzování dané barvy/laku. Dále nízkoviskózní monomery obecně způsobují větší podráždění pokožky.

Monomery jsou vybírány podle:

- rychlosti vytvrzení;
- vlivu na mechanické vlastnosti výsledného vytvrzeného filmu;
- flexibility/tvrlosti;
- zápachu a toxicity;
- viskozity (účinnosti ředění);
- ceny.

**Tabulka 2:** Typické viskozity pro tiskové barvy [1]

| Tisková technika          | Viskozita [Pa.s] |
|---------------------------|------------------|
| knihtisk                  | 50–150           |
| archový ofset             | 40–100           |
| kotoučový ofset (heatset) | 20–75            |
| flexotisk                 | 0,05–0,5         |
| hlubotisk                 | 0,05–0,2         |

Oligomery – zářením tvrditelná pojiva. Jedná se o směs oligomerů, která určuje fyzikální vlastnosti vytvrzeného filmu. Nejvíce se používají akryláty, např. polyester akryláty. Polyester akryláty mohou být vyrobeny v široké řadě viskozit a reaktivit. Jednou z hlavních výhod nabízených polyester akrylátů oproti jiným typům oligomerů (např. uretan akryláty) je jejich nízká viskozita, snášenlivost s dalšími výchozími látkami a nižší cena. Takovéto polyester akryláty mohou být použity v mnoha formulacích, např. v tiskových barvách, nátěrech na papír a dřevo.

Většina dostupných oligomerů je příliš viskózních pro přímé použití, proto jsou do barev/laků přidávány již zmíněné monomery.

Výběr fotoiniciátorů je jednou z nejdůležitějších věcí při formulaci UV zářením tvrditelných barev/laků, poněvadž přímo řídí míru a rychlost vytvrzení. Vhodný iniciátor musí mít pokud možno co nejvyšší absorpci v oblasti emise zdroje záření, kterým jsou nejčastěji středotlaké rtuťové výbojky.

Výběr fotoiniciátorů závisí na řadě faktorů včetně následujících:

- požadovaná rychlost tiskového stroje s daným vytvrzovacím systémem (zdrojem zářením);
- tloušťka vytvrzované vrstvy;
- propustnost UV záření vytvrzovaným systémem, přítomnost pigmentů a plniv;
- vlastnosti vytvrzovaného systému, které mají být získány, jako je tvrdost, lesk;
- odolnost proti žloutnutí materiálu;
- bez zápachu;
- nízká těkavost;
- dobrá teplotní stálost;
- nízká/žádná toxicita;

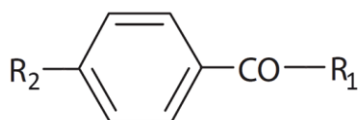
- nízká migrace;
- cenová výhodnost;
- vysoký kvantový výtěžek tvorby reaktivních částic (volných radikálů nebo iontů).

Po ozáření fotoiniciátorů UV zářením dojde fotochemickou reakcí v excitovaném stavu k jejich rozpadu na volné radikály, které iniciují proces polymerace. K rozpadu na volné radikály může dojít dvěma způsoby, proto se fotoiniciátory rozdělují na dvě skupiny – Typ I a Typ II. [3]

Fotoiniciátory Typu I se po absorpci záření dostanou do excitovaného stavu a následně dojde k jejich rozpadu na volné radikály. [3]

Fotoiniciátory Typu II potřebují ke vzniku volných radikálů koiniciátor (donor vodíku). Fotoiniciátor po absorpci záření přejde do excitovaného stavu (tripletový) a reaguje s donorem vodíku (při reakci dojde k přenosu vodíku z molekuly donoru na molekulu fotoiniciátoru.) Reakcí vznikají dva radikály, (málo reaktivní z původní molekuly iniciátoru a vysoce reaktivní z molekuly donoru). [1, 3]

Arylketony (Obrázek 1) jsou fotoiniciátory, které účinně absorbují UV záření v oblasti mezi 200 nm a 400 nm. Toto absorbované UV záření je dostatečné pro excitaci molekuly fotoiniciátoru a následný vznik volných radikálů. O tom, zda se bude jednat o fotoiniciátory Typu I nebo Typu II rozhoduje substituovaná skupina na pozici  $R_1$ . Substitucí alkylové skupiny na arylketonu vznikají fotoiniciátory Typu I. Ke vzniku fotoiniciátoru Typu II vede substituce aryllové skupiny. Substituce na pozici  $R_2$  ovlivňuje vlnovou délku, při které je záření absorbováno. [3]



**Obrázek 1:** Obecné schéma arylketonu [3]

V knize [1] jsou pigmenty popsány jako částice nerozpustné v ostatních složkách barvy a dávají vytvrzované formulaci její barevnost. Mezi požadované vlastnosti pigmentů obvykle patří barvivost, barevná stálost a velikost částic. U UV barev je důležitá především stálost vůči UV záření. Běžně má UV záření negativní vliv na změnu barvy (způsobuje rozpad pigmentu a blednutí barvy). Velikost částic pigmentů ovlivňuje sytost barvy a opacitu. Opacita neboli schopnost pohlcování dopadajícího záření, je nejvyšší při velikosti částic

pigmentů v rozmezí 0,2–0,4  $\mu\text{m}$ . Chemická odolnost, kryvost a textura jsou dalšími důležitými vlastnostmi. Pigmenty lze dělit na anorganické a organické, podle jejich chemické povahy, nebo na černé, bílé a pestré. Systém Color Index označuje pigmenty charakteristikou barevného tónu a číslem. Z černých pigmentů jsou významné saze, u bílých je nejdůležitější titanová běloba. Chemická a krystalická struktura a velikost a tvar částic určují barvu pestrých pigmentů. Chromofory, které jsou schopné selektivně absorbovat světlo a auxochromy, které zesilují barvu, jsou obsaženy ve skupinách atomů v chemické struktuře pestrých pigmentů. Pigmenty jsou dispergovány a vázány v tiskové barvě pojivem, které zajišťuje stabilitu celého systému. V případě UV barev a laků je pojivem kombinace oligomerů a monomerů.

Aditiva jsou do UV barev a laků přidávána v malém množství, které je obvykle v řádu desetin až jednotek hmotnostních %. [1] Jedná se o speciální přísady, např. vosky, povrchově aktivní látky (tenzidy), sušidla, stabilizátory, odpěňovače, smáčedla a řada dalších, které významně ovlivňují určité vlastnosti barev. Proti předčasnému vytvrzování formulace při nízkých expozicích UV zářením jsou používány stabilizátory, které také zabraňují gelaci při uskladnění, a i ty patří do skupiny aditiv.

### 1.1.2 Mechanismus vytvrzování UV zářením tvrditelných barev a laku

Vytvrzení vrstvy barvy/laku znamená změnu z tekutého do pevného stavu. UV vytvrzování je v podstatě chemické schnutí (vznikají nové chemické vazby) materiálu, kde zesíťování (polymerizace) molekul monomerů a oligomerů nastává v celém filmu. UV barvy a laky obecně neobsahují těkavá organická rozpouštědla (některé jen minimální množství řádově v jednotkách %) v porovnání s konvenčními technologiemi. Mechanismus UV vytvrzování závisí na chemických složkách, které jsou citlivé na určité vlnové délky UV záření. [2]

Většina UV zářením tvrditelných barev a laků zasychá radikálovou polymerací. [3] Druhým, méně rozšířeným mechanismem vytvrzování je kationtová polymerace. V experimentální části jsou testovány radikálově polymerující barvy a lak, proto je dále podrobněji popsána jen radikálová polymerace.

Radikálová polymerace je řetězovou polyreakcí, kde polymerují sloučeniny s dvojnými vazbami nebo heterocyklickou strukturou. Vznik kovalentní chemické vazby a spojování monomerů do polymerního řetězce je umožněn otevřením násobné vazby nebo cyklu. Jednotlivými kroky radikálové polymerace jsou iniciace, propagace, terminace a přenos. [1]



V knize [4] jsou jednotlivé kroky radikálové polymeraci popsány následovně. Při iniciaci dochází ke vzniku reaktivního centra (nepárového elektronu) a to ve dvou krocích. Nejprve dojde v excitovaném stavu k rozpadu iniciátoru na volné radikály a poté k samotné adici molekuly monomeru na vzniklý volný radikál.

Propagací se rozumí adice dalších molekul monomerů, vzniklé reaktivní centrum se vždy přesouvá na konec rostoucí molekuly.

Terminace je ukončení růstu řetězce, ke kterému může dojít dvěma způsoby, rekombinací nebo disproporcionací. Při rekombinaci dochází ke spojení dvou růstových center kovalentní vazbou. Při terminaci disproporcionací je vodík z jednoho řetězce přenesen na druhý. Dochází tak ke vzniku dvou makromolekul, přičemž jedna nese dvojnou vazbu na konci řetězce.

Jestliže reaktivní centrum začne při polymeraci reagovat s jinými molekulami např. s molekulami rozpouštědla, iniciátoru, polymerní molekulou nebo monomerem, dojde k zániku aktivního centra a přenosu volného radikálu na jinou molekulu. Rychlost polymerace nemusí být ovlivněna, jestliže má nově vzniklý radikál srovnatelnou reaktivitu s reaktivitou původního rostoucího řetězce. V případě, že ano, dojde k iniciaci růstu nové molekuly, v opačném případě, kdy je reaktivita menší dochází ke zpomalení polymerace nebo k jejímu úplnému zastavení, jestliže je nově vzniklý radikál nereaktivní. V tomto případě se pak jedná o inhibici polymerace.

### 1.1.3 Výhody a nevýhody UV barev a laků oproti konvenčním barvám

Od roku 1994 rapidně vzrostl trh s materiály vytvrzovanými pomocí UV záření. Hlavním důvodem je unikátní proces, který dovolil nanášet UV barvy na prakticky jakékoliv materiály, jako jsou plasty, kovy, dřevo, papír, kůže, vinyl, sklo, magnetické nahrávací pásky a dokonce i lidské zuby. Kromě těchto výhod, se také zvyšuje rychlost tisku, jeho přesnost a také možnost okamžitého dokončení, díky čemuž může být zvýšen samotný zisk. [2]

Oproti tradičním způsobům sušení, kde dochází zcela nebo částečně k odpaření organického rozpouštědla nebo vody, mají UV zářením tvrditelné systémy tyto výhody [5]:

- žádné organické těkavé látky (VOC);
- „okamžité“ vytvrzení;
- vysoká odolnost vytvrzených filmů proti rozpouštědlům;
- vysoká světelná stálost;

- nižší energetická náročnost a úspora místa ve srovnání se systémy zasychajícími odpařením rozpouštědel;
- stoprocentní podíl sušiny;
- dobrá přilnavost na různé substráty;
- vysoký bod vzplanutí barev;
- vysoká „stabilita“ barev (při správném skladování);
- vysoký lesk vytvrzeného barvového filmu;
- ekologická šetrnost.

