

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
KATEDRA POLYGRAFIE A FOTOFYZIKY

**METODIKA TESTOVÁNÍ PRORÁŽENÍ
TISKOVÉ BARVY NA TENKÝCH
TISKOVÝCH PAPIRECH
DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Autor práce: Bc. Žaneta Krčmářová

Vedoucí práce: Ing. Hana Holická, Ph.D.

2021

UNIVERSITY OF PARDUBICE
FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF GRAPHIC ARTS AND PHOTOPHYSICS

**METHODOLOGY FOR
EVALUATION OF PRINT-THROUGH
ON THIN PRINTING PAPERS**
DIPLOMA THESIS

Author: Bc. Žaneta Krčmářová

Supervisor: Ing. Hana Holická, Ph.D.

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Žaneta Krčmářová**
Osobní číslo: **C19524**
Studijní program: **N0531A130013 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Téma práce: **Metodika hodnocení prorážení tiskové barvy
na tenkých tiskových papírech**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte odbornou literaturu zaměřenou na problematiku prorážení tiskové barvy. Zaměřte se především na metody hodnocení prorážení tiskové barvy. Získané poznatky zpracujte v teoretické části práce.
2. V rámci experimentální části práce proveďte a vyhodnoťte testy prorážení tiskové barvy pro dodané typy tenkých tiskových papírů. Pro hodnocení prorážení tiskové barvy použijte dostupné metody, se kterými jste se seznámila v rámci teoretické části práce.
3. Srovnajte jednotlivé metody testování prorážení tiskové barvy a navrhněte nejvhodnější způsob testování prorážení tiskové barvy na tenkých tiskových papírech.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Hana Holická, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Oponent diplomové práce:

Ing. Eva Sadilová

OP papírna s.r.o. Olšany

Datum zadání diplomové práce:

26. února 2021

Termín odevzdání diplomové práce:

18. července 2021

Děkan:

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.

Vedoucí katedry:

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlašuji, že:

práci s názvem Metodika testování prorážení tiskové barvy na tenkých tiskových papírech 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odezdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 7. 2021

Žaneta Krčmářová

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí práce paní Ing. H. Holické, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, rady, za předání zkušeností a za čas, který mi věnovala po celou dobu. Dále bych chtěla poděkovat firmě OP papírna s.r.o. za poskytnutí testovacích materiálů a za spolupráci. Chtěla bych dále poděkovat mé rodině, mému příteli a přátelům za podporu při studiu. Tuto práci bych chtěla věnovat své babičce, která mě podporovala zcela ve všem, co jsem kdy dělala.

Anotace

Cílem práce bylo ověřit metodiku testování prorážení tiskové barvy na různých typech tenkých tiskových papírů. Bylo testováno čtrnáct druhů tenkých tiskových papírů o plošné hmotnosti 40 g/m². Tyto papíry byly dodány firmou OP papírna s.r.o.

Tenké tiskové papíry byly potištěny na laboratorním potiskovacím zařízení. Byly provedeny čtyři série testování prorážení tiskové barvy. Stanovení prorážení z naměřených dat bylo provedeno různými metodami. Měřeny byly optické hustoty tisku, optické hustoty spodní strany tisku, světelný činitel odrazu, souřadnice $L^*a^*b^*$ a L^*C^*h . V první sérii testování bylo prorážení tiskové barvy hodnoceno v souladu s normou *SCAN-P 36:02 Evaluation od test prints* a měřením optické hustoty spodní strany tisku se stejným dávkováním barvy u všech papírů. Hodnocení prorážení tiskové barvy druhé série bylo provedeno totožně, ale s odlišným dávkováním barvy. Třetí série byla provedena s jinou sadou vzorků, které se lišily formací papíru, dávkování barvy bylo stejné u všech papírů. Ve čtvrté sérii byly hodnoceny vybrané papíry z předešlých testování a hodnocení prorážení tiskové barvy bylo provedeno všemi vybranými metodami testování, bylo použito stejné dávkování barvy u všech papírů. Pro vizuální hodnocení prorážení tiskové barvy byly vyfotografovány spodní strany potištěných vzorků a pořízeny snímky mikroskopem.

Klíčová slova:

Prorážení tiskové barvy, metodika testování, tenké tiskové papíry, optická hustota

Annotation

The aim of the work was to verify the methodology of testing print-through on different types of thin printing papers. Fourteen types of thin printing papers of 40 g/m² were tested. These papers were supplied by OP papírna s.r.o.

The thin printing papers were printed on a laboratory printing device. Four series of ink penetration tests were carried out. Determination of the print-through from the measured data was carried out by different methods. The optical densities of the print, the optical densities of the underside of the print, the light scattering coefficient, the $L^*a^*b^*$ and L^*C^*h coordinates were measured. In the first series of tests, the print-through was evaluated in accordance with *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* and measuring the optical density of the underside of the print with the same ink dosage for all papers. The evaluation of the print-through of the second series was performed identically but with a different ink dosage. The third series was performed with a different set of samples that differed in paper formation, the ink dosage being the same for all papers. In the fourth series, selected papers from the previous testing were evaluated and the evaluation of the print-through was performed with all selected testing methods, the same ink dosage was used for all papers. For visual evaluation of the print-through, the undersides of the printed samples were photographed and microscope images were taken.

Keywords:

Print-through, Methodology for evaluation, thin printing papers, optical density

Obsah

Úvod.....	25
1. Teoretická část	27
1.1 Tenké tiskové papíry.....	27
1.2 Prorážení tiskové barvy	27
1.3 Vliv papíru na prorážení tiskové barvy	28
1.3.1 Vliv plnidel	29
1.4 Vliv tiskové barvy na její prorážení.....	30
1.5 Vliv podmínek tisku na prorážení tiskové barvy	36
1.6 Metody testování prorážení tiskové barvy	36
2. Experimentální část	45
2.1 Experimentální materiály.....	45
2.1.1 Tenké tiskové papíry.....	45
2.1.2 Tisková barva	45
2.2 Experimentální zařízení	45
2.2.1 Zařízení pro měření drsnosti povrchu.....	45
2.2.2 Barevníková jednotka.....	46
2.2.3 Pipeta pro dávkování barvy	47
2.2.4 Potiskovací zařízení	47
2.2.5 Spektrofotometr	48
2.2.6 Mikroskop	49
2.3 Experimentální metody a výsledky.....	51
2.3.1 Drsnost <i>PPS</i>	51
2.3.2 Příprava a tisk vzorků.....	51
2.3.3 Stanovení prorážení tiskové barvy	52
3. Závěr	71

Seznam tabulek, obrázků a použitých zkratek

Seznam tabulek

Tabulka 1: *Parametry nenatíraných papírů*

Tabulka 2: *Podmínky tisku*

Tabulka 3: *Hodnoty drsnosti papírů ze síťové a lícové strany*

Tabulka 4: *Hodnoty optické hustoty tisku a prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$*

Tabulka 5: *Porovnání prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ představující optickou hustotu spodní strany tisku a prorážení tiskové barvy v souladu s normou SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints při množství tiskové barvy 0,05 a 0,15 cm³*

Tabulka 6: *Hodnoty optické hustoty tisku a prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/č}$*

Tabulka 7: *Hodnoty prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints, měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 8: *Hodnoty prorážení tiskové barvy podle IGT testing systems Information leaflet W43/68, měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 9: *Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Jing Liu, měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 10: *Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Eriksen a Gregersen, měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 11: *Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Mäkinen a kol., měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 12: *Hodnoty penetračního indexu podle Mäkinen a kol., měřeno 5 a 24 hodin po tisku*

Tabulka 13: *Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 5 hodin po tisku*

Tabulka 14: *Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 5 hodin po tisku*

Tabulka 15: *Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 24 hodin po tisku*

Tabulka 16: *Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 24 hodin po tisku*

Seznam obrázků

Obrázek 1: Výsledné snímky z konfokální laserové skenovací mikroskopie vzorku A, B a C

Obrázek 2: Vrstvy barvy pro různé typy papíru. Studené tóny označují penetraci barvy, teplé tóny označují substrát.

Obrázek 3: Hloubka penetrace barvy

Obrázek 4: Povrch se 40% pokrytím vytištěné na bílý papír inkjetovou tiskárnou (vlevo) a laserovou tiskárnou (vpravo). Velikost zobrazené oblasti 2×2 mm, rozlišení skeneru 2 400 dpi.

Obrázek 5: Zařízení Parker Print Surf

Obrázek 6: Zařízení IGT High Speed Inking Unit 4

Převzato z: IGT testing systems. *High Speed Inking Unit 4* [online]. © 2021 [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: www.igt.nl/product/high-speed-inking-unit-4/

Obrázek 7: Pipeta pro dávkování barvy

Převzato z: GMS. IGT Ink Pipette [online]. © 2021 [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: www.grahamuliasaranautama.co.id/products/view/20/303/IGT-Ink-Pipette.html

Obrázek 8: Zařízení IGT Amsterdam 2

Převzato z: IGT testing systems. *Amsterdam 2* [online]. © 2021 [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: www.igt.nl/product/amsterdam-2/

Obrázek 9: Spektrofotometr X-Rite GretagMacbeth SpectroEye

Převzato z: X-Rite. SpectroEye [online]. © 2021 [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: www.xrite.com/service-support/product-support/portable-spectrophotometers/spectroeye

Obrázek 10: Spektrofotometr UltraScan VIS HunterLab

Převzato z: BioSens. Spektrofotometr UltraScan Vis [online]. [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: www.biosens.pl/pr/spektrofotometr-ultrascan-vis

Obrázek 11: Mikroskop Mirazoom MZ902

Převzato z: Allegro Archiv. WL MIRAZOOM MZ902 DIGITAL MICROSCOPE 9Mpx USB, LED [online]. © 2021 [cit. 2021-7-2].

Dostupné z: archiwum.allegro.pl/oferta/cyfrowy-mikroskop-wl-mirazoom-mz902-9mpx-usb-led-i7523364354.html

Obrázek 12: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$

Obrázek 13: Mikroskopické snímky testovaných papírů ze spodní strany tisku

Obrázek 14: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku

Obrázek 15: Závislost prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ na optické hustotě tisku

Obrázek 16: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při množství nanesené tiskové barvy $0,05 \text{ cm}^3$

Obrázek 17: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při množství nanesené tiskové barvy $0,15 \text{ cm}^3$

Obrázek 18: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při všech množství nanesené tiskové barvy

Obrázek 19: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku při množství $0,05 \text{ cm}^3$

Obrázek 20: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku při množství $0,15 \text{ cm}^3$

Obrázek 21: Mikroskopické snímky spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,05 \text{ cm}^3$

Obrázek 22: Mikroskopické snímky spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,15 \text{ cm}^3$

Obrázek 23: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/\check{c}}$

Obrázek 24: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku

Obrázek 25: Mikroskopické snímky spodní strany tisku papíru OMP 1, OPB 1 a Bolloré

Seznam použitých zkratek

sm. od.	Směrodatná odchylka
1	Sítová strana
2	Lícová strana
HSI	High speed inkjet
PCC	Srážený uhličitán vápenatý
GCC	Přírodní uhličitán vápenatý
$R_{\infty B}$	Světelný činitel odrazu spodní strany nepotištěného papíru
R_{PB}	Světelný činitel odrazu spodní strany potištěného papíru
$PT_{D/OP}$	Prorážení tiskové barvy vypočtené z měření optické hustoty spodní strany tisku na opacitní vrstvě papíru
$PT_{D/č}$	Prorážení tiskové barvy vypočtené z měření optické hustoty spodní strany tisku na černé podložce
ΔE_{94}^{OP}	Označuje barvovou odchylku mezi potištěnými a nepotištěnými oblastmi, měřenou přes jeden nepotištěný arch papíru
ΔE_{94}^{PT}	Označuje barvovou odchylku mezi potištěnými a nepotištěnými oblastmi, měřenou ze zadní strany potištěného archu papíru

Úvod

Prorážení tiskové barvy je nežádoucí jev, který způsobuje vzájemné rušení grafických informací na obou stranách papíru. Tento nežádoucí jev spočívá v tom, že barva, která byla natisknuta na jednu stranu papíru, proniká nadměrně do pórovité struktury papíru k jeho protilehlé straně a způsobuje prorážení. Proto je prorážení jedním z nejdůležitějších parametrů při hodnocení kvality tisku, zejména u tenkých tiskových papírů.

Tenké tiskové papíry jsou označovány jako speciální druh tiskových papírů, které se od běžných tiskových papírů odlišují nízkou plošnou hmotností a tloušťkou. Plošná hmotnost těchto papírů se pohybuje v rozsahu 25–60 g/m² a tloušťka v rozsahu 30–70 μm. I přes svou nízkou tloušťku mají tenké tiskové papíry vysokou hodnotu opacity, která je pro kvalitní oboustranný tisk velmi důležitá. Jsou výhradně bezdřevé, plně klížené, a mohou být natírané i nenatírané. Pro dosažení požadovaných vlastností se do papírů přidávají plnidla, která zajišťují vyšší opacitu a lepší potiskovatelnost. Tenké tiskové papíry jsou používány především pro tisk příbalových letáků k lékům, encyklopedií, slovníků a diářů.

Cílem práce bylo ověřit různé metodiky testování prorážení tiskové barvy na tenkých tiskových papírech a určit metodu testování s nejvyšší vypovídající hodnotou pro snadnější porovnání výsledků prorážení v praxi. Tenké tiskové papíry byly dodány firmou OP papírna s.r.o. Výsledky této práce by měly usnadnit porovnání tenkých tiskových papírů z hlediska míry prorážení tiskové barvy a komunikaci se zákazníky.

1. Teoretická část

1.1 Tenké tiskové papíry

Tenké tiskové papíry jsou často označovány jako speciální druh tiskových papírů. Jsou bezdřevé a mohou být vyráběny jako natírané i nenatírané. Od běžných tiskových papírů se odlišují především svou nízkou plošnou hmotností, která se pohybuje v rozsahu 25–60 g/m². I přes svou nízkou tloušťku, která se pohybuje v rozsahu 30–70 μm, mají tenké tiskové papíry vysokou hodnotu opacity okolo 90 % a jsou plně klížené. Vysoká opacita je zásadní pro kvalitní oboustranný tisk. Za účelem dosažení této opacity a lepší potiskovatelnosti se do papírů přidávají plnidla. Plnidla vyplňují jemné póry a papír se stává více homogenní. Dále plnidla příznivě ovlivňují bělost, uzavřenost povrchu a rovnost papíru. Obsah plnidel v papíru je však omezený a při vyšším obsahu se začínají projevovat nepříznivé vlivy jako je snížení pevnosti, zvýšení prášení a snížení stupně zaklížení. Jako plnidlo se využívá např. kaolin, hydroxid hlinitý nebo srážený uhličitan vápenatý. Další přísadou mohou být barviva a opticky zjasňující prostředky. Tenké tiskové papíry jsou nejvíce používány pro tisk příbalových letáků, informačních tiskovin, diářů, encyklopedií, slovníků, právnícké a náboženské literatury. Hlavním požadavkem pro výrobu příbalových letáků je vysoká tisková rozlišitelnost, nízké prorážení tiskové barvy a schopnost vytvářet velké množství skladů při minimálním objemu složeného archu [1, 2].

