

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Studium vlastností UV zářením vytvrzovaných bílých barev pro ofsetový
obalový tisk

Mgr. Andrea Báčová

Diplomová práce
2019

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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9. května 2019

Mgr. Andrea Báčová

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

PODĚKOVANÍ

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Janu Vališovi, Ph.D., za jeho odbornou pomoc, vedení a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Bc. Pavlíně Šípové za její vstřícnost a ochotu při poskytování informací a údajů potřebných pro tvorbu této práce. Mé díky patří také mojí rodině a příteli, kteří mě podporovali po celou dobu studia a při psaní této diplomové práce.

ANOTACE

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení a srovnání dvou UV záření tvrditelných bílých barev od různých výrobců testovaných na síťových stranách tří různých materiálů. Hodnocenými parametry byly reologické vlastnosti, optické vlastnosti, odolnost tisku vůči oděru a prášivost barev. Na zmíněné vlastnosti však může mít vliv i vsákavost a drsnost potiskovaného substrátu.

Pro určení vlastností vícevrstvých skládačkových lepenek byla pro vsákavost použita Cobbova metoda dle normy ČSN500335. Hladkost materiálů byla hodnocena na základě výsledků získaných zařízením Park Print Surf.

Tokové křivky byly hodnoceny na základě dvou reologických modelů – Cassonova a Ostwald-de-Waelova. Pro měření reologických vlastností byl použit rotační viskozimetr Haake RotoVisco 1. Optické vlastnosti byly hodnoceny na základě spektrofotometrického měření Lab hodnot - Spektrofotometr X-Rite Exact. Pro hodnocení prášivosti byla zvolena metoda analýzy obrazu, kdy se hodnotilo plošné pokrytí naprášených kapek barvy. Odolnost tisku vůči oděru byla získána měřením na zařízení Digital Ink Rub Tester.

KLÍČOVÁ SLOVA

ofset, UV záření tvrditelná barva, bílá barva, vícevrstvé skládačkové lepenky, reologické vlastnosti, optické vlastnosti, prášivost, odolnost vůči oděru

TITLE

Study of the properties of white inks for offset packaging printing cured by UV radiation

ANNOTATION

The aim of the thesis was to evaluate and compare two UV-curable white colours from different manufacturers tested on the wireside of three different materials. Among the evaluated parameters were rheological properties, optical properties, abrasion resistance of the prints and dustiness of the colour. However, the absorbency and roughness of the substrate to be printed may also affect these properties.

To determine the properties of multilayer folding boards, the Cobb method according to ČSN500335 was used for absorption. Material smoothness was evaluated based on the results obtained with Park Print Surf device.

Flow curves were evaluated based on two rheological models - Casson and Ostwald-de-Wael. The rheological viscosimeter Haake RotoVisco 1 was used to measure the rheological

properties. The optical properties were evaluated by spectrophotometric measurement of Lab values - X-Rite Exact Spectrophotometer. An image analysis method was used to evaluate the dustiness, and the area coverage of the sputtered paint droplets was evaluated. The abrasion resistance of the print was obtained by measuring with the Digital Ink Rub Tester device.

KEYWORDS

offset, ink cured by UV radiation, white ink, multilayer folding boards, rheological properties, optical properties, dustiness, abrasion resistance

OBSAH

1 ÚVOD.....	11
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1 Vícevrstvé skládačkové lepenky.....	12
2.1.1 Výroba	12
2.1.2 Složení	12
2.1.3 Vlastnosti	15
2.2 OFSETOVÉ TISKOVÉ BARVY	18
2.2.1 Složení	20
2.2.2 Princip vytvrzování.....	25
2.2.3 Vlastnosti tiskových barev a metody testování.....	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
3.1 EXPERIMENTÁLNÍ MATERIÁLY	34
3.1.1 Vícevrstvé skládačkové lepenky.....	34
3.1.2 UV tiskové barvy	34
3.2 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE	35
3.3 EXPERIMENTÁLNÍ METODY	36
3.3.1 Vsákavost materiálů.....	36
3.3.2 Drsnost materiálů.....	37
3.3.3 Přenosové křivky	37
3.3.4 Optické vlastnosti	38
3.3.5 Odolnost vůči oděru.....	38
3.3.6 Reologické vlastnosti.....	39
3.3.7 Analýza obrazu pro určení prášivosti	40
3.4 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY	40
3.4.1 Vsákavost vody do substrátu podle Cobba.....	40
3.4.2 Drsnost materiálů.....	41
3.4.3 Přenosové křivky	42
3.4.4 Optické vlastnosti	44
3.4.5 Vliv potiskovaného materiálu na odolnost tisku vůči oděru.....	49
3.4.6 Tokové křivky.....	50
3.4.7 Reologické parametry UV ofsetových barev.....	52
3.4.8 Prášivost UV ofsetových barev.....	55
ZÁVĚR	56
ZDROJE.....	59

SEZNAM ZKRATEK	62
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	63

1 ÚVOD

Tato práce je zaměřená na studium fyzikálních vlastností a následné srovnání dvou UV záření tvrditelných bílých barev pro ofsetový obalový tisk.

Teoretická část se orientuje na základní charakteristiku vícevrstevných skládačkových lepenek a především na rozbor tiskových barev s důrazem na složení, vlastnosti a metodu vytvrzování UV tiskových barev. Hlavním tištěným zdrojem pro úvodní část byla *Moderní polygrafie* doplňovaná ISO normami, online články a zdroji spojenými s vícevrstevnými skládačkovými lepenkami, případně další publikace orientující se na vlastnosti tiskových barev a materiálů.

Cílem diplomové práce je zhodnocení a srovnání dvou UV záření vytvrzovaných bílých barev od různých výrobců testovaných na síťových stranách tří různých materiálů. Síťové strany vícevrstevných skládačkových lepenek byly zvoleny z důvodu problematického potisku a vysoké spotřebě bílých barev při podtisku designu kartonových obalů firmou Westrock Packaging System Svitavy.

Jelikož jsou všeobecně bílé barvy specifické a výrazně se liší od procesních barev, byly zvoleny testované parametry tak, aby je bylo možné adekvátně vyhodnotit. Testovanými parametry tedy byly reologické vlastnosti, optické vlastnosti, odolnosti tisku vůči oděru a prášivosti barev. Na všechny zmíněné vlastnosti však může mít vliv i vsákavost a drsnost potiskovaného substrátu.

Z výsledných vlastností testovaných barev lze vyvodit výhody a nevýhody jejich použití, jejich chování v tiskovém stroji a následně jejich vlastnosti a tendence na potiskovaném substrátu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Vícevrstvé skládačkové lepenky

V současné době jsou možnosti potiskovatelných materiálů v podstatě neomezené a s rozvojem technologií dochází také k objevování nových možností. Vzhledem k tomu, že tato práce bude zkoumat vlastnosti UV barev určených pro obalový tisk na archových ofsetových strojích, dojde k představení především vícevrstevných skládačkových lepenek, vlastností těchto materiálů a metod jejich testování.

V ISO normě 4046-3 je označení lepenka definováno jako „*obecný termín používaný pro některé druhy papíru obvykle charakterizované relativně vysokou tuhostí*“. [1] Může se tedy jednat o substráty o vyšších plošných hmotnostech, které jsou označovány jako tiskové papíry, ale není to podmínkou. Mnohdy se některé skládačkové materiály o nižších plošných hmotnostech označují jako lepenky, na druhou stranu savý papír s vyšší plošnou hmotností je považován za tiskový papír. [2]

2.1.1 Výroba

Pro výrobu vícevrstevných skládačkových lepenek se používají papírenské stroje s podélným sítem, případně také stroje s válcovými síty. Zatímco výroba na stroji s plochým sítem spočívá v nanášení dvou různých druhů papírovin z nátokových skříní na síto stroje, u druhé varianty se papírovina přivádí nejdříve na jedno z válcových sít a následně je snímána plstěncem, který prochází skrz více válcových sít, kde se na sebe nanášejí jednotlivé druhy papíroviny postupně. [3]

K rozvlákňování dřeva může docházet dvěma způsoby – mechanickým nebo chemickým. Rozdíly jsou patrné na délce a tuhosti vláken. Zatímco vlákna vyráběna způsobem mechanickým jsou krátká a tuhá, čímž přispívají k objemnosti a tuhosti papíru, vlákna vyráběna chemicky jsou dlouhá a pružná, což upravuje vlastnosti papíru tak, aby byl silný a pružný. Kombinace těchto dvou typů vláken je vhodná pro výrobu vícevrstevných skládačkových lepenek. Díky rozdílnosti vláken se mohou upravovat jak vlastnosti jednotlivých vrstev, tak výsledné lepenky. [4]

2.1.2 Složení

Základem vícevrstvé lepenky jsou složky různých materiálů charakteristické odlišnými vlastnostmi. Právě na základě typů jednotlivých vrstev lze vícevrstvé skládačkové lepenky rozčlenit do několika kategorií. Tyto kategorizační skupiny jsou označeny kódem

definovaným normou DIN 19303. Pro kódování se používají buď dvě písmena, případně jejich kombinace s číslem. Každá složka názvu charakterizuje něco jiného [2, 5, 6, 7]:

- *první písmeno* – způsob povrchové úpravy,
- *druhé písmeno* – převažující typ vlákniny,
- *číslo* – volumen, případně zbarvení sítové strany kartonu či lepenky.

Následující tabulka stručně a přehledně zobrazuje používaná písmena a jejich význam v kódu.

Tabulka 1: Význam písmen v kódu vícevrstevných lepenek

První písmeno v kódu	
Písmeno	Význam
U	nenatíraný
G	natíraný
A	s odlévaným nátěrem
Druhé písmeno v kódu	
Písmeno	Význam
Z	lepenka z bělené chemické buničiny
N	lepenka z nebělené chemické buničiny
C	lepenka chromonáhroda
D	duplex z recyklovaných vláken
T	triplex z recyklovaných vláken

V případě D typu lepenky, která je charakteristická šedou barvou sítové strany materiálu, označuje doplňující číslice volumen. U ostatních lepenek se pak jedná o rozlišení lepenek dle barevnosti sítové strany materiálu viz. tabulka 2.

Tabulka 2: Význam čísla v kódu vícevrstvých lepenek

Číslo v kódu			
Číslo	Volumen	Číslo	Zabarvení
1	> 1,45 cm ³ /g	1	bílé
2	= 1,30 –1,45 cm ³ /g	2	krémové
3	< 1,30 cm ³ /g	3	hnědé

Všechny výše zmíněné lepenky mohou být opatřeny pigmentovým nátěrem. Jak již bylo zmíněno, pro výrobu se používají různé typy buničiny a s tím souvisí také výsledné rozdílné vlastnosti vícevrstvých lepenkových materiálů [6, 7, 8]:

- **lepenka z bělené chemické buničiny** – vyráběná ze sulfátové buničiny, velice kvalitní mechanické, optické a funkční vlastnosti, hojně využívána pro obalový tisk určený k balení potravin,
- **lepenka z nebělené chemické buničiny** – základem je nebělená buničina, která dodává lepence charakteristický hnědý odstín, někdy může být částečně nahrazena mechanickou nebo recyklovanou buničinou (v řadě případů je na lícovou stranu použita buničina bělená), využívá se obvykle v oblasti, kde je vyžadována vysoká pevnost a odolnost vůči vodě,
- **lepenka chromonáhroda** – složená z jedné nebo více vrstev chemické buničiny, tyto vrstvy jsou proložené bělenou dřevovinou nebo mechanickou buničinou, charakteristická dobrou potiskovatelností, vhodná pro výrobu potravinářských obalů,
- **duplex z recyklovaných vláken** – střední a spodní vrstva z recyklovaných vláken, horní vrstva může být z primárních vláken bělené buničiny případně z recyklovaných vláken upravených technologií deinking (odstranění tiskových barev z povrchu vláken),
- **triplex z recyklovaných vláken** – střední vrstva z recyklovaných vláken, horní a spodní vrstva z primárních vláken bělené buničiny případně z recyklovaných vláken.

2.1.3 Vlastnosti

Každý materiál je charakteristický svými vlastnostmi, které jsou hlavní příčinou odlišností. Vlastnosti lepenkových materiálů se v zásadě popisují podobnými parametry jako klasické tiskové papíry. V obou případech se mohou dělit na vlastnosti mechanické, fyzikální, všeobecné, optické, chemické a funkční. S ohledem na oblast obalového ofsetového tisku mohou některé parametry ovlivňovat potiskovatelnost vícevrstevných lepenek či jejich dokončovací zpracování.

Mezi *všeobecné vlastnosti* papírů a lepenek lze zařadit [8]:

- a) **dvoustrannost** – vlastnost papírů a lepenek charakterizující odlišnost vlastností protilehlých povrchů materiálu, což je způsobeno odvodem vody při papírenské výrobě na síť papírenského stroje. Právě tento proces způsobuje větší otevření spodního povrchu – označovaný jako tzv. *sítová strana*. Tato strana je charakteristická nižší hladkostí, bělostí a často i otiskem struktury síta.
- b) **Směr výroby** – je ovlivněn pohybem vláken na sítu papírenského stroje, na základě toho lze rozdělit směr výroby na *příčný* (kolmý k pohybu síta) a *podélný* (rovnoběžný s pohybem síta). Pro jeho stanovení se používají různé metody – např. sledováním zkroucení vzorku na vodní hladině.
- c) **Dráha papíru** – určena u materiálů nařezaných z role na jednotlivé archy. Může být tzv. *úzká* – vlákna souběžná s delší stranou archu, nebo také tzv. *široká* s vlákny souběžnými s kratší stranou archu.
- d) **Plošná hmotnost** – hmotnost papíru na jednotku plochy (v g/m²). Lze ji určit vážením na kvadrantových vahách.
- e) **Tloušťka** – kolmá vzdálenost protilehlých povrchů materiálu. Měří se tloušťkoměrem v mm případně μm.
- f) **Objemová hmotnost** – poměr hmotnosti materiálu k celkovému objemu, který zaujímá. S touto vlastností je úzce spojený také volumen, převrácená hodnota objemové hmotnosti. Se zvyšujícím se volumenem roste také tloušťka materiálu vzhledem k jeho plošné hmotnosti.

Významnými *fyzikálními vlastnostmi* papírů a lepenek, které mohou mít vliv na kvalitu tisku, jsou [9]:

- a) **vlhkost** – jelikož se papíry a lepenky díky své vláknité struktuře řadí mezi látky hydrokopické, snaží se přijímáním a zbavováním hygroskopické vlhkosti dosáhnout tzv. *rovnovážné relativní vlhkosti*. Tato veličina je využívána v praxi a

vyjadřuje vlhkost vzduchu mezi archy papíru ve stohu. Její optimální hodnota je okolo 50 %.

b) **zaklížení** – vlastnost materiálů zvyšující odolnost papíru proti vnikání vody a vodných roztoků do pórů. Tento parametr je dán stupněm zaklížení a lze jej určit třemi metodami:

- *čárová metoda* – sledování maximální šířky čáry, která se nerozpíjí a ani neproráží na druhou stranu vzorku.
- *Vsákavost podle Cobba* (ČSN500335) – podstata zkoušky tkví v sledování změny hmotnosti vzorku za sucha a po namočení jedné ze stran vodou po předem stanovenou dobu. Na základě zmíněné změny hmotnosti testovaného materiálu před a po experimentu lze pomocí následující rovnice určit hodnotu vsákavosti daného materiálu [10]:

$$\varphi_0(\text{Cobb}_x) = 100 \cdot (b - a) \quad (1)$$

kde $\varphi_0(\text{Cobb}_x)$ odpovídá vsákavosti stanovené podle Cobba udávané v g/m^2 , a [g] je hmotnost vzorku před zkouškou, b [g] pak hmotnost vzorku po zkoušce, 100 [l/m^2] značí přepočítávací faktor pro vyjádření vsákavosti.

- *Vsákavost kapky* do povrchu papíru za určitou dobu.

c) **pórozita** – určuje množství a velikost pórů v papíru.

d) **drsnost/hladkost** – důležitá pro správné rozválení barvy po potiskovaném substrátu a lze ji měřit několika metodami [9]:

- **podle Bekka** – stanovuje čas potřebný k proniknutí daného množství vzduchu mezi povrchem papíru a podložkou,
- **podle Bendtsena** – sleduje se množství vzduchu pronikajícího vlivem přetlaku mezi povrchem papíru a přiléhajícím kovovým prstencem.
- **podle Parkera** – obdobný princip jako u metody hodnocení drsnosti podle Bendtsena. Modifikace však spočívá v uspořádání měrné hlavice, která dokáže vzít v úvahu i nepatrné nerovnosti povrchu testovaného materiálu. Výsledkem je délkový údaj v μm , který vyjadřuje střední vzdálenost mezi povrchem papíru a dosedající plochou měrné hlavice.

Vzhledem k technologii tisku, a to ať se jedná o jakoukoliv metodu, musí parametry odpovídat požadavkům technologie, aby došlo k správnému přenosu a vytvrzení tiskové barvy na substrátu. Tím je zajištěna kvalita výsledného produktu.

Obecně se jedná o následující vlastnosti [9]:

- rovnoměrnost a stálost všech sledovaných parametrů,
- rovnoměrná plošná hmotnost, tloušťka a vlhkost,
- nízká prášivost,
- odpovídající opacita,
- nepatrná dvoustrannost,
- rovnoměrná formace k optimálnímu příjmu barvy,
- žádný výskyt nečistot.

Potiskovatelnost papírů a lepenek ovlivňují parametry, které Gebrtová rozděluje do tří kategorií [9]:

- *parametry ovlivňující zpracovatelnost materiálu při tisku* – mechanické a hydrokopické vlastnosti, prášivost a elektrostatický náboj,
- *parametry postihující vzájemný vztah mezi materiálem a tiskovou barvou* – strukturní a povrchové vlastnosti papírů a lepenek, fyzikální a tiskové vlastnosti
- *parametry ovlivňující výsledný efekt tisku, nikoli průběh vlastního procesu* – bělost, opacita, lesk, barevnost atp.