Dalšími výhodami je rychlost vytvrzení, u radikálové polymerace jsou to zlomky vteřin. Při použití UV barev a laků není potřeba poprašování. [1]

Nevýhodami UV barev a laků jsou vysoké náklady na pořízení zdrojů UV záření, a samotná vyšší cena surovin oproti konvenčním barvám. [6] Dalšími nevýhodami je pak možnost inhibice vzdušným kyslíkem u radikálové polymerace při vytvrzování, u kationtové polymerace je to citlivost na vlhkost prostředí. V případě UV barev může být obtížnější protvrzení silnější pigmentové vrstvy. [1]

Při vytvrzování UV barev a laků UV zářením dochází k nežádoucím vedlejším účinkům. Záření s vlnovou délkou kratší než 250 nm způsobuje vznik ozonu, který zatěžuje životní prostředí, chemicky se váže na kovy a způsobuje korozi částí tiskového stroje. [7] Tiskový stroj proto musí být vybaven nákladnou infrastrukturou, která tyto nevýhody eliminuje (odsávání ozónu). Ve spojitosti se vznikajícím teplem a infračerveným zářením musí být tiskový stroj vybaven chlazením lamp a materiálu).

#### 1.1.4 Použití UV barev a laků

V polygrafii se UV barvy a laky používají v mnoha tiskových technikách jako např. v ofsetu, flexotisku, inkjetovém tisku a sítotisku.

UV laky se dají používat i pro lakování nesavých materiálů, pro jejich zušlechtění, protože u nich není nutná penetrace do tiskoviny, jako je to u ostatních laků. Při lakování savých materiálů dochází k nedostatečnému vytvrzení, proto je třeba lak nanášet jen na hladké natírané papíry a kartony nebo plasty. [1] V ofsetu se UV laky pro svůj vysoký lesk používají pro zušlechtování tisku, např. při lakování obálek časopisů. [8] UV barvy jsou využívány pro tisk obalů a etiket. [1]

Flexotiskovými UV barvami se dají potiskovat všechny druhy papírů, flexibilních materiálů a smršťovacích fólií. Pro dosažení jejich lesku, matu, či ke zvýšení odolnosti, ať už chemické nebo mechanické se používají UV laky a primery. [9]

UV inkjetové barvy jsou použitelné pro potisk velkoformátových venkovních plakátů, bannerů a vlajek na plastovém i textilním substrátu. [5] UV barvy se v digitálním tisku prosazují díky možnosti tisku širokého barevného gamutu, velké sytosti barev a jejich dobré kryvosti. [8]

V sítotisku lze UV barvami tisknout na nejrůznější materiály nebo tvary, také jimi může být vytištěna silná barvová vrstva, proto se dají použít např. jako UV tvrditelný typ izolační barvy při výrobě tištěných obvodů, UV tvrditelné lepidlo, barvy s nízkou tažností a protiskluzové barvy, maskovací barvy, UV tvrditelné barvy pro PET recyklovatelné produkty, UV barvy na CD, UV barvy pro Braillovo písmo, UV barvy pro povrchovou dekoraci, atd. [10] Výhodou použití UV barev v sítotisku je také eliminace zasychání barev na síti. [11]

## 1.2 Nízkomigrační UV barvy a laky

Nízkomigrační UV barvy a laky jsou používány pro potisk obalů, které přicházejí do přímého styku s potravinami. Při jejich nedostatečném vytvrzení může dojít k migraci chemických látek z UV barvy nebo laku do obalu a k následné kontaminaci potravin. Výrobci nízkomigračních UV barev a laků jsou např. Sun Chemical, Schmidt Rhyner, Flint. [12]

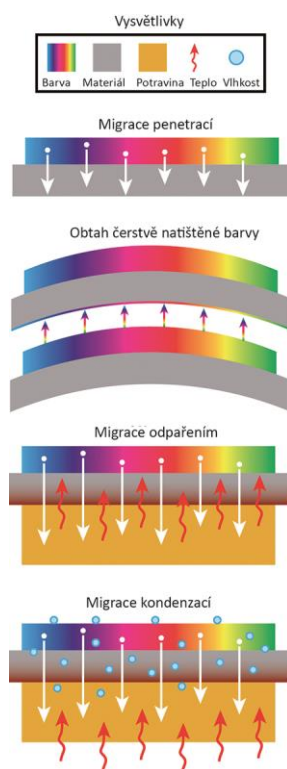
Sun Chemical je lídrem na trhu v oblasti vývoje a propagace barev a nátěrových hmot určených pro obalové materiály, které jsou citlivé na migraci komponent barev, jako jsou potraviny, farmaceutika, tabák. [13]

Termín „nízkomigrační“ je běžně používaný pro systém bariérových substrátů a barev, které fungují ve shodě, aby se snížilo nebo vyloučilo šíření nezpolymerizovaných složek přes tištěný substrát. Použití termínu „ve shodě“ je namístě, protože použití barvy, která je formulována tak, aby měla nízkou migraci, nezaručuje, že konečný (finální) tištěný systém se ukáže jako výrazně snižující nebo dokonce zamezující šíření složek barvy. [14]

Aby tyto materiály obsažené ve struktuře obalu, včetně tiskových barev, nátěrů a lepidel, byly označeny jako obaly s nízkou migrací, nesmějí mít migrující chemikálie, které by mohly ovlivnit vzhled, chuť, vůni nebo bezpečnost výrobku obsaženého v obalu. [13]

I když dnes neexistuje žádná definice toho, co představuje nízkomigrační složku, mnozí v průmyslu začali používat prahovou hodnotu 1 000 g/mol, jako dělicí hranici mezi sloučeninami, o které se regulační orgány zajímají, a těmi, které obvykle nepředstavují žádné riziko. [14] Je nepravděpodobné, že by sloučeniny s molekulovou hmotností větší než 1 000 g/mol migrovaly přes funkční bariéru potlaštěného substrátu. Sloučeniny s molekulovou hmotností nižší než 1 000 g/mol jsou považovány za potenciální migranty a jsou obvykle řešeny různými regionálními nebo průmyslově specifickými směrnici. [14]

Migraci nelze často detekovat pachem nebo chutí, ale musí být provedena chemická analýza, aby se zjistilo, zda došlo k migraci. Migrace může být buď fyzická, nebo plynná. Při fyzické migraci dochází k migraci penetrací nebo obtahem. Při plynné migraci může dojít k migraci odpařováním nebo kondenzací. Možnosti migrace tiskových barev jsou uvedeny na Obrázku 2. Jedná se o migraci penetrací, kdy komponenty barvy mohou projít z potlaštěné strany skrz substrát na stranu nepotlaštěnou nebo může dojít k obtahu čerstvě natištěné barvy na nepotlaštěnou stranu jiného listu ve vykladači nebo na roli. Další způsob je migrace odpařením nebo kondenzací, buď v důsledku odpařování těkavých látek zahříváním (např. vařením, pečením nebo rozmrazováním zmrazených produktů v jejich původním obalu) nebo při kondenzaci páry při parní destilaci. [15]



**Obrázek 2:** Způsoby migrace [14]

### 1.2.1 Nízkomigrační tisk/provoz

Při nízkomigračním tisku/provozu je důležité splňovat určitá kritéria a to nejen při výběru UV barev a laků, ale také v celém tiskovém procesu. [12]

Rozdíl mezi jednoduchým tvrzením, jestli se jedná o výrobek s nízkou migrací a důkazem, že výrobek je skutečně vhodný pro nízkomigrační aplikaci, je v souladu s předpisy a směrnicemi. [14]

Řada regulačních orgánů a velkých spotřebitelů tištěných obalů vyvinula seznam složek, které mohou výrobci barev sledovat. Tyto seznamy pomáhají definovat, co vlastně nízká migrace skutečně znamená, a mohou pomoci výrobcům barev potvrdit, že barva je v souladu s osvědčenými postupy výroby nízkomigračních barev. Nejčastějšími jsou [14]:

- **EuPIA** (European printing ink association) – obecné pokyny a seznam vyloučených komponent (Evropské rámcové nařízení (ES) č. 1935/2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami).
- **Swiss Ordinance** (Švýcarské nařízení) – nařízení o materiálech a předmětech ve styku s potravinami, SR 817.023.21 – úplný seznam sloučenin.
- **Nestlé Guidance Notes on Packaging Inks** (Nestlé poradenství o barvách na obaly) – seznam vyloučených komponent, vydaný a spravovaný společností Nestlé. Barvy, které jsou v souladu s tímto seznamem, jsou lépe známy jako „Nestlé Compliant“.

Výrobci tiskových barev, kteří jsou členy EuPIA se zavazují, že budou postupovat podle nařízení EuPIA pro tiskové barvy aplikované na nepotravinářský obalový materiál a předměty pro balení potravin, které jsou uvedeny v plném znění, odpovědnosti výrobců barev v rámci řetězce balení (<http://www.eupia.org>). V zásadě platí, že všichni členové EuPIA schválili kodex, že karcinogenní, mutagenní nebo reprotoxické látky jsou obecně vyloučeny z používání. Barvy pro obaly potravin jsou formulovány a vyráběny s přihlédnutím k mnoha individuálním a různým parametrům týkajících se substrátu, aplikace a konečného použití. Jsou navrženy tak, aby minimalizovaly možnost přenosu složek barvy do potravin migrací nebo obtahem, pro splnění požadavků na konečné použití. Barvy pro potravinové obaly jsou formulovány a vyráběny v souladu s EuPIA a správnou výrobní praxí. [15]

Pro zajištění toho, aby obalový materiál fungoval jako funkční bariéra, se doporučuje provedení migračních testů s konstrukcí konečného obalu. Kontejnery, jako jsou předem

vyrobené kovové plechovky a skleněné lahve, jsou považovány za nízko nebo bezrizikové migrační substráty. [15]

I při dodržení nařízení může být barva, která byla vytvořena tak, aby odpovídala specifickým nařízením, nesprávně používána. Příkladem může být např. tisk na substrát, který není definován jako funkční bariéra (například tenká látka), tisk druhé barvové vrstvy, která přichází do přímého kontaktu s obsahem balení, nebo je barva nevytvrzená v důsledku špatné údržby zařízení. [14]

U barev formulovaných podle specifických pokynů, by měl být výrobce barev připraven k vlastnímu ověření správnosti, že jejich formulace je vyhovující. Vzhledem k tomu, že výrobce barev nemůže znát nebo simulovat všechny možné kombinace potiskovaných substrátů, pro které bude specifická barva použita, a potravin, nemůže výrobce nikdy zaručit 100% jistotu, že k migraci nedojde. To je důvod, proč musí výrobce obalů nechat provést zkoušky migrace akreditovanou analytickou laboratoří pro každou variantu balení. [14]

Ve zdroji [15] je měření migrace, její limity, doporučení pro použití nízkomigračních barev, popis nařízení Evropské unie a kontrola úrovně vytvrzení popsána následovně. Migrace se typicky měří pomocí plynové nebo kapalinové chromatografie v kombinaci s hmotnostním spektrometrem. Tato měření identifikují a kvantifikují látky, které se přenesly z obalu do potravinového produktu. Modely migrační analýzy jsou obvykle závislé na potravinách, podmínkách skladování a obalovém designu.

Maximální povolená míra migrace je založena na toxikologickém profilu migrující látky, vládních nařízeních pro danou látku a požadavcích majitele obchodní značky. Hodnoty migračních limitů jsou uvedeny v Tabulce 3.