1.2 Prorážení tiskové barvy

Prorážení tiskové barvy je jedním z nejdůležitějších kritérií při hodnocení kvality tisku. Prorážení je nežádoucí jev, který způsobuje vzájemné rušení grafických informací na obou stranách papíru. Spočívá v tom, že barva, která byla natisknuta na jednu stranu papíru nadměrně proniká strukturou k protilehlé straně a zhoršuje tak kvalitu tisku [3–8].

Nejvýznamnější negativní vlivy prorážení tiskové barvy:

- a) Pokud se prorážení projeví na protilehlé straně papíru v textové oblasti, čitelnost textu bude snížena.

- b) Prorážení na protilehlé straně papíru v místě natištěného obrazu snižuje jeho čistotu především v jeho světlých oblastech.
- c) Pokud je penetrace oleje z tiskové barvy na jedné straně papíru příliš silná, může ovlivnit penetraci barvy na protilehlé straně papíru, která potom nadměrně penetruje do stran. Penetrace tiskové barvy do stran je velmi zřetelná, především pokud tištěný obraz obsahuje silné linky nebo silnější řezy písem [8].

Prorážení tiskové barvy může být ovlivněno vlastnostmi papíru, vlastnostmi a tloušťkou tiskové barvy a podmínkami tisku. Prorážení je výsledek působení tří faktorů: průsvitnosti papíru, penetrace pigmentů a absorpce rozpouštědla (oleje) do struktury papíru [8, 9].

1.3 Vliv papíru na prorážení tiskové barvy

Prorážení tiskové barvy ovlivňuje pórovitá struktura papíru. Struktura ovlivňuje optické i absorpčních vlastnosti papíru, které jsou rozhodující pro míru prorážení tiskové barvy. Se zvyšující se opacitou a koeficientem rozptylu světla se prorážení snižuje [8, 11].

Vysoká drsnost povrchu papíru má za následek nerovnoměrné pokrytí tiskové barvy, které vede k proměnlivosti hodnot prorážení tiskové barvy. Tato proměnlivost však může působit rušivějším dojmem, než kdyby byly hodnoty prorážení sice vyšší, ale neměnné [8]. Proměnlivé prorážení může být spojeno s formací a shluky v papíru. Oblasti s nízkou opacitou mezi shluky mohou být oblastmi, kde se prorážení zvyšuje [12].

Struktura papíru je ovlivněna složkami přidanými do papíru a kalandrováním. Kalandrování uzavírá povrchové póry a tím snižuje drsnost papíru. Struktura papíru i jeho drsnost jsou ovlivněny také jemností materiálu použitého při výrobě papíru. Jemné částice zvyšují koeficient rozptylu světla a snižují drsnost povrchu. Množství barvy nanesené na papír k dosažení dané optické hustoty závisí na potiskované straně papíru. Síťová strana papíru má hrubší povrch a bude vyžadovat více barvy. Tím do struktury papíru proniká více oleje, což vede ke snížení koeficientu rozptylu světla a ke zvýšení prorážení [11].

Složení tiskové barvy má vliv na separaci a penetraci minerálního oleje do struktury papíru. Penetrace oleje snižuje opacitu papíru a zvyšuje jeho průsvitnost, což zvyšuje hodnotu prorážení. Hrubší povrch papíru bude vyžadovat více barvy pro dosažení dané optické hustoty tisku, čímž do struktury papíru bude penetrovat větší množství oleje, které snižuje koeficient rozptylu světla a zvyšuje míru prorážení. Penetrace pigmentů z barvy ovlivňuje absorpci viditelného světla. Pigmenty penetrují v malé míře a neovlivňují prorážení tiskové barvy tak výrazně, jako opacita papíru a penetrace minerálního oleje [8, 11, 13].

1.3.1 Vliv plnidel

Perng a kol. se ve své studii [14] zaměřili na vliv různých plnidel a jejich kombinací na tiskové vlastnosti papíru. Jako plnidla byly v této studii použity talek a přírodní uhličitán vápenatý (GCC). Oba druhy plnidel měly různou průměrnou velikost částic (talek 7,96 a 16,07 μm ; GCC 1,99 a 4,99 μm) a byly kombinovány v různém poměru (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100). Obsah plnidel v papíru byl 25 %. Výsledky ukazují, že papíry plněné samotným talkem měly nižší drsnost povrchu než papíry plněné samotným GCC. Papíry plněné směsí talku a GCC vykazovaly vyšší drsnost povrchu než použití samotných pigmentů. Papír se samostatnými typy pigmentů hrubších částic vykazoval vyšší prorážení tiskové barvy než papír s pigmenty jemnějších částic. Při použití směsi hrubších částic pigmentů obou plnidel bylo prorážení nižší než při použití jednotlivých pigmentů. S použitím směsi hrubších částic talku a jemnějších částic GCC se zvyšujícím se obsahem GCC bylo pozorováno snižování míry proražení tiskové barvy. Použití jemnějších částic talku ve směsi s GCC, bez ohledu na velikost částic GCC, vedlo ke zvýšení prorážení tiskové barvy.

Kromě typu a množství plnidel ovlivňuje strukturu papíru a jeho vlastnosti také způsob plnění. Při konvenčním plnění se plnidlo přidává přímo do hmoty papíroviny. Jiný způsob plnění je technologie srážení plnidel (in-situ), při kterém se částice plnidla ukládají přímo do stěny nebo lumenu vláken. Způsobem plnění in-situ lze získat archy, které budou mít, při stejném obsahu plnidel, lepší formaci a pevnostní vlastnosti, než konvenčně plněné archy [15, 16].

Kumar a kol. ve své studii [16] popisují vliv plnění papíru technologií srážení in-situ na tiskové vlastnosti papíru. Pro přípravu vzorků byla použita buničina

z bagasy a směsná buničina z tvrdého dřeva. Vzorky papírů byly připraveny bez plnidel i s přídavkem plnidel konvenčním způsobem a srážením in-situ. Vzorky byly potištěny na potiskovacím přístroji IGT (typ AIC 2-5). Různé způsoby plnění byly hodnoceny v závislosti na množství přenesené barvy, optické hustotě a prorážení tiskové barvy. Na archy plněné konvenčním způsobem se přeneslo více barvy než na archy plněné srážením in-situ. Při vyšším množství přenesené barvy byla optická hustota tisku větší u archů z bagasy než u archů z tvrdého dřeva. U archů z bagasy byla optická hustota tisku větší pro vzorky plněné srážením in-situ než pro archy plněné konvenčně. Plnění technologií in-situ mělo pozitivní vliv na prorážení tiskové barvy u archů z bagasy. Pro danou optickou hustotu tisku bylo prorážení menší u archů plněných srážením in-situ než u archů plněných konvenčně a mnohem menší než u neplněných archů.

Othman a kol. [17] zkoumali vliv polyethyleniminu a kamence na mechanické a optické vlastnosti plněného papíru. K výrobě archů byla použita směsná dřevovina z tropického tvrdého dřeva. Pomocí metody plnění in-situ byl srážený uhličitán vápenatý (PCC) zaveden do lumenu vláken. Kamenec byl použit jako aditivum k přípravě buničiny a plnidla. Archy byly připraveny s kamencem a bez kamence. Polyethylenimin byl přidán do buničiny během výroby v množství 0–3 %. Výsledky z této studie ukázaly, že polyethylenimin zvýšil stupeň plnění PCC do lumenu vláken. Pevnost v tahu papíru s obsahem kamence se zvýšila přidáním polyethyleniminu. Pevnost v tahu papíru bez kamence se s obsahem 1–2 % polyethyleniminu snížila. Odolnost v roztržení se zvýšila až po přidání 3 % polyethyleniminu. Tato odolnost byla vyšší u papíru s obsahem kamence. U papíru s obsahem kamence se zvyšovala odolnost proti prášení s rostoucím přídavkem polyethyleniminu. Polyethylenimin v množství 1–2 % nestačí ke zlepšení odolnosti proti prášení u papíru bez kamence. Počet skladů papíru byl nejvyšší s přidáním 3 % polyethyleniminu s i bez kamence. Se zvyšujícím se množstvím polyethyleniminu se však mírně snižuje bělost, nejspíše v důsledku nažloutlého odstínu polyethyleniminu.

1.4 Vliv tiskové barvy na její prorážení

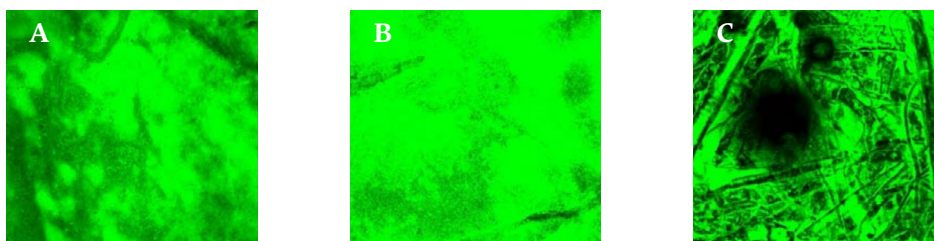
Typická archová ofsetová barva obsahuje okolo 40 % minerálního nebo rostlinného oleje. Oleje na bázi ropy jsou škodlivé pro životní prostředí a způsobují pro-

blémy spojené s recyklací tiskovin. Snahou je používat do tiskových barev rostlinné oleje jako obnovitelné přírodní suroviny. Minerální oleje, které jsou obsažené v tiskovém substrátu, mají tendenci se rychle usazovat a působit znečištění během tisku. Rostlinné oleje jsou méně aromatické a neovlivňují tak vůni potravin, což je důležitým faktorem pro koncové spotřebitele. Z hlediska světlostálosti, barvy na bázi minerálních olejů podléhají menší změně barevnosti na natíraných papírech, naopak barvy na bázi rostlinných olejů podléhají menší změně barevnosti na nenatíraných papírech. Důvodem může být to, že minerální oleje mají ve své struktuře méně dvojných vazeb než rostlinné oleje. Rostlinné oleje v průběhu času podléhají oxidaci a získávají matnější povrch. Flotace barvy na povrchu natíraného papíru je nižší než na povrchu nenatíraného papíru, což je dalším důvodem změny barevnosti. Oleje používané při výrobě barev by měly být vybírány s ohledem na životní prostředí, snadnost recyklace, malého dopadu na chuť a vůni potravin a bezproblémovost tisku [18].

Vlivem rozvoje tiskových procesů jsou kladeny vyšší nároky na barvu, papír i na proces tisku. Výsledný vzhled tisku ovlivňuje penetrace a distribuce barvy. Hlavní faktor ovlivňující interakci mezi tiskovou barvou a papírem je rozložení pórovitosti a drsnost povrchu. Optická hustota je závislá na absorpci barvy a na optických a strukturních vlastnostech povrchu papíru [19].

Ying Li a Beihai He [19] zkoumali penetraci a distribuci barvy do papíru. Pro experiment byly připraveny tři sady bezdřevých papírů lišících se povrchovou úpravou. Jejich plošná hmotnost byla 68 g/m^2 . Vzorek A a B byly opatřeny nátěrem, vzorek C byl bez nátěru. Nátěrová směs byla složena z kaolinu, uhličitanu vápenatého a styren-butadienového latexu. Vzorky byly potištěny na laboratorním nátiskovém zařízení IGT za použití růžové fluorescenční barvy vytvrzované UV zářením. Tato barva byla použita za účelem získání trojrozměrné informace o distribuci barvy. K vytvrzení barvy byla použita ultrafialová lampa. Pro získání snímků, které odhalují hloubku penetrace a distribuce barvy byla použita konfokální laserová skeinovací mikroskopie. Excitační vlnová délka He-Ne laseru byla 543 nm a detekovaná vlnová délka byla $553\text{--}654 \text{ nm}$. Výsledné snímky ukázaly silnější intenzitu fluorescence u vzorku B, což naznačuje rovnoměrnější rozložení barvy než u vzorku A (Obrázek 1). Vzorek C měl nejvyšší drsnost a byla u něj pozorována nejsilnější

penetrace a nejméně rovnoměrná absorpce barvy. Nejnižší hloubka penetrace a příjem barvy byly zjištěny u vzorku A, který měl nejhladší povrch.



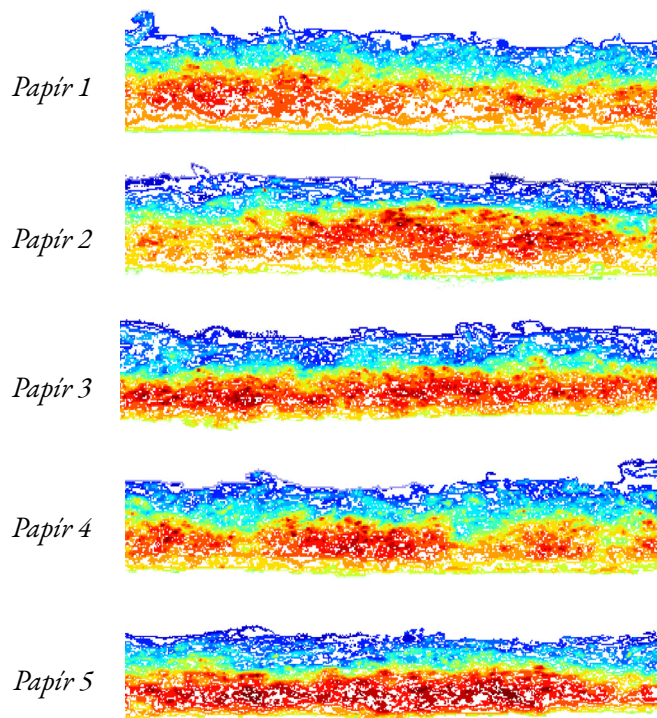
Obrázek 1: Výsledné snímky z konfokální laserové skenovací mikroskopie vzorku A, B a C

S rychlým rozvojem inkjetového tisku roste poptávka po nenatíraném inkjetovém papíru. Do nenatíraného papíru však mohou penetrovat kapičky barvy z tiskárny. Pokud se kapička barvy šíří po povrchu rychleji než stihne penetrovat, může dojít k nárůstu bodu a rozmazání. Naopak, pokud kapička penetruje do papíru více, může způsobit prorážení a špatnou optickou hustotu. Z těchto důvodů je nutné sledovat vzájemnou interakci mezi barvou a papírem [20].