Dalším faktorem je množství přenesené barvy. Tento parametr je ovlivněn jednak vlastnostmi tiskové barvy, jako jsou reologické vlastnosti, ale také charakter povrchu lepenky – pórovitost, hladkost, smáčivost barvou. Případně také tiskové podmínky – tiskový tlak, doba styku formy s papírem, či klimatické podmínky. Graficky lze množství přenesené barvy vyjádřit tzv. *přenosovou křivkou*. Z této závislosti optické hustoty tisku na množství přenesené barvy se dále vyhodnocuje přijímatelnost barvy potiskovaným materiálem, kdy se sleduje tzv. *kritické množství barvy* potřebné k úplnému zakrytí povrchu lepenky. Více v kapitole 2.2.3.

Drobné odlišnosti v požadavcích na potiskovaný materiál budou také patrné vzhledem ke zvolené tiskové technice. Pro ofsetový archový tisk je vhodné používat materiály o vyšší přijímatelnosti barvy materiálem a o vyšší povrchové pevnosti. Z důvodu používání vlhčícího roztoku musí být materiály dobře zaklížené a mít dostatečnou rozměrovou stálost. [9]

2.2 Ofsetové tiskové barvy

Obecně lze tiskové barvy charakterizovat jako nástroj „přenosu informace z tiskové formy na potiskovaný materiál“. [11] Vzhledem k požadavku na dobrou viditelnost motivu na potiskovaném materiálu musí být kombinace tisková barva-substrát zvolena vždy tak, aby byl na první pohled patrný kontrast mezi těmito dvěma materiály. [11]

Odlišné tiskové technologie s sebou nesou také požadavek na rozličné vlastnosti tiskových barev. Proto lze tiskové barvy dělit následujícím způsobem [12]:

- knihtiskové,
- ofsetové,
- flexotiskové,
- hlubotiskové,
- sítotiskové.

Z fyzikálního pohledu lze tiskové barvy obecně popsat jako dvoufázové disperzní soustavy – suspenze. Tiskové barvy tudíž obsahují několik složek – barvotvorné látky, pojiva, rozpouštědla a aditiva. Zejména dle typu pojiva a rozpouštědel s ohledem na typ potiskovaného materiálu se tiskové barvy liší způsobem zasychání – odpařování, penetrace, oxypolymerizace, vytvrzování UV a EB zářením. [11]

Tiskové barvy pro ofsetový tisk jsou specifické nejnižší tloušťkou barvové vrstvy. Důvody jsou především přenosová kapacita tiskové formy založená na technice tisku z plochy a také nepřímá technika přenosu barvy z tiskové formy na potah ofsetového válce a následně až na potiskovaný materiál – dvojnásobné štěpení. Ofsetové barvy musí splňovat požadavky odvíjející se od typu ofsetového tisku. U ofsetového tisku s vlhčením musí docházet k dostatečnému příjmu vlhčícího roztoku a k vytváření stabilní jemné emulze typu voda v oleji. Naopak u ofsetového tisku bez vlhčení je kladen důraz zejména na předcházení nežádoucího zabarvení netisknoucích míst, což je ovlivňováno zejména množstvím silikonového oleje v barvě. Zároveň se také liší barvy dle typu potiskovaného materiálu (s ohledem na jeho nasákavost), ale také dle toho, zda se jedná o rotační (heatsetové či coldsetové) či archový ofset. [11, 12, 13]

V ofsetovém tisku jsou používány barvy konvenční a UV zářením vytvrzované. Vzhledem k rozdílnému typu zasychání se bude i složení barev lišit. Pro znázornění jsou v tabulkách 3 a 4 uvedeny konkrétní příklady receptur těchto dvou typů ofsetových barev.

Tabulka 3: Složení konvenčních archových ofsetových barev [11]

Složka barvy	Zastoupení v suspenzi [%]
pigment	12–18
vysychavé oleje	14–20
alkydy	6–14
tvrdé pryskyřice	22–28
minerální olej nebo rostlinný ester	18–25
polyolefinový vosk	1–3
sušidla	2–5

Tabulka 4: Složení UV ofsetových barev [18]

Složka barvy	Zastoupení v suspenzi [%]
pigment	14–24
epoxyakryláty	10–40
zředěné polyestery	0–40
polyesterakryláty	0–30
plniva	4–8
vosky	1–2
monomery	5–15
směs fotoiniciátorů	6–12
stabilizátory, inhibitory	< 1

2.2.1 Složení

Barvotvorné látky

Základní složkou barev jsou **barvotvorné látky** zabezpečující díky absorpci a rozptýlu světla v barvovém filmu optické vlastnosti barvy, jako je opacita a barevný odstín. Barvotvorné látky lze dle literatury rozdělit na [12]:

- barviva,
- pigmenty.

Barviva se v barvě nacházejí v podobě roztoku s pojivem. Jsou charakteristická nižší barevnou sytostí, projevující se zejména na savých materiálech, dále také nižší odolností vůči světlu a chemickým vlivům. Právě z těchto důvodů jsou využívány pouze jako doplňky k pigmentům upravující výsledný barevný odstín. [12]

Pigmenty Trojan a kol. popisují jako: „*práškové látky, jež po rozptýlení ve vhodném prostředí mají krycí nebo vybarvovací schopnosti, či jiné speciální vlastnosti.*“ [15] Práškový charakter pigmentů znamená nutnost jejich dispergace ve speciálním prostředí, označovaném jako pojivo, které však musí být vybráno tak, aby nedocházelo k rozpouštění pigmentového prášku, tudíž spolu tvoří heterogenní směs. [15]

Základními vlastnostmi pigmentů jsou [11]:

- *barvivost* – přidáním pigmentu lze změnit barevný odstín dané látky,
- *barevná stálost* – vlivem světla nemění svoji barvu (v případě UV barev jsou kladeny speciální požadavky na stálost pigmentu vůči UV záření),
- *velikost částic* – měla by být výrazně menší, než je velikost vytvrzeného barvového filmu, jehož tloušťka se odvíjí od typu tiskové techniky – pro ofsetový tisk by se měla velikost částic pohybovat cca kolem 1 μm ,
- *dispergovatelnost v běžných pojidlech*,
- *odolnost vůči chemikáliím*,
- *kryvost* – pigment je schopný zakrýt nehomogenity povrchu materiálu,
- *textura* – tvrdost pigmentu.

Na základě chemického složení lze pigmenty rozdělit na **organické** a **anorganické**. **Organické pigmenty** se ve většině případů odlišují od anorganických „*lepší barvivostí, jasnějšími odstíny, nižší hustotou, měkkou texturou a vysokou transparentí*“. [11] Jedná se

zejména o pigmenty pestré určené jak pro výrobu tiskových barev normalizovaných (CMY, Hexachrom), tak pro integrované systémy míchání barevných odstínů např. ze vzorníků Pantone či HKS. Jako konkrétní příklady můžeme uvést: C.I. Pigment Blue 15:3 (ftalocyanin mědi) nebo C.I. Pigment Yellow 13 (žlutý diazo-pigment ze skupiny diarylidů).[11, 12]

Z hlediska chemické struktury lze v pestrých organických pigmentech nalézt chromofory – skupiny atomů schopné selektivně absorbovat světlo – a také auxochromy – skupiny atomů zesilující barevný odstín. [11]

Anorganické pigmenty jsou z pohledu chemického složení zejména oxidy, sulfidy, případně sírany. Jejich výroba je sama o sobě poměrně jednoduchá, ale pokud chce výrobce dosáhnout požadované kvality z hlediska čistoty, struktury a velikosti částic produktu, stává se výrobní proces složitým. [16]

Na základně barevnosti lze anorganické pigmenty rozdělit na *černé, bílé a pestré*. Základním *černým pigmentem* užívaným v polygrafii je čistý amorfní uhlík v podobě sazí. Právě saze dodávají černým tiskovým barvám vysokou barvivost, kryvost a odolnost vůči světlu a teple. Nevýhody však tkví ve špatné mísitelnosti s ostatními pigmenty. Problémem je také jejich absorpční schopnost, která může být důvodem zpomalení zasychání oxypolymerací. Různé druhy sazí lze rozlišit na základě způsobu výroby, případně také druhu použité suroviny při spalování. Ke spalování se používají odpadní produkty z organických výrob, čistší a jemnější saze se získají spalováním metanu a rozkladem acetelynu. Konkrétní druhy se pak od sebe liší velikostí částic, čistotou a hloubkou černého odstínu. [11, 15]

Vzhledem k zvyšujícím se požadavkům na kvalitu tisku se zároveň zvyšují požadavky na kvalitu bílých pigmentů. Bílé pigmenty jsou obecně schopny, i přes absorpci pouze malé části dopadajícího světla, v podstatě zcela dokonale zakrýt podkladový materiál. Tato krycí schopnost vzniká díky difuznímu rozptylu světla, což je způsobeno vysokým indexem lomu. *Z bílých pigmentů* se při výrobě tiskových barev nejvíce uplatňuje zejména titanová běloba. [17]

Pro zajištění kvalitní tiskové produkce s použitím tiskových barev s titanovou bělobou, musí pigment splňovat následující požadavky [17]:

- *nízká abrazivita* – používají se zejména druhy titanové běloby vyrobené tzv. sulfátovou metodou,
- *vysoká opacita a barvivost* – nezbytné z důvodu nanášení malé tloušťky filmu barvy na potiskovaný materiál,
- *vysoký lesk v různých pojivových systémech*,

- *velmi dobré zpracovatelské vlastnosti* – jako je např. vysoká schopnost dispergace, nízká viskozita v pojivech,
- *nízká sedimentace a reaglomerace* – přispívá k zvýšení stability výsledné tiskové barvy.

Při volbě konkrétního typu titanové běloby je nutné brát v úvahu klasický tisk či tisk tzv. *reverzní* (tisk na zadní stranu materiálu).

Alternativou bílého pigmentu vhodnou pro použití v polygrafii je také oxid zinečnatý, známý jako zinková běloba. Jeho vlastnosti – stálost na světle, střední barvivost, malá kryvost a nízká odolnost vůči alkáliím a kyselinám – naznačují, že se jedná pouze o ojedinělé případy jeho použití. [11]

Aby byly pigmenty pestré, musí odrážet část spektra denního světla odpovídající jejich barevnému odstínu a zbytek spektra absorbovat. Čistota barevného odstínu ani tak není stoprocentní, protože dochází k odrazu více vlnových délek. Anorganické pestré pigmenty mají výrazně omezené možnosti využití z důvodu škodlivého vlivu na životní prostředí, jedná se totiž především o sloučeniny těžkých kovů. [16]

Tenký film ofsetové barvy má vliv na množství a velikost pigmentových částic v tiskové barvě. K dosažení sytého vybarvení tisku je třeba, aby pigmentových částic bylo co nejvíce a zároveň byly co největší a daly se v barvě co nejvíce rozdispergovat. Díky velké pigmentaci jsou ofsetové tiskové barvy pastózní a vykazují tixotropní a pseudoplastický charakter. [11, 12, 13]

Dalším faktorem ovlivňujícím pigmentovou složku ofsetových barev je vrstvení barev na sebe a to buď technikou mokrá do mokré, nebo mokrá do suché. Zejména pro produkty určené ke komerčnímu použití, jako jsou plakáty nebo obaly, je nutné, aby byly barvy světlostálé, a proto je nutné vybírat pigmenty, které tuto vlastnost splňují. V případě zvolení pigmentu s nízkou světlostálostí může docházet k blednutí nebo posunu barevného odstínu, což bývá pro zákazníka nepřijatelné. U obalových produktů je nutné brát také v úvahu, jaký výrobek bude do obalu vkládán, mnohdy se může stát, že např. chemické a kosmetické prostředky určené pro úklid domácnosti mohou při skladování interagovat s barvou na obalu. Tento problém se však dá také vyřešit např. laminací či lakováním, barva však musí splňovat požadavky pro následné dokončující zpracování tak, aby při dokončování nedošlo k nechtěné změně odstínu. [18]

Tabulka 5: Typy pigmentů odpovídající požadavkům ofsetového tisku pro procesní barvy [18]

Procesní barva	Pigment
černá	CI Pigment Black 7
azurová	CI Pigment Blue 15:3
purpurová	CI Pigment Red 57:1
žlutá	CI Pigment Yellows 12. a 13.

Filmotvorné látky

Další složkou tiskových barev jsou filmotvorné látky plnící funkci pojiva. Patří mezi ně zejména olejové alkydové pryskyřice (základní složku pro jejich výrobu jsou vysychavé a polyvysychavé rostlinné oleje) atp. Většinou se pojivo skládá ze dvou a více různých filmotvorných látek. Aby při tisku docházelo ke správnému vytvrzení barvového filmu, musí pojivo splňovat následující požadavky [18]:

- nízké povrchové napětí,
- dobrá rozpustnost ve slabých rozpouštědlech,
- vyvážená snášenlivost s vodou – voda nesmí být příliš odpuzovaná, ani se v ní pojivo nesmí příliš mísit,
- soudržnost se slabým rozpouštědlem.

Při vytvrzování tiskových barev a laků UV či EB zářením dochází k síťování řetězců prostřednictvím dvou typů reaktivních složek [11]:

- *oligomerů* (dominantní) – z hlediska obsahu v barvách jsou dominantní, odvozeny od nízkomolekulárních akrylátů, polyesterů, epoxidových pryskyřic, polyetherů atp.,
- *monomerů* (mají spíše funkci rozpouštědla) – plní funkci rozpouštědla, obsahují jednu až tři reaktivní skupiny v molekule (akrylový, vinyl etherový nebo epoxidový typ).

Reaktivní směsi určené pro barvy vytvrzované UV zářením obsahují navíc také fotoiniciátory polymerace (iniciační systém). [11]

Rozpouštědla

Aby docházelo ke správnému přenosu tiskové barvy na potiskovaný substrát, rozpouštědlo musí být voleno tak, aby dokonale rozpouštělo zvolenou filmotvornou látku a tím dodalo tiskové barvě správnou tekutost. Jelikož mají ofsetové barvy dlouhý barevník s velkým počtem válců, mohlo by zde docházet k zasychání barvy odpařením rozpouštědla. Proto jsou jako rozpouštědla voleny látky s vysokým bodem varu a nízkou schopností poškozovat jednotlivé části tiskového stroje. Konkrétně lze pro ofsetový tisk použít ropné destiláty – minerální oleje a benziny (směsi alifatických uhlovodíků). [11, 12, 13]

Kromě těkavosti látek a vysoké teploty varu je v případě heatsetových barev důležitou vlastností rozpouštědel také obsah volně odpařitelných aromátů, což má vliv především na rychlost schnutí barvového filmu.

V případě UV zářením vytvrzovaných barev plní funkci rozpouštědla monomery.

Aditiva

Literatura definuje aditiva jako látky mající schopnost zlepšit dispergaci pigmentu po dobu výroby barvy a schopnost zlepšit stabilitu vlastností barvy po její výrobě. [12] Mnohdy se do ofsetových barev přidávají také aditiva ovlivňující výslednou podobu tisku, případně mohou modifikovat vlastnosti barvy s ohledem na potiskovaný materiál. Hojně využívanými aditivami konkrétně jsou – sušidla, antioxidanty, vosky, aditiva zabraňující obtahování.

- *Sušidla* – hlavním úkolem je urychlení zasychání tiskové barvy oxypolymerací, čehož je dosaženo přidáním malého množství kovových sloučenin do formulace barvy. Nejpoužívanějšími kovovými prvky jsou kobalt a mangan.
- *Antioxidanty* – díky těmto látkám nedochází k předčasné želatinaci oxypolymerační barvy při dlouhodobém skladování. Udržují však také dobrou schopnost roztečení barvy po povrchu a zacelení nerovnostní povrchu potiskovaného materiálu.
- *Vosky* – přispívají ke zvýšení odolnosti tisku vůči oděru a zároveň zlepšují povrchové vlastnosti, jako je kluznost a lesk, tiskové barvy.
- *Aditiva zabraňující obtahování* – zvyšují rychlost vytvrzování barvového filmu na potiskovaném materiálu. Zrychlením vytvrzení klesá pravděpodobnost slepování archů ve stohu a k následnému obtahování. [18]

2.2.2 Princip vytvrzování

Složení barev, speciálně typ pojiva a rozpouštědla, jsou hlavními aspekty rozdílnosti mechanismů vytvrzování. Aby se na povrchu potiskovaného materiálu vytvořil stabilní, nelepivý barvový film, musí barvy dostatečně zaschnout, což kromě výše zmíněného složení ovlivňují také chemické a fyzikální procesy související s typem potiskovaného materiálu. Základními mechanismy zasychání jsou [11]:

- *odpařování,*
- *penetrace,*
- *oxypolymerace,*
- *vytvrzování UV a EB zářením.*

Prvním typem vytvrzovacího mechanismu je *odpařování*. Zasychání barvy na povrchu materiálu způsobuje ubývání obsahu těkavých rozpouštědel, která jsou v důsledku zvýšené teploty nebo infračerveného záření odpařována. Jedná se především o barvy hlubotiskové a flexotiskové, pro které jsou právě organická těkavá rozpouštědla charakteristická. Z ofsetových barev zasychají odpařováním rozpouštědla barvy heatsetové.

Barvy vytvrzované *penetrací* jsou specifické obsahem mobilního, nízkoviskózního rozpouštědla, např. minerálního oleje. Rychlost zasychání lze ovlivnit změnou teploty, porozitou a fyzikálními a chemickými vlastnostmi povrchu potiskovaného materiálu. Tento mechanismus se hojně využívá při vytvrzování ofsetových barev určených pro tisk na savé materiály (novinový tisk – coldset).