**Tabulka 3:** Migrační limity [15]

| < 10 ppb   | 10–50 ppb  | > 50 ppb  |
|--|--|---|
| žádná úroveň migrace   | nutné provést testy  | potřebné úplné vyhodnocení testů  |
| Požadováno u toxikologicky nevyhodnocených látek nebo látek, u nichž není k dispozici dostatek údajů pro posouzení toxicity. | Přijatelné pro látky, pro které existují tři testy mutagenity a jsou všechny negativní (tj. absence genotoxicity). | Na této úrovni migrace musí být vyhodnocen úplný toxikologický profil. Migrant může být potravinářsky schválená látka nebo jinak netoxická. Toto rozhodnutí musí být uděleno příslušným odborníkem. |

Pro dosažení bezpečného obalu je důležité, aby všechny zúčastněné strany při jeho výrobě spolupracovaly. Dobrý příklad toho je nastíněn ve správné výrobní praxi Nařízení Evropské unie (EU nařízení ES 2023/2006/ES). [15] V tomto nařízení jsou podrobně popsány celkové požadavky výběru a použití materiálů a předmětů určených pro styk s potravinami v souladu s nařízením EU, ES 1935/2004. Vytváří rámec pravidel pro všechny zúčastněné strany zapojené do vývoje obalů. Kromě toho také zavádí a udržuje doporučení pro pracovní specifikace, zajištění kvality, kontrolní mechanismy a sledovatelnost.

Konečné určení shody obalů s migračními předpisy může být zajištěno pouze testováním celého obalu, jak bude expedován na trh.

Nízkomigrační barvy jsou doporučovány, pokud jde o UV a konvenční archový tisk, zejména pokud se jako primární obalový materiál používají tenkovrstvé podklady nebo papírový materiál se slabými bariérovými vlastnostmi. Nízkomigrační barvy by měly být testovány za standardizovaných podmínek, aby se prokázalo, že nedochází k migraci nad definované povolené limity. Vzhledem k tomu, že tyto testy nemohou simulovat všechny možné kombinace potravin-substrát, nemůže být 100% zajištění bezpečnosti bez vhodného posouzení rizika.

Pro každou specifickou aplikaci obalu a etikety je vhodné posoudit riziko migrace. To se doporučuje zejména pro obaly, kde neexistuje absolutní bariéra.

Pro potravinové obaly a etikety potiskované UV barvami a laky, je naprosto nezbytné správné vytvrzování UV zářením, aby barvy/laky splňovaly nízkomigrační limity. Pro správné vytvrzování je důležité pečlivé řízení výkonu lampy, rychlosti tisku a tloušťky barvového filmu. Je nezbytné, aby všechny UV lampy byly zapnuté a plně funkční. Dále je nezbytně nutné používat lampy v rámci jejich stanovené životnosti.

Úroveň vytvrzení by měla být vždy kontrolována na začátku tiskové úlohy a v pravidelných intervalech v průběhu tisku. Důležité je také udržování správné optické hustoty barev, protože příliš vysoká optická hustota tisku (vyšší nános barvy) může nepříznivě ovlivnit proces vytvrzování.

Různé globální regiony mají rozdílné pokyny jak testy provádět, jaké konkrétní podmínky se použijí (teplota, doba trvání atd.), a jaké potravinářské simulanty mají být použity. Přípustná úroveň migrujících kontaminantů se také může lišit regionálně, ale typicky je definována jako 10 ppb (dílů na miliardu). Typický migrační test je obvykle prováděn s obalem

o ploše 600 cm<sup>2</sup>, 1 kg potraviny (nebo potravinového simulantu) a 10 dnů skladování při teplotě 40 °C. Očekává se, že se podmínky tisku budou v průběhu času měnit, a proto je nezbytné, aby byly migrační testy pravidelně opakovány. Mezi nejběžnější proměnné patří [14]:

- Výběr substrátu – rozdílná propustnost potiskovaných materiálů.
- Podmínky vytvrzování – správná funkčnost prvků (např. vytvrzovací lampy).
- Úplnost vytvrzování – jelikož rtuťové výbojky stárnou, nebo nejsou-li reflektory vytvrzovacích jednotek řádně udržovány, může být snížena dávka ozáření, kterou má být barva/lak ozářeny. Výrobci barev specifikují minimální požadavky na UV záření, aby bylo dosaženo úplného vytvrzení.

### 1.3 Zdroje UV záření – rtuťové výbojky

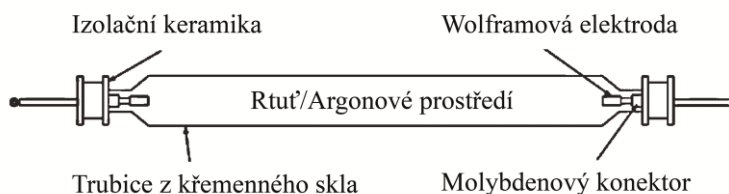
Při vytvrzování je důležité, aby se překrývala emisní spektra zdroje záření a absorpční spektra fotoiniciátorů, jinak nedojde k vytvrzení. [1]

Rtuťové výbojky jsou nejčastěji používaným zdrojem UV záření pro vytvrzování UV barev a laků. Lze je dále dělit na elektrodové a bezelektrodové podle charakteru elektrického pole vyvolávající výboj v plynu. Elektrodové rtuťové výbojky jsou rozděleny na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké podle vnitřního tlaku rtuťových par. [1] Pro vytvrzování barev a laků se primárně používají středotlaké rtuťové výbojky, proto se dále zabývám konkrétněji popisem elektrodových středotlakých rtuťových výbojek.

V knize [3] jsou středotlaké rtuťové výbojky, jejich záření a emisní pásy charakterizovány následovně. Středotlaké rtuťové výbojky jsou nejpoužívanějšími zdroji UV záření v průmyslu. Tyto lampy jsou k dispozici v různých délkách, průměrech a výkonech, aby vyhovovaly většině tiskových aplikací. Rtuť používaná ve rtuťových výbojkách se snadno odpařuje a poskytuje široké spektrum emisních čar v celém UV spektru. Když jsou páry rtuti excitovány zdrojem energie, elektrony v atomu rtuti přejdou na vyšší energetické hladiny. Tyto excitované stavy jsou nestabilní a elektrony se vrací zpět do původního stavu, kdy je přebytek energie uvolněn ve formě záření. Během tohoto procesu dochází k emisi charakteristického záření, jak v UV oblasti, tak v oblasti viditelného světla a infračerveného záření (IR záření).



Středotlaká rtuťová výbojka (Obrázek 3) se skládá z utěsněné křemenné trubice s wolframovými elektrodami na každém konci. Tato trubice obsahuje stanovené množství rtuti a malé množství plynu, obvykle argonu, který slouží jako startovací plyn.



**Obrázek 3:** Schéma středotlaké rtuťové výbojky [3]

Emisní pásy středotlaké rtuťové výbojky v UV-C oblasti mezi 220 nm a 280 nm jsou velmi slabé a vykazují malou penetrační schopnost díky silné absorpci monomerů, oligomerů a pigmentů v této oblasti. Poskytují však dobré povrchové vytvrzování, zejména v tenkých vrstvách barev a laků.

Emisní pásy v UV-B oblasti (280 nm až 320 nm) vykazují zvýšenou intenzitu a lepší vlastnosti vytvrzování, což vede k určitému vytvrzení do hloubky a vytvrzování povrchu.

Záření v UV-A oblasti a viditelné světlo (zejména emisní pásy 366, 404 a 436 nm) jsou primárně zodpovědné za hloubkové vytvrzování, kde se jako iniciátory používají nejčastěji thioxantony nebo fosfinoxydy. Intenzivní emisní pásy při vlnové délce 550 nm a 580 nm ve viditelném spektru nemají žádný význam při UV vytvrzování. Hlavní emisní pásy středotlaké rtuťové výbojky pro účely vytvrzování UV zářením lze považovat pásy při 254, 313, 366, 404 nm a 436 nm. Dalšími důležitými, avšak méně intenzivními pásy jsou emisní pásy při 265, 297 a 302 nm.

Bezelektrodové rtuťové výbojky mají výrazně vyšší cenu než klasické elektrodové výbojky a v polygrafii jsou používány většinou jen pro UV inkjetový tisk. [1]

#### 1.4 Způsoby měření vytvrzení UV barev a laků

V tiskárnách se vytvrzení UV barev a laků testuje pomocí jednoduchých metod. Jednou z nich je např. tzv. Tesa test, který probíhá pomocí lepicích pásek s různým parametrem lepidlosti. Jedná se o odtrhovou zkoušku. Další metodou může být tzv. acetonový test, při kterém se hodnotí možnost výluhu látek z barvové vrstvy pomocí acetonu. Odolnost povrchu vůči poškrábání je jednou z dalších metod, kterou lze hodnotit stupeň vytvrzení UV barev a laků. Objektivní metodou, časově a přístrojově náročnou, která byla použita pro měření

v experimentální části, je IČ spektroskopie. [1] Jejím podrobnějšímu popisu je věnována následující kapitola.

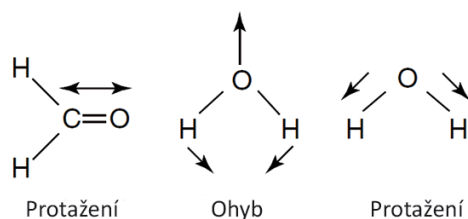
## 1.5 Infračervená spektroskopie

V knize [16] je infračervená spektroskopie popsána následovně. Infračervená spektroskopie se obecně používá k měření absorpce elektromagnetického záření v oblasti  $12\,500\text{--}100\text{ cm}^{-1}$ , při kterém dochází ke změnám rotačně-vibračních energetických stavů molekul. Nejčastěji se měří ve střední infračervené oblasti ( $5\,000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ ), dále je infračervená oblast dělena na blízkou ( $12\,500\text{--}5\,000\text{ cm}^{-1}$ ) a vzdálenou ( $500\text{--}100\text{ cm}^{-1}$ ). Elektromagnetické záření může být molekulou absorbováno pouze tehdy, když se jeho frekvence shoduje s frekvencí vibrace molekuly v infračervené oblasti. Molekula tak přejde z nižšího do vyššího vibračního energetického stavu. Molekula na základní vibrační hladině vykonává pohyb, proto má nenulovou hodnotu energie. Všechny molekuly se při normální teplotě nachází v základním vibračním stavu, které je charakterizováno vibračním kvantovým číslem  $v = 0$ . Ke změně vibračního kvantového čísla dochází při absorpci energie. Změní-li se vibrační kvantové číslo  $v$  o  $+1$ , jedná se o základní vibraci (fundamentální). Při přechodu molekul z těchto hladin lze pozorovat tzv. „horké“ pásy, které odpovídají absorpci energie, kdy se při vyšších teplotách část molekul v základním stavu nachází na energetických hladinách s vibračním kvantovým číslem  $v > 0$ .

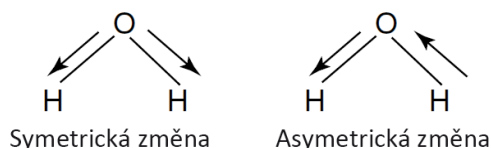
V knize [17] je popsáno měření infračerveného spektra a různé typy vibrací vazeb. Infračervené spektrum se obvykle získává průchodem infračerveného záření přes vzorek a určením, jaká část dopadajícího záření se absorbuje při daném vlnočtu/energii záření. Energie, při které se objeví jakýkoliv pás v absorpčním spektru, odpovídá frekvenci vibrace části molekuly vzorku. Aby molekula mohla absorbovat infračervené záření, musí se během vibrací měnit elektrický dipólmoment molekuly. Čím větší je změna dipólmomentu, tím intenzivnější bude absorpční pás.