Ren'ai Li a kol. [20] se zabývali penetrací barvy na nenatíraném inkjetovém papíru a jejím vlivem na kvalitu tisku. K testování použili pět laboratorních archů s různými parametry. Archy se skládaly ze směsi 85 % eukalyptu a 15 % borovice. Parametry testovaných archů jsou uvedeny v Tabulce 1. Tisk byl proveden pomocí inkjetové tiskárny barvami na bázi vody. Plošné pokrytí bylo 5–100 %. Potištěné archy byly proměřeny spektrofotometrem s osvětlením D65 a 2° pozorovatelem. V této studii byla vybrána plná azurová pole, která byla pozorována pomocí konfokální laserové skenovací mikroskopie. Byly zaznamenány snímky penetrace barvy (Obrázek 2).

Tabulka 1: Parametry nenatíraných papírů

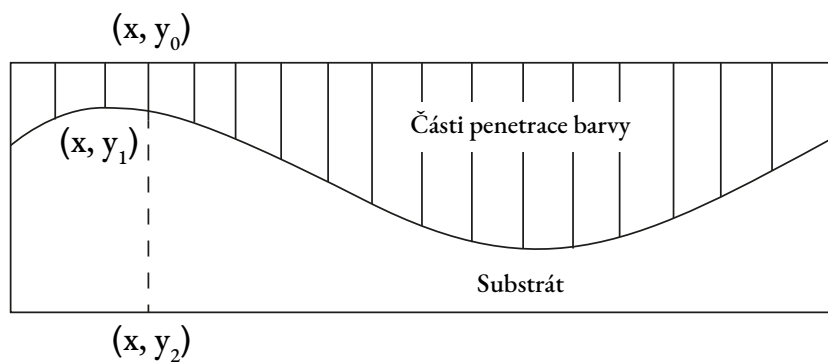
Arch	Parametry
Papír 1	bez úpravy
Papír 2	klížení
Papír 3	plnění
Papír 4	klížení + plnění
Papír 5	klížení + plnění + kalandrování



Obrázek 2: Vrstvy barvy pro různé typy papíru. Studené tóny označují penetraci barvy, teplé tóny označují substrát.

Papíry měly nehomogenní strukturu a hloubka penetrace se v každém místě mohla lišit (Obrázek 3). Hloubka penetrace byla definována jako:

$$\Delta h(x) = y_1(x) - y_0(x) \quad (1)$$



Obrázek 3: Hloubka penetrace barvy

Papír 5 měl ve srovnání s *Papírem 4* hloubku penetrace a odchylku nižší, z důvodu kompaktnější struktury a nižší pórovitosti po kalandrování. Hloubky penetrace i odchylky se u jednotlivých vzorků lišily, důvodem mohou být různé parametry, které měly vliv na penetraci barvy [20].

Penetrace barvy byla u každého papíru jiná a pro *Papír 1* byla zjištěna hodnota penetrace 37,49 %. *Papír 2* vykazoval penetraci 34,43 % z důvodu hydrofobního povrchu vláken díky klížícímu činidlu. Plnidlo způsobilo, že struktura papíru byla poréznější, což u *Papíru 3* vedlo k nejvyšší penetraci, a to 44,07 %. Hodnota penetrace pro *Papír 4* byla 42,04 % a pro *Papír 5* 54,40 %. Klížící činidlo v *Papíru 2* znemožnilo barvě penetrovat do takové hloubky, což vedlo ke koncentraci pigmentových částic na povrchu papíru a zvýšení optické hustoty. Plnidlo v *Papíru 3* způsobilo špatnou optickou hustotu z důvodu nerušené penetrace porézní strukturou papíru. Lepší kvalitu tisku poskytl *Papíru 4* díky přítomnosti klížidla i plnidla. Nejlepší kvalitu tisku vykazoval *Papír 5* díky kalandrování. Dále bylo provedeno měření kontaktního úhlu s pomocí kapiček deionizované vody, které byly na substrátu po dobu 1 s. Na *Papíru 1* byl naměřen kontaktní úhel 32° , na *Papíru 2* byl naměřen nejvyšší kontaktní úhel 95° kvůli hydrofobní povaze vláken. Kontaktní úhel naměřený na *Papíru 3*, s plnidlem, byl nejnižší při 14° . Na *Papíru 4* byl naměřen mírný kontaktní úhel 52° . Kalandrování *Papíru 5* vedlo k naměření nižšího kontaktního úhlu než na *Papíru 4* [20].

Schopnost předpovídat výsledky inkjetového tisku zkoumali Sarah Krainer a kol. [21]. V této studii byly provedeny laboratorní měření, které měly napodobit proces vysokorychlostního inkjetového tisku (HSI – High speed inkjet). HSI kombinuje výhody digitálního tisku (flexibilita, absence tiskové formy) s rostoucí rychlostí tisku. Kapičky jsou tvořeny metodou kapek na vyžádání (DOD – Drop on demand). Nutností při tisku HSI je rychlé zasychání barvy, aby při vysokých rychlostech nedocházelo k rozmazání nebo obtahování. Dobré výsledky tisku zajišťuje vyvážená kombinace rozprostírání a penetrace kapaliny, které jsou ovlivněny povrchovou energií a polaritou papíru. Penetrace kapaliny může být měřena ultrazvukovými zkouškami (ULP – Ultrasonic liquid penetration), kde se měří změna intenzity signálu během penetrace kapaliny do substrátu. Rychlý útlum signálu

lze pozorovat u silně savých papírů. Dále lze penetraci kapaliny měřit s využitím automatického skenovacího absorbometru (ASA), který měří objem přenesené kapaliny. Povrchové napětí je testováno měřením kontaktního úhlu. Čím vyšší je kontaktní úhel, tím hůře kapalina smáčí povrch substrátu.

Cílem studie [21] bylo zjistit, zda lze za pomoci laboratorních metod předpovědět reálný výsledek inkjetového tisku. V experimentu byl použit plněný kancelářský papír, neupravený kancelářský papír, nenatíraný papír opatřený primerem a pigmentovaný papír opatřený primerem. Všechny papíry byly vyrobeny z plně bělené buničiny z tvrdého dřeva eukalyptu, plnidlem byl srážený uhličitán vápenatý. Plošná hmotnost kancelářského plněného papíru byla $77,2 \text{ g/m}^2$, neupraveného kancelářského papíru $97,2 \text{ g/m}^2$, nenatíraného papíru opatřeného primerem $78,5 \text{ g/m}^2$ a pigmentovaného papíru opatřeného primerem $79,9 \text{ g/m}^2$. Kapky k měření kontaktního úhlu byly použity ve dvou objemových škálách, pikolitrové o objemu 30 μl a 60 μl a mikrolitrové o objemu 2 μl a 4 μl . Hodnota prorážení tiskové barvy je v této studii vyjádřena jako hloubka penetrace barvy do papíru, kde tuto hodnotu představuje rozdíl šedi před tiskem a po tisku.

Pokud je penetrace do papíru silnější, laboratorní testy jsou méně schopny předpovídat absorpci kapaliny během tisku HSI. Měření kontaktního úhlu malých pikolitrových kapek je silně ovlivněno jejich absorpcí, proto jsou méně vhodné pro hodnocení chování tisku HSI. Další skutečností je, že kapky o objemu 30 μl jsou tak malé, že mohou mizet v drsnosti povrchu, což vede ke změnám kontaktního úhlu. Mikrolitrové kapky, které jsou několikanásobně větší, než tloušťka papíru, byly téměř neovlivněny penetrací kapaliny ani drsností povrchu. Zkoumané techniky měření penetrace mohou dobře předpovídat chování prorážení tiskové barvy u málo absorbujících papírů, ale ne u silně absorbujících papírů. Nejlepší výsledky byly tedy dosaženy na méně absorbujících papírech s mikrolitrovými kapkami, které jsou ale milionkrát větší, než kapky v procesu inkjetového tisku, ale nejsou tolik ovlivněny povrchem papíru a absorpcí. V této studii se předpokládalo, že pikolitrové kapky, které mají stejnou velikost jako kapky v procesu inkjetového tisku, přinesou lepší výsledky pro hodnocení chování tisku HSI [21].

1.5 Vliv podmínek tisku na prorážení tiskové barvy

Yang a Liub [7] se ve své studii zabývali vlivem tlaku a rychlosti tisku na prorážení tiskové barvy. K tomuto účelu bylo zvoleno devět různých kombinací tiskového tlaku a rychlosti, které jsou uvedeny v Tabulce 2. Ve studii byl tisk proveden pomocí potiskovacího přístroje IGT (AIC 2-5_T 2000) na dva druhy papíru – ofsetový papír v plošných hmotnostech 70 a 80 g/m² a novinový papír v plošných hmotnostech 48 a 49 g/m². Novinový papír měl vyšší hodnotu absorpce než ofsetový papír, ale zároveň měl vyšší hodnotu opacity. Všechny čtyři vzorky byly potisknuty pomocí azurové a purpurové barvy za rozdílných podmínek tisku. Potištěné vzorky byly proměřeny spektrofotometrem a výsledné prorážení bylo vyjádřeno pomocí ΔD a ΔE_{ab} .

Výsledky ze studie [7] ukazují, že se prorážení snižovalo se zvyšující se rychlostí tisku. Hodnota prorážení se zvyšovala s nárůstem tiskového tlaku při stejné rychlosti tisku. Ukázalo se, že k redukci prorážení je prospěšné nepatrně snížit tlak a zvýšit rychlost. Kromě toho byla hodnota prorážení azurové barvy vyšší než purpurové barvy. U vzorků ofsetového papíru došlo k většímu prorážení než u vzorků novinového papíru.

Tabulka 2: Podmínky tisku

Tlak [N]	Rychlost tisku [m/s]
625	0,2
625	0,3
625	0,4
725	0,2
725	0,3
725	0,4
825	0,2
825	0,3
825	0,4

1.6 Metody testování prorážení tiskové barvy

Metoda testování prorážení podle IGT Testing Systems *Information leaflet W43/68* [22] doporučuje testování provádět ve standardní atmosféře 23 ± 1 °C a 50 ± 2 % relativní vlhkosti. Na každý testovaný vzorek by měly být připraveny

tři proužky o rozměru 55 × 340 mm s označením lícové a rubové strany. Tiskový tlak by měl být nastaven na 625 N a rychlost tisku na 0,2 m/s. Pro testování se používá testovací barva IGT *Set off ink*. Po naplnění pipety se barva nanese na segment barvicí jednotky o objemu 0,35 cm³. Ideální je toto množství barvy rozdělit a nadávkovat postupně pootočením segmentu barvicí jednotky. Tiskový váleček se umístí na hřídel barvicí jednotky a zafixuje se. Testovací proužek se upevní do sektoru zařízení pro tisk. Po naválení barvy se tiskový váleček vyjme z barvicí jednotky a přesune se na hřídel testovacího zařízení pro tisk. Po upevnění je možné provést tisk. Testovací proužek se po tisku vyjme ze sektoru a nechá se pět hodin schnout. Tiskový váleček a válečky barvicí jednotky se očistí hadry a benzínem. Test se doporučuje provést alespoň třikrát. Pro vyhodnocení prorážení by měla být změřena měrná světlost L na zadní straně proužku papíru potištěného (L_b^*) a nepotištěného místa (L_w^*). Prorážení je pak vypočteno jako $(L_b^*/L_w^*) \times 100 \%$. Tento postup vyhodnocení je opakován pro každý proužek. Ze získaných hodnot by měla být vypočítána průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

Při stanovení prorážení tiskové barvy podle normy *SCAN-P 36:02* se tiskové vzorky připravují podle norem *SCAN-P 78*, *SCAN-P 79* (na tiskovém zařízení Prüfba) nebo podle norem *SCAN-P 86* a *SCAN P 87* (na tiskovém zařízení IGT). Na tiskovém zařízení IGT se tisk provádí při rychlosti 1 m/s a tiskovém tlaku 650 N. Vytiskne se 5 vzorků s různým množstvím tiskové barvy v rozsahu 0,7–2,0 g/m². Podle normy *SCAN-P 86* se pro tisk používá černá ofsetová tisková barva pro archový tisk, test se provádí pro všechny typy papíru s výjimkou novinového. V případě normy *SCAN-P 87* se používá černá barva pro coldset, test se provádí na novinovém papíru. Po 24 hodinách po tisku se provádí vyhodnocení prorážení tiskové barvy. V případě přípravy vzorků podle normy *SCAN-P 86* se prorážení tiskové barvy hodnotí na vzorcích s nánosem tiskové barvy 1,00 a 1,50 g/m². V případě přípravy vzorků podle normy *SCAN-P 87* se změří optická hustota tisku, prorážení tiskové barvy se hodnotí na vzorku, jehož optická hustota se nejvíce blíží hodnotě 0,95. Na opacitní vrstvě papíru se změří hodnoty světelného činitele odrazu spodní strany nepotištěného papíru ($R_{\infty B}$) a hodnoty světelného činitele odrazu spodní strany potištěného papíru (R_{PB}). Prorážení tiskové barvy se spočítá z následující rovnice:

$$PT_{\text{SCAN}} = \log \frac{R_{\infty\text{B}}}{R_{\text{PB}}} \quad (2)$$

PT_{SCAN} – prorážení tiskové barvy podle normy *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints*

$R_{\infty\text{B}}$ – světelný činitel odrazu spodní strany nepotištěného papíru měřený na opacitní vrstvě papíru

R_{PB} – je světelný činitel odrazu spodní strany potištěného papíru měřený na opacitní vrstvě papíru

Jing Liu se ve studii [24] zabýval předpovědí prorážení pomocí modelu založeného na rozdílu optické hustoty. Aby bylo možné prorážení předpovídat, byla definována odolnost proti prorážení (*PTR* – print-through resistance). Pokud je tato odolnost vyšší, tendence k prorážení je nižší. *PTR* je definována jako:

$$PTR = \frac{100 + O_y - A}{2} \quad (3)$$

PTR – odolnost proti prorážení [%]

O_y – opacita papíru

A – absorpce barvy (K&N)

Pro experiment této studie [24] byly použity dva ofsetové papíry s plošnou hmotností 70 g/m², jeden ofsetový papír s plošnou hmotností 80 g/m² a dva novinové papíry s plošnou hmotností 48 g/m² a 49 g/m². U všech papírů byla měřena bělost, opacita a absorpce barvy. Bělost ofsetového papíru byla vyšší než novinového papíru, který měl však vyšší hodnoty absorpce barvy a opacity. Protože menšího prorážení lze dosáhnout snížením tiskového tlaku a zvýšením rychlosti, byly definovány tři sady podmínek tisku – 625 N, 0,4 m/s; 725 N, 0,3 m/s; 825 N, 0,2 m/s. Pro tisk byla použita ofsetová azurová a purpurová barva. Pět vzorků papírů bylo

potištěno za použití každé sady podmínek tisku pomocí potiskovacího zařízení IGT (typ AIC 2-5_T 2000). Měření optické hustoty bylo provedeno 2,5 hodiny po tisku na spodní straně tisku. Hodnota prorážení je v této studii vyjádřena pomocí změny optické hustoty ΔD . Za podmínky tisku 625 N a 0,4 m/s bylo prorážení tiskové barvy nižší než za podmínky 825 N a 0,2 m/s. Optická hustota azurové barvy byla o něco vyšší, než optická hustota purpurové barvy se stejnou tloušťkou barvového filmu, podle tohoto byla hodnota prorážení azurové barvy vyšší. Důvodem může být menší průměr částic azurového pigmentu. Ofsetové papíry měly vyšší hodnoty prorážení než novinové, zřejmě kvůli jejich nižší opacitě. Výsledky s ohledem na *PTR* ukazují, že prorážení tiskové barvy se bude zvyšovat se snižující se hodnotou *PTR*. Pokud bude hodnota *PTR* vyšší než 72 %, může zaručit hodnotu prorážení nižší než 0,04 (vyjádřenou ΔD) bez ohledu na podmínky tisku.