Pokud tisková barva obsahuje pojiva na bázi vysychavých rostlinných olejů, dochází k vytvrzování barvového filmu mechanismem *oxypolymerace*. Jedná se o soubor chemických reakcí, ke kterým dochází vlivem přítomnosti dvojných vazeb v okolí methylových skupin mastných kyselin a olejů. Reakcí s kyslíkem obsaženým ve vzduchu vznikají hydroperoxy a peroxy. V důsledku reakce peroxidů se sušidly dochází k uvolňování volných radikálů, které následně iniciují polymerační reakci dalších molekul nenasycených mastných kyselin. Oxypolymerace umožňuje potisk nesavých materiálů např. polymerních folií. Kombinace se zapíjením je charakteristická pro archový ofsetový tisk na savé materiály. V tomto případě dojde nejdříve k penetraci mobilní složky pojiva (obsahují antioxidanty) a následně k dotvrzení mechanismem oxypolymerace. [11, 12]

Jak už bylo zmíněno výše, struktura barev *vytvrzovaných UV či EB zářením* se od konvenčních barev liší – oligomery plní funkci pojiva a monomery jsou reaktivním rozpouštědlem. Aby mohlo dojít k správnému vytvrzení těchto barev, musí být polymerační

reakce zahájena ozářením barvové vrstvy UV zářením o vyšší energii než je vazebná energie fotoiniciátoru. Rozpadem molekul iniciátoru vlivem záření vznikají radikály či ionty. Tyto částice následně iniciují polymerační reakce. Základními mechanismy vytvrzování barev UV zářením jsou *radikálová* a *kationtová polymerace*.

V případě *radikálové polymerace* jsou reakčními skupinami dvojné vazby. První fázi radikálové polymerace je iniciace složená ze dvou kroků. Prvním je dodáním energie do systému prostřednictvím UV záření, čímž dochází k rozpadu fotoiniciátoru. Nově vzniklé radikály pak reagují s dvojnou vazbou. Celý vytvrzovací proces pokračuje přesunem reakčních center na konec řetězce, kam se napojují další molekuly monomerů, tento krok se označuje jako – propagace. Řetězec přestane růst zároveň se zánikem reakčního centra. Poslední krok je v literatuře označován jako terminace. [20, 21]

Kationtová polymerace je zahájena Lewisovými kyselinami vznikajícími rozpadem fotoiniciátoru po absorpci UV záření. Iniciace začíná protonizací monomeru Lewisovou kyselinou za vzniku reakčního centra. Dále dochází k reakci reakčních center s molekulami pojiva za vzniku polymerní sítě. Na rozdíl od radikálové polymerace zde nedochází k terminaci reakcí dvou reakčních center. K terminaci dochází přenosem reakčního centra na jinou molekulu, proto je proces propagace výrazně delší (a může probíhat ještě hodiny po ukončení ozařování). [22]

2.2.3 Vlastnosti tiskových barev a metody testování

Optické vlastnosti

Mezi optické vlastnosti tiskových barev můžeme zařadit **optickou hustotu (denzitu)**. Obecně charakterizuje poměr mezi intenzitou odraženého a dopadajícího světla, označovány jako *reflektance* (v případě propuštěného světla – *transmitance*) s ohledem na typ předlohy – transparentní nebo odrazové – a použitý substrát. Čím bude větší pohlcení světla, tím je testovaný materiál tmavší, což odpovídá vyšší denzitě. Přístroje pro měření optické hustoty se označují jako denzitometry a lze je rozdělit dle optického uspořádání [11]:

- **transmisní** – založené na měření prošlého světla skrz předlohu, určeny pro měření filmů

$$D = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad T = \frac{I_T}{I_0} \quad (2)$$

- **reflexní** – měří množství odraženého světla, pro měření tištěných vzorků.

$$D = \log\left(\frac{1}{R}\right) \quad R = \frac{I_T}{I_0} \quad (3)$$

Pro popis barev lze často využít jejich číselné vyjádření v souřadném systému daného **barvového prostoru**. V polygrafické praxi je pro hodnocení barev používán barvový prostor **CIE L* a* b***. Tento barvový prostor vznikl v roce 1976 díky organizace CIE. Je charakterizovaný třemi osami L* a* b*, které jsou na sebe navzájem kolmé. Osa a* reprezentuje odstín červeno-zelený, osa b* pak žluto-modrý a hodnota L* charakterizuje jasovou složku. Matematicky lze model popsat následovně [11]:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad (4)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right] \quad (5)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right] \quad (6)$$

Kde X, Y a Z jsou trichromatické hodnoty dané barvy vztažené k trichromatickým hodnotám zvolené referenční bílé barvy – X₀, Y₀ a Z₀.

Vzhledem k nutnosti porovnávání barev mezi sebou a vyhodnocování matematickými způsoby byla definována **barvová odchylka** ΔE^*_{ab} . Je dána vztahem:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

a popisuje rozdíl barevnosti vzorků s barevností L^*_1, a^*_1, b^*_1 a L^*_2, a^*_2, b^*_2 . Pokud je odchylka větší, než je stanovená hranice, lze konstatovat, že testovaná barva neodpovídá požadavkům. Hodnota hranice je stanovena normou případně zákazníkem. [11]

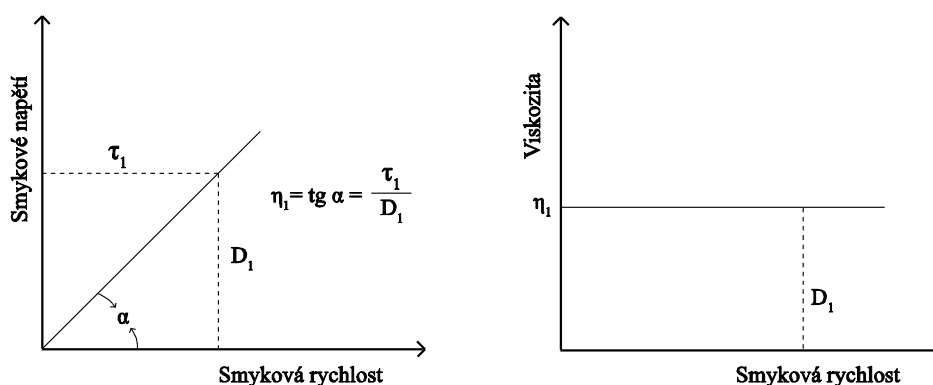
Objemové vlastnosti a vlastnosti filmu barvy

Objemové vlastnosti a vlastnosti filmu barvy jsou dvě skupiny parametrů tiskových barev. Zatímco v prvním případě se jedná o parametry spojené se samotným přenosem barvy z tiskové formy na potiskovaný materiál (reologické a funkční), druhá skupina může být chápána buď jako vlastnosti uplatňující se při vytvrzování barvového filmu ihned po nanesení na materiál (např. rychlost zapíjení, lepivost), nebo také jako parametry suchého filmu (např. optické vlastnosti, odolnost vůči mechanickému namáhání – oděru). [12]

Reologické vlastnosti

Ve strukturách kapalin dochází k přesunu makromolekul tokem (různými rychlostmi) a tuto vlastnost popisuje koeficient dynamické viskozity η . Pro stanovení závislosti dynamické viskozity na smykové rychlosti musí být vhodně měřeny hodnoty smykového napětí τ , které odpovídají rychlosti deformace D . Na základě naměřených hodnot lze sestavit tzv. *reogram* – tokovou křivku. Křivka závislosti viskozity případně smykového napětí na smykové rychlosti je potom označovaná jako viskozitní. [23]

Jestliže je závislost tečného napětí na smykové rychlosti konstantní, výslednou tokovou křivkou je přímka (obrázek 1).



Obrázek 1: Toková a viskozitní křivka newtonské kapaliny [23]

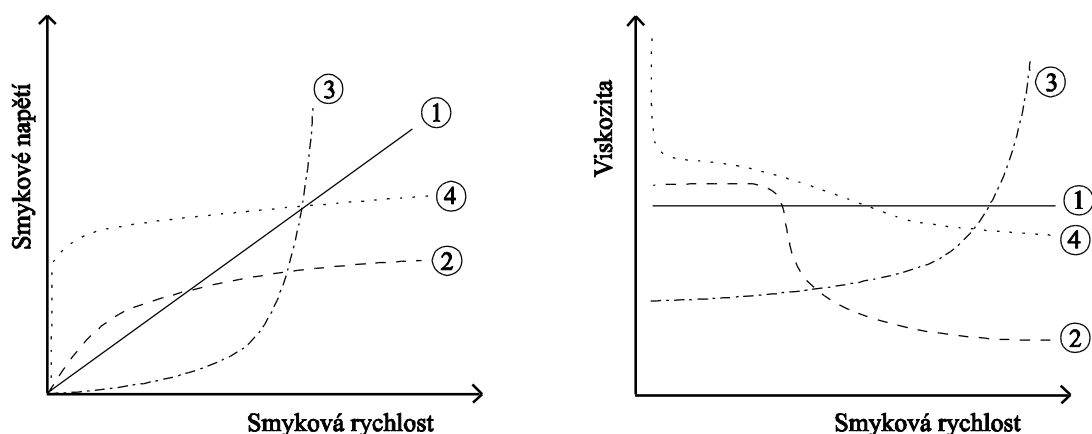
Při znázornění závislosti tečného napětí na smykové rychlosti je hodnota viskozity zaznamenána v podobě směrnice dané přímky. Na základě těchto faktů lze celý proces popsat Newtonovým zákonem:

$$\tau = \eta \cdot D \quad (8)$$

Tento typ kapalin je možné označovat jako **Newtonské**. A konkrétně se jedná o např. vodu, lněný olej, glycerol, roztoky polymerů o nízkých koncentracích. [24]

Často dochází ke složitému propletení makromolekul polymerů, což brání jejich volnému toku. Závislost tečného napětí na smykové rychlosti je potom nelineární a kapaliny jsou označovány jako **Nenewtonské**. Jelikož se viskozita nenewtonských kapalin mění v závislosti na smykové rychlosti i tečném napětí, lze hovořit pouze o viskozitě zdánlivé $\eta' = \tau/D$.

V tomto případě lze rozlišovat nenewtonské kapaliny **pseudoplastické**, **plastické** a **dilatantní**. Na základě vztahu viskozity a době působení smykového napětí se kapaliny rozdělují na **tixotropní** a **reopexní**. [24]



① Newtonské kapaliny Nenewtonské kapaliny: ② pseudoplastické ③ dilatantní ④ plastické

Obrázek 2: Srovnání tokových a viskozitních křivek newtonských a nenewtonských kapalin [23]

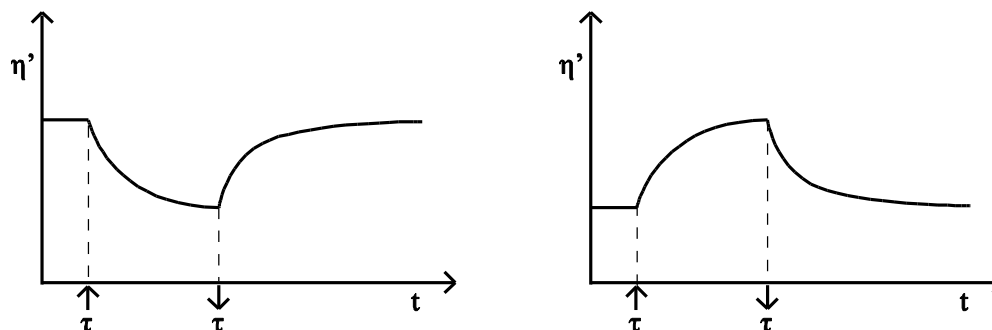
U mnoha kapalin tokové chování není patrné okamžitě po dodání smykového napětí do systému. Nejdříve musí dojít k dosažení tzv. meze tečení odpovídající minimální hodnotě potřebné pro projevení tokového chování daného systému. Látky, které se takto projevují, jsou označovány jako **plastické**. Výše zmíněné síly ovlivňují pohyblivost molekul a tím je docíleno charakteru pevné látky s nekonečnou viskozitou. Díky imobilizaci velkého množství kapalně fáze do struktury se látka chová jako pružné těleso. Pokud vnější síly překonají hranici mezimolekulární síly, jsou schopné překonat mez toku a kapalina tím pádem může téci. Do plastických látek lze zařadit např. kaučuk, tuky. [24]

V případě, že viskozita se zvyšující se smykovou rychlostí klesá, kapaliny jsou označovány jako **pseudoplastické**. Jedná se zejména o látky na první pohled homogenní, ale ve skutečnosti složené z částic nepravidelných tvarů, z částic jedné látky rozptýlených v podobě malých kapek v látce druhé, případně polymerní roztoky s dlouhými a zapletenými řetězci molekul. Klidový stav je charakteristický nepravidelnou vnitřní strukturou, což vede k zvýšení vnitřního odporu vůči tečení. Rozptýlené částice se v kapalině vlivem rostoucí smykové rychlosti orientují ve směru toku, dochází k postupnému rozmotávání zapletených řetězců a jejich orientaci souběžně se směrem toku, deformují se kulovité částice do oválných tvarů. Všechny zmíněné parametry usnadňují proudění kapaliny. Důležitým faktorem pseudoplastických kapalin je návrat viskozity na původní hodnotu po ukončení působení smykové rychlosti. [24]

Zvyšování viskozity v závislosti na zvyšování smykového napětí či smykové rychlosti je specifické pro látky **dilatantní**. Dilatantní charakter vykazují zejména látky s vysokou koncentrací suspenze. Mezery mezi pevnými částicemi jsou vyplňovány kapalinou, čímž umožňuje volný pohyb částic při nízkých smykových rychlostech. Naopak zvyšováním smykové rychlosti může docházet ke shlukování částic a následném bránění v pohybu – zvyšování viskozity. [24]

U **tixotropních** kapalin dochází při konstantním smykovém napětí k poklesu zdánlivé viskozity v závislosti na čase. Důvodem jsou slabé interakce mezi částicemi látky tvořící stabilní trojrozměrnou síť. Dlouhodobé působení smykového napětí urychluje rozrušování vazby a poklesu viskozity na minimální hodnotu. Po ukončení působení smykového napětí dojde k návratu kapaliny do původního stavu, jedná se tedy o látky reverzibilní.

Látky **reopexní** vykazují s dobou působení stálého smykového napětí rostoucí viskozitu. Stejně jako u látek tixotropních dochází k návratu kapaliny do původního stavu po ukončení působení napětí. [25]



Obrázek 3: Závislost viskozity na čase nenewtonských kapalin; Zleva: tixotropie, reopexie. [23]

Reálně se však neneutonské kapaliny nechovají přesně podle výše zmíněných pravidel. K lepšímu pochopení chování těchto látek bylo zavedeno několik matematických modelů.

Ostwald-de-Waelův mocninový model popisuje chování tiskových barev prostřednictvím dvou hlavních parametrů:

- index konzistence K [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$],
- index tokového chování n – za předpokladu, že je hodnota $n < 1$ jedná se o kapalinu pseudoplastickou, $n > 1$ odpovídá kapalině dilatantní a $n = 1$ potom kapalině newtonské. [13]

Vztah obou parametrů vyjadřuje rovnice 9 [13].

$$\tau = K \cdot D^n \quad (9)$$

Obecně může popisovat chování tiskových barev **Cassonův model**, v řadě případů se totiž jedná o pseudoplastické kapaliny s mezí toku, pro které byla sestavena *Cassanova rovnice*:

$$\tau^{\frac{1}{2}} = \eta_{\infty}^{\frac{1}{2}} \cdot D^{\frac{1}{2}} + \tau_M^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Všechny uvedené parametry popisují tiskové barvy a jejich strukturní změny během tiskového procesu. τ_M je parametr charakterizující chování barvy v barevnici tiskového zařízení, kde dochází k vystavování tiskové barvy malým smykovým rychlostem. Chování tiskové barvy na otáčejících se válkách barevníku a následně při přenosu barvy na potiskovaný substrát popisuje parametr η_{∞} . Konkrétně se jedná o úseky procesu přenosu barvy, kdy dochází k narušení struktury barvy vysokými smykovými rychlostmi. Délku vlákna barvy charakterizuje poměr τ_M/η_{∞} . Nízká tažnost odpovídá vyšším hodnotám, nízké hodnoty naopak charakterizují vysokou tažnost. [13]

Prášivost

Než se tisková barva dostane na potiskovaný materiál, musí nejdříve projít soustavou válců – od barevníku, přes formový a ofsetový válec. Aby byl možný transport barvy touto cestou, musí dojít k jejímu štěpení mezi povrchy sousedních válců. Tento fyzikální proces úzce ovlivňuje rychlost tisku, adhezní a kohezní síly a reologické vlastnosti tiskové barvy.

Nízká rychlost tisku přináší tiskové barvě dostatečný čas k jejímu rozlivu a díky tomu dochází k hladkému štěpení. Naopak při vysokých rychlostech dochází postupně ke třem krokům [11]:

- *kavitace* – vzniká podtlak ve vrstvě barvy při jejím štěpení ve styčném proužku za vzniku kulových dutin,

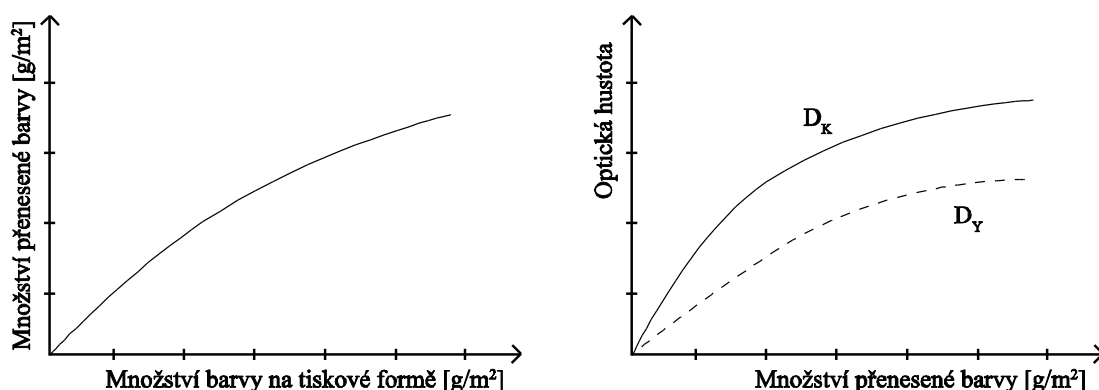
- *tvorba vláken* – vzniklé kulovité dutiny se oddalováním povrchů válců zvětšují a jsou vyplňovány vzduchem, čímž dochází ke vzniku vláken,
- *přetržení vláken* – postupně dochází k prodlužování vláken až do okamžiku jejich přetržení.