Molekula může absorbovat záření pouze tehdy, když dopadající infračervené záření má stejnou frekvenci jako jeden ze základních stavů vibrace molekuly. To znamená, že vibrační pohyb malé části molekuly je zvýšen, zatímco zbytek molekuly není ovlivněn.

Vibrace mohou zahrnovat buď změnu délky vazby (protažení), kdy se tyto vibrace nazývají valenční, nebo úhlu vazby (ohyb) – deformační vibrace (Obrázek 4). Změna valenční vibrace může být buď symetrická, nebo asymetrická (Obrázek 5).



**Obrázek 4:** Změna délky nebo úhlu vazby při vibraci [17]

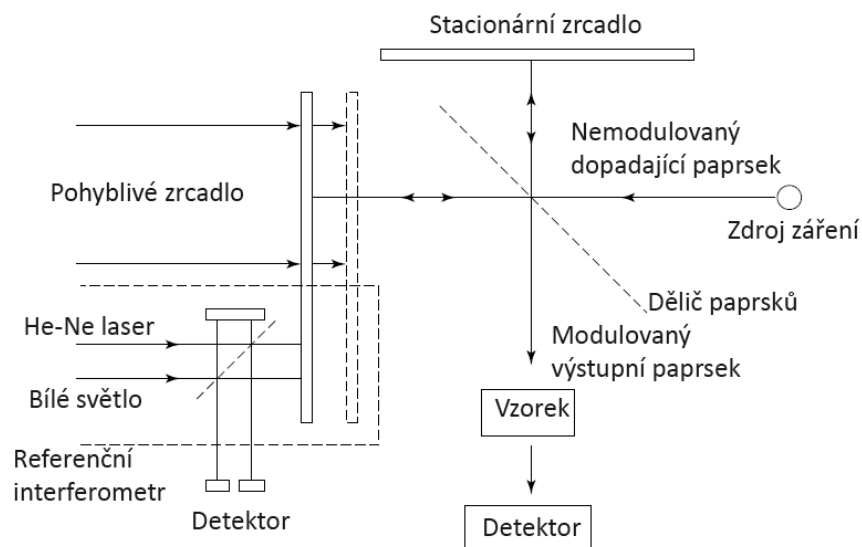


**Obrázek 5:** Symetrická a asymetrická valenční vibrace [17]

Funkční skupiny, u nichž se projevuje výrazná intenzita absorpčních pásů, jsou označovány jako charakteristické vibrační pásy. Charakteristické vibrační pásy mohou být jak deformační, tak valenční. [16]

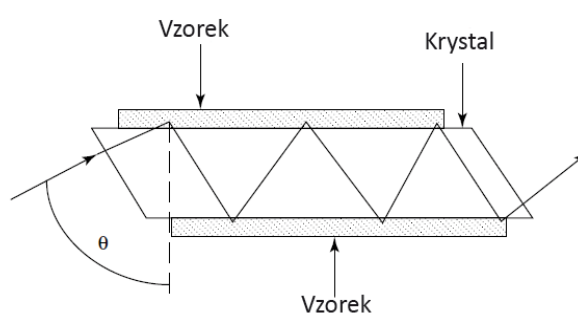
Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (dále jen „FTIR spektroskopie“) je citlivější, přesnější a rychlejší, oproti „konvenční“ infračervené spektroskopii, která využívá disperzní spektrofotometry, proto je v současné době používána častěji. [16]

Fourierova transformace infračerveného spektra je založena na myšlence interference záření mezi dvěma paprsky, čímž vzniká interferogram. Záření vyzařované ze zdroje prochází interferometrem, dopadá na vzorek a následně je vedeno do detektoru. Po zesílení signálu jsou data převedena do digitální podoby analogově-digitálním převodníkem a přenesena do počítače pro provedení Fourierovy transformace. Nejběžnějším interferometrem používaným v FTIR spektroskopii je Michelsonův interferometr (Obrázek 6). Michelsonův interferometr se skládá ze dvou kolmých rovinných zrcadel, z nichž jedno se může pohybovat ve směru kolmém k rovině. Semi-reflexní film (dělič paprsků) rozděljuje roviny těchto dvou zrcátek. Padesát procent dopadajícího záření na dělič paprsků se odrazí na jedno ze zrcadel, zatímco padesát procent bude procházet a dopadne na druhé zrcadlo. Tyto dva paprsky se odraží od těchto zrcadel a vracejí se do děliče paprsků, kde rekombinují a interferují. Padesát procent modulovaného záření je vedeno na vzorek, zatímco padesát procent je odraženo zpět ve směru zdroje. [17] He-Ne laser je přídatným zařízením, které poskytuje záření ve viditelné oblasti a je využito pro kontrolu pozice pohyblivého zrcadla. [16]



**Obrázek 6:** Schéma Michelsonova interferometru používaném v FTIR spektroskopii [17]

Metoda ATR (Attenuated total reflectance) využívá celkového vnitřního odrazu infračerveného záření (Obrázek 7). Paprsek záření vstupuje do krystalu, kde dochází k jeho celkovému vnitřnímu odrazu, je-li úhel dopadu na rozhraní mezi vzorkem a krystalem větší než kritický (mezí) úhel. Až na záření, které je absorbováno vzorkem, dochází k jeho odrazu od povrchu vzorku zpět do hranolu. Tam, kde je záření absorbováno materiálem, ztrácí paprsek svou energii a výsledkem je zeslabené záření, které je měřeno. Krystaly používané při ATR jsou vyrobeny z materiálů, které mají nízkou rozpustnost ve vodě a jiných chemikáliích a velmi vysoký index lomu. [16, 17]



**Obrázek 7:** Schéma ATR [17]

## 2 Experimentální část

### 2.1 Experimentální materiály

#### 2.1.1 Potiskovaný substrát

Experimentální vzorky UV barev a laku byly tištěny na následující materiály: Uniboard 350, Serviliner 230 a Tambrite 240.

##### Uniboard-S (GD)

Jedná se o klasický recyklovaný karton, který je vhodný pro potravinové i nepotravinové obaly. Jedná se o kvalitní materiál vhodný pro další zpracování. Mezi jeho charakteristické vlastnosti patří: snadnost potisku, vysoký výkon zpracování, stabilita procesu balení a plnění, široký rozsah plošných hmotností od 250 do 550 g/m<sup>2</sup>. Tyto vlastnosti z něj dělají preferovaný materiál téměř ve všech odvětvích potravinářského i nepotravinového průmyslu. [18] Pro tisk byl použit karton o plošné hmotnosti 350 g/m<sup>2</sup>.

##### Serviliner GD2

Jedná se o jednostranně natíraný karton, který je vyrobený ze 100 % recyklovaných vláken a šedou spodní stranou. Karton má vysokou bělost, hladkost a dobrou potiskovatelnost. Je určen pro kaširování, vhodný pro rilování a výsek. Mezi tiskovými technikami se hodí pro ofsetový tisk a sítotisk. Tento karton je vhodný pro bigování a ražbu na natíranou stranu. Uplatnění nachází např. jako obaly pro kosmetické výrobky, hračky a potraviny. [19] Pro tisk byl použit karton o plošné hmotnosti 230 g/m<sup>2</sup>.

##### Tambrite GC2

Jedná se o plně natíraný dvouvrstvý karton. Karton je složen z vrstvy chemické buničiny, stlačené dřevoviny, další vrstvy chemické buničiny a dvojitého nátěru. [20] Dobře se hodí pro digitální tisk, laserové a inkjetové kódování, stejně tak pro tisk Braillova písma a další speciální povrchové úpravy. Je ideální pro zdravotnické a farmaceutické obaly, potravinové obaly (mražené, chlazené), obaly na suché potraviny jako jsou cereálie, čaj, sušenky, čokolády a cukrovinky. [21] Pro tisk byl použit karton o plošné hmotnosti 240 g/m<sup>2</sup>.

### 2.1.2 UV barvy UltraCURA® Sens Process Low Migration

Použité tiskové barvy UltraCURA® Sens Process Low Migration jsou od výrobce Flint Group Germany GmbH. Jedná se o ofsetové barvy tvrditelné UV zářením, které jsou klasifikovány jako nebezpečné v souladu s nařízením ES č. 1272/2008 v aktuálním znění. Obsahují látky, které jsou klasifikované jako zdraví škodlivé nebo nebezpečné životnímu prostředí. Odpovídají nařízení EU (ES) č. 1907/2006. [22]

Barvy UltraCURA® Sens jsou nízkomigrační barvy bez zápachu vhodné pro archový a kotoučový ofsetový tisk. Jsou vhodné pro natírané a nenatírané papíry a kartony. Všechny poskytují vynikající adhezi, dobrou stabilitu emulze barva/voda, dobrou odolnost proti oděru, vysokou intenzitu barvy, rychlé vytvrzení a díky emulgaci malého množství vlhčícího roztoku velmi dobrou stabilitu tisku. [23]

UltraCURA® Sens jsou obzvláště vhodné pro výrobu obalů, které splňují požadavky nařízení EU 1935/2004 a 2023/2006, stejně tak švýcarského nařízení Swiss Ordinance 817.023.21. Řada navíc splňuje požadavky EuPIA směrnice „Tiskové barvy aplikované na vnější stranu potravinových obalových materiálů“. [23]

Použité procesní barvy mají následující označení:

- Azurová – VW17508SXSBJ UltraCURA® Sens Process; Cyan [22]
- Purpurová – VW17308SXSBJ UltraCURA® Sens Process; Magenta [24]
- Žlutá – VW17108SXSBJ UltraCURA® Sens Process; Yellow [25]
- Černá – VW37908SXSBJ UltraCURA® Sens Process; Black [26]

### 2.1.3 UV lak Wessco LM 27.428.22

Použitý UV lak Wessco LM 27.428.22 je od výrobce SCHMID RHYNER AG. Jedná se o vysoce lesklý lak tvrditelný pomocí UV záření, vykazující minimální migraci, který je vhodný pro použití na papír, karton a umělohmotné fólie pro vnější stranu potravinových a jiných citlivých obalů. Tento tiskový lak se shoduje s nařízením EU 1935/2004. [27]

## 2.2 Experimentální přístroje a zařízení

### 2.2.1 Tiskový stroj KBA Rapida 106

K tisku experimentálních vzorků byl použit tiskový stroj firmy KBA, Rapida 106, který má 9 tiskových věží.

Jedná se o archový ofsetový tiskový stroj, kterým je možné potiskovat formáty B1 (1060×740 mm).

Tiskový stroj KBA Rapida 106 může potiskovat širokou škálu materiálů, od tenkých tiskových papírů až po karton, od fólií až po vlnitou lepenku. Tloušťka potiskovaného materiálu je v rozsahu 0,04 až 0,7 mm. [28]

Použitý tiskový stroj je vybaven sušicím modulem „VariDry UV“ a mycím zařízením „CleanTronic UV“.