V další studii [25] byla porovnána metoda vyhodnocení prorážení založená na skeneru a metoda hodnocení prorážení založená na hodnotách odrazivosti. Tradiční výpočet prorážení je uveden v rovnici (1). Dále může být prorážení vypočteno prostřednictvím měření vzdálenosti v prostoru $L^*a^*b^*$ potištěného a nepotištěného papíru, které poskytuje informace o snížení jasu a změnách barev během tisku. Prorážení pomocí $L^*a^*b^*$ se vypočte jako [26, 27]:

$$PT = \sqrt{(L_p^* - L_u^*)^2 + (a_p^* - a_u^*)^2 + (b_p^* - b_u^*)^2} \quad (4)$$

L^*, a^*, b^* – hodnoty v barvovém prostoru CIE $L^*a^*b^*$

u – nepotištěný papír (unprinted)

p – potištěný papír měřený ze zadní strany tisku (printed)

Pro hodnocení prorážení lze také použít skenery a analýzu obrazu. Digitální obrázky mohou poskytnout informace o celkovém prorážení a odhalit povrchovou strukturu papíru. Testovány byly papíry vyrobené z termomechanické buničiny (TMP), směsi TMP a recyklované buničiny (DIP). Plošná hmotnost těchto ar-

chů byla 47 g/m². Pro srovnání byly do hodnocení zahrnuty komerční papíry (30 % TMP, 70 % DIP a 50 % TMP, 50 % DIP) s plošnou hmotností 45 g/m². Vzorke byly potištěny pomocí tiskové jednotky *Prüfbau*. Průměrné prorážení bylo měřeno jako vzdálenost v prostoru $L^*a^*b^*$. Měření bylo prováděno 1 a 24 hodin po tisku. Mezi hodnotami prorážení vypočtenými z rovnice (2) a rovnice (4) existují určité rozdíly. Hodnoty prorážení podle rovnice (2) dávají očekávané výsledky, prorážení se po tisku s časem zvyšuje. Podle výsledků z rovnice (4) bylo prorážení po 1 hodině větší a klesalo po 24 hodinách. To může být způsobeno změnou barvy papíru v důsledku absorpce slabě nažloutlého oleje, které způsobí snížení složky b^* po 1 hodině a následné zvýšení po 24 hodinách. Zvyšující se složka b^* zmenšuje absolutní rozdíl mezi složkou b^* potištěného a nepotištěného papíru, což podle rovnice (4) snižuje celkové prorážení. Složka L^* klesá s časem po tisku v důsledku ztráty opacity po absorpci oleje, čímž je tisk viditelnější na zadní straně papíru. Pomocí skeneru byly získány reflexní snímky. Prorážení bylo vypočítáno s ohledem na průměrnou úroveň šedé stejných oblastí snímku před a po tisku [25] pomocí následující rovnice (5):

$${}_sPT = {}_uGL - {}_pGL \quad (5)$$

${}_sPT$ – prorážení tiskové barvy pomocí skeneru

GL – úroveň šedé (grey level)

u – nepotištěný papír (unprinted)

p – potištěný papír měřený ze zadní strany tisku (printed)

Metoda hodnocení prorážení pomocí skeneru je založena na rozdílu úrovní šedi skenovaných obrázků před a po tisku. Průměrné hodnoty úrovně šedé se po tisku snižují v důsledku většího prorážení. Vhodným nástrojem pro posouzení snížení úrovně šedé je histogram, za předpokladu, že distribuce úrovně šedé má normální rozdělení. Tvar distribuce se může lišit v závislosti na množství nečistot na povr-

chu papíru. Čím více je nečistot na povrchu, tím je distribuce nerovnoměrnější. Výsledky ukazují, že metoda založená na skeneru je vhodná pro předvídání vizuálního vnímání prorážení. Prorážení vypočtené z souřadnic $L^*a^*b^*$ má nejnižší predikční schopnost, ale může být vhodné pro kvantifikaci barevných změn ve vícebarevném tisku [25].

Mäkinen a kol. se ve své studii [28] zabývali hodnocením prorážení pomocí teorie barev. Vnímaný vzhled tisku závisí na světlosti, odstínu a sytosti. Standardy prorážení jsou založeny na hodnotě Y (světelný činitel odrazu), berou tedy v úvahu pouze světlost [viz rovnice (2)]. Metoda je založena na barvové odchylce $CIE94$ a je schopna velmi dobře předpovídat vnímanou opacitu papíru bez ohledu na barvu papíru i tisku. Tato metoda je také použitelná pro hodnocení prorážení. Pokud jsou hodnoceny barevné papíry a tisky, odrazivost již není konstanta, ale je funkcí vlnové délky. Ačkoli je hodnota světelného činitele odrazu Y dostatečná pro hodnocení bílých papírů a černobílého tisku, pro hodnocení barevných papírů a tisků by měl být zohledněn vliv odstínu a sytosti. Souřadnicový systém $CIE L^*a^*b^*$ a jeho barvová odchylka jsou vhodným základem pro definování metody prorážení. Barvová odchylka $CIE L^*a^*b^*$ však nebyla dostatečně uspokojivá, a proto byla použita barvová odchylka $CIE94$, která je definována jako:

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{k_H S_H}\right)^2} \quad (6)$$

ΔE_{94} – barvová odchylka $CIE94$

ΔL^* – chyba měrné světlosti

ΔC^*_{ab} – chyba měrné čistoty

ΔH^*_{ab} – chyba odstínu

k_L, k_C, k_H – váhové faktory

S_L, S_C, S_H – parametrické faktory

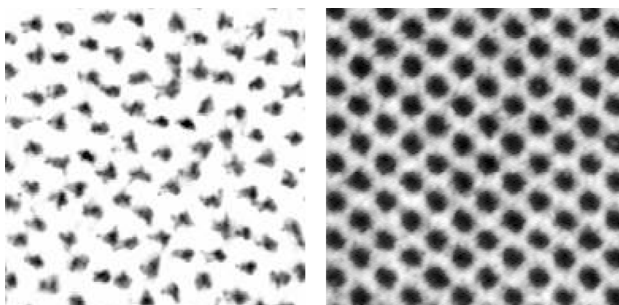
Ve studii [28] byla definována barvová odchylka ΔE_{94}^{OP} (OP označuje opacitu). ΔE_{94}^{OP} označuje barvovou odchylku mezi potištěnými a nepotištěnými oblastmi, pokud je pozorována prostřednictvím jednoho nepotištěného archu papíru. Barvová odchylka ΔE_{94}^{PT} (PT označuje tisk) označuje rozdíl mezi potištěnými a nepotištěnými oblastmi, pokud je pozorován ze zadní strany potištěného archu papíru. Na rozdíl od ΔE_{94}^{OP} , ΔE_{94}^{PT} závisí na penetraci barvy nebo jejích složek. Vliv penetrace barvy byl vyjádřen jako ΔE_{94}^{PEN} , představující rozdíl dvou barevných rozdílů – mezi barvovou odchylkou tisku a barvovou odchylkou opacity. Proporcionální vliv penetrace lze vyjádřit jako penetrační index PI :

$$PI = \frac{\Delta E_{94}^{PEN}}{\Delta E_{94}^{PT}} \quad (7)$$

V experimentu studie [28] bylo použito šest novinových papírů. Jeden papír byl bílý s plošnou hmotností 43 g/m² a pět bylo barevných s plošnou hmotností 45 g/m². Pro testování byly použity tři sady vzorků. První sada byla vytištěna pomocí čtyř coldset ofsetových barev (azurová, purpurová, žlutá, černá) na zařízení *Universal Testprinter*. Tato sada byla určena k posouzení vhodnosti standardní definice prorážení pro barevné papíry a tisky. Druhá sada vzorků byla vytištěna pomocí černé barvy na inkjetové tiskárně *HP Deskjet 3745*. U této sady se dala očekávat vysoká penetrace barvy, díky nízkoviskózní inkjetové barvě a poréznímu novinovému papíru. Třetí sada byla vytištěna pomocí černého toneru na laserové tiskárně *HP Laserjet 4050N*. V laserovém tisku není přítomna žádná nosná kapalina, proto by penetrace měla být minimální. Povrch vytištěných vzorků byl studován mikroskopem a skenerem. Ze snímku lze vidět, že body inkjetové tiskárny se ve srovnání s laserovou tiskárnou nepravidelně šíří na povrchu papíru (Obrázek 4).

Výsledky ukazují, že pro všechny studované vzorky bylo ΔE_{94}^{PT} vyšší než ΔE_{94}^{OP} . Pokud byla hodnota ΔE_{94}^{PT} větší, znamenalo to větší hodnotu prorážení. V případě inkjetové tiskárny hodnoty ΔE_{94}^{PT} silně závisí na tmavosti tisku a barvě papíru. U laserové tiskárny bylo ΔE_{94}^{PT} mírně vyšší než ΔE_{94}^{OP} , i když byla touto tiskárnou získána největší optická hustota ze všech tiskových metod použitých v této studii.

Index penetrace pro laserovou tiskárnu byl 0,09, pro inkjetovou tiskárnu 0,67 a pro *Univeral Testprinter* 0,33. Lze tedy tvrdit, že na prorážení prostřednictvím laserové tiskárny nemá penetrace téměř žádný vliv. U inkjetové tiskárny tvoří 67 % vnímaného prorážení penetrace barvy a 33 % opacita papíru. V případě *Universal Testprinter* je 33 % tvořeno penetrací barvy a 67 % opacitou papíru, která je zde rozhodujícím faktorem [28].



Obrázek 4: Povrch se 40% pokrytím vytištěné na bílý papír inkjetovou tiskárnou (vlevo) a laserovou tiskárnou (vpravo). Velikost zobrazené oblasti 2×2 mm, rozlišení skeneru 2 400 dpi.

2. Experimentální část

2.1 Experimentální materiály

2.1.1 Tenké tiskové papíry

Testováno bylo 15 druhů vzorků papírů dodané firmou OP papírna s.r.o. Všechny papíry měly plošnou hmotnost 40 g/m². Papíry OMP 1–4 a OPB 1–3 se lišily formací papíru.

1) Bollore	6) OMP 2	11) OPB 3
2) Burgo	7) OMP 3	12) OPB 400
3) COM	8) OMP 4	13) Tervakoski Thinbook 1
4) Köhler	9) OPB 1	14) Tervakoski Thinbook 2
5) OMP 1	10) OPB 2	15) Tervakoski PB

2.1.2 Tisková barva

Pro tisk všech vzorků byla použita testovací barva IGT *Set off ink* (404.520.068).

2.2 Experimentální zařízení

2.2.1 Zařízení pro měření drsnosti povrchu

Parker Print Surf M90 (Obrázek 5) měří drsnost různých druhů vzorků jako jsou různé typy papírů, kartony, lepenky, filmy, fólie. Příklad byl vyvinut podle metody Dr. Johna Parkera. Vzorek je umístěn mezi měřicí hlavou a podložkou. Součástí hlavy je prstenec, který při měření doléhá na vzorek. Mezi prstencem a povrchem vzorku proudí vzduch. Objem vzduchu, který prošel, je přístrojem přepočítán na délkový údaj v μm . Tento údaj vyjadřuje střední vzdálenost mezi povrchem vzorku a plochou prstence [29]. Zařízení bylo použito pro měření drsnosti vzorků.



Obrázek 5: Zařízení Parker Print Surf

2.2.2 Barevníková jednotka

Barevníková jednotka IGT *High Speed Inking Unit 4* (Obrázek 6) je vysokorychlostní jednotka s možností navalování až čtyř válců současně. Jednotka je vybavena dotykovým displejem, na kterém lze nastavovat čas rozvalování a navalování. Průhledný a nerezový kryt jednotky zabraňuje vlivu okolního prostředí. Při otevření krytu se aktivuje ventilátor, který odvádí výpary z barev či olejů z prostoru. Používá se pro testování při výrobě tiskových barev, testování papíru a lepenky, v chemickém průmyslu, pro testování laků a nátěrů a ve výzkumu [30]. Barevníková jednotka byla použita k rozválení nadávkovaného množství barvy.



Obrázek 6: Zařízení IGT High Speed Inking Unit 4

2.2.3 Pipeta pro dávkování barvy

Pipeta pro dávkování barvy IGT (Obrázek 7) slouží k nanášení barvy na rozvalovací válec barevníkové jednotky. Pipeta výrazně zvyšuje přesnost nanášení daného množství barvy, a tím zpřesňuje i výsledky testování [30]. Pipeta byla použita pro přesné dávkování barvy.



Obrázek 7: Pipeta pro dávkování barvy

2.2.4 Potiskovací zařízení

IGT Amsterdam 2 (Obrázek 8) nabízí jedinečnou simulaci podmínek tisku. Má integrovaný kamerový systém, který je schopen provádět analýzu obrazu. Testování může probíhat s konstantní, rostoucí nebo kombinovanou rychlostí. Tento přístroj lze použít pro provedení různých zkušebních metod, které lze rozšířit o metody definované uživatelem. Nastavení a zvolení metody se provádí s pomocí dotykového displeje [31, 32]. Zařízení bylo použito k potisknutí vzorků barvou.



Obrázek 8: Zařízení IGT Amsterdam 2

2.2.5 Spektrofotometr

X-Rite GretagMachbeth SpectroEye (Obrázek 9) je ruční přenosný spektrofotometr. K přesnému měření a kontrole barev slouží kolorimetrické funkce, které jsou spolu s denzitometrickými funkcemi potřebné k rychlému a snadnému sledování a kontrole procesu tisku. Jeho spektrální rozsah je 380–730 nm. Geometrie měření 0/45 [33]. Spektrofotometr byl použit pro měření optických hustot tisků.