Při vysokých rychlostech tisku jsou mnohdy vlákna přetržena na dvou místech či více místech.

Z volné části odtržené od vlákna vlivem povrchového napětí vzniká kulička, která následně odletuje ve formě aerosolu, čímž dochází ke znečišťování pracovního prostoru a tiskového stroje. [24]

Přenosové křivky

Jak už bylo zmíněno výše, k přenosu tiskové barvy na potiskovaný materiál dochází pomocí jejího štěpení, při kterém se část barvy přenáší na následující válec (resp. potiskovaný materiál) a část zůstává na původním válci. Účinnost přenosu se vyhodnocuje na základě grafického znázornění závislosti množství přenesené barvy na množství barvy na tiskové formě, případně závislosti optické hustoty na množství přenesené barvy. Tato grafická znázornění jsou označována jako *přenosové křivky* (obrázek 4).



Obrázek 4: Přenosové křivky [11]

Na základě závislosti optické hustoty na množství přenesené barvy lze stanovit tzv. *kritické množství barvy* – minimální množství tiskové barvy potřebné pro pokrytí celého povrchu potiskovaného materiálu. Tento parametr je ovlivněn hladkostí a strukturou potiskovaného substrátu.

Pro matematický výpočet přenosu tiskové barvy je možné zvolit přenosovou rovnici Walker-Fetskovej [11, 12]:

$$y = b + f(x - b) \quad (11)$$

kde y odpovídá množství přenesené barvy, b je koeficient imobilizace, který definuje maximální množství barvy schopné penetrovat do substrátu, f je koeficient štěpení barvy udávající poměr štěpení neimobilizované barvy a x odpovídá množství přiváděné barvy.

Původně byla tato rovnice sestavena pro knihtisk. Pro potřeby ofsetového tisku musela být však později doplněna o koeficient hladkosti k a korekční funkce $F(x)$ a $\phi(x)$. Funkce $F(x)$ koriguje nedokonalý kontakt tiskové barvy s potiskovaným substrátem a $\phi(x)$ koriguje neúplnou imobilizaci. Koeficient hladkosti k určuje velikost plochy pokryté nánosem 1 g tiskové barvy [$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$]. U hladšího papíru je barva schopná pokrýt větší plochu, což znamená také vyšší hodnotu koeficientu hladkosti k . Výsledný tvar rovnice je tedy:

$$F(x) = 1 - e^{-kx} \quad (12)$$

$$\phi(x) = 1 - e^{-x/b} \quad (13)$$

$$y = F(x)[\phi(x)b + f(x - \phi(x)b)] \quad (14)$$

Obecně je přenos tiskové barvy ovlivněn rychlostí tisku, pórovitostí substrátu, složením tiskové barvy atd. [11, 13]

Odolnost vůči oděru

Vlivem tření může docházet k přenosu vytvrzené tiskové barvy z potištěného substrátu na druhou nepotištěnou stranu následujícího archu. Odolnost proti oděru je odvislá od několika parametrů [21]:

- velikosti pigmentů,
- složení tiskové barvy – podíl pryskyřice v pojidle (vyšší podíl znamená nižší odolnost), obsah vosků (vytvoří mezeru mezi tiskovým filmem a dalším archem materiálu),
- povrchu potiskovaného materiálu,
- stupně vytvrzení.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se zabývá studiem vlastností UV zářením tvrditelných bílých barev pro ofsetový obalový tisk. Cílem diplomové práce je zhodnocení a srovnání dvou UV bílých barev od různých výrobců testovaných na síťových stranách tří různých materiálů. Jelikož jsou všeobecně bílé barvy specifické a výrazně se liší od procesních barev, byly zvoleny testované parametry tak, aby je bylo možné adekvátně vyhodnotit. V následujícím textu dojde k analýze reologických vlastností, prášivosti barev a odolnosti tisku vůči oděru. Dále bude sledována vsákavost a drsnost potiskovaných substrátů.

3.1 Experimentální materiály

3.1.1 Vícevrstvé skládačkové lepenky

Pro experimentální část byly vybrány tři různé potiskované materiály. Všechny tři substráty spadají do kategorie vícevrstevných skládačkových lepenek. Liší se od sebe barevností síťové strany, na které jsou veškeré testy prováděny.

Konkrétně se jedná o:

- **Carrier Kote** – vysoce odolná nebělená vícevrstvá skládačková lepenka s kraftovou síťovou stranou. Obsahuje až 15% recyklovaných vláken. Navržená tak, aby byla vysoce odolná vůči vlhku a nízkým teplotám. Díky tomu se stala celosvětovým standardem pro výrobu obalů v oblasti beverage. [27]
- **Stora Razor** – plně natíraná vícevrstvá skládačková lepenka s kraftovou zadní stranou. Lícová strana obsahuje bělenou vrstvu buničiny. [28]
- **Korsnas White** – silně natíraný materiál vyráběný ze 100 % z panenských bělených vláken. Natíraný povrch lícové strany přináší skvělé tiskové vlastnosti. Vhodná pro výrobu obalů pro potraviny, luxusní alkohol, farmaceutické výrobky aj. [29]

3.1.2 UV tiskové barvy

Vlastnosti bílých UV tvrditelných barev pro archový ofsetový tisk byly zkoumány u dvou konkrétních barev od dvou různých výrobců:

- **Opaque White Premium NewV pack MGA** - od výrobce Huber group (dále pouze jako Huber). Oxid titaničitý přináší barvě velice dobrou krycí schopnost a vysoký stupeň bělosti. Použitím barvy Opaque White Premium se snižuje

pravděpodobnost nabobtnání gumových potahů válců na bázi nitrilu a EPDM. Barva může být použita jako přídavek do barevných tiskových barev, z důvodu zvýšení jejich opacity. Charakteristickými vlastnostmi jsou rychlé vytvrzování, vysoká reaktivita, vysoká denzita, vysoký stupeň adheze aj. [30]

- **UV Pack Snow White high adhesion** – od výrobce **Martínez ayala** (dále pouze jako Snow White). Tato barva spadá do série Pantone Basic UVPack Series a vyznačuje se vysokým stupněm přilnavosti k většině potiskovatelných materiálů. Barva je upravena tak, aby se minimalizovalo riziko podráždění kůže. [31]

3.2 Experimentální zařízení a přístroje

Při zpracování této diplomové práce bylo použito několik typů zařízení s ohledem na sledované parametry.

- Kovový prsteneček s vnitřním průřezem 100 cm² a výškou 50 mm pro stanovení vsákavosti, kovový váleček.
- Analytické váhy **KERN EG**.
- Zařízení pro hodnocení hladkosti materiálů – **Parker Print Surf** od výrobce **Missner Büchel** – přístroj sloužící pro určení drsnosti povrchu různých materiálů. Přístroj měří průchod vzduchu mezi testovaným povrchem a hladkou plochou. Získané hodnoty jsou převáděny na μm . [32]
- **Spektrofotometr X-Rite Exact** [33]
- **Spektrofotometr UltraScan VIS** – spektrofotometr s geometrií $d/0^\circ$. [34]
- Rotační viskozimetr **HAAKE RotoVisco 1** s termostatem **HAAKE DC 30**.
- Nátiskové zařízení **IGT-C1** – využívá se pro zkušební nátisk ofsetových barev určený pro hodnocení kvality tisku. [35]
- Sušicí tunel **Miniterm UV 220** od firmy **Aerotherm** – zařízení určené pro vytvrzování barev UV zářením s možností úpravy intenzity záření prostřednictvím změny rychlosti transportního pásu, případně výškou zdroje nad vytvrzovaným materiálem. [36]
- Radiometr **UV Integrátor** vyráběný firmou **UV-Technik** – slouží k měření intenzity UV záření. Rozsah měření je 250–410 nm. [37]

- **Ink Rub Tester** od výrobce **Testing Machines INC.** – jedná se o zařízení sloužící k testování barvy vůči oděru. U přístroje lze měnit, prostřednictvím počtu oděrových cyklů za minutu, rychlost odírání. [38]
- Fotoaparát **Olympus E-PL3**.
- Makroobjektiv **Olympus H.ZUIKO Digital ED 60 mm**.

3.3 Experimentální metody

3.3.1 Vsákavost materiálů

Pro testování vsákavosti zkoumaných materiálů byla využita **Cobbova metoda** určená pro testování zaklížení tiskových substrátů. Experiment může být proveden čtyřmi různými způsoby, které se mezi sebou liší dobou trvání zkoušky a v literatuře jsou od sebe odlišeny různými indexy (tabulka 6).

Tabulka 6: Přehled metod vsákavosti podle Cobba [10]

Metoda	Doba trvání [s]	Testované materiály
Cobb₃₀	30	slabě zaklížené
Cobb₆₀	60	středně zaklížené
Cobb₁₂₀	120	silně zaklížené
Cobb₃₀₀	300	velmi silně zaklížené

Pro vícevrstvé skládačkové lepenky odpovídající střednímu zaklížení byla zvolena metoda **Cobb₆₀**.

Bylo připraveno 5 vzorků od každého nepotištěného substrátu o velikosti 150×150 mm. Každý vzorek byl nejdříve zvážen a následně vložen síťovou stranou nahoru na základní desku o stejné velikosti. Na vzorek byl následně upnut kovový prstenec tak, aby nemohlo dojít k protečení vody mimo hrany prstence.

Do takto upevněného zařízení bylo nalito 100 ml destilované vody a zároveň s dopadem první kapky vody na materiál byly spuštěny stopky. Po uplynutí jedné minuty došlo k vylití vody, vysušení vzorku pomocí kovového válce a filtračního papíru, opětovné zvážení na analytických vahách. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny.

3.3.2 Drsnost materiálů

Hodnocení drsnosti materiálů bylo provedeno na přístroji **Parker Print Surf**. Vzorke testovaných materiálů byly postupně vloženy mezi měřící hlavu a podložku, kde došlo ke změření drsnosti v μm . Každý vzorek byl proměřen pětkrát na různých místech síťové strany a následně došlo ke statistickému vyhodnocení získaných výsledků.

3.3.3 Přenosové křivky

Přenosové křivky jsou grafickým znázorněním závislosti množství přenesené barvy na celkovém množství barvy na tiskové formě. Na základě těchto závislostí lze určit tzv. kritické množství barvy – minimální množství barvy potřebné k úplnému pokrytí vzorku o přesně stanovených rozměrech.

Prvním krokem pro měření hodnot přenosových křivek byl nátisk vzorků na **nátiskovém zařízení IGT-C1** s přednastaveným tlakem válců 400 N. Pro získání potřebných dat bylo natisknuto 6 sad o 20 vzorcích s různými nánosy barvy. Každá sada se lišila potiskovaným materiálem a druhem barvy. Velikost testovacího proužku byla $25 \times 4,5$ cm.

Před tiskem byla barva na soustavě válců rozvalována po dobu jedné minuty. Váleček byl zvážen na **analytických vahách KERN EG** vždy před navalováním barvy a po obtisku barvy na materiál. Dosazením hodnot do následující rovnice bylo stanoveno množství přenesené barvy.

$$\text{Ink transfer} = \left(\frac{10000}{L \cdot W} \right) \cdot (G_1 - G_2) \quad (15)$$

Ink transfer [g/m^2] - množství přenesené barvy

L [cm] – délka tisku

W [cm] – šířka tisku

*G*₁ [g] – hmotnost tiskového válce před tiskem

*G*₂ [g] – hmotnost tiskového válce po tisku

Ihned po tisku byly všechny vzorky vytvrzeny v **sušicím tunelu Miniterm UV 220** firmy Aeroterm, kde byla zdrojem záření rtuťová středotlaká výbojka. Změnou rychlosti transportního pásu či regulací výkonu lampy lze ovlivnit dávku ozáření. Dávka ozáření byla přibližně $1700 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ (měřeno radiometrem **UV-Integrator**).

Vzorky připravené na zařízení IGT a vytvrzené v sušicím tunelu byly následně použity pro spektrofotometrické měření a také pro test odolnosti vůči oděru.

3.3.4 Optické vlastnosti

Vzorky natištěné na stroji IGT-C1 byly následně spektrofotometricky proměřeny na dvou přístrojích s odlišnou geometrií – **Spektrofotometr X-Rite Exact** a **Spektrofotometr UltraScan VIS** – vzhledem k tomu, že se odlišná geometrie ve výsledcích výrazně neprojevila, byly analyzovány výsledky měření získané spektrofotometrem **X-Rite Exact**.

Vzhledem k tomu, že měření denzity je vztahováno k bělosti potiskovaného materiálu, není tato metoda pro hodnocení optických vlastností bílých barev vhodná.

Spektrofotometrickým měřením byly získány $L^*a^*b^*$ souřadnice a reflexní spektra pro vlnové délky 400–700 nm, které byly následně statisticky vyhodnoceny.

Ze získaných hodnot byla dále vypočítána barvová odchylka ΔE pro nepotištěný materiál a vzorky se srovnatelným množstvím přenesené barvy.

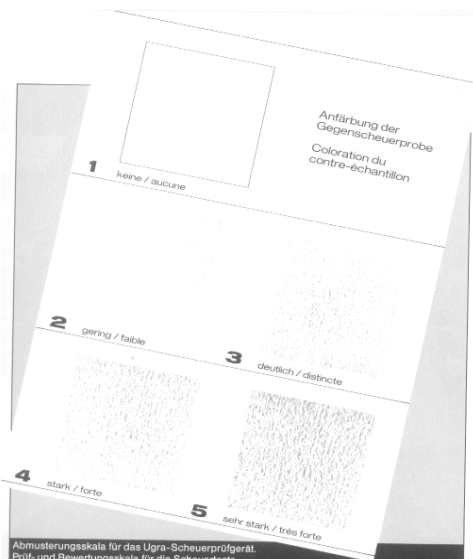
3.3.5 Odolnost vůči oděru

Pro určení odolnosti barev vůči oděru bylo použito zařízení **Ink Rub Tester**. Vzorky o nejvyšším množství přenesené barvy připravené prostřednictvím zařízení IGT-C1 byly podrobeny zkoušce odolnosti vůči oděru. Z důvodu zkoumání vlastností bílých barev byl pro oděr použit černý nepotištěný karton, který byl upevněn na závaží o hmotnosti 1814 g. Testy byly prováděny s nastavením rychlosti oděru na 85 cyklů za minutu. Každý vzorek byl podroben 20 cyklům.

Následně došlo k vizuálnímu porovnání oděrových stop na protikusů s oděrovými stopami uvedenými v etalonu – zobrazený na obrázku 5 – a hodnocení podle tabulky 7.

Tabulka 7: Označení stupně zbarvení protikusů

Stupeň zbarvení	Zabarvení
1	Žádné
2	Nepatrné
3	Znatelné
4	Silné
5	Velmi silné



Obrázek 5: Etalon pro hodnocení tisku vůči oděru [26]

3.3.6 Reologické vlastnosti

Pro měření tokových křivek byl použit **Rotační viskozimetr HAAKE RotoVisco 1**. Byl použit měřicí systém kužel-deska s kuželem o průměru 20 mm.

Viskozimetr byl ovládán počítačem prostřednictvím programu **RheoWin Job manager**, díky němuž došlo k nastavení požadovaných parametrů pro správné měření reologických vlastností:

- *smyková rychlost* – 1–1000 otáček/s,
- *interval měření* – 15 s (posledních 7 s každého intervalu se hodnoty průměrovaly),
- *teplota* – 32°C,
- *logaritmické měření*.

Nejprve došlo k nanesení testované barvy na desku rotačního viskozimetru pomocí injekční stříkačky. Ještě před samotným měřením rotačním viskozimetrem muselo dojít k temperování barvy na teplotu simulující teplotu v barevníku při klasické produkční rychlosti. V tomto případě se tedy temperovalo na 32°C (tolerance $\pm 0,9^\circ$) po dobu tří minut. Temperace probíhala prostřednictvím termostatu **HAAKE DC 30**. Dávkovalo se 0,04 ml barvy.

U obou barev bylo měření provedeno 3 krát. Čtvrté měření barvy Snow White bylo provedeno s upravenými rozsahy rychlostí, protože původní nastavení nebylo dostatečné.

Získané hodnoty byly dále zpracovány a vyhodnoceny v programu **RheoWin Data manager** a tabulkovém procesoru **Microsoft Excel**.

Z naměřených tokových křivek byly definovány reologické vlastnosti prostřednictvím reologických modelů – Ostwald-de-Waelův a Cassonův model.

3.3.7 Analýza obrazu pro určení prášivosti

Vzorky pro hodnocení prášivosti jednotlivých barev byly získány díky spolupráci s firmou Westrock Packaging System Svitavy. Po rozjetí a stabilizaci produkčního tisku jednoho z výrobků na archovém ofsetovém tiskovém stroji **Heidelberg XL 145**, byl do části tiskové jednotky obsahující testovanou barvu vložen černý kartón formátu A4. Vzorek byl v tiskové jednotce ponechán po dobu 40 minut při konstantní tiskové rychlosti 12000 archů za hodinu.

Po zaschnutí bylo z kartonu s naprášenou barvou nasnímáno zvolené místo fotoaparátem **Olympus E-PL3** s objektivem **Olympus H.ZUIKO Digital ED 60 mm**. Získané obrazy byly podrobeny analýze obrazu v programu **Image J** a statisticky vyhodnoceny prostřednictvím tónové hodnoty. Analyzovalo se množství bílých kapiček na stanoveném místě černého kartonu vzhledem k jeho celkové ploše. Tento materiál byl zvolen vzhledem k testování bílých barev, aby byl zachován dostatečný kontrast a bylo možné parametr prášivosti vyhodnotit.

Stejný postup byl zopakován i pro druhou testovanou barvu s důrazem na shodné umístění vzorku a shodné tiskové podmínky.