#### Sušení VariDry UV

Jedná se o kompaktní sušicí modul s výkonem UV záření 160 W/cm (středotlaká rtuťová výbojka), který může být instalován jako finální sušení nebo může být umístěn v sušící věži. Tento sušicí modul má automatickou regulaci teploty papíru ve stožku a kontrolu sušení. [29]

### 2.2.2 Infračervený spektrometr Nicolet Avatar 320

Pomocí spektrometru FTIR Avatar 320 od firmy Nicolet byla měřena infračervená spektra experimentálních UV barev a laku na všech potiskovaných materiálech. Spektrometr měří infračervené záření (dále jen IR záření) ve střední infračervené oblasti (4000–400  $\text{cm}^{-1}$ ). Měření bylo prováděno pomocí jednobodového ATR s diamantovým krystalem.

### 2.2.3 Software Omnic

Pomocí softwaru Omnic 6.1a byla snímána infračervená spektra (ovládán spektrometr Nicolet Avatar 320) a vyhodnocována naměřená data.

Ve vyšší verzi programu Omnic 8.2.0.403 byla provedena dekonvoluce spekter purpurové barvy pomocí nástroje Peak Resolve.

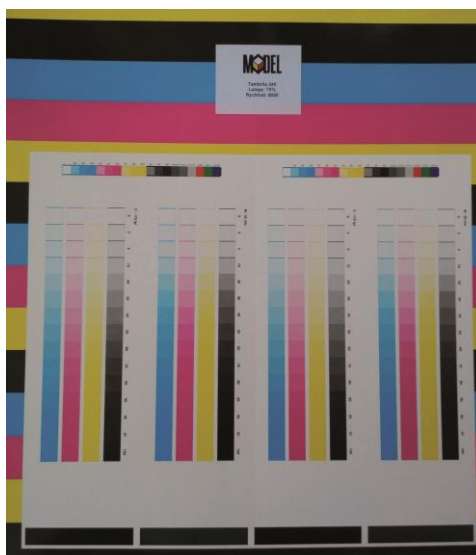
## 2.3 Příprava a postup měření vzorků

Pro měření stupně konverze byly vytištěny vzorky UV barev a laku na tři různé materiály, které byly vytištěny různými rychlostmi tisku a výkonu záření UV lampy. Podmínky tisku vzorků UV barev a laku jsou uvedeny v Tabulce 4.

**Tabulka 4:** Podmínky tisku vzorků UV barev a laku

| Výkon lampy [%] | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|-----------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 100             | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 75              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 50              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |

Vzorky UV barev a laku byly tištěny na tři různé materiály, jak již bylo zmíněno výše. UV barvy byly tištěny v prouzcích se 100 % tónovou hodnotou a kontrolní škálou (Obrázek 8). Vzorek UV laku byl tištěn obdobně, s tím rozdílem, že motiv barevných proužků byl v plné ploše přelakován UV lakem.



**Obrázek 8:** Tiskový arch měřených vzorků

Měření infračervených spekter pro vyhodnocení stupně vytvrzení UV barev a laku bylo prováděno na 3 arších od každé rychlosti a výkonu lampy pro každý materiál. Na každém archu byla měřena dvě místa (2 infračervená spektra). Pro zpřesnění výsledků bylo u některých vzorků provedeno více měření (byl-li rozptyl měření větší).

K měření všech experimentálních vzorků, respektive k měření jejich infračervených spekter, byl použit FTIR spektrometr s jednobodovým nástavcem ATR (diamantový krystal). Tloušťka měřené vrstvy je  $1,66 \mu\text{m}$  při  $1000 \text{ cm}^{-1}$ . [30]

Infračervená spektra (dále jen IČ spektra) barev a laku byla měřena a vyhodnocována softwarem Omnic 6.1a, ve kterém byly nejprve nastaveny podmínky měření. Ty byly pro všechny 4 UV barvy a lak stejné. Měření probíhalo při rozlišení  $2 \text{ cm}^{-1}$ , 32 skenech,



bez automatických korekcí a měřenou veličinou byla absorbance. Před měřením každé UV barvy a laku bylo nejprve provedeno měření pozadí (měření bez vzorku). Jako první byly nejprve měřeny IČ spektra nevytvrzených ofsetových UV barev a laku. IČ spektrum nevytvrzených UV barev a laku bylo proměřeno jen jednou.

Měření IČ spekter vytvrzených UV barev a laku tištěných při podmínkách uvedených v Tabulce 4, probíhalo od rychlosti 6000 archů/hodinu do rychlosti 10 000 archů/hodinu při 100% výkonu lampy. Další bylo měření IČ spekter při 75% výkonu lampy od nejnižší rychlosti tisku po nejvyšší a nakonec byla měřena IČ spekter při 50% výkonu lampy. Takto byl nejprve proměřen UV lak a barvy v pořadí azurová, žlutá a černá na materiálu Uniboard 350. Měření IČ spekter UV barev a laku na zbývajících dvou materiálech probíhalo stejným způsobem. IČ spektrum purpurové barvy na všech třech materiálech probíhalo obdobně, jako u předchozích experimentálních vzorků, avšak tato vytvrzená UV barva byla měřena až jako poslední z důvodu nutnosti provedení následné dekonvoluce, protože došlo k překryvu pásu vyhodnocované dvojně vazby ( $809\text{ cm}^{-1}$ ) se sousedním pásem. Dekonvoluce byla provedena pouze u materiálu Uniboard 350. Vysvětlení proč byla dekonvoluce provedena jen u tohoto materiálu, je uvedeno v kapitole 2.5 Výsledky a diskuze. K dekonvoluci byl použit nástroj Peak Resolve, který je součástí vyšší verze programu Omnic 8.2.0.403. Nejprve došlo ke korekci základní linie vyhodnocovaného spektra purpurové barvy a následně k dekonvoluci překrývajících se pásů v oblasti  $830\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ . Během měření IČ spekter vytvrzených UV barev a laku byl pravidelně diamantový krystal očišťován acetonem, k měření absorpčního spektra pozadí docházelo vždy před každým začátkem měření nové rychlosti tisku dané barvy.

## 2.4 Vyhodnocování naměřených vzorků

Pro vyhodnocování stupně konverze naměřených IČ spekter vzorků UV barev a laku byly použity naměřené absorpční pásy odpovídající deformační vibraci dvojně vazby ( $\text{--C=C--}$ ), s maximem při  $809\text{ cm}^{-1}$ . Jako referenční pás byl použit pás karbonylové skupiny, který má absorpční maximum při  $1\,730\text{ cm}^{-1}$ . V programu Omnic 6.1a byla pomocí nástroje Peak Area Tool měřena plocha vyhodnocovaných pásů, která byla nejprve použita pro výpočet poměru plochy dvojně vazby a referenčního pásu a ta byla následně použita pro výpočet stupně konverze. Tato plocha byla se zvyšující se rychlostí a snižujícím se výkonem lampy větší, což znamená, že se zvětšující se plochou je dosaženo nižšího stupně konverze.

Rovnice pro výpočet poměru plochy pásu dvojné vazby a referenčního pásu nevytvrzené barvy/laku:

$$A_0 = \frac{(S_{C=C})_0}{(S_{ref})_0} \quad (1)$$

$A_0$  – poměr plochy pásu dvojné vazby a referenčního pásu nevytvrzené barvy/laku,  
 $(S_{C=C})_0$  – plocha pásu odpovídající vibraci dvojné vazby nevytvrzené barvy/laku,  
 $(S_{ref})_0$  – plocha referenčního pásu nevytvrzené barvy/laku

Rovnice pro výpočet poměru plochy pásu dvojné vazby a referenčního pásu pro vytvrzené vzorky:

$$A_t = \frac{(S_{C=C})_t}{(S_{ref})_t} \quad (2)$$

$A_t$  – poměr plochy pásu dvojné vazby a referenčního pásu,  $(S_{C=C})_t$  – plocha pásu odpovídající vibraci dvojné vazby,  $(S_{ref})_t$  – plocha referenčního pásu; index  $t$  značí danou rychlost tisku a nastavení výkonu rtuťové výbojky

Rovnice pro výpočet stupně konverze  $K$ :

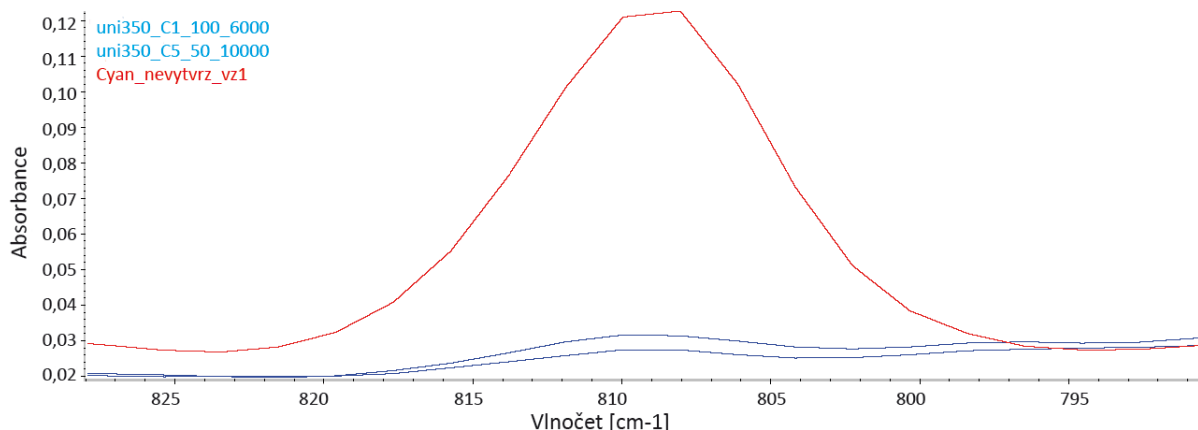
$$K = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \quad (3)$$

Jak již bylo uvedeno výše, u purpurové barvy docházelo k překryvu pásu dvojné vazby se sousedním pásem, proto byla provedena dekonvoluce tohoto překrývajícího se dvojpásu. Naměřené hodnoty byly tak jako u ostatních barev a laku použity pro výpočet poměru plochy dvojné vazby a referenčního pásu a ta následně použita pro výpočet stupně konverze.