Obrázek 9: Spektrofotometr *X-Rite GretagMachbeth SpectroEye*

UltraScan VIS HunterLab (Obrázek 10) je stolní spektrofotometr, který měří matné, průhledné či průsvitné pevné látky i kapaliny v rozsahu 360–780 nm. Používá se pro kontrolu barev, hodnocení hotových výrobků nebo kontrolu surových materiálů. Geometrie $d/8^\circ$ s automatickým zahrnutím či vyloučením zrcadlového odrazu [34]. Byl použit pro měření hodnot světelného činitele odrazu Y a hodnot $L^*a^*b^*$.



Obrázek 10: Spektrofotometr *UltraScan VIS HunterLab*

2.2.6 Mikroskop

Mikroskop *Mirazoom MZ902* (Obrázek 11) je kamera s mikroskopem. Umožňuje pozorovat zvětšené snímky a videa ve vysokém rozlišení. Optické zvětšení je minimálně 10× a maximálně 200×. Osvětlení představuje osm bílých LED světel. Obrázky a videa lze pomocí USB a softwaru snadno ukládat do paměti počítače. Mikroskop má pogumovaný povrch a lze jej upevnit na kovový stojan [35]. Mikroskop byl použit pro zaznamenání snímků spodní strany potištěných papírů.



Obrázek 11: Mikroskop Mirazoom MZ902

2.3 Experimentální metody a výsledky

2.3.1 Drsnost PPS

Měření bylo provedeno pomocí zařízení *Parker Print Surf*. Vzorky papírů byly proměřeny z obou stran. Každé měření bylo provedeno pětkrát na všech vzorcích. Průměrné hodnoty drsnosti jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Hodnoty drsnosti papírů ze sítové a lícové strany

Papír	Drsnost PPS [μm]	
	sítová strana	lícová strana
Bolloré	5,78	4,67
Burgo	6,12	5,83
COM	5,06	4,45
Köhler	5,59	4,25
OMP 1	5,99	5,53
OMP 2	4,91	4,34
OMP 3	5,08	4,34
OMP 4	4,79	4,41
OPB 1	4,66	3,99
OPB 2	4,39	3,96
OPB 3	4,62	3,96
OPB 400	4,63	4,06
Tervakoski Thinbook 1	5,56	4,12
Tervakoski Thinbook 2	5,94	4,43
Tervakoski PB	5,96	4,02

2.3.2 Příprava a tisk vzorků

Vzorky papírů byly připraveny o rozměru 55 × 297 mm. Od každého druhu papíru byly připraveny tři vzorky. Tisk byl proveden na zařízení IGT *Amsterdam 2* testovací barvou IGT *Set off ink*. Barva byla pomocí pipety dávkována na rozvalovací válec barevníkové jednotky. Pro tisk vzorků byl použit tiskový váleček s gumovým potahem o tvrdosti 85 Shore A. Použitý tiskový tlak byl 625 N a tisková rychlost 0,2 m/s.

Při potisku tenkých tiskových papírů vznikl problém s přenosem barvy. Polovina proužku papíru byla světlejší, což mohlo být způsobeno nedostatečným rozváláním barvy a krátkou dobou navalování barvy na tiskový váleček. Místo módu 2, který je doporučován v návodu *IGT Information leaflet W43/68* [22] byl tedy v rozvalovací jednotce nastaven nový mód s dobou rozvalování a navalování 40 s oproti původním 20 a 15 s. Problém při tisku tím byl odstraněn. Byly připraveny čtyři série vzorků, jejich odlišnosti budou popsány dále.

2.3.3 Stanovení prorážení tiskové barvy

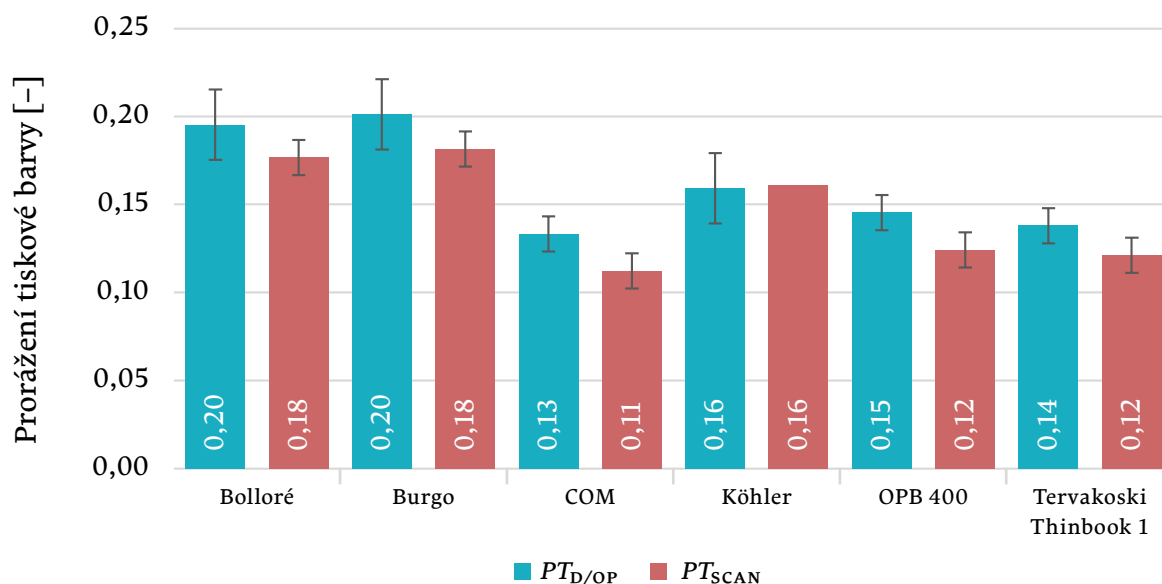
Testování prorážení tiskové barvy bylo provedeno za podmínek *IGT Information leaflet W43/68* [22]. Nejdříve byla testována první sada vzorků – Bolloré, Burgo, COM, Köhler, OPB 400, Tervakoski Thinbook 1. Tisk byl u těchto vzorků proveden na drsnější síťovou stranu s množstvím barvy $0,35 \text{ cm}^3$. Pět hodin po tisku byly na vzorcích změřeny hodnoty optické hustoty tisku pomocí spektrofotometru *X-Rite GretagMachbeth SpectroEye* (osvětlení $D_{50}/2^\circ$). Pro vyhodnocení prorážení byly změřeny hodnoty světelného činitele odrazu Y (za osvětlení $C/2^\circ$) na opacitní vrstvě papíru pomocí spektrofotometru *UltraScan VIS HunterLab*. V souladu s normou *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] byla stanovena hodnota prorážení tiskové barvy podle rovnice (2). Na spektrofotometru *X-Rite GretagMachbeth SpectroEye* (osvětlení $D_{50}/2^\circ$) byla změřena optická hustota spodní strany tisku na opacitní vrstvě papíru. Tyto hodnoty optických hustot vyjadřují prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$. Měření bylo provedeno na pěti místech každého vzorku. Získané průměrné hodnoty prorážení jsou uvedeny v Tabulce 4.

Na Obrázku 12 lze vidět porovnání metod stanovení prorážení tiskové barvy podle *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] a $PT_{D/OP}$. Nejnižší prorážení bylo dosaženo na papíru COM, poté Tervakoski Thinbook 1, OPB 400 a Köhler. Nejvyšších hodnot prorážení bylo dosaženo na papírech Burgo a Bolloré.

U papírů Köhler, Bolloré a Burgo byla optická hustota tisku při daném prorážení nižší (kolem 1,3), než u ostatních papírů. U papírů COM, OPB 400 a Tervakoski Thinbook 1 byla optická hustota při daném prorážení tiskové barvy nad 1,5, při nižším množství barvy se tedy dá předpokládat ještě nižší prorážení.

Tabulka 4: Hodnoty optické hustoty tisku a prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$

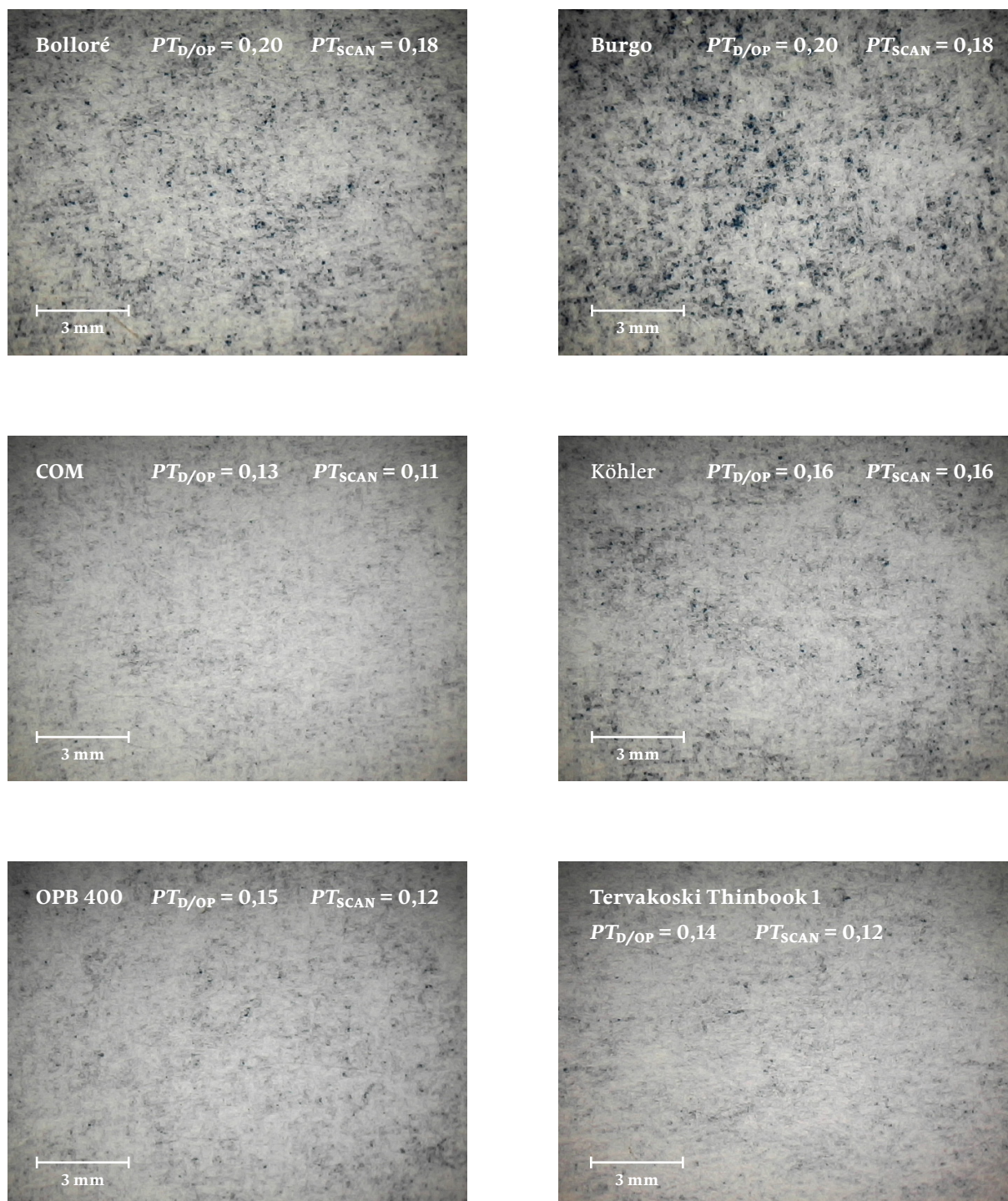
Papír	Optická hustota	Prorážení tiskové barvy [-]			
		PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{D/OP}$	sm. od.
Bolloré	1,34	0,18	0,01	0,20	0,02
Burgo	1,36	0,18	0,01	0,20	0,02
COM	1,55	0,11	0,01	0,13	0,01
Köhler	1,31	0,16	0,00	0,16	0,02
OPB 400	1,54	0,12	0,01	0,15	0,01
Tervakoski Thinbook 1	1,56	0,12	0,01	0,14	0,01



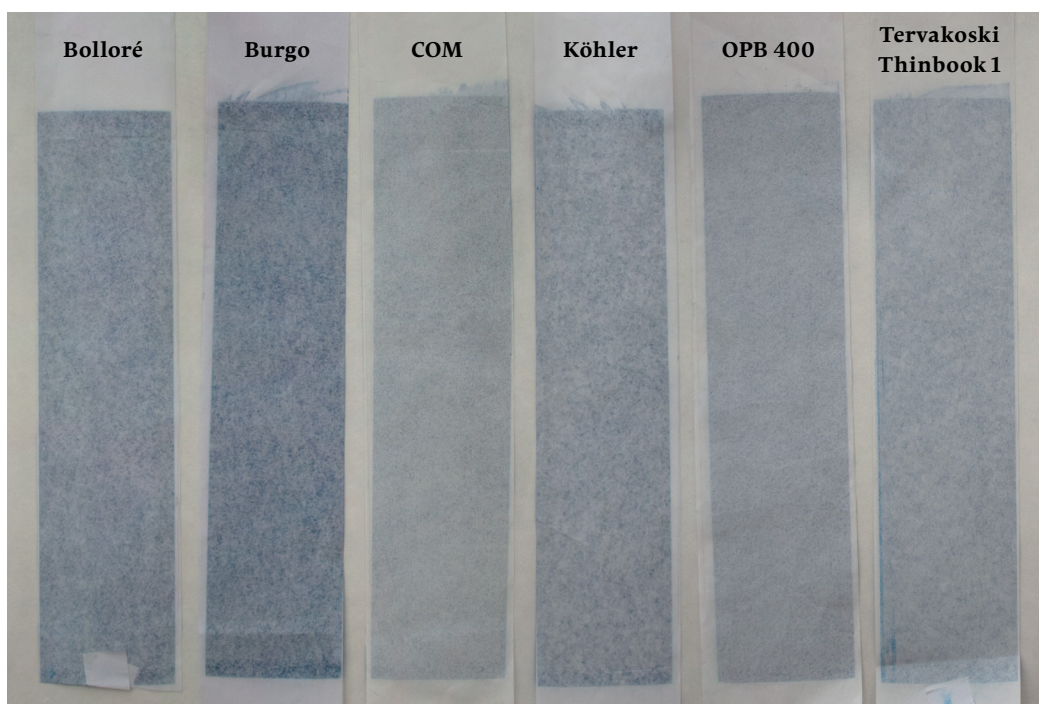
Obrázek 12: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$

Na Obrázku 13 lze vidět mikroskopické snímky povrchu spodní strany potištěných vzorků. Na Obrázku 14 jsou testované vzorky vyfotografované ze spodní strany tisku. Podle vizuálního hodnocení prorážení tiskové barvy lze vidět, že papír COM má nejnižší prorážení ze všech papírů. Nejvyšší prorážení je vidět u papíru Burgo. Poté podle vizuálního hodnocení sestupně Bolloré, Köhler, Tervakoski Thinbook 1 a OPB 400. Toto hodnocení koreluje s vypočtenými hodnotami prorážení tiskové

barvy, kromě papíru Tervakoski Thinbook 1 a OPB 400. Papír OPB 400 měl vyšší hodnotu prorážení než papír Tervakoski Thinbook 1, ale z vizuálního pozorování je papír OPB 400 lepší, což je v souladu i s mikroskopickými snímky. Rozdíly papírů jsou v rozmezí směrodatných odchylek.