3.4 Experimentální výsledky

3.4.1 Vsákavost vody do substrátu podle Cobba

Na základě Cobbovy metody byly stanoveny vsákavosti síťových stran jednotlivých substrátů v g/m^2 dle rovnice 1. Výsledkem jsou aritmetické průměry z pěti měření síťové strany všech druhů materiálů znázorněné společně se směrodatnou odchylkou, minimálními a maximálními hodnotami v tabulce 8.

Tabulka 8: Hodnoty vsákavosti pro síťové strany testovaných substrátů

Materiál	Průměrná hodnota [g/m^2]	Minimální hodnota [g/m^2]	Maximální hodnota [g/m^2]	Směrodatná odchylka [g/m^2]
Carrier Kote	44,3	40,5	51,5	4,6
Stora Razor	21,7	20,8	22,3	0,5
Korsnas White	20,7	20,0	22,0	0,6

Na základě získaných hodnot lze říci, že nejvyšší vsákavost má materiál Carrier Kote, a to konkrétně 44 g/m². Nejnižší hodnotě 20,7 g/m² odpovídá materiál Korsnas White.

Už na první pohled je jasné, že substrát Carrier Kote se od ostatních dvou výrazně liší, což může být způsobeno nižší mírou zaklížení. Předpokládaným důvodem vyšší vsákavosti však může být také fakt, že materiál Carrier Kote obsahuje až 15% recyklovaných vláken. Vláknata jsou při recyklaci podrobena opětovnému rozměňování, čímž dochází k odstraňování jemných zakončení. V materiálu se tudíž vytvářejí větší póry, kam se může kapalina zapíjet. Tento fakt poukazuje na to, že při stanovování přenosových křivek se bude přenášet na vzorky tohoto materiálu výrazně více barvy než na ostatní. Vysoká hodnota směrodatné odchylky může být způsobena právě obsahem recyklovaných vláken.

Z výsledků je dále patrná podobnost materiálů Korsnas White a Stora Razor, a to i přes různou barevnost síťových stran. Lze usuzovat, že jejich shodnost tkví v podobné míře zaklížení daného materiálu. Odpovídající hodnota vsákavosti naznačuje podobné chování při potisku ofsetovou barvou.

3.4.2 Drsnost materiálů

V tabulce 9 jsou znázorněny výsledky statistického hodnocení drsnosti testovaných materiálů.

Tabulka 9: Hodnoty drsnosti jednotlivých materiálů

Materiál	Průměrná hodnota [μm]	Minimální hodnota [μm]	Maximální hodnota [μm]	Směrodatná odchylka [μm]
Carrier Kote	7,96	0,09	2,35	0,11
Stora Razor	7,25	0,13	2,13	0,13
Korsnas White	5,87	0,10	1,73	0,10

Na první pohled je patrné, že materiály s kraftovou síťovou stranou mají výrazně vyšší drsnost. Vyšší hladkost materiálu Korsnas White je způsobena bílým nátěrem.

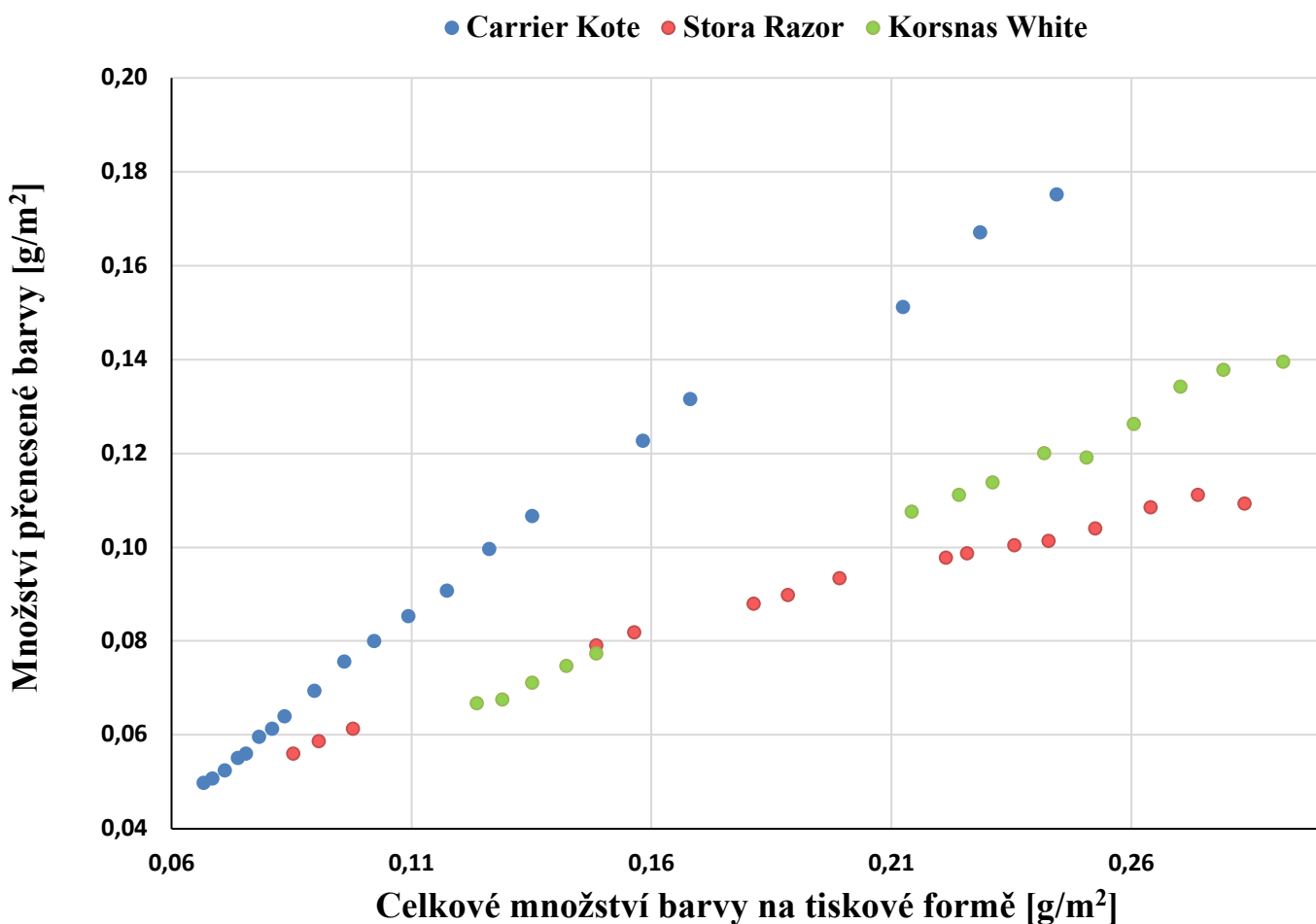
Naopak vyšší drsnost materiálů Carrier Kote a Stora Razor je způsobena kraftovou podobou síťové strany, kdy se hrubá nenatíraná vlákna nejsou překryta vrstvou nátěru. V případě Carrier Kotu může být vyšší hodnota drsnosti způsobena i díky obsahu recyklovaných vláken, která jsou před opětovným použitím několikanásobně zpracovávána.

Na síťové straně Story Razor lze vizuálně odlišit tmavší a světlejší místa. V tomto případě bylo provedeno pět měření tmavších míst a pět měření míst světlejších. Výsledky však ukázaly, že hodnoty drsnosti se nijak výrazně neliší.

3.4.3 Přenosové křivky

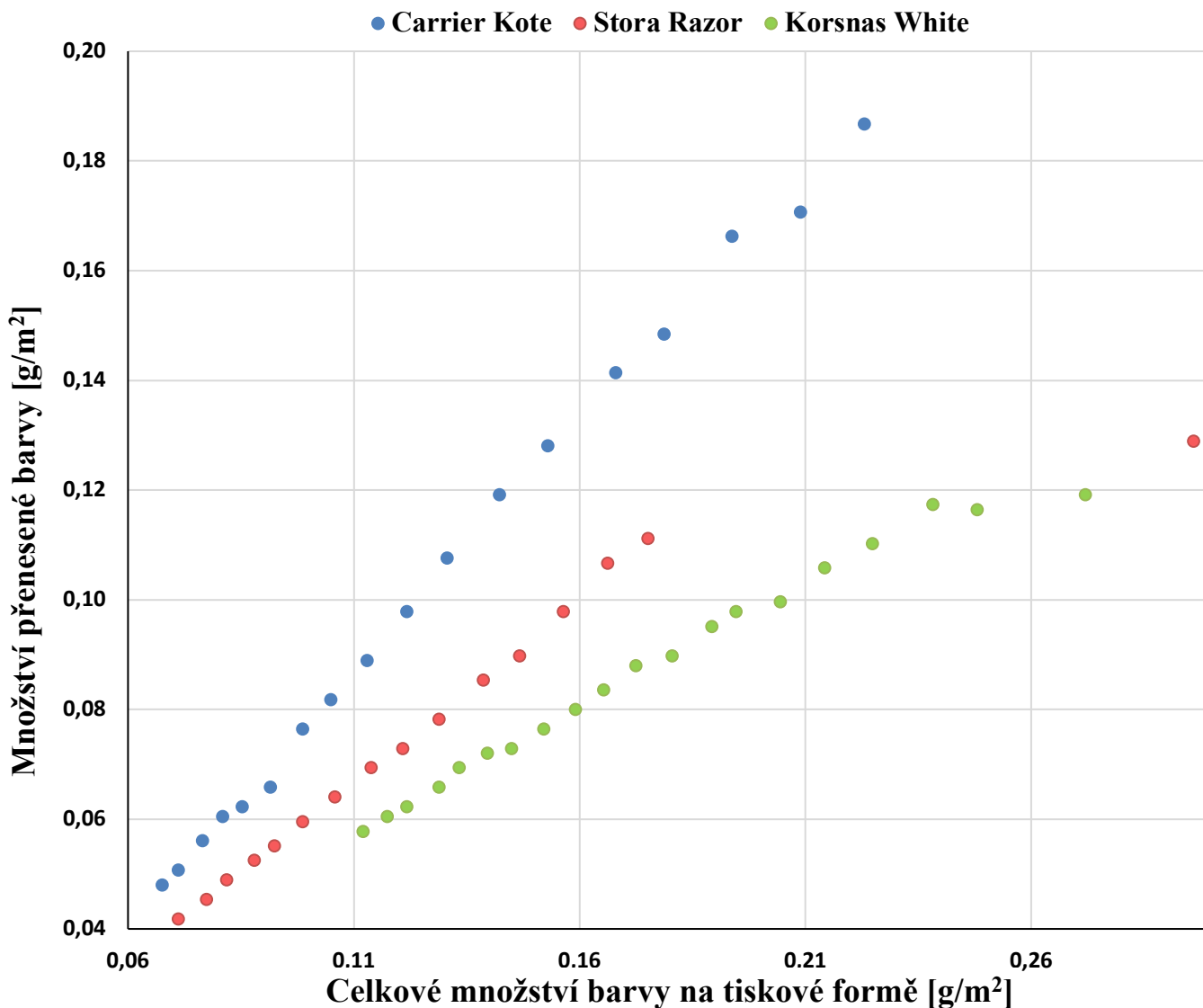
Vzhledem k tomu, že byly vlastnosti testovaných barev sledovány na síťové straně potiskovaných materiálů, které byly strukturované a ve dvou případech hnědé, optické hustoty by byly neprůkazné. Pro vytvoření přenosových křivek byla tudíž použita závislost množství barvy přenesené na potiskovaný materiál na celkovém množství barvy na tiskové formě v g/m^2 .

Graf 1: Přenosová křivka pro barvu Huber



U testované barvy od výrobce Huber group je patrné, že se výrazně liší množství přenášené barvy na tři různé substráty. Na substrát Carrier Kote se přeneslo největší množství barvy. U druhých dvou materiálů je průběh v podstatě stejný, liší se tím, že u substrátu Korsnas White dochází k většímu množství přenášené barvy se zvyšujícím se celkovým množstvím barvy na tiskové formě.

Graf 2: Přenosová křivka pro barvu Snow White



Stejně jako u barvy Huber, tak u barvy Snow White lze vidět stejný trend při potisku materiálu Carrier Kote, který opět množstvím přenášené barvy výrazně převyšuje zbylé dva materiály. Oproti první barvě je zde však patrný rozdíl v průběhu přenosu barvy na ostatní dva materiály, kdy nemají stejný charakter a u Story Razor je nutné větší množství přenášené barvy ku celkovému množství barvy na tiskové formě než na substrát Korsnas White.

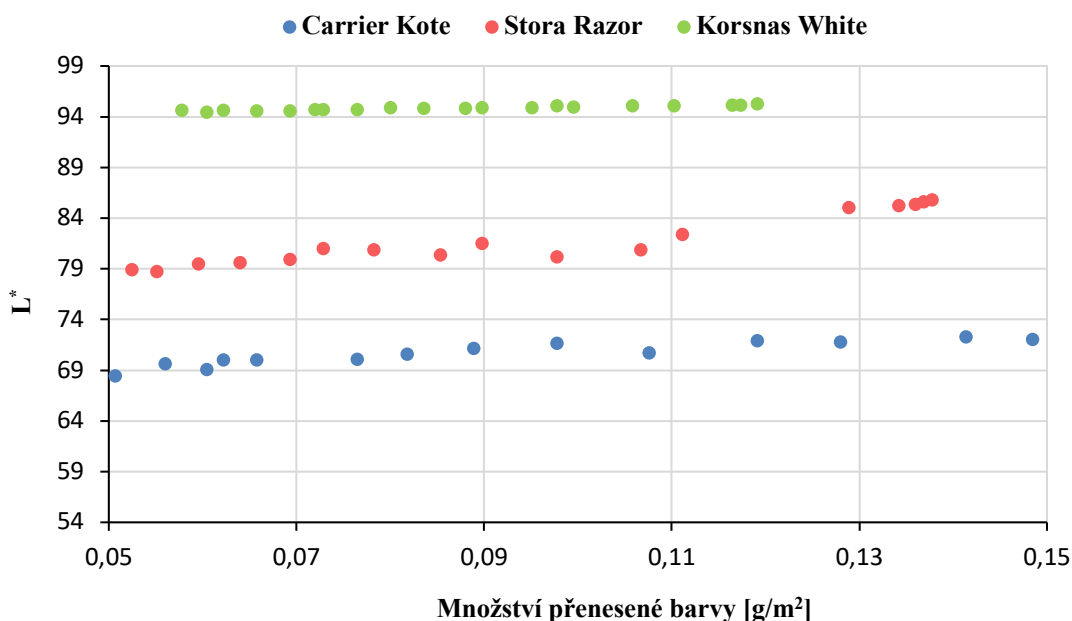
Největší množství přenesené barvy na materiál Carrier Kote může poukazovat na to, že právě na těchto vzorcích bude nejvyšší bělost. Grafy znázorňující optické vlastnosti testovaných barev však ukazují, že i přes největší množství přenesené barvy mají vzorky na substrátu Carrier Kote nejmenší hodnotu bělosti.

Celkově lze tedy předpokládat, že při potisku materiálu Carrier Kote jakoukoliv z testovaných barev, bude docházet k výrazně vyšší spotřebě než při potisku ostatních dvou materiálů. Což může souviset také s vysokou hodnotou vsákavosti tohoto substrátu. Naopak u materiálu Korsnas White souvisí nižší hodnota množství přenesené barvy s bělenou sítovou stranou materiálu.

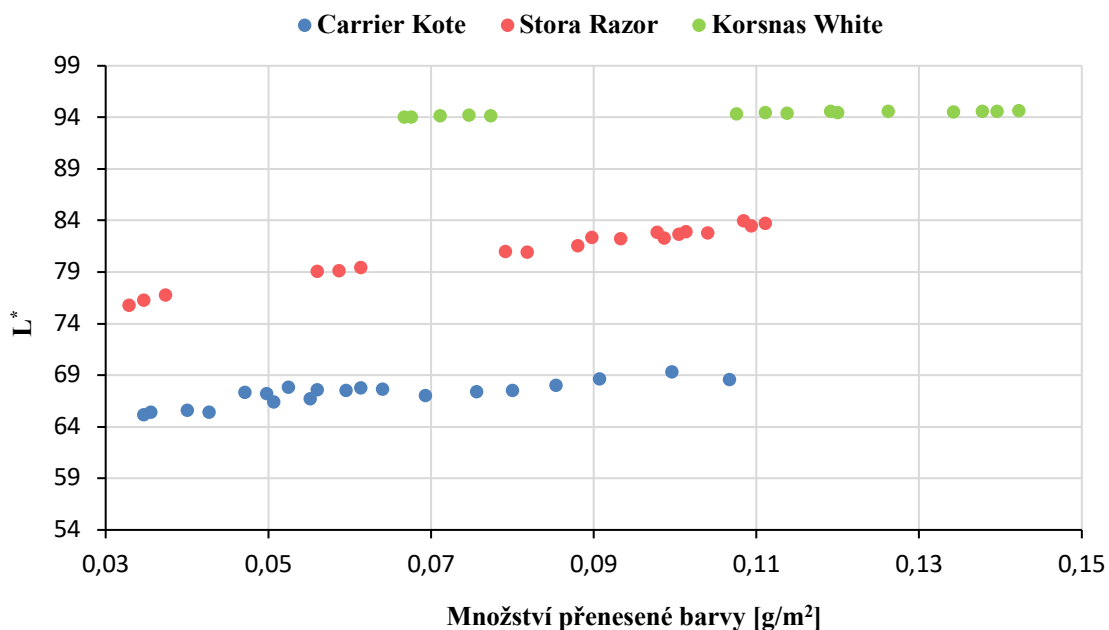
3.4.4 Optické vlastnosti

V grafech 3 a 4 jsou znázorněny závislosti souřadnice L^* na množství přenesené barvy pro obě testované barvy. Grafy znázorňují srovnání vzorků na třech různých materiálech.