## 2.5 Výsledky a diskuze

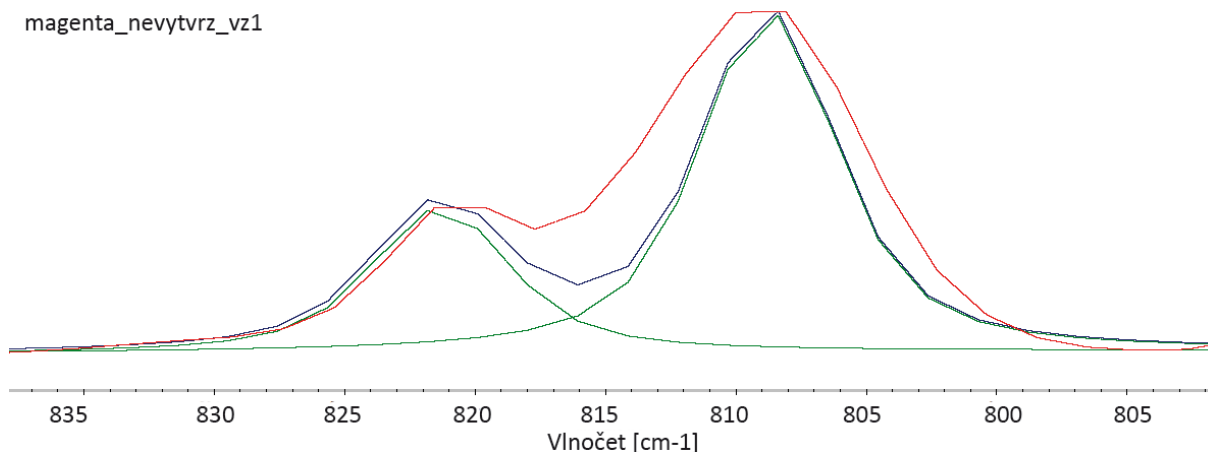
Stupeň vytvrzení UV barev a laku na třech různých materiálech byl hodnocen na základě změny absorpčního pásu, který odpovídá vibraci akrylátové dvojné vazby. Na Obrázku 9 je zobrazen průběh změny absorpčního pásu, který odpovídá deformační vibraci akrylátové dvojné vazby. Nevytvrzená azurová barva je označena červenou barvou, modrou barvou jsou označeny pásy vytvrzené barvy na materiálu Uniboard 350 (vyšší pík modrého pásu odpovídá tiskové rychlosti 10 000 archů/hodinu při 50% výkonu Hg výbojek a nižší pík odpovídá tiskové rychlosti 6 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojek). Ze spektra je patrné, že se zvyšující se rychlostí tisku, je plocha absorpčních pásů větší, což je očekávatelné, protože jsou po kratší dobu vystaveny UV záření. S vyšší dávkou ozáření, respektive s nižší rychlostí

tisku bude plocha absorpčních pásů menší, tudíž dochází k větší konverzi UV tvrditelných barev/laku a lepšímu vytvrzení.



**Obrázek 9:** Průběh změny absorpčního pásu dvojné vazby azurové barvy na materiálu Uniboard 350

Jak již bylo zmíněno výše, u purpurové barvy byl stupeň konverze stanoven podobně jako u ostatních barev z poklesu pásu odpovídajícího deformační vibraci akrylátové dvojné vazby (max.  $809\text{ cm}^{-1}$ ) a dále pomocí dekonvoluce. Důvodem bylo ověření, do jaké míry ovlivňuje vedlejší pás dosažené stupně konverze. Průběh rozkladu absorpčních pásů je zobrazen na Obrázku 10. Červenou barvou je označeno původní nasnímané spektrum, modrou barvou je označen součet pásů získaných dekonvolucí a zelenou barvou jsou označeny dva nově vzniklé pásy získané dekonvolucí. Výsledky dekonvoluce, respektive výsledné hodnoty stupně konverze a výběrových směrodatných odchylek po provedení dekonvoluce purpurové barvy na materiálu Uniboard 350 jsou uvedeny v Tabulce 7. Z výsledných hodnot je patrné, že po provedení dekonvoluce jsou výběrové směrodatné odchylky výrazně vyšší. Důvodem bude zřejmě velikost vyhodnocovaných pásů po vytvrzení, která byla výrazně nižší díky vysokému stupni konverze ve srovnání s pásy nevytvrzené barvy. Získané stupně konverze pro různé tiskové rychlosti nahodile kolísají a nelze z nich vyvodit závěry vypovídající o optimálním vytvrzení. Proto nebyla dekonvoluce purpurových spekter dále prováděna u ostatních dvou potiskovaných materiálů.



**Obrázek 10:** Dekonvoluce spektra purpurové barvy na materiálu Uniboard 350

Výsledky stupňů konverze ( $K$ ) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) pro jednotlivé UV barvy a lak na materiálu Uniboard 350 jsou uvedeny v Tabulkách 5–10. Při tisku čtyřbarvotiskem s lakem je možné tisknout rychlostí až 8 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojek. Při těchto podmínkách je dosaženo nejvyšší míry vytvrzení pro všechny UV barvy a lak. Rozdíl výběrové směrodatné odchylky na tomto materiálu je do 2 % pro všechny rychlosti tisku a výkony Hg výbojky. Z Obrázku 11 je patrné, že žlutá barva dosahovala nižších hodnot stupně konverze oproti ostatním třem barvám a laku při 100% výkonu Hg výbojky, avšak výběrová směrodatná odchylka dosahovala rozdílu maximálně jen 1 % a průměrné stupně konverze se až do rychlosti 9 000 archů/hodinu lišily maximálně o směrodatnou odchylku a lze ji tedy považovat za srovnatelně vytvrzenou. Při sníženém výkonu Hg výbojek bylo dosaženo nižšího stupně konverze než při 100% výkonu, proto nelze považovat tyto barvové vrstvy a lak za optimálně vytvrzené. Změna rychlosti tisku a výkonu Hg výbojky se nejméně projevila u purpurové a černé barvy, kde byl rozdíl konverze v rámci celého měření na tomto materiálu okolo 4 %. Při tisku jednotlivých barev a laku zvláště je možné při 100% výkonu Hg výbojek tisknout rychlostmi 8 000 archů/hodinu (azurová barva a lak) nebo 9 000 archů/hodinu (purpurová, žlutá a černá barva).

**Tabulka 5:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Uniboard 350

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 92,40                         | 92,00 | 91,50 | 89,10 | 88,70  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,64                          | 0,65  | 0,89  | 0,55  | 2,30   |
| 75             | K [%]        | 88,50                         | 90,10 | 90,50 | 89,40 | 88,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,59                          | 0,75  | 0,61  | 0,68  | 0,27   |
| 50             | K [%]        | 89,30                         | 89,20 | 86,30 | 86,40 | 86,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,48                          | 0,88  | 0,56  | 0,42  | 0,58   |

**Tabulka 6:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Uniboard 350

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 96,6                          | 96,2  | 95,3  | 95    | 94,2   |
|                | $\sigma$ [%] | 0,41                          | 1,21  | 0,84  | 0,85  | 0,94   |
| 75             | K [%]        | 94,3                          | 95,9  | 95,4  | 93,2  | 93,4   |
|                | $\sigma$ [%] | 0,89                          | 1,02  | 0,48  | 0,42  | 0,89   |
| 50             | K [%]        | 93,3                          | 93,6  | 92,5  | 93,3  | 92     |
|                | $\sigma$ [%] | 1,03                          | 0,87  | 0,62  | 0,38  | 0,67   |

**Tabulka 7:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) stanovených pomocí dekonvoluce purpurové barvy na materiálu Uniboard 350

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 81,5                          | 81,4  | 71,3  | 76    | 85,1   |
|                | $\sigma$ [%] | 5,07                          | 6,86  | 19,04 | 5,8   | 1,39   |
| 75             | K [%]        | 70,3                          | 76,2  | 67,9  | 77,7  | 83     |
|                | $\sigma$ [%] | 11,99                         | 4,85  | 14,87 | 7,82  | 0,89   |
| 50             | K [%]        | 76,7                          | 79,1  | 77,3  | 79,4  | 77     |
|                | $\sigma$ [%] | 6,88                          | 2,86  | 6,17  | 6,22  | 5,27   |

**Tabulka 8:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Uniboard 350

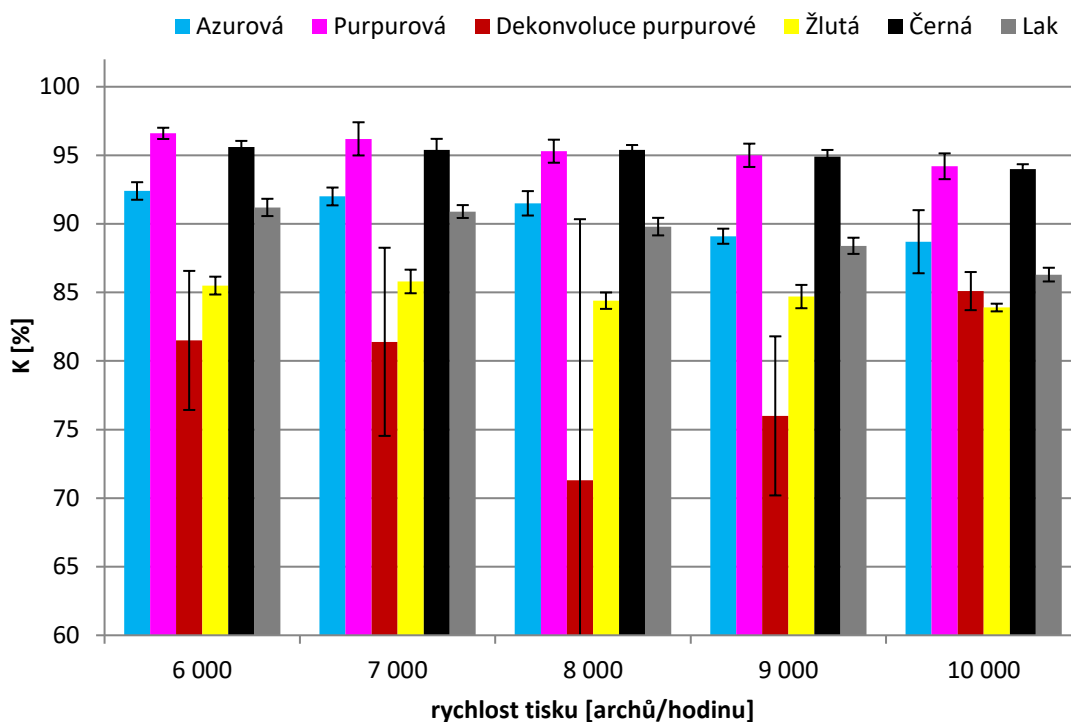
| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 85,50                         | 85,80 | 84,40 | 84,70 | 83,90  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,65                          | 0,86  | 0,60  | 0,85  | 0,28   |
| 75             | K [%]        | 82,10                         | 83,90 | 83,20 | 80,10 | 79,40  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,65                          | 0,46  | 0,86  | 0,89  | 0,76   |
| 50             | K [%]        | 82,30                         | 81,70 | 81,60 | 81,20 | 81,30  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,00                          | 0,42  | 0,43  | 0,60  | 0,67   |

**Tabulka 9:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Uniboard 350

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 95,60                         | 95,40 | 95,40 | 94,90 | 94,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,45                          | 0,80  | 0,35  | 0,49  | 0,35   |
| 75             | K [%]        | 93,70                         | 94,00 | 93,90 | 93,70 | 94,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,48                          | 0,70  | 0,27  | 0,10  | 0,40   |
| 50             | K [%]        | 92,90                         | 92,10 | 91,80 | 91,80 | 91,60  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,25                          | 0,56  | 0,46  | 0,29  | 0,47   |

**Tabulka 10:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Uniboard 350

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 91,20                         | 90,90 | 89,80 | 88,40 | 86,30  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,63                          | 0,47  | 0,64  | 0,59  | 0,50   |
| 75             | K [%]        | 87,70                         | 88,50 | 88,40 | 87,10 | 86,20  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,32                          | 0,49  | 0,66  | 0,67  | 0,36   |
| 50             | K [%]        | 87,10                         | 85,60 | 83,70 | 82,00 | 79,90  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,61                          | 0,87  | 0,86  | 0,55  | 0,80   |