Obrázek 13: Mikroskopické snímky testovaných papírů ze spodní strany tisku



Obrázek 14: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku

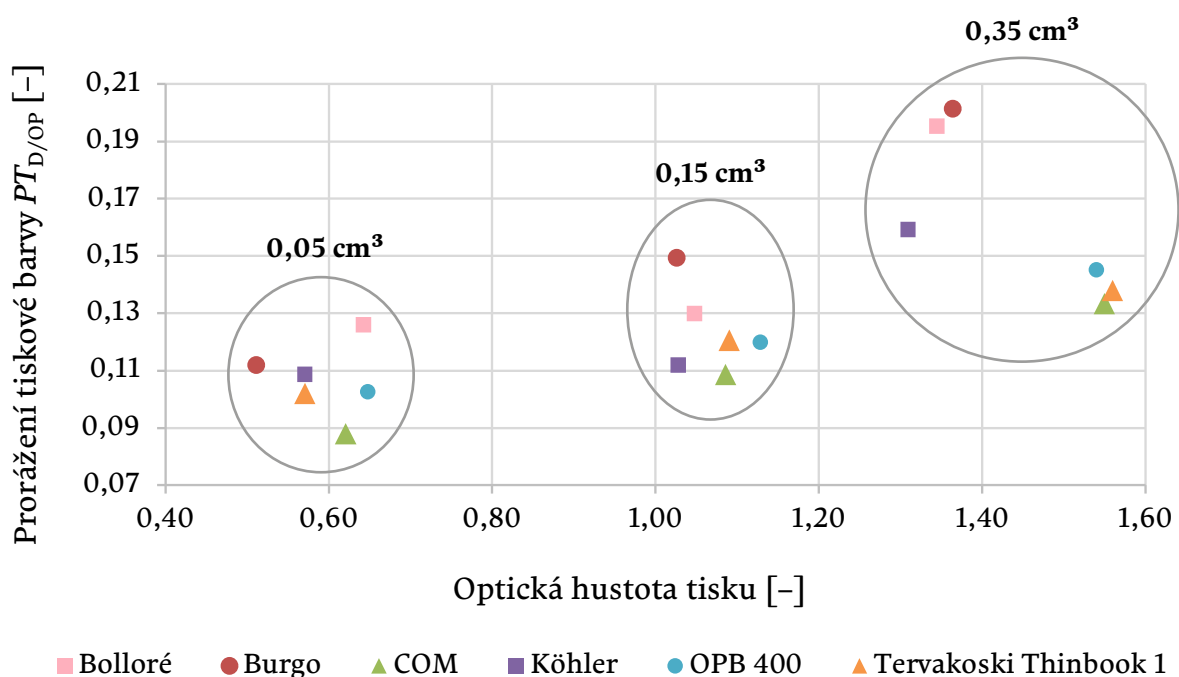
Další série testů byla provedena na stejných typech papírů (Bolloré, Burgo, COM, Köhler, OPB 400, Tervakoski Thinbook 1) s různým množstvím nanesené barvy (0,05 a 0,15 cm³). Tisk byl u všech vzorků proveden na síťovou stranu na potiskovacím zařízení *Amsterdam 2*. Pět hodin po tisku byly vzorky hodnoceny podle normy *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] měřením světelného činitele odrazu *Y* na opacitní vrstvě papíru pomocí spektrofotometru *UltraScan VIS HunterLab* (osvětlení *C/2°*). Následně byly stanoveny hodnoty prorážení tiskové barvy výpočtem podle rovnice (2) a měřením optické hustoty spodní strany tisku na opacitní vrstvě papíru pomocí spektrofotometru *X-Rite GretagMachbeth SpectroEye* (osvětlení *D₅₀/2°*). Měření bylo provedeno na pěti místech každého vzorku. Průměrné hodnoty prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ a PT_{SCAN} jsou uvedeny v Tabulce 5.

Ze získaných výsledků prorážení, papír COM vykazoval nejnižší hodnotu při všech nánosech tiskové barvy. Nejvyšší hodnoty prorážení tiskové barvy při všech nánosech barvy vykazovaly papíry Bolloré a Burgo (Obrázek 15). Nejvýraznější rozdíly v prorážení tiskové barvy byly při množství nanesené barvy 0,35 cm³ (Obrázek 12). Při tomto množství je nejvýraznější rozdíl mezi nejlepším a nejhorším papírem.

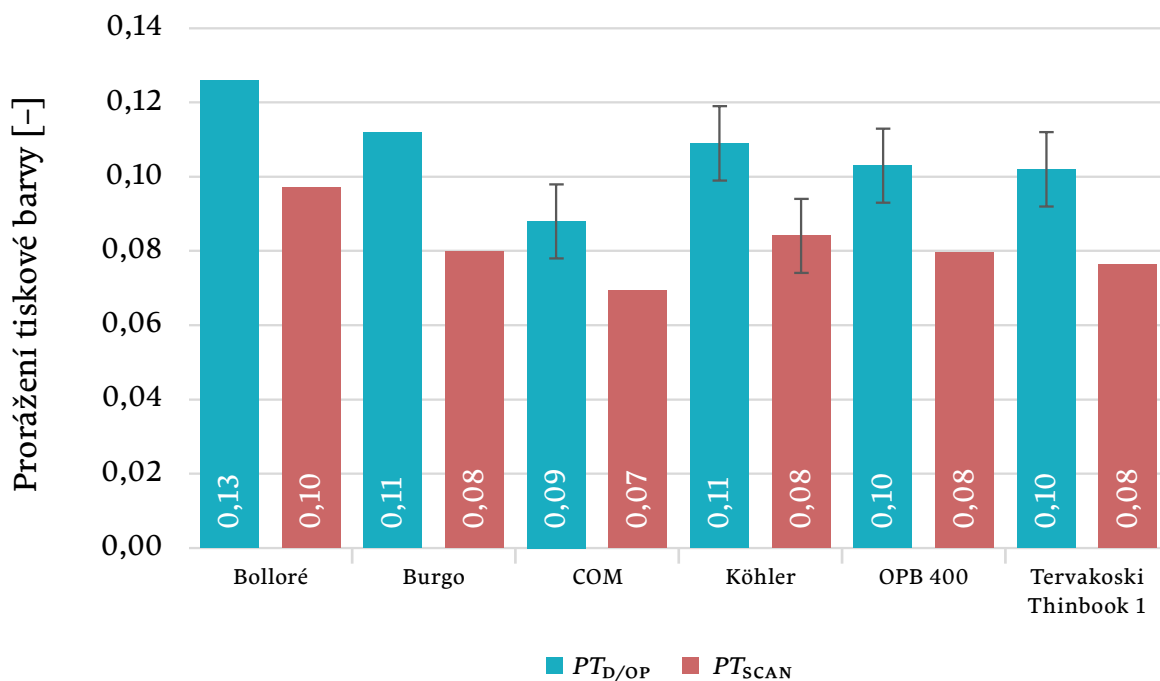
Tabulka 5: Porovnání prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ představující optickou hustotu spodní strany tisku a prorážení tiskové barvy v souladu s normou SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints při množství tiskové barvy 0,05 a 0,15 cm^3

Papír	Prorážení tiskové barvy [-] a optická hustota tisku [-]											
	0,05 cm^3						0,15 cm^3					
	D	sm. od.	PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{D/OP}$	sm. od.	D	sm. od.	PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{D/OP}$	sm. od.
Bolloré	0,64	0,04	0,10	0,00	0,13	0,00	1,05	0,01	0,14	0,01	0,13	0,03
Burgo	0,51	0,03	0,08	0,00	0,11	0,00	1,03	0,02	0,13	0,01	0,15	0,01
COM	0,62	0,01	0,07	0,00	0,09	0,01	1,09	0,01	0,09	0,01	0,11	0,00
Köhler	0,57	0,06	0,08	0,01	0,11	0,01	1,03	0,01	0,11	0,00	0,11	0,01
OPB 400	0,65	0,02	0,08	0,00	0,10	0,00	1,13	0,02	0,10	0,01	0,12	0,01
Tervakoski Thinbook 1	0,57	0,03	0,08	0,00	0,10	0,01	1,09	0,01	0,10	0,00	0,12	0,00

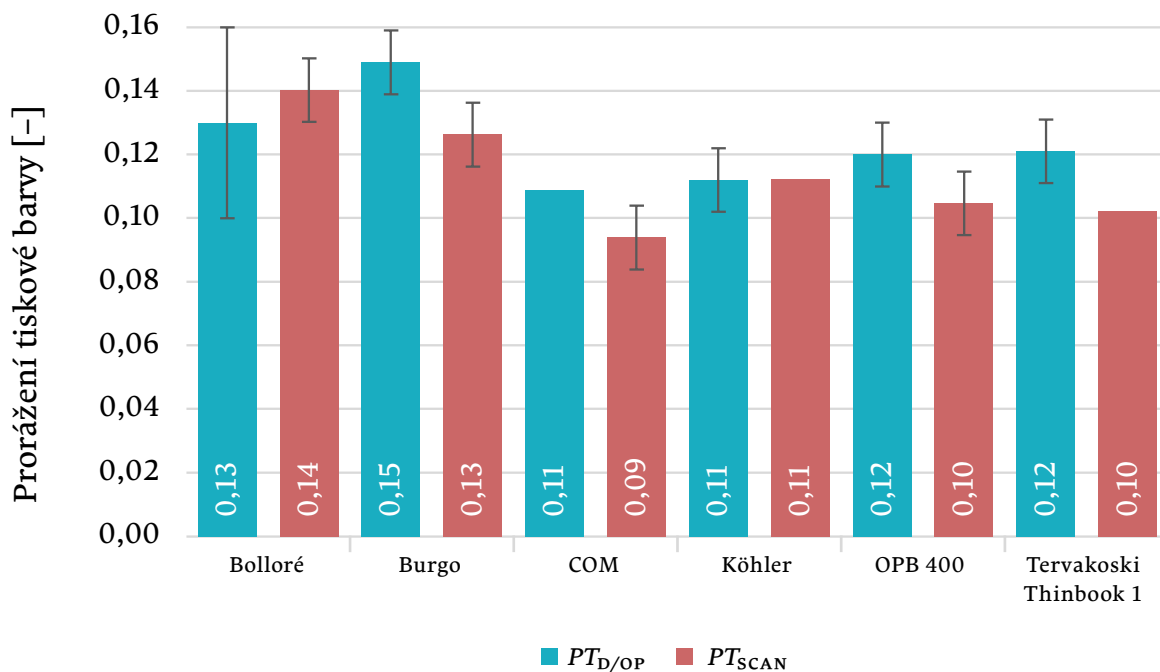
Se snižujícím se množstvím barvy se rozdíly mezi papíry snižují (Obrázek 16, 17). Rozdíly mezi ostatními papíry pak odpovídají směrodatným odchylkám. Hodnoty prorážení PT_{SCAN} byly téměř ve všech případech vyšší než hodnoty $PT_{D/OP}$. Jejich porovnání je v Tabulce 5. U nejnižšího nánosu tiskové barvy 0,05 cm^3 byly hodnoty prorážení PT_{SCAN} papírů stejné s výjimkou prvního COM a posledního Bolloré.



Obrázek 15: Závislost prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ na optické hustotě tisku

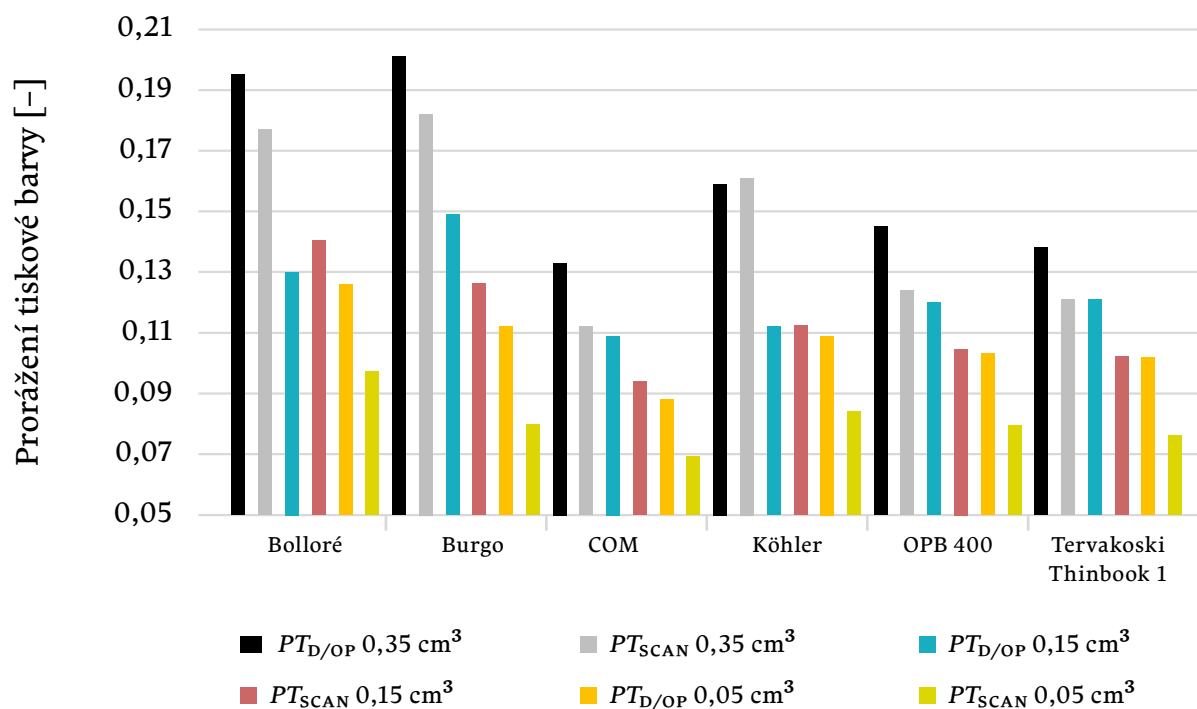


Obrázek 16: Porovnání prorázení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorázení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při množství nanesené tiskové barvy $0,05 \text{ cm}^3$