Graf 3: Závislosti L^* na množství přenesené barvy pro barvu SW



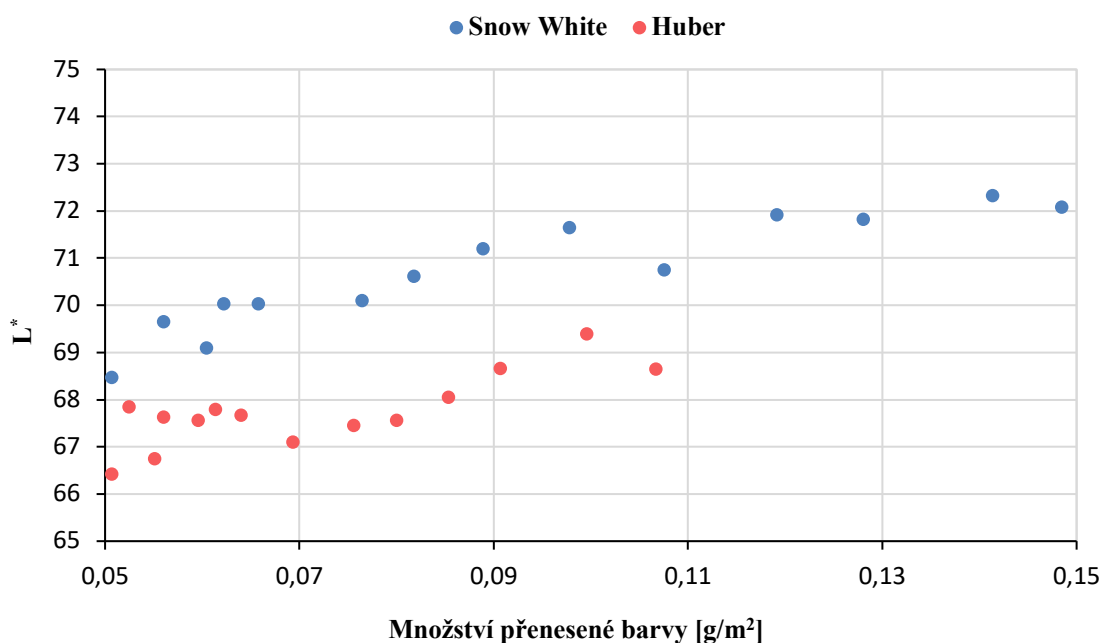
Graf 4: Závislosti L^* na množství přenesené barvy pro barvu Huber



Získané grafy ukazují, že nejvyšší světlost vykazují v obou případech vzorky na materiálu Korsnas White, což je však způsobeno bělenou síťovou stranou materiálu. Naopak nejnižší světlosti, poukazující zároveň v případě bílých barev na nižší hodnotu bělosti, bylo dosaženo na vzorcích na materiálu Carrier Kote.

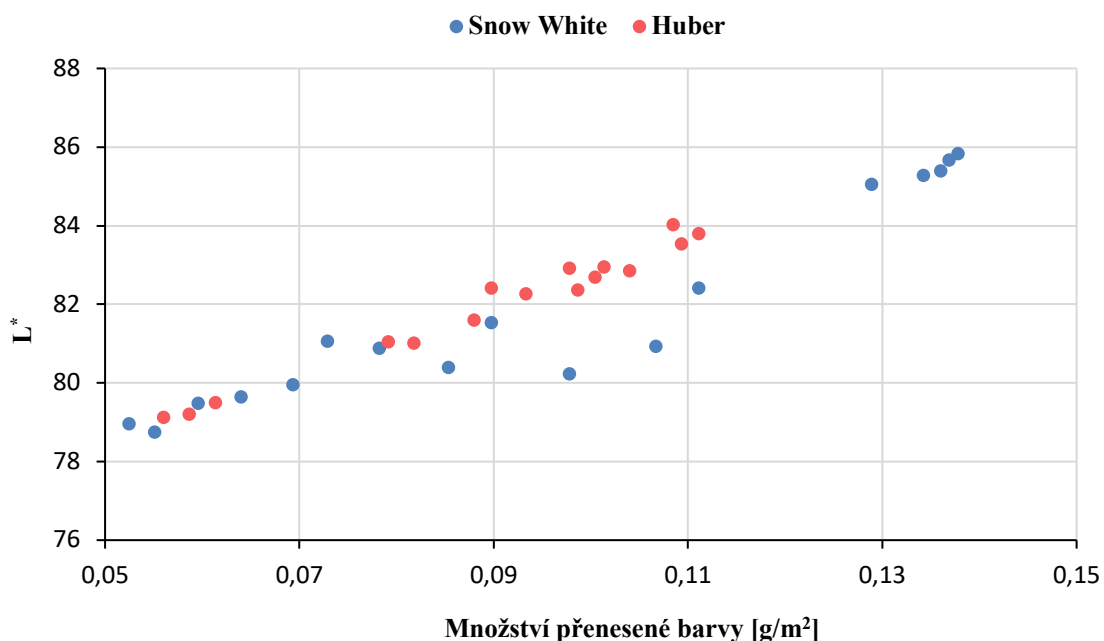
V grafech 5, 6 a 7 jsou znázorněny stejné závislosti jako v grafech předchozích, jsou však navzájem srovnávány testované barvy.

Graf 5: Závislost L^* na množství přenesené barvy pro materiál Carrier Kote



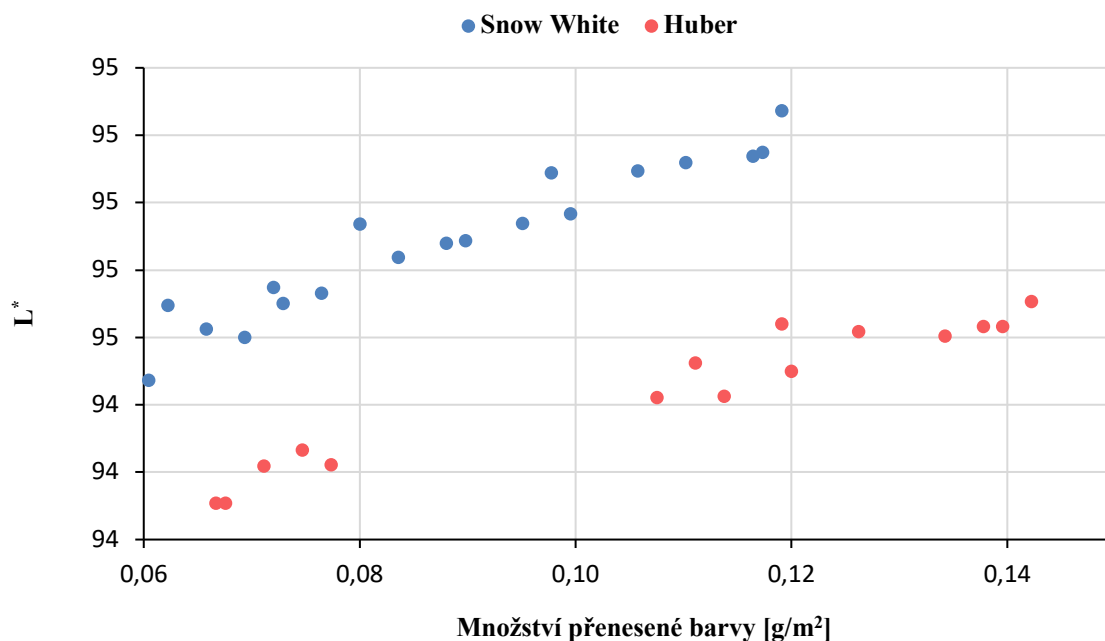
V případě materiálu Carrier Kote má vyšší hodnotu světlosti barva Snow White, což poukazuje na vyšší bělost nebo kryvost barvy.

Graf 6: Závislost L^* na množství přenesené barvy pro materiál Stora Razor



Na substrátu Stora Razor se objevuje v podstatě obdobný trend u obou typů barev. Bělost by měla tudíž být srovnatelná. Z grafu je však patrný pokles světlosti barvy Snow White cca od 0,075 g/m² přenesené barvy, což však může být způsobeno chybou měření elektronických vah při přípravě vzorků.

Graf 7: Závislost L^* na množství přenesené barvy pro materiál Korsnas White



Vzhledem k běleným vláknům materiálu Korsnas White by se dalo usuzovat, že se světlost materiálů potiskem bílou barvou nebude výrazně lišit. Na grafu 7 je patrné, že barva Snow White přináší materiálu mírně vyšší hodnotu světlosti, rozdíl je však stále pouze o 1. Vzorky potištěné touto barvou by měly být výrazně bělejší. Vizuálně však pravděpodobně tento rozdíl nebude příliš viditelný.

Na základě získaných hodnot lze konstatovat, že právě z důvodu největšího množství barvy potřebného pro pokrytí materiálu Carrier Kote je výsledná bělost nejmenší ze všech. Barva penetruje do pórů materiálu a nezůstává na povrchu.

Pro dokreslení optických vlastností bílých barev jsou v tabulce 10 znázorněny Lab souřadnice nepotištěných vzorků.

Tabulka 10: L* a* b* souřadnice pro nepotištěné vzorky

Vzorek	L*	a*	b*
Carrier Kote	55,62	11,08	22,89
Stora Razor	69,31	10,86	25,99
Korsnas White	94,81	0,82	1,84

Tabulka 11 dále ukazuje příklad Lab souřadnic potištěných vzorků o stanoveném množství přenesené barvy a prostřednictvím barvové odchylky srovnání vzorků obou barev na jednotlivých druzích materiálů.

Tabulka 11: L* a* b* souřadnice a ΔE pro vzorky o množství přenesené barvy cca 0,108 [g/m²], vlevo pro barvu SW, vpravo pro barvu Huber

Vzorek	L*	a*	b*	ΔE	b*	a*	L*	Vzorek
Carrier Kote	70,77	5,33	9,30	3,89	12,47	6,15	68,66	Carrier Kote
Stora Razor	80,92	4,21	6,05	3,70	4,88	2,56	84,02	Stora Razor
Korsnas White	95,12	-0,12	3,43	2,15	5,50	-0,19	94,53	Korsnas White

Jak je z výsledů patrné při srovnání jednotlivých vzorků prostřednictvím barvových odchylek, rozdíl mezi vzorky barev na materiálu Carrier Kote a Stora Razor jsou podobné. Nejnižší hodnotu ΔE má materiál Korsnas White, což koresponduje s předchozími výsledky množství přenášené barvy.

V tabulkách 12 a 13 jsou srovnány potišťené a nepotišťené vzorky pro obě testované barvy prostřednictvím barvové odchylky.

Tabulka 12: Srovnání nepotišťených (vlevo) a potišťených (vpravo) vzorků barvy SW prostřednictvím L^* a^* b^* souřadnic a ΔE

Vzorek	L^*	a^*	b^*	ΔE	b^*	a^*	L^*	Vzorek
Carrier Kote	55,62	11,08	22,89	21,14	9,30	5,33	70,77	Carrier Kote
Stora Razor	69,31	10,86	25,99	24,02	6,05	4,21	80,92	Stora Razor
Korsnas White	94,81	0,82	1,84	1,88	3,43	-0,12	95,12	Korsnas White

Výsledky ukazují, že je výrazný rozdíl mezi barvovou odchylkou barvy Snow White na materiálu Korsnas White a na dvou dalších materiálech. Což opět odkazuje na vliv bílého nátěru síťové strany substrátu Korsnas White. Rozdíl mezi barvovou odchylkou na materiálu Carrier Kote a Stora Razor je malý. I přes to však je zajímavé, že je vyšší barvová odchylka právě na Stoře Razor. Vizuální hodnocení materiálů může evokovat, že vzhledem k tomu, že síťová strana materiálu Carrier Kote je tmavší než u Story Razor, bude po potisku bílou barvou rozdíl vyšší. Tento rozdíl však mohl být způsoben chybou v dávkování množství přenesené barvy při potisku vzorků.

Tabulka 13: Srovnání nepotišťených (vlevo) a potišťených (vpravo) vzorků barvy Huber prostřednictvím L^* a^* b^* souřadnic a ΔE

Vzorek	L^*	a^*	b^*	ΔE	b^*	a^*	L^*	Vzorek
Carrier Kote	55,62	11,08	22,89	17,41	12,47	6,15	68,66	Carrier Kote
Stora Razor	69,31	10,86	25,99	27,04	4,88	2,56	84,02	Stora Razor
Korsnas White	94,81	0,82	1,84	3,81	5,50	-0,19	94,53	Korsnas White

V případě barvy Huber je patrný stejný trend v rozdílech barvových odchylek u materiálu Korsnas White a zbylých dvou, jako u první testované barvy. Shodná je také nejvyšší ΔE u substrátu Stora Razor. Výrazně vyšší rozdíl je však mezi barvovou odchylkou mezi materiály Carrier Kote a Stora Razor. Což však mohlo být opět způsobeno chybou měření.

3.4.5 Vliv potiskovaného materiálu na odolnost tisku vůči oděru

Z natištěných vzorků určených pro stanovení přenosových křivek byly vybrány vzorky s nejvyšším množstvím přenesené barvy pro každý materiál a podrobeny testu odolnosti tisku vůči oděru prostřednictvím zařízení s názvem Ink Rub Tester. Dané vzorky byly vybrány tak, aby co nejvíce odpovídaly produkčnímu tisku.

Získané stopy na černém protikusu po oděru nebylo možno spektrofotometricky vyhodnotit. Proto byla zvolena metoda vizuálního porovnání. Metoda vizuálního posouzení je v tomto případě hodnotnější, a zároveň je také doporučována odbornou literaturou – viz. Methodology of evaluation of print abrasion resistance. [39] Následující tabulky shrnují stupeň zbarvení protikusu v porovnání s etalonem (viz. obrázek 5).

Tabulka 14: Stupeň zbarvení protikusu vzorků potištěných barvou Huber

Materiál	Stupeň zbarvení protikusu vzorků
Carrier Kote	3
Stora Razor	3
Korsnas White	2

Tabulka 15: Stupeň zbarvení protikusu vzorků potištěných barvou Snow White

Materiál	Stupeň zbarvení protikusu vzorků
Carrier Kote	4
Stora Razor	4
Korsnas White	3

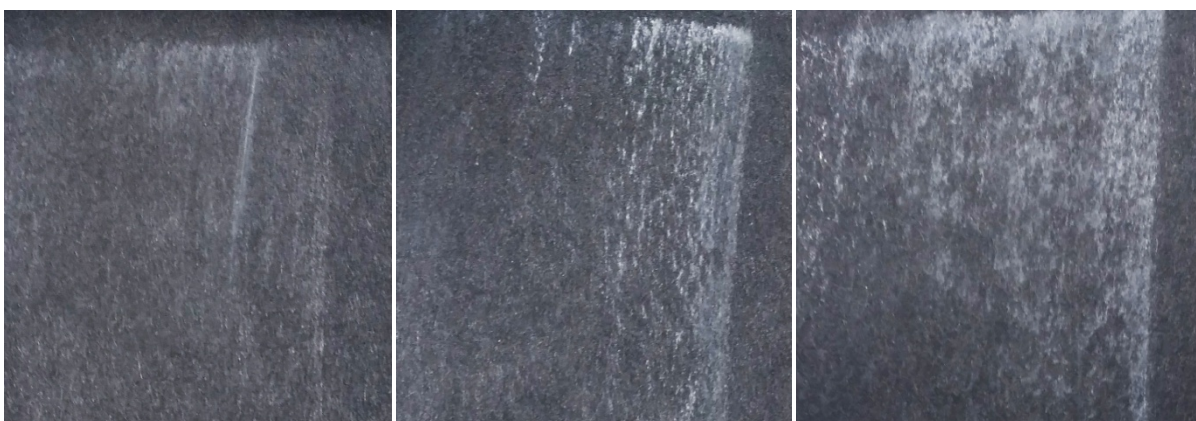
Z tabulek 14 a 15 je patrné, že vyšší odolnosti vůči oděru má barva Huber, což může být způsobeno vyšším podílem vosků. Všeobecně však obě barvy vykazují poměrně vysokou odolnost vůči oděru. Tento fakt může souviset s tím, že při výrobě obou barev byl kladen důraz na vysoký stupeň adheze k potiskovaným materiálům.

Co se týká jednotlivých druhů materiálů, jsou obě barvy nejméně odírány z materiálu Korsnas, což může být souviset s vyšší hladkostí. Právě vyšší hladkost může materiálu přinést lepší odolnost vůči oděru. Podobné hodnoty drsnosti zbylých dvou materiálů poukazují také

na podobné chování při oděru. Získané stopy na protikusech jsou v podstatě srovnatelné (viz. obrázek 6 a 7), ale zároveň vyšší než na materiálu Korsnas.