**Obrázek 11:** Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Uniboard 350 při 100% výkonu Hg výbojky

V Tabulkách 11–15 jsou uvedeny hodnoty stupňů konverze a výběrových směrodatných odchylek UV barev a laku tištěných na materiál Serviliner 230. Žlutá a azurová barva dosahovaly nižšího stupně konverze oproti černé, purpurové a laku a to v rozmezí od 64 % do 78,8 %. U laku, černé a purpurové barvy bylo dosahováno stupně konverze v rozmezí od 76,4 % do 93,2 %. Při tisku čtyřbarvotiskem s lakem je možné tisknout rychlostí 7 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky. Při tisku každé barvy zvlášť je možné žlutou a purpurovou barvu tisknout rychlostí tisku 7 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky. Azurovou barvu je možné tisknout rychlostí až 8 000 archů/hodinu, černou barvu je možné tisknout rychlostí 9 000 archů/hodinu a lak rychlostí až 8 000 archů/hodinu při dosažení optimálního vytvrzení. Při vyšších rychlostech by už barvová vrstva nemusela být optimálně vytvrzena a mohlo by dojít k nežádoucí vyšší migraci látek. Změna rychlosti tisku a výkonu Hg výbojky se projevila u všech barev a laku ve stejném rozsahu změny konverze a to v rozmezí do 10 %. Z Obrázku 12 je patrné, že purpurová barva má výrazně největší výběrovou směrodatnou odchylku při 100% výkonu Hg výbojky v porovnání s ostatními barvami a lakem. Optimální podmínky tisku pro dosažení optimálního vytvrzení je rychlost 7 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky. Při 75% výkonu Hg výbojky a rychlosti 7 000 archů/hodinu by také mělo být dosaženo optimálního vytvrzení purpurové

barvy, protože stupeň konverze se při této rychlosti tisku překrývá v rámci výběrové směrodatné odchylky s rychlostí tisku 7 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky.

**Tabulka 11:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Serviliner 230

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 77,90                         | 79,00 | 78,80 | 75,20 | 76,90  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,95                          | 0,67  | 0,12  | 2,07  | 1,35   |
| 75             | K [%]        | 77,60                         | 72,40 | 74,50 | 76,30 | 74,20  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,19                          | 2,64  | 1,39  | 0,89  | 3,18   |
| 50             | K [%]        | 68,20                         | 69,30 | 68,30 | 71,90 | 67,80  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,11                          | 1,17  | 0,54  | 1,98  | 1,25   |

**Tabulka 12:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Serviliner 230

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 93,2                          | 89,3  | 88,4  | 90,2  | 88,7   |
|                | $\sigma$ [%] | 1,63                          | 2,22  | 2,29  | 1,41  | 1,14   |
| 75             | K [%]        | 89,6                          | 89,9  | 87,3  | 88,5  | 87,3   |
|                | $\sigma$ [%] | 2,36                          | 2,25  | 2,01  | 0,58  | 1,36   |
| 50             | K [%]        | 87                            | 85,5  | 86    | 86,2  | 83,7   |
|                | $\sigma$ [%] | 1,4                           | 0,57  | 5,57  | 0,88  | 0,73   |

**Tabulka 13:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Serviliner 230

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 74,40                         | 72,40 | 70,70 | 71,30 | 72,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,71                          | 1,37  | 0,69  | 1,04  | 1,40   |
| 75             | K [%]        | 71,40                         | 69,50 | 67,90 | 68,40 | 67,40  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,48                          | 1,06  | 1,09  | 0,69  | 0,26   |
| 50             | K [%]        | 64,00                         | 64,00 | 65,10 | 66,70 | 67,10  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,37                          | 0,63  | 1,26  | 0,95  | 1,28   |

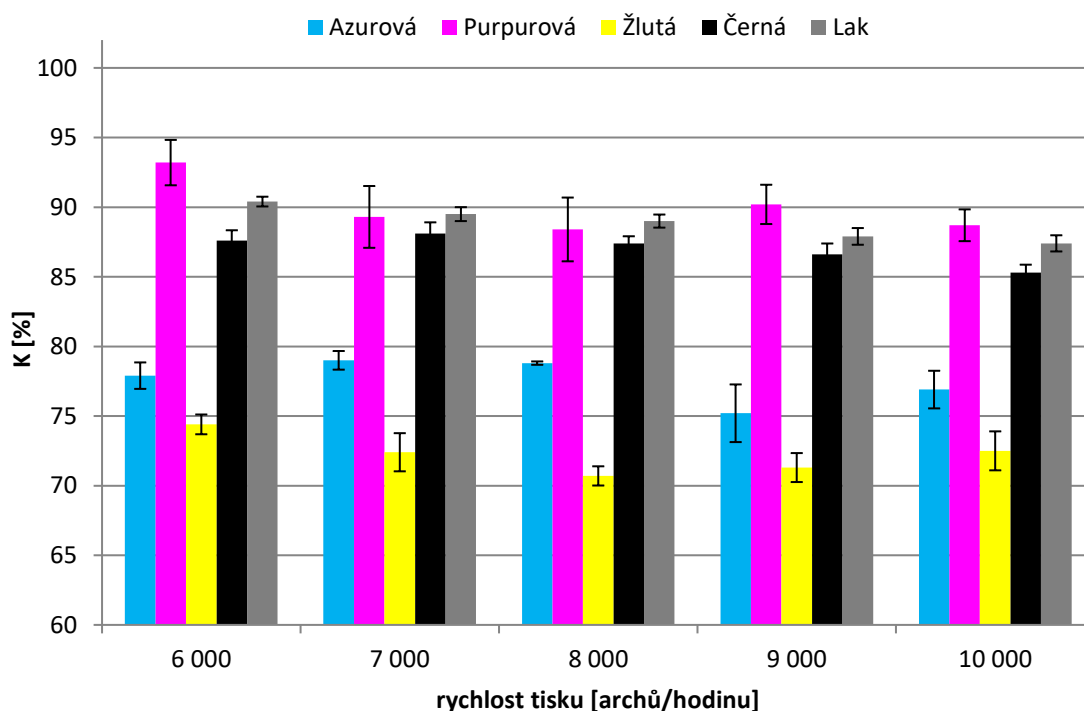


**Tabulka 14:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Serviliner 230

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 87,60                         | 88,10 | 87,40 | 86,60 | 85,30  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,74                          | 0,81  | 0,51  | 0,79  | 0,57   |
| 75             | K [%]        | 83,10                         | 83,50 | 83,20 | 83,30 | 82,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,28                          | 1,24  | 0,95  | 1,00  | 0,66   |
| 50             | K [%]        | 76,40                         | 78,00 | 78,00 | 77,50 | 80,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,14                          | 0,69  | 0,62  | 0,68  | 0,66   |

**Tabulka 15:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Serviliner 230

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 90,40                         | 89,50 | 89,00 | 87,90 | 87,40  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,35                          | 0,50  | 0,47  | 0,60  | 0,58   |
| 75             | K [%]        | 88,00                         | 87,70 | 87,10 | 86,60 | 85,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,04                          | 0,77  | 0,46  | 0,85  | 0,26   |
| 50             | K [%]        | 84,40                         | 82,90 | 81,80 | 80,70 | 80,70  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,61                          | 0,76  | 1,51  | 1,88  | 1,13   |



**Obrázek 12:** Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Serviliner 230 při 100% výkonu Hg výbojky

Průměrné hodnoty stupně konverze a výběrových směrodatných odchylek pro UV barvy a lak tisknutých na materiál Tambrite 240 jsou uvedeny v Tabulkách 16–20. Při tisku čtyřbarvotiskem s lakem je možné tisknout rychlostí 8 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky za dosažení optimálního vytvrzení. Změna rychlosti tisku a výkonu Hg výbojky se nejvíce projevila u laku, kde došlo ke změně stupně konverze až o 9 %. Naopak u azurové barvy je možné tisknout rychlostí 7 000 archů/hodinu při 75 % výkonu Hg výbojky. Při 100% výkonu Hg výbojky je možné tisknout azurovou barvu rychlostí 9 000 archů/hodinu při dosažení optimálního vytvrzení. Nejnižšího stupně konverze bylo dosaženo u žluté barvy, který byl oproti ostatním barvám a laku zhruba o 10 % nižší, nicméně v rámci výběrové směrodatné odchylky lze barvu považovat za srovnatelně vytvrzenou. Žlutou, purpurovou a černou barvu je možné tisknout rychlostí až 10 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky, při dosažení optimálního vytvrzení. Lak lze tisknout rychlostí 8 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky. Na Obrázku 13 jsou znázorněny stupně konverze s výběrovými směrodatnými odchylkami pro rychlosti 6 000–10 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky.

**Tabulka 16:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) azurové barvy na materiálu Tambrite 240

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 92,20                         | 92,50 | 91,20 | 90,90 | 87,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,97                          | 0,96  | 0,68  | 0,62  | 1,14   |
| 75             | K [%]        | 91,20                         | 90,30 | 89,20 | 86,20 | 84,90  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,78                          | 0,65  | 0,87  | 1,00  | 0,78   |
| 50             | K [%]        | 91,50                         | 87,50 | 87,50 | 87,40 | 85,40  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,52                          | 0,54  | 0,81  | 0,79  | 0,87   |

**Tabulka 17:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) purpurové barvy na materiálu Tambrite 240

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 91,00                         | 92,50 | 94,00 | 90,60 | 94,70  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,98                          | 0,69  | 2,04  | 1,58  | 1,31   |
| 75             | K [%]        | 93,70                         | 93,90 | 93,40 | 92,50 | 91,30  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,58                          | 1,11  | 0,75  | 1,44  | 1,16   |
| 50             | K [%]        | 88,60                         | 92,50 | 90,50 | 90,90 | 90,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 1,52                          | 1,11  | 1,58  | 2,10  | 1,39   |