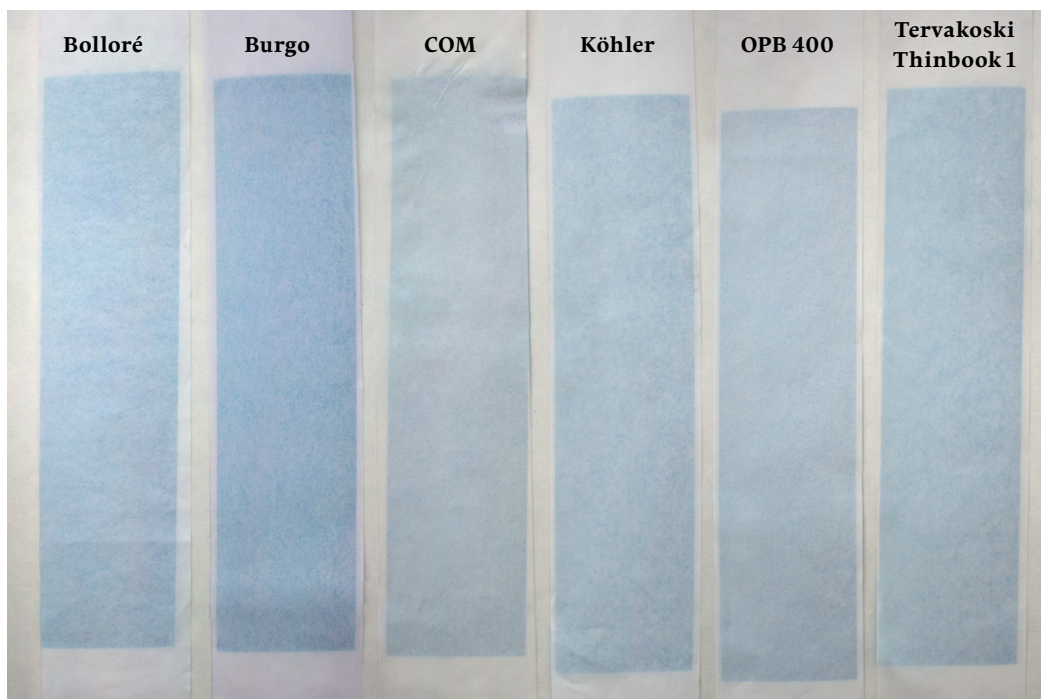
Obrázek 17: Porovnání prorázení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test a prorázení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při množství nanesené tiskové barvy $0,15 \text{ cm}^3$

Obrázek 18 obsahuje celkové porovnání hodnot prorážení tiskové barvy PT_{SCAN} a $PT_{D/OP}$ při všech množstvích nanesené tiskové barvy.

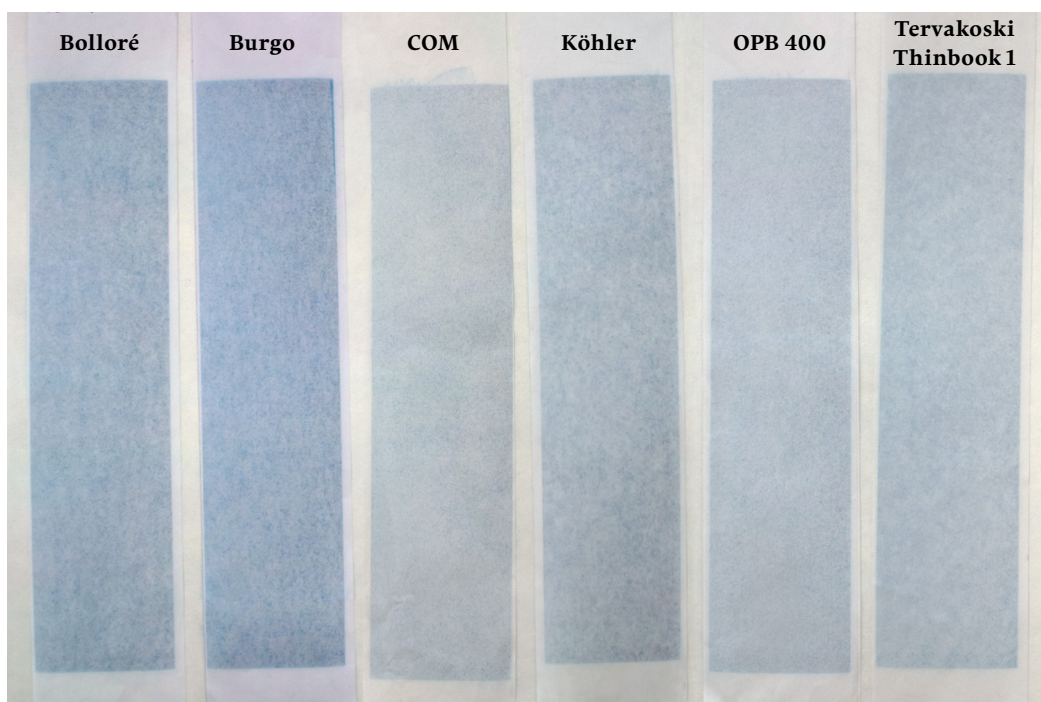


Obrázek 18: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/OP}$ při všech množstvích nanesené tiskové barvy

Na Obrázku 19 a 20 lze vidět vyfotografované spodní strany tisku při množstvích $0,05 \text{ cm}^3$ a $0,15 \text{ cm}^3$.

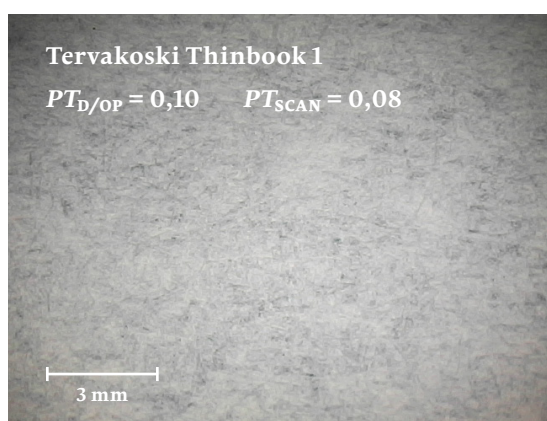
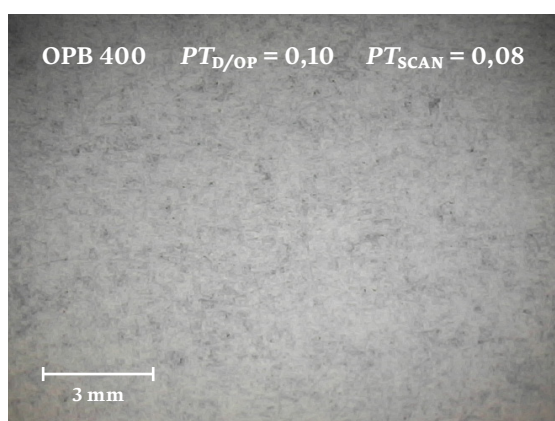
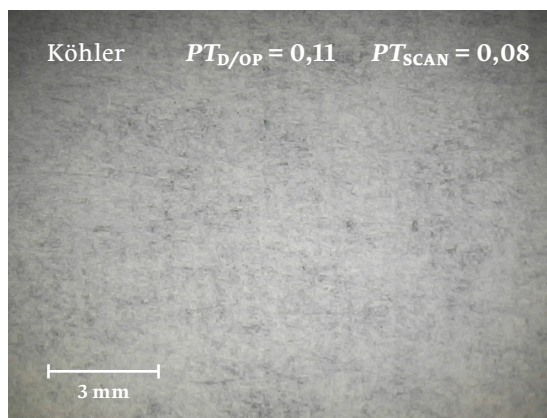
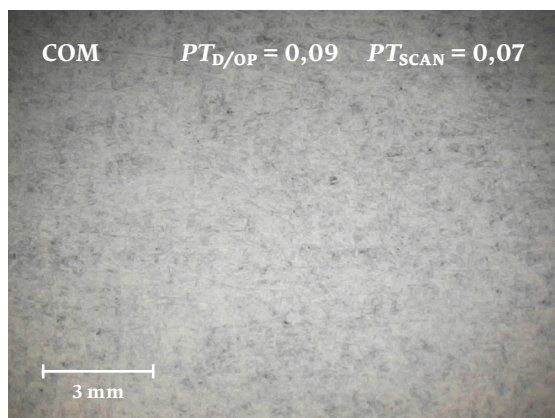
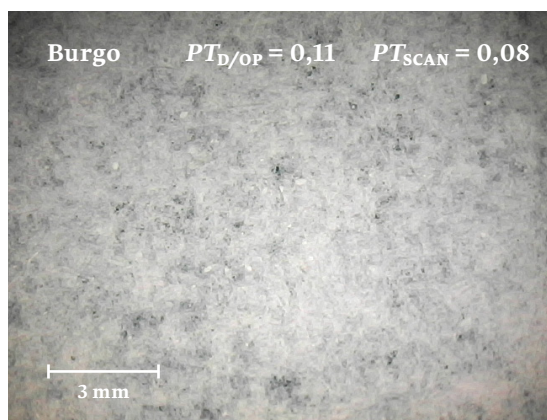
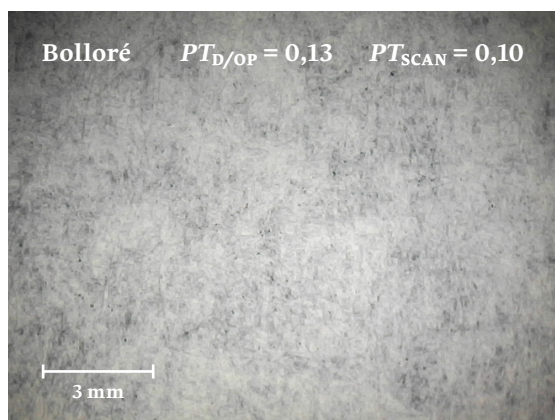


Obrázek 19: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,05 \text{ cm}^3$

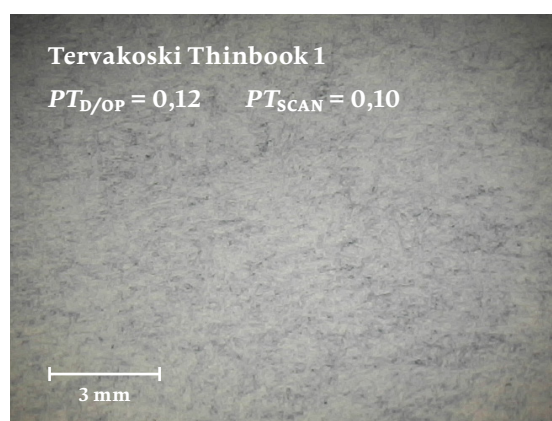
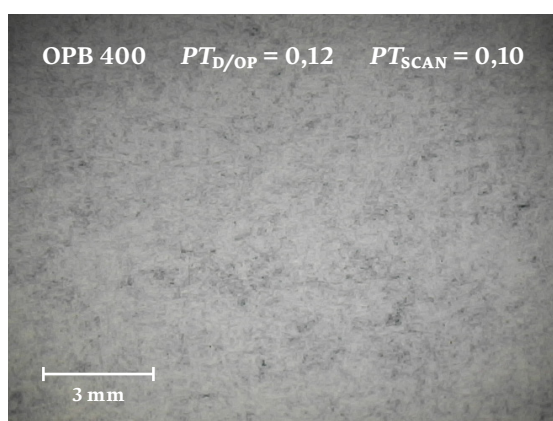
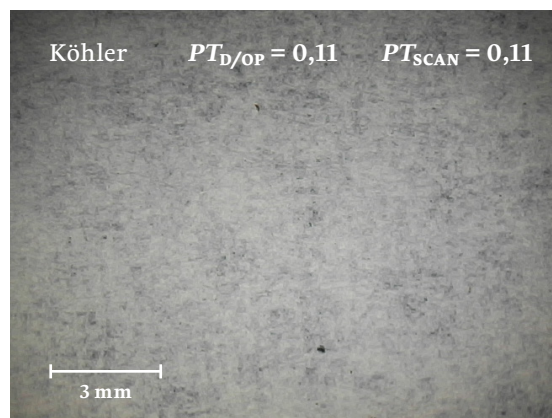
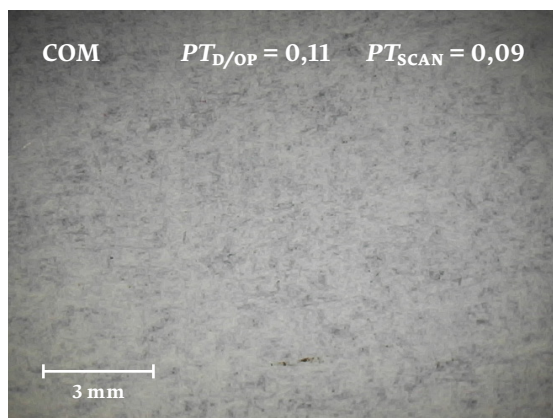
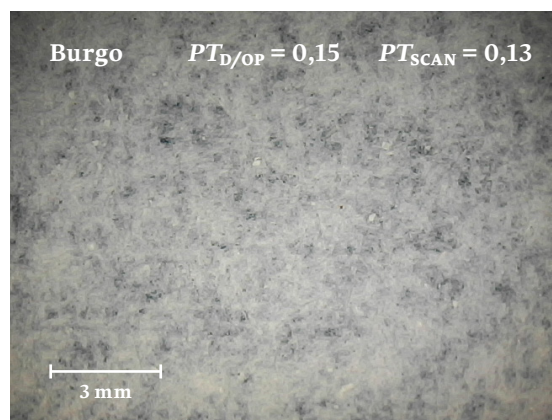
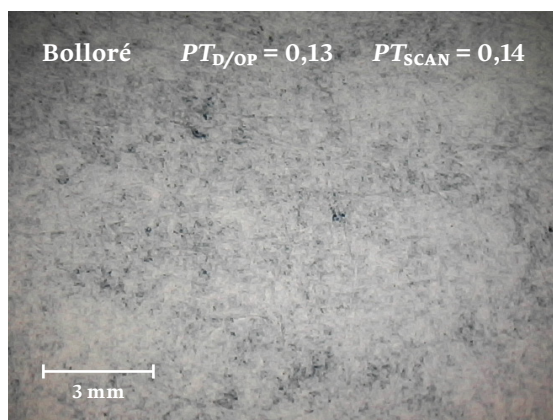


Obrázek 20: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,15 \text{ cm}^3$

Na obrázku 21 a 22 lze vidět mikroskopické snímky povrchu spodní strany potištěných vzorků při množství barvy $0,05 \text{ cm}^3$ a $0,15 \text{ cm}^3$.