Obrázek 6: Vzorky testu oděru pro barvu Huber - přenesené množství barvy na protikusu; Zleva: Korsnas White, Stora Razor, Carrier Kote

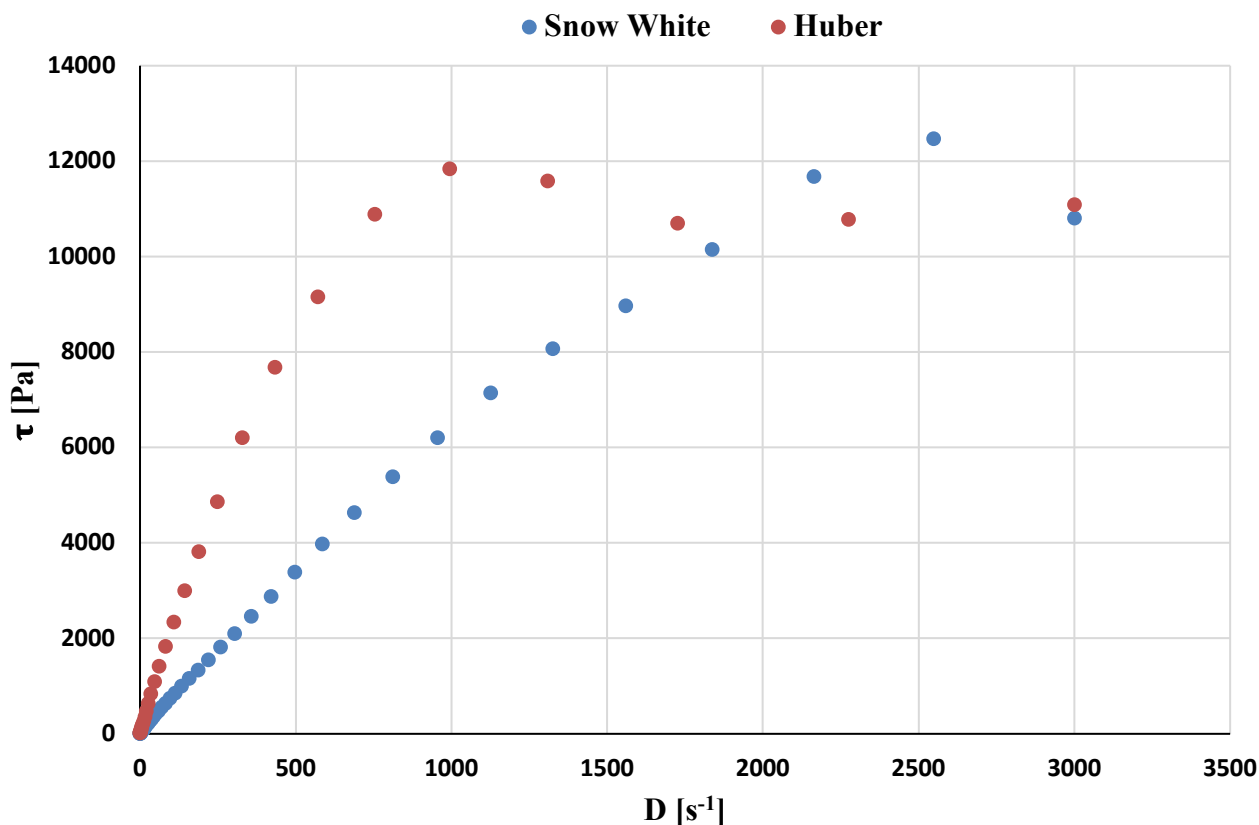


Obrázek 7: Vzorky testu oděru pro barvu Snow White - přenesené množství barvy na protikusu; Zleva: Korsnas White, Stora Razor, Carrier Kote

3.4.6 Tokové křivky

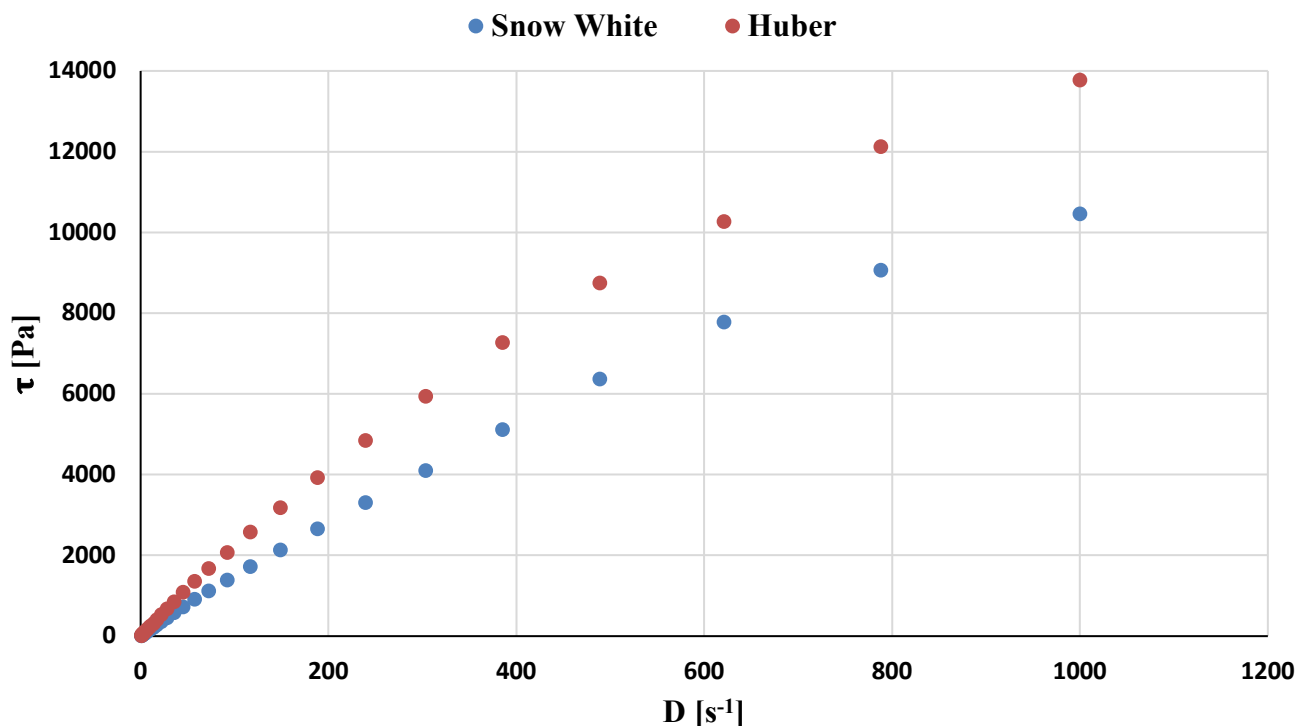
Na základě změřených tokových křivek obou testovaných UV záření tvrditelných ofsetových barev byly určeny kritické smykové rychlosti, při kterých dochází k odklonu měřených hodnot od exponenciálního charakteru typického pro pseudoplastické chování. Tyto kritické hodnoty nevypovídají o vlastnostech barvy, ale o systému měření. Určují tudíž horní hranici, po kterou lze rotačním viskozimetrem měřit. Měření nad touto hranicí by bylo zkreslené.

Graf 8: Tokové křivky pro určení kritických smykových rychlostí



Grafické znázornění jasně ukazuje, že kritická smyková rychlost pro barvu od výrobce Huber group se pohybuje někde okolo jednoho tisíce otáček za sekundu, a tudíž je výrazně nižší než kritická smyková rychlost druhé testované barvy, jejíž hodnota se pohybuje kolem dvou a půl tisíce otáček za sekundu. Díky tomuto měření byly následující tři relevantní měření provedeny pouze v rozsahu 0–1000 otáček/s, aby mohlo dojít k adekvátnímu srovnání obou barev. Vzhledem k úpravě parametrů měření (úpravě smykových rychlostí), byly získány vyšší hodnoty tečného napětí pro dané smykové rychlosti než v případě prvního měření. Pro grafické znázornění byly použity průměrné hodnoty ze tří měření. Obě závislosti jsou znázorněny v následujícím grafu:

Graf 9: Tokové křivky



Jak je z grafu patrné, obě testované barvy potvrdily svým chováním pseudoplastický charakter neneutonských kapalin. Na základě získaných hodnot lze říci, že obě barvy mají v podstatě podobný průběh při namáhání smykovými rychlostmi. Liší se však v tečném napětí, kdy barva Snow White má výrazně nižší tečné napětí v celém průběhu než barva Huber.

Na základě měření tokových křivek bylo zjištěno, že barva Huber má vyšší počáteční a celkovou viskozitu než druhá testovaná barva. Měla by tudíž zůstat více na povrchu vzorku a přinášet vyšší hodnotu bělosti.

3.4.7 Reologické parametry UV ofsetových barev

Pro lepší popis reologických parametrů tiskových barev byly zvoleny dva reologické modely. Jedná se konkrétně o Ostwald-de-Waelův model popisující pseudoplastické případně dilatantní chování neneutonských kapalin, ale nelze z něj určit mez tečení. Pro určení tohoto parametru byl zvolen model Cassonův.

Ostwald-de-Waelův model

Rovnice (15) charakterizující Ostwald-de-Waelův model popisuje chování kapaliny prostřednictvím dvou hlavních parametrů. Konkrétně se jedná o parametr K – index

konzistence a také index tokového chování n . Za předpokladu, že $n > 1$ jedná se o kapalinu dilatantní, $n < 1$ jde o kapalinu pseudoplastickou a $n = 1$ odpovídá newtonské kapalině.

$$\tau = K \cdot D^n \quad (16)$$

Na základě tokových křivek byly stanoveny hodnoty pro výše zmíněné parametry a jsou shrnuty v tabulce 16.

Tabulka 16: Reologické parametry - Ostwald-de-Waelův model

Tisková barva	K [Pa·s ⁿ]	n
Huber	25,61	0,95
Snow White	18,46	0,94

Z tabulky 16 vyplývá, že na základě hodnoty n , která je v obou případech nižší než jedna, vykazují obě testované tiskové barvy nenewtonský pseudoplastický charakter. Jedná se však o pouze mírně nenewtonské chování, protože se n blíží jedné. Vyšší index konzistence má potom barva Huber.

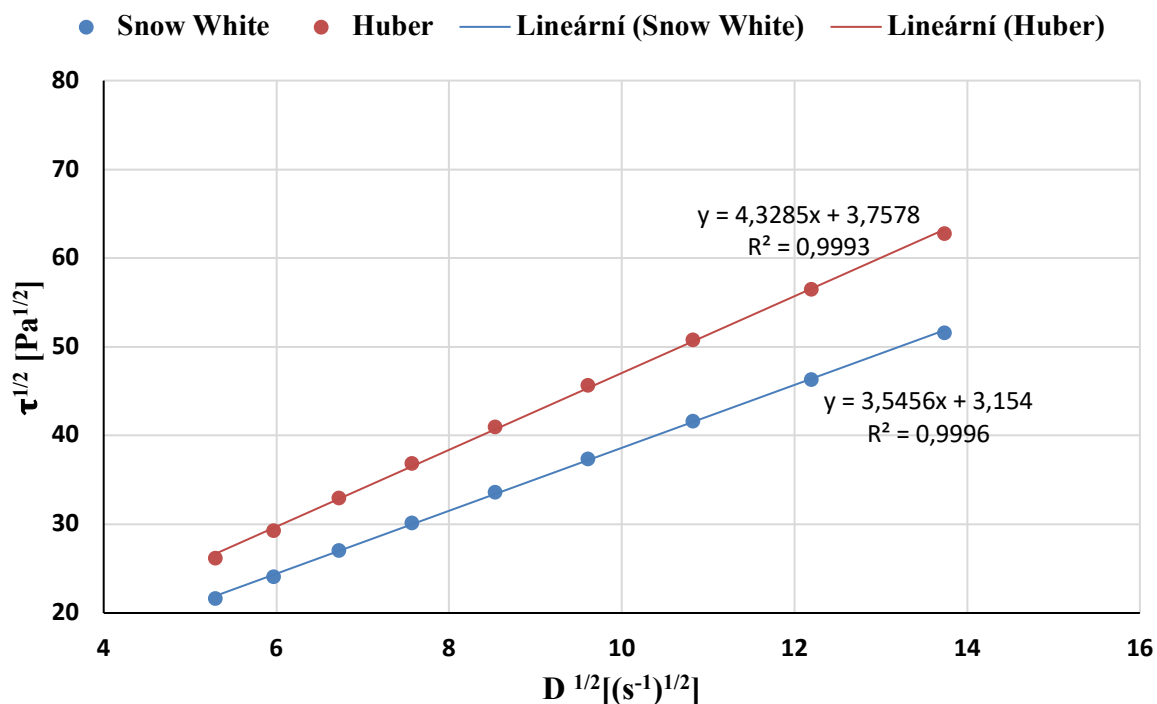
Cassonův model

Na základě Cassonovy rovnice (16) byly určeny reologické parametry testovaných barev, konkrétně jde o mez tečení τ_M , viskozitu při nekonečné smykové rychlosti η_∞ a poměr charakterizující tažnost tiskové barvy τ_M/η_∞ , právě tento parametr udává délku barvového vlákna – čím je hodnota nižší, tím je barva delší a je více náchylná k prášivosti.

$$\tau^{\frac{1}{2}} = \eta_\infty^{\frac{1}{2}} \cdot D^{\frac{1}{2}} + \tau_M^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Naměřené tokové křivky $\tau = f(D)$ byly přepočítány prostřednictvím Cassonovy rovnice. Ze získaných hodnot došlo k vytvoření závislosti $\tau^{1/2} = f(D^{1/2})$, které jsou znázorněné v grafu č. 5.

Graf 10: Toková křivka přizpůsobená potřebám Cassonova modelu



Aby byly výsledky, co možná nejméně ovlivněny počátečními a koncovými rychlostmi, bylo pro získání hodnot τ_M použito devět hodnot v rozmezí rychlostí 28–189 s⁻¹. Naopak pro určení hodnoty η_∞ bylo použito devět hodnot v rozsahu smykových rychlostí 148–1000 s⁻¹. Následující tabulka shrnuje reologické parametry získané z upravených tokových křivek pro potřeby Cassonova modelu.

Tabulka 17: Reologické parametry - Cassonův model

Tisková barva	τ_M [Pa]	η_∞ [Pa·s]	τ_M/η_∞ [s ⁻¹]
Huber	14,12	18,74	0,75
Snow White	9,95	12,57	0,79

Z tabulky je patrné, že barva Huber je charakteristická vyšší hodnotou viskozity při nekonečně smykové rychlosti oproti druhé testované barvě. Stejně je tomu v případě meze toku, která je v tomto případě výrazně vyšší a rozdíl od toku meze barvy Snow White je 5 Pa. Ze sledovaného poměru vyplývá, že barva Huber má nepatrně nižší hodnotu a odpovídá tedy nižším tažnostem, z čehož lze usuzovat, že bude mít vyšší hodnotu parametru prášivosti.

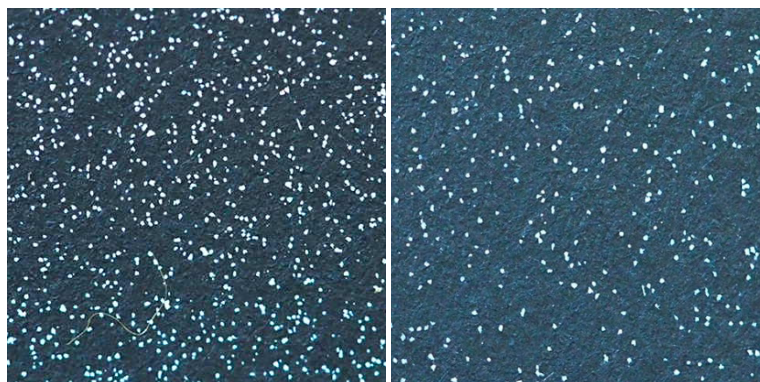
3.4.8 Prášivost UV ofsetových barev

Tabulka 18 zobrazuje výsledné průměrné tónové hodnoty naprášených vzorků v procentech a směrodatné odchylky.

Tabulka 18: Hodnoty plošného pokrytí naprášené barvy v procentech

Tisková barva	Tónová hodnota [%]	Směrodatná odchylka [%]
Huber	10,3	0,58
Snow White	32,0	2,57

Jak už bylo řečeno, prášivost barev souvisí s jejich tažností. Z výsledků je patrné, že vyšší hodnotu prášivosti vykazuje barva Snow White, která dokázala pokrýt 32 % analyzovaného vzorku. Zatímco barva Huber pokryla cca 10 % analyzovaného vzorku. Vyšší směrodatná odchylka u barvy Snow White může být způsobena chybou měření u více naprášeného vzorku. Tyto výsledky neodpovídají výsledkům z tabulky 17. Vzhledem k tomu, že rozdíl tažností je však nepatrný měla by hodnota prášivosti být srovnatelné. Výsledky však ukazují, že barva Snow White práší výrazně více.



Obrázek 8: Vzorky pro analýzu obrazu. Zleva: Snow White, Huber

ZÁVĚR

Fyzikální vlastnosti UV tvrditelných bílých barev pro ofsetový obalový tisk byly zkoumány na dvou testových barvách od dvou různých výrobců – Huber group a Martínez flyala. Obě barvy byly testovány na sítové strany tří různých vícevrstevných skládačkových lepenek – Carrier Kote, Stora Razor a Korsnas White. Konkrétními zkoumanými vlastnostmi byly – reologické vlastnosti, optické vlastnosti, prášivost, odolnost vůči oděru. Zkoumané parametry však mohly být ovlivněny také potiskovaným substrátem, tudíž byla stanovena také vsákavost a drsnost těchto materiálů.

Vsákavost jednotlivých materiálů byla určena prostřednictvím Cobbovy metody. Výsledky ukazují, že nejvyšší vsákavost má materiál Carrier Kote, a to konkrétně 44 g/m². Nejnižší hodnotě 20,7 g/m² odpovídá materiál Korsnas White. Předpokládaným důvodem vyšší vsákavosti je fakt, že materiál Carrier Kote obsahuje až 15% recyklovaných vláken. Naopak nejnižší hodnota odpovídající materiálu Korsnas White může být způsobena bílým nátěrem sítové strany.

Na první pohled je patrné, že materiály s kraftovou síťovou stranou mají výrazně vyšší drsnost. Vyšší hladkost materiálu Korsnas White je pravděpodobně způsobena bílým nátěrem. I přes vizuální rozdíly mezi světlejšími a tmavšími částmi sítové strany materiálu Stora Razor nebyl patrný rozdíl v drsnosti.

Měření přenosových křivek bylo provedeno pro obě UV tvrditelné barvy v jejich kombinaci se všemi testovanými materiály. U testované barvy od výrobce Huber group je patrné, že se výrazně liší množství přenášené barvy na tři různé substráty. Na substrát Carrier Kote se přeneslo největší množství barvy. U druhých dvou materiálů je průběh v podstatě stejný. Chování barvy Snow White na materiálu Carrier Kote je srovnatelné s první testovanou barvou. Liší se však její chování na materiálech Stora Razor a Korsnas White. Při potisku Story Razor je nutné větší množství přenášené barvy ku celkovému množství barvy na tiskové formě než na substrát Korsnas White. Z těchto výsledků je zřejmé, že při potisku materiálu Carrier Kote bude nejvyšší spotřeba ať první nebo druhé testované barvy.