**Tabulka 18:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) žluté barvy na materiálu Tambrite 240

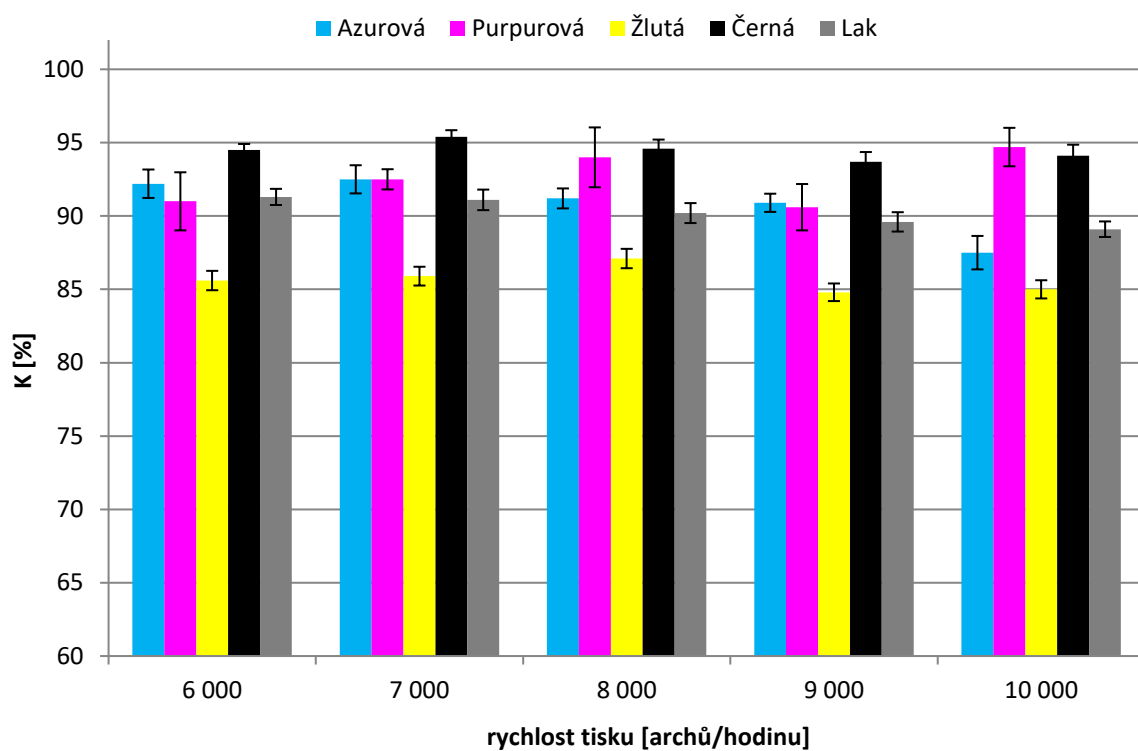
| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 85,60                         | 85,90 | 87,10 | 84,80 | 85,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,66                          | 0,64  | 0,66  | 0,60  | 0,62   |
| 75             | K [%]        | 83,90                         | 82,80 | 82,70 | 83,50 | 82,50  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,55                          | 0,84  | 0,48  | 0,64  | 0,90   |
| 50             | K [%]        | 82,20                         | 82,00 | 78,70 | 80,10 | 82,30  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,80                          | 2,03  | 0,38  | 1,23  | 1,65   |

**Tabulka 19:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) černé barvy na materiálu Tambrite 240

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 94,50                         | 95,40 | 94,60 | 93,70 | 94,10  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,41                          | 0,45  | 0,61  | 0,66  | 0,76   |
| 75             | K [%]        | 94,30                         | 94,00 | 93,30 | 91,70 | 89,40  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,31                          | 0,29  | 0,28  | 0,62  | 0,61   |
| 50             | K [%]        | 90,20                         | 90,80 | 90,30 | 91,50 | 89,80  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,82                          | 0,77  | 0,99  | 0,98  | 1,05   |

**Tabulka 20:** Průměrné hodnoty stupně konverze (K) a výběrových směrodatných odchylek ( $\sigma$ ) laku na materiálu Tambrite 240

| Hg výbojka [%] |              | Rychlost tisku [archů/hodinu] |       |       |       |        |
|----------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                |              | 6 000                         | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 100            | K [%]        | 91,30                         | 91,10 | 90,20 | 89,60 | 89,10  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,55                          | 0,70  | 0,68  | 0,66  | 0,53   |
| 75             | K [%]        | 90,60                         | 89,60 | 88,30 | 87,00 | 84,00  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,43                          | 0,73  | 0,66  | 0,45  | 0,41   |
| 50             | K [%]        | 86,00                         | 85,20 | 83,20 | 83,00 | 82,10  |
|                | $\sigma$ [%] | 0,27                          | 0,56  | 0,22  | 0,32  | 0,97   |



**Obrázek 13:** Stupně konverze pro jednotlivé barvy a lak na materiálu Tambrite 240 při 100% výkonu Hg výbojky

### 3 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo optimalizovat rychlost tisku UV barvami řady UltraCURA© Sens od firmy Flint Group a laku Wessco LM od firmy Schmid Rhyner AG v tiskárně Model obaly v Opavě, která pro tuto práci poskytla měřené vzorky. Tyto barvy a lak jsou používány pro potisk obalů dětských hraček, ale i potravin a zajištění jejich optimálního vytvrzení je z důvodu migrace látek velmi důležité, protože tiskárna Model obaly v Opavě spolupracuje s významnými zákazníky (např. Lego), kteří mají vysoké nároky na kvalitu vytvrzení.

Výsledky stupně konverze a stanovení rychlosti tisku pro dosažení optimálního vytvrzení UV barev a laku na třech různých materiálech, jsou následující. V případě materiálu Uniboard 350 a Tambrite 240 bylo dosahováno podobných výsledků stupňů konverze a tedy i stanovení optimální rychlosti tisku pro dosažení vytvrzení UV barev a laku. Pro oba materiály byla jako optimální hranice rychlosti tisku určena rychlost 8 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky při tisku všemi čtyřmi UV barvami s lakem. Materiál Serviliner 230 se lišil. Obecně u něj bylo dosahováno nižšího stupně konverze oproti dvěma ostatním materiálům a to asi o 2–13 % podle barvy, laku. Příčinu se nepodařilo odhalit. U tohoto materiálu byla stanovena optimální hranice rychlosti tisku pro vytvrzení UV barev a laku 7 000 archů/hodinu při 100% výkonu Hg výbojky.

## 4 Použitá literatura

- [1] KAPLANOVÁ, M. *Moderní polygrafie*. 2. vydání. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2010. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [2] SHUKLA, V., BAJPAI, M., SINGH, D. K., SINGH, M. a SHUKLA, R. Review of basic chemistry of UV-curing technology. *Pigment & Resin Technology* [online]. 2004, 33(5), 272-279 [cit. 2018-12-10]. DOI: 10.1108/03699420410560461. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/216167221?accountid=17239>
- [3] GREEN, W. A. *Industrial photoinitiators: a technical guide*. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4398-2745-1.
- [4] ŠŇUPÁREK, J. *Makromolekulární chemie: úvod do chemie a technologie polymerů*. Vyd. 3., dopl. a upr. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-761-2.
- [5] HANCOCK, A. a LIN L., Challenges of UV curable ink-jet printing inks – a formulator's perspective. *Pigment & Resin Technology* [online]. 2004, 33(5), 280-286 [cit. 2018-12-10]. DOI: 10.1108/03699420410560470. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/216166965?accountid=17239>
- [6] JAŠŮREK, B. UV zářením tvrditelné barvy a laky. *Chempoint*. [online]. 2012 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/uv-zarenim-tvrditelne-barvy-a-laky>
- [7] KONEČNÝ, G. Technologie UV vytvrzování. *Svět tisku* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=7047&buxus\\_svettisku](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=7047&buxus_svettisku)
- [8] THOMA, P. UV technologie v tisku. *Svět tisku* [online]. 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=5408](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=5408)
- [9] UV flexotiskové barvy. *CIVEST GROUP srl* [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.civest.cz/uv-flexotiskove-barvy>
- [10] Application of UV Ink's Functionality. *JUJO CHEMICAL CO., LTD.* [online]. 2001 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: [https://www.jujo-chemical.co.jp/e/gijutsu\\_joho/gj\\_files/sogo\\_shiryo/UV\\_KINOSEI.html](https://www.jujo-chemical.co.jp/e/gijutsu_joho/gj_files/sogo_shiryo/UV_KINOSEI.html)

- [11] POPELKOVÁ, A. UV technologie. *Servis centrum a.s.* [online]. 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [http://www.sc-brno.cz/blog/index.php?route=blog/blog&blog\\_id=89](http://www.sc-brno.cz/blog/index.php?route=blog/blog&blog_id=89)
- [12] DOČKAL, M. Aktuální téma – balení potravin: Pro potravinářské obaly jen nízkomigrační barvy. *Svět balení* [online]. 2011(5) [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.svetbaleni.cz/2011/09/01/sb-5-2011-aktuln-tma-balen-potravin-pro-potravinarske-obaly-jen-nizkomigracni-barvy/>
- [13] Inks and Coatings Designed for Low Migration Packaging. *SunChemical* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.sunchemical.com/low-migration-inks-and-coatings/>
- [14] DUNKLEE, R. Inks for Low Migration Applications. *UV Inkjet Inks – Nazdar Ink Technologies* [online]. 2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.nazdar.com/en-us/News-events/ArtMID/4165/ArticleID/425>
- [15] INX INTERNATIONAL INK. *Low Migration Inks & Coatings for Packaging Applications* [online]. 2015 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.inxinternational.com/sites/default/files/pdf/INX%20Low%20Migration%20Brochure.pdf>
- [16] JANDERA, P. *Atomová a molekulová spektroskopie se zaměřením na stopovou analýzu kontaminantů*. Vyd. 3. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011. ISBN 978-80-7395-392-8
- [17] STUART, B. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. Hoboken, NJ: J. Wiley, 2004. ISBN 0-470-85427-8.
- [18] UNIBOARD-S (GD) CARTONBOARD. *Weig karton* [online]. [cit. 2018-06-07]. Dostupné z: <https://www.weig-karton.de/en/cartonboard/uniboard-s-gd>
- [19] Serviliner. *Antalis™* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.antaliscz.com/business/catalog.htm?mhId=55165643&nodeName=Serviliner#products>
- [20] Produktový katalog. *EUROPAPIER – BOHEMIA, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [https://www.europapier.com/uploads/media/EP\\_Produktovy\\_katalog\\_e-version.pdf](https://www.europapier.com/uploads/media/EP_Produktovy_katalog_e-version.pdf)

- [21] Tamprite. *Storaenso* [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/products/paperboard-materials/folding-cartons/tamprite>
- [22] Bezpečnostní list. UltraCURA Sens Process; Cyan. *FlintGroup*. 2016
- [23] BAIRD, P. Flint Group launches its new generation of technologically remastered Sheetfed UV Low Migration inks. *FlintGroup* [online]. 2017 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://www.flintgrp.com/en/news-information/press-releases/flint-group-launches-its-new-generation-of-technologically-remastered-sheetfed-uv-low-migration-inks/>
- [24] Bezpečnostní list. UltraCURA Sens Process; Magenta. *FlintGroup*. 2016
- [25] Bezpečnostní list. UltraCURA Sens Process; Yellow. *FlintGroup*. 2016
- [26] Bezpečnostní list. UltraCURA Sens Process; Key. *FlintGroup*. 2016
- [27] Bezpečnostní list. WESSCO LM 27 428 22. *SCHMID RHYNER AG*. 2017
- [28] Rapida 106. *Koenig & Bauer* [online]. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://cz.koenig-bauer.com/cz/produkty/sheetfed/archovy-ofsetovy-tisk/stredni-format/rapida-106/>
- [29] Rapida 106 – Cutting-edge technology for top performance. *Koenig & Bauer* [online]. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: [https://cz.koenig-bauer.com/fileadmin/user\\_upload/01\\_Sheetfed/01\\_Produkte/PDF\\_Downloads/Ra\\_106/KB\\_Rapida-106\\_engl\\_web\\_01.pdf](https://cz.koenig-bauer.com/fileadmin/user_upload/01_Sheetfed/01_Produkte/PDF_Downloads/Ra_106/KB_Rapida-106_engl_web_01.pdf)
- [30] Attenuated Total Reflection (ATR) – a versatile tool for FT-IR spectroscopy: Application Note AN # 79. *BRUKER* [online]. [cit. 2019-06-03]. Dostupné z: [https://www.bruker.com/fileadmin/user\\_upload/8-PDF-Docs/OpticalSpectroscopy/FT-IR/ALPHA/AN/AN79\\_ATR-Basics\\_EN.pdf](https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/OpticalSpectroscopy/FT-IR/ALPHA/AN/AN79_ATR-Basics_EN.pdf)