Na základě výsledků optických vlastností lze říci, že nejvyšší světlost vykazují u obou testovaných barev vzorky na materiálu Korsnas White, což je však způsobeno bílým nátěrem sítové strany materiálu, který sám o sobě má i bez potisku výrazně vyšší světlost než ostatní dva materiály. Naopak nejnižší světlosti, poukazující zároveň v případě bílých barev na nižší hodnotu bělosti, bylo dosaženo na vzorcích na materiálu Carrier Kote.

Na substrátu Stora Razor se objevuje v podstatě obdobný trend u obou typů barev. Bělost by měla tudíž být srovnatelná. Ve výsledcích je však zaznamenaný pokles světlosti barvy Snow White cca od 0,075 g/m² přenesené barvy, což však může být způsobeno chybou měření elektronických vah při přípravě vzorků.

Srovnání potištěných a nepotištěných vzorků prostřednictvím barvové odchylky v obou případech vykazuje stejný trend. Nejnižší hodnotu barvové odchylky má materiál Korsnas White s výrazným rozdílem oproti zbylým dvěma materiálům. V praxi se však tato lepenka nepotiskuje bílou barvou a dochází k přímému potisku sítové strany. Nejvyšší hodnotu ΔE u obou testovaných barev má materiál Stora Razor. Zatímco v případě materiálu Carrier Kote a Stora Razor potištěných barvou Snow White je rozdíl v ΔE cca 3, u druhé testované barvy je skoro 10.

Z měření odolnosti tisku vůči oděru vyplynulo, že vyšší odolnost vůči oděru má barva Huber. Všeobecně však obě barvy vykazují poměrně vysokou odolnost vůči oděru. Co se týká jednotlivých druhů materiálů, jsou obě barvy nejméně odírány z materiálu Korsnas, což souvisí s vyšší hodnotou hladkosti tohoto substrátu. Získané stopy na protikusech dvou zbývajících materiálů jsou v podstatě srovnatelné, ale zároveň vyšší než na materiálu Korsnas.

Tokové křivky byly měřeny v intervalu rychlostí 0–1000 otáček/s, s intervalem měření 15 s při teplotě 32 °C. Kritická smyková rychlost pro barvu od výrobce Huber group se je výrazně nižší než kritická smyková rychlost druhé testované barvy. Vyšší rychlosti tisku vykazují i vyšší smykové rychlosti, které však výsledky tohoto měření nedokážou pokrýt.

Obě testované barvy potvrdily svým chováním pseudoplastický charakter neneutonských kapalin. Na základě získaných hodnot lze říci, že obě barvy mají v podstatě podobný průběh při namáhání smykovými rychlostmi. Barva Huber má vyšší počáteční a celkovou viskozitu než druhá testovaná barva. Zůstává tedy více na povrchu vzorku a přináší vyšší hodnotu bělosti. Liší se také v tečném napětí, kdy barva Snow White má výrazně nižší tečné napětí v celém průběhu než barva Huber.

Z naměřených tokových křivek byly reologické parametry vyhodnoceny prostřednictvím Cassonova a Ostwald-de-Waelova reologického modelu. Ostwald-de-Waelův model popsal reologické chování testovaných barev prostřednictvím indexu konzistence K a indexem tokového chování n . Index tokového chování v obou případech ukázal nižší hodnotu než jedna, tudíž obě testované tiskové barvy mají neneutonský pseudoplastický charakter. Jedná se však o pouze mírně neneutonské chování, protože se n blíží jedné. Vyšší index konzistence má potom barva Huber.

Díky Cassonově modelu byly získány reologické parametry – mez toku τ_M , viskozita při nekonečné smykové rychlosti η_∞ , délka vlákna barvy τ_M/η_∞ . Výsledky ukazují, že barva Huber je charakteristická vyšší hodnotou viskozity při nekonečné smykové rychlosti oproti druhé testované barvě. Stejně je tomu v případě meze toku, která je v tomto případě výrazně vyšší a rozdíl od toku meze barvy Snow White je skoro 5 Pa. Ze sledovaného poměru vyplývá, že barva Snow White má nižší hodnotu a odpovídá tedy nižším tažnostem, z čehož lze usuzovat, že bude mít vyšší hodnotu parametru prášivosti.

Jak už výsledky Cassonova modelu ukázaly, barva Huber by měla být delší s nižší tažností. Výsledky však ukazují že větší sklony k prášivosti má barva Snow White a pokryla 32 % analyzovaného vzorku, zatímco barva Huber pokryla cca 10 % analyzovaného vzorku. Rozdíl 22 % je poměrně velký a při tisku zakázek velkých objemů přináší barva Huber nižší riziko zanesení důležitých částí ofsetové tiskové jednotky barvou a ušetření času při jejím čištění. I přesto však, je i hodnota 10% poměrně vysoká a vhodným řešením by bylo nalezení vhodnější barvy s nižším parametrem prášivosti pro potisk velkých objemů zakázek.

Ze předpokladu, že zákazník trvá na potisku sítové strany vícevrstevných skládačkových lepenek nejvhodnějším materiálem pro obě testované barvy by byla Stora Razor. A to i přes to, že ve většině testů vycházel nejlépe materiál Korsnas White. Bílý nátěr jeho sítové strany zlepšuje vlastnosti materiálu a také pozitivně ovlivňuje chování barvy při jeho potisku. Jak už bylo zmíněno, tento materiál však vzhledem k bílému nátěru už nemusí být potiskován bílou barvou.

V některých případech může zákazník chtít tisk na sítovou stranu z důvodu zachování struktury a hnědé barvy povrchu na nepotištěných místech. Při srovnání materiálu Carrier Kote a Stora Razor by bylo vhodné použít druhý zmíněný. Výsledky u většiny testovaných parametrů poukazují na lepší vlastnosti tohoto materiálu oproti substrátu Carrier Kote.

Výsledky poukazují také na lepší vlastnosti barvy Huber oproti barvě Snow White. Díky vyšší viskozitě více zůstává na povrchu materiálu, což vede k vyšší hodnotě světlosti a nižší spotřeba při tisku. Tato barva je také více odolná proti oděru a vykazuje nižší procento prášivosti.

ZDROJE

- [1] ČSN ISO 4046-3. *Papír, lepenka, vlákniny a související názvosloví – Slovník – Část 3: Názvosloví výroby papíru*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [2] *Papír, lepenky, vlákniny a související názvosloví. Část 3: Názvosloví výroby papíru*. 1. vyd. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006
- [3] DOLEŽAL, I. *Hladké a vlnité lepenky – nejrozšířenější obalové materiály*, Svět tisku [online]. b. r. [cit. 2018-12-28] Dostupné z:
http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=2481&
- [4] BERRY, C., HICKS, B. J., MCPHERSON, C. J., MEDLAND, A. J., MULLINEW, G. *Impact of environmental conditions on the performance of cationboard skillets*. Packaging Technology and Science, 2005. 18(5), 225-241. DOI: 10.1002/pts.686. ISSN 0894-3214
- [5] *General technical information*. IGGESUND: HOLMEN GROUP Sweden: Iggesund Paperboard, 2017 [online]. [cit. 2018-12-12] Dostupné z:
<https://www.iggesund.com/en/knowledge/product-catalogue/general-technical-information/>
- [6] *Paperboard: guide: Storaenso* [online]. Stora Enso Renewable Packaging, b. r. [cit. 2018-12-12] Dostupné z:
<http://assets.storaenso.com/se/renewablepackaging/DownloadDocuments/PaperboardGuide-en.pdf>
- [7] KIRWAN, M. J. *Paper and paperboard packaging technology*. 2. vyd., Ames Iowa: Blackwell Pub., 2005. ISBN 978-14051-2503-1
- [8] SOUČEK, Milan. *Zkoušení papíru*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada papírenské literatury.
- [9] GEBRTOVÁ, J. *Tiskové papíry a jejich vlastnosti*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. ISBN 80-7194-900-0
- [10] ČSN ISO 535. *Papír a lepenka. Stanovení absorpce vody podle Cobba*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [11] KAPLANOVÁ, M. a kolektiv. *Moderní polygrafie*. 2. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009. ISBN 978-80-254-4230-2

- [12] PANÁK, J. *Polygrafické minimum*. 2. vyd. Bratislava: TypoSet, 2000. ISBN 80-967-8113-8.
- [13] KADEŘÁBEK, V. a J. ČERNÝ. *Polygrafické materiály*. Pardubice, 1989. ISBN 80-851113-07-4.
- [14] ŠTĚPÁNOVÁ, A. *Fyzikální vlastnosti UV hybridních ofsetových barev*, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, KPF, FCHT, Pardubice 2008
- [15] KALENDA, P. ŠOLC, Z. TROJAN, M. *Technologie anorganických pigmentů*. 1. vyd. Pardubice, 1991. ISBN 80-85113-39-2.
- [16] ŠULCOVÁ, Petra. *Vlastnosti anorganických pigmentů a metody jejich hodnocení*. 2. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-057-6
- [17] LASKAFELD, M. PIKAL, P. STOLÍN, P. TŮMA, Z. *PRETIOX – Titanová běloba*. 1. vyd. Přerov, 2014.
- [18] LEACH, R. H. *The pigment Ink Manual*. 4. vyd., Blueprint: Londýn, 1991
- [19] GEVAERT, P. Ink Performance Properties of UV, Conventional and Hybrid Sheetfed Inks [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: www.allnex.com/brochures/16920.
- [20] JAŠÚREK, B. Texty k předmětu: *Základy fyziky polymerů*, Univerzita Pardubice, KPF FCHT, Pardubice, 2012/2013
- [21] SVOBODOVÁ, J., *Sledování vlivu lakové vrstvy na vytvrzení hybridních a UV barev*, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, KPF FCHT, Pardubice 2012
- [22] ŠŇUPÁREK, J. *Makromolekulární chemie: úvod do chemie a technologie polymerů*. 2. vyd., Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-166-5
- [23] SCHRAMM, G. *A practical Approach to Rheology and Rheometry*, 2. vyd., Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, 1998.
- [24] BARTOŇ, J. *Úvod do technologie ofsetu*. Praha: Nakladatelství grafické školy, 2003. ISBN 80-902978-6-2
- [25] JAŠÚREK B., JABLONOVSKÝ B., VALIŠ J. *Rheological Properties and Tack of Offset Printing Inks*, sborník Polygrafia Academica 2010, 9–10. 9. 2010. Bratislava, ISBN 978-802-2733-403
- [26] HOLICKÁ, H. *Materiály pro předmět Laboratoře oboru II*, 2015.
- [27] *Carrier Kote™*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.westrock.com/en/products/paperboard/carrier-kote-paperboard>

- [28] *CKBTM*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-specifications/Paperboard-materials/CKB-en.ashx>
- [29] *BillerudKorsnäs White*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: https://www.billerudkorsnas.com/globalassets/billerudkorsnas/our-offer/packaging-materials/cartonboard/technical-data-sheet_billerudkorsnas-white.pdf
- [30] *NewV pack MGA Opaque White Premium*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.hubergroup.co.uk/en/information/technical-data-sheets/>
- [31] *PANTONE BASIC UVPACK SERIER*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://martinezayala.com/en/tintas>
- [32] *Parker Print-SurfTM (PPS)*. Atomika Technik [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://www.atomikatechnik.com/pdf/parker%20print%20surf.pdf>
- [33] *Spektrofotometr X-Rite Exact*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>
- [34] *Spektrofotometr UltraScan VIS*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.hunterlab.com/ultrascan-vis-spectrophotometer.html>
- [35] *Nátiskové zařízení IGT CI*, [online]. [cit. 2019-03-30], Dostupné z: http://www.utsi.co.th/products_detail.php?typeid=63&subtypeid=53&productid=11
- [36] *Vytvrzovací tunel Miniterm*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://www.8e.ru/print/3837.php>
- [37] *Radiometr UV Integrátor*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://uv-technik.com/products/uv-measurement/>
- [38] *Ink Rub Tester*, [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.testingmachines.com/product/10-20-digital-ink-rub-tester>
- [39] VALIŠ J., JAŠÚREK B., SYROVÝ T., *Methodology of evaluation of print abrasion resistance*, sborník Polygrafia Academica 2014, pp 107–110, 12–13. 3. 2014. Bratislava, ISBN 978-80-89597-16-1

SEZNAM ZKRATEK

UV	ultrafialové záření
EB	proud elektronů (electron beam)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization) a označení norem vydaných touto organizací
DIN	Německá národní organizace pro normalizaci a označení norem vydaných touto organizací
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Black, procesní barvy čtyřbarvotisku
HKS	Asociace ochranných známek výrobců Hostmann-Steinberg Druckfarben, Kast + Ehinger Druckfarben a Schmincke & Co. Tyto tři výrobci tiskových barev se shodli na 88 přímých barvách pro ofsetový tisk.
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlení (Commission Internationale de l'Eclairage)
CIE L* a* b*	barvový prostor definovaný CIE v roce 1976

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: TOKOVÁ A VISKOZITNÍ KŘIVKA NEWTONSKÉ KAPALINY [23]	28
OBRÁZEK 2: SROVNÁNÍ TOKOVÝCH A VISKOZITNÍCH KŘIVEK NEWTONSKÝCH A NENEWTONSKÝCH KAPALIN [23]	29
OBRÁZEK 3: ZÁVISLOST VISKOZITY NA ČASE NENEWTONSKÝCH KAPALIN; ZLEVA: TIXOTROPIE, REOPEXIE. [23]..	30
OBRÁZEK 4: PŘENOSOVÉ KŘIVKY [11]	32
OBRÁZEK 5: ETALON PRO HODNOCENÍ TISKU VŮČI ODĚRU [26].....	39
OBRÁZEK 6: VZORKY TESTU ODĚRU PRO BARVU HUBER - PŘENESENÉ MNOŽSTVÍ BARVY NA PROTIKUSU; ZLEVA: KORSNAS WHITE, STORA RAZOR, CARRIER KOTE	50
OBRÁZEK 7: VZORKY TESTU ODĚRU PRO BARVU SNOW WHITE - PŘENESENÉ MNOŽSTVÍ BARVY NA PROTIKUSU; ZLEVA: KORSNAS WHITE, STORA RAZOR, CARRIER KOTE	50
OBRÁZEK 8: VZORKY PRO ANALÝZU OBRAZU. ZLEVA: SNOW WHITE, HUBER	55

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: VÝZNAM PÍSMEN V KÓDU VÍCEVRSTVÝCH LEPENEK	13
TABULKA 2: VÝZNAM ČÍSLA V KÓDU VÍCEVRSTVÝCH LEPENEK	14
TABULKA 3: SLOŽENÍ KONVENČNÍCH ARCHOVÝCH OFSETOVÝCH BAREV [11].....	19
TABULKA 4: SLOŽENÍ UV OFSETOVÝCH BAREV [18]	19
TABULKA 5: TYPY PIGMENTŮ ODPOVÍDAJÍCÍ POŽADAVKŮM OFSETOVÉHO TISKU PRO PROCESNÍ BARVY [18]	23
TABULKA 6: PŘEHLED METOD VSÁKAVOSTI PODLE COBBA [10].....	36
TABULKA 7: OZNAČENÍ STUPNĚ ZABARVENÍ PROTIKUSU	38
TABULKA 8: HODNOTY VSÁKAVOSTI PRO SÍTOVÉ STRANY TESTOVANÝCH SUBSTRÁTŮ	40
TABULKA 9: HODNOTY DRSNOSTI JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	41
TABULKA 10: L* A* B* SOUŘADNICE PRO NEPOTIŠTĚNÉ VZORKY	47
TABULKA 11: L* A* B* SOUŘADNICE A ΔE PRO VZORKY O MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY CCA 0,108 [G/M ²], VLEVO PRO BARVU SW, VPRAVO PRO BARVU HUBER	47
TABULKA 12: SROVNÁNÍ NEPOTIŠTĚNÝCH (VLEVO) A POTIŠTĚNÝCH (VPRAVO) VZORKŮ BARVY SW PROSTŘEDNICTVÍM L* A* B* SOUŘADNIC A ΔE	48
TABULKA 13: SROVNÁNÍ NEPOTIŠTĚNÝCH (VLEVO) A POTIŠTĚNÝCH (VPRAVO) VZORKŮ BARVY HUBER PROSTŘEDNICTVÍM L* A* B* SOUŘADNIC A ΔE	48
TABULKA 14: STUPEŇ ZABARVENÍ PROTIKUSU VZORKŮ POTIŠTĚNÝCH BARVOU HUBER	49
TABULKA 15: STUPEŇ ZABARVENÍ PROTIKUSU VZORKŮ POTIŠTĚNÝCH BARVOU SNOW WHITE	49
TABULKA 16: REOLOGICKÉ PARAMETRY - OSTWALD-DE-WAELŮV MODEL	53
TABULKA 17: REOLOGICKÉ PARAMETRY - CASSONŮV MODEL	54
TABULKA 18: HODNOTY PLOŠNÉHO POKRYTÍ NAPRÁŠENÉ BARVY V PROCENTECH.....	55

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1: PŘENOSOVÁ KŘIVKA PRO BARVU HUBER	42
GRAF 2: PŘENOSOVÁ KŘIVKA PRO BARVU SNOW WHITE	43
GRAF 3: ZÁVISLOSTI L* NA MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY PRO BARVU SW	44
GRAF 4: ZÁVISLOSTI L* NA MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY PRO BARVU HUBER	45
GRAF 5: ZÁVISLOST L* NA MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY PRO MATERIÁL CARRIER KOTE	45
GRAF 6: ZÁVISLOST L* NA MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY PRO MATERIÁL STORA RAZOR	46
GRAF 7: ZÁVISLOST L* NA MNOŽSTVÍ PŘENESENÉ BARVY PRO MATERIÁL KORSNAS WHITE	46
GRAF 8: TOKOVÉ KŘIVKY PRO URČENÍ KRITICKÝCH SMYKOVÝCH RYCHLOSTÍ	51
GRAF 9: TOKOVÉ KŘIVKY	52
GRAF 10: TOKOVÁ KŘIVKA PŘÍZPŮSOBENÁ POTŘEBÁM CASSONOVA MODELU	54