Obrázek 21: Mikroskopické snímky spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,05 \text{ cm}^3$

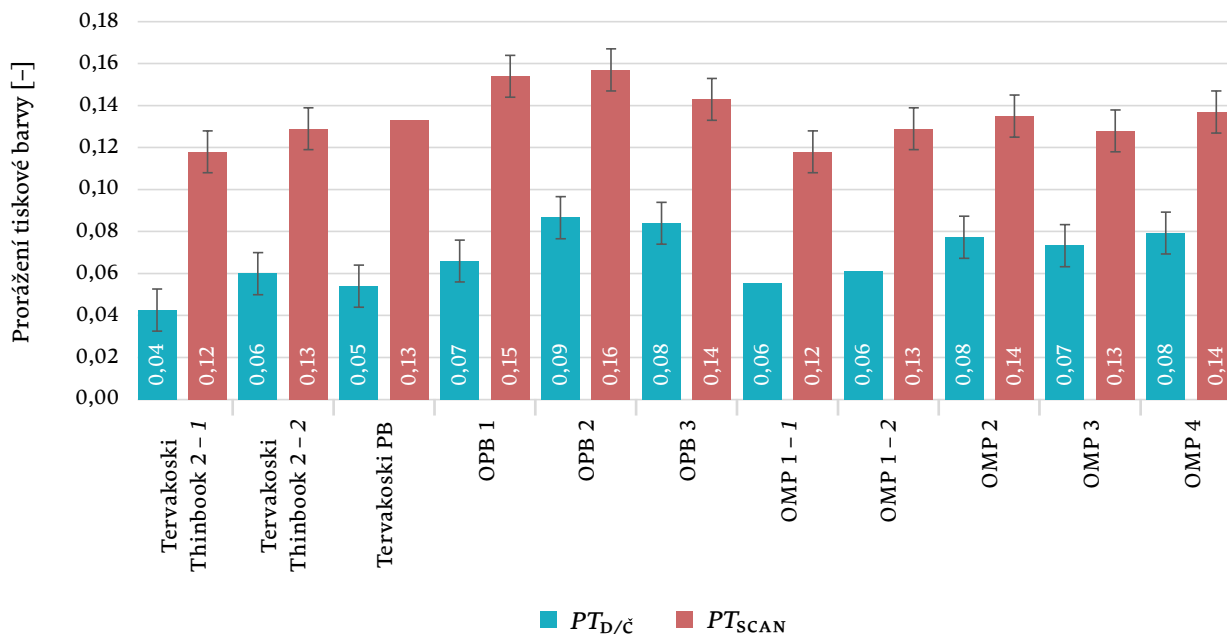


Obrázek 22: Mikroskopické snímky spodní strany tisku při množství tiskové barvy $0,15 \text{ cm}^3$

Dále bylo testováno devět vzorků papírů (Tervakoski Thinbook 2, Tervakoski PB, OPB 1, OPB 2, OPB 3, OMP1, OMP 2, OMP 3 a OMP 4). Vzorky byly potištěny z lícové strany. Papíry OMP 1 a Tervakoski Thinbook 2 byly potištěny z obou stran (sítová strana byla označena číslem 1 a lícová strana číslem 2). Papíry OPB a OMP se lišily formací měřenou na papírenském stroji. Pět hodin po tisku byly na vzorcích změřeny hodnoty optické hustoty tisku pomocí spektrofotometru *X-Rite GretagMacbeth SpectroEye* (osvětlení $D_{50}/2^{\circ}$), měřeno na opacitní vrstvě papíru. Spektrofotometrem *X-Rite GretagMacbeth SpectroEye* (osvětlení $D_{50}/2^{\circ}$) byly proměřeny optické hustoty spodní strany tisku, měřeno na černé podložce ($PT_{D/\check{c}}$). Spektrofotometrem *UltraScan VIS HunterLab* byly proměřeny hodnoty světelného činitele odrazu Y (osvětlení $C/2^{\circ}$). V souladu s normou *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] byly stanoveny hodnoty prorážení tiskové barvy podle rovnice (2). Všechna měření byla provedena pětikrát na každém vzorku. Uvedené výsledky jsou průměrné hodnoty měření (Tabulka 6, Obrázek 23).

Tabulka 6: Hodnoty optické hustoty tisku a prorážení tiskové barvy podle *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* a prorážení tiskové barvy $PT_{D/\check{c}}$

Papír	Optická hustota	sm. od.	Prorážení tiskové barvy [-]			
			PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{D/\check{c}}$	sm. od.
Tervakoski Thinbook 2 - 1	1,44	0,07	0,12	0,01	0,04	0,00
Tervakoski Thinbook 2 - 2	1,47	0,02	0,13	0,01	0,06	0,01
Tervakoski PB	1,52	0,01	0,13	0,00	0,06	0,01
OPB 1	1,41	0,01	0,15	0,01	0,07	0,01
OPB 2	1,42	0,00	0,16	0,01	0,08	0,01
OPB 3	1,48	0,04	0,14	0,01	0,09	0,01
OMP 1 - 1	1,41	0,01	0,12	0,01	0,07	0,01
OMP 1 - 2	1,38	0,01	0,13	0,01	0,06	0,00
OMP 2	1,41	0,02	0,13	0,01	0,08	0,01
OMP 3	1,42	0,02	0,13	0,01	0,07	0,00
OMP 4	1,39	0,01	0,14	0,01	0,07	0,00

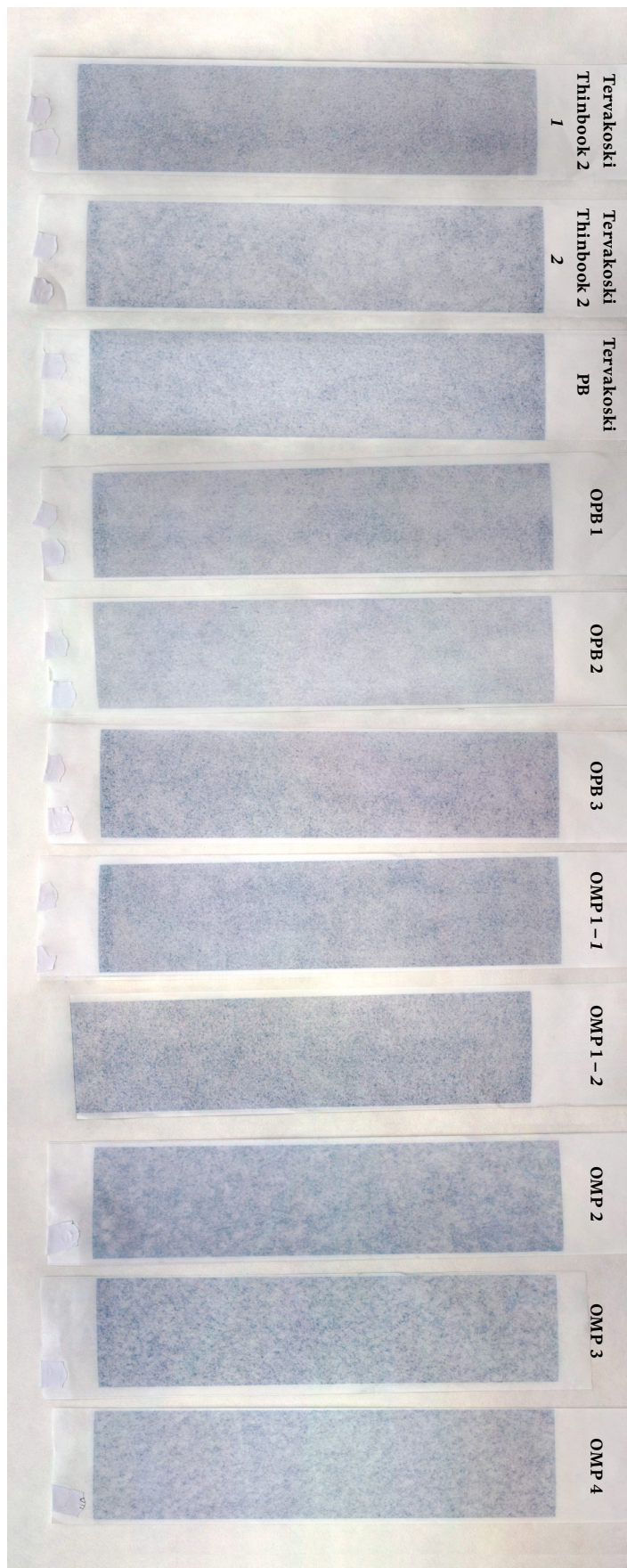


Obrázek 23: Porovnání prorážení tiskové barvy podle SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints a prorážení tiskové barvy $PT_{D/\check{c}}$

Nejnižší prorážení tiskové barvy bylo dosaženo na papíru Tervakoski Thinbook 2 při tisku na drsnější stranu. Nejvyšší hodnotu prorážení vykazoval papír OPB 2. Mezi hodnotami prorážení tiskové barvy stanovenými na základě měření optické hustoty spodní strany papíru a hodnotami stanovenými podle normy SCAN není výrazná korelace.

Na Obrázku 24 jsou spodní strany tisku všech papírů pro vizuální hodnocení prorážení tiskové barvy. Podle tohoto hodnocení nelze přesně říci, který papír je nejlepší či nejhorší. Rozdíly mezi papíry odpovídají směrodatným odchylkám a vizuálně je z důvodu značné podobnosti nelze hodnotit.

Z důvodu minimálních rozdílů v prorážení tiskové barvy vyjádřené PT_D a PT_{SCAN} mezi jednotlivými papíry, které většinou odpovídají směrodatné odchylce naměřených hodnot, byly provedeny další metody testování prorážení tiskové barvy.



Obrázek 24: Porovnání prorážení tiskové barvy testovaných papírů ze spodní strany tisku

Pro testování dalších metod byly vybrány tři papíry z předchozích měření. Papír OMP 1, který vykazoval nízké hodnoty prorážení, papír Bolloré, který vykazoval vysoké hodnoty prorážení a papír OPB 1, který vykazoval průměrné hodnoty prorážení tiskové barvy. Od každého papíru byly připraveny tři vzorky. Testování bylo provedeno v souladu s návodem *IGT Information leaflet W43/68* [22]. Dávkované množství barvy u všech vzorků bylo $0,35 \text{ cm}^3$. Hodnocení prorážení bylo provedeno po 5 a 24 hodinách podle normy *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] měřením světelného činitele odrazu Y , podle *IGT testing systems* [22] měřením měrné světlosti L^* a světelného činitele odrazu Y , podle Jing Liu [24] měřením optické hustoty spodní strany vzorku ΔD (respektive PT_D), podle Erikssen a Gregersen [26, 27] měřením vzdálenosti v barvovém prostoru $L^*a^*b^*$, podle Mäkinen a kol. [28] měřením vzdálenosti v prostoru $L^*a^*b^*$ a vypočtením barvové odchylky *CIE94*.

Pro hodnocení prorážení tiskové barvy podle *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] byl měřen světelný činitel odrazu Y pomocí spektrofotometru *UltraScan VIS HunterLab*. Měření bylo provedeno 5 a 24 hodin po tisku pětkrát na každém vzorku. Z naměřených hodnot bylo vypočteno prorážení tiskové barvy podle rovnice (2). Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty měření (Tabulka 7). Hodnoty prorážení tiskové barvy se po 24 hodinách mírně zvýšily u papíru OPB 1a Bolloré. U papíru OMP 1 byla hodnota prorážení neměnná.

Tabulka 7: Hodnoty prorážení tiskové barvy podle *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints*, měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-]			
	5 hodin po tisku		24 hodin po tisku	
	PT_{SCAN}	sm. od.	PT_{SCAN}	sm. od.
OMP 1	0,11	0,00	0,11	0,00
OPB 1	0,13	0,00	0,14	0,00
Bolloré	0,20	0,00	0,21	0,01

Hodnocení prorážení tiskové barvy podle IGT Testing Systems *Information leaflet W43/68* [22] bylo provedeno výpočtem z hodnot měrné světlosti L^* a světelného činitele odrazu Y . Prorážení tiskové barvy bylo vypočteno jako $(L^*_b/L^*_w) \times 100 \%$ a $(Y_b/Y_w) \times 100 \%$, kde b je spodní strana tisku na opacitní vrstvě papíru a w je opacitní vrstva nepotištěného papíru. Vyšší hodnota představuje nižší prorážení tiskové barvy. Měření bylo provedeno 5 a 24 hodin po tisku pětkrát na každém vzorku. Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty měření (Tabulka 8). Hodnoty prorážení tiskové barvy se po 24 hodinách mírně zvýšily u papíru OPB 1 a Bolloré. U papíru OMP 1 byla hodnota prorážení po 24 hodinách mírně nižší.

Tabulka 8: Hodnoty prorážení tiskové barvy podle IGT testing systems *Information leaflet W43/68*, měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [%]							
	5 hodin po tisku				24 hodin po tisku			
	$PT_{IGT} L^*$	sm. od.	$PT_{IGT} Y$	sm. od.	$PT_{IGT} L^*$	sm. od.	$PT_{IGT} Y$	sm. od.
OMP 1	90,50	0,34	77,57	0,74	90,52	0,15	77,60	0,33
OPB 1	88,55	0,24	73,35	0,49	88,32	0,19	72,87	0,40
Bolloré	83,10	0,20	62,58	0,38	82,25	0,48	61,00	0,89

Prorážení tiskové barvy podle Jing Liu [24] bylo počítáno z rozdílu optické hustoty spodní strany potištěného a nepotištěného papíru. Měření optických hustot bylo provedeno na černé podložce ($PT_{D/c}$) i opacitní vrstvě papíru ($PT_{D/OP}$). Měření byla optická hustota spodní strany nepotištěného papíru a spodní strana potištěného papíru pomocí spektrofotometru *X-Rite GretagMacbeth SpectroEye*. Hodnocení bylo provedeno 5 a 24 hodin po tisku pětkrát na každém vzorku. Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty měření (Tabulka 9).

Podle Eriksen a Gregersen [26, 27] je prorážení tiskové barvy vypočteno z hodnot $L^*a^*b^*$. Měřeny byly hodnoty $L^*a^*b^*$ spodní strany potištěného a nepotištěného papíru, pětkrát na každém vzorku. Hodnocení bylo provedeno 5 a 24 hodin po tisku. Prorážení tiskové barvy bylo vypočteno pomocí rovnice (4). Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty měření (Tabulka 10).

Tabulka 9: Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Jing Liu, měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-]							
	5 hodin po tisku				24 hodin po tisku			
	PT_D/ζ	sm. od.	PT_D/OP	sm. od.	PT_D/ζ	sm. od.	PT_D/OP	sm. od.
OMP 1	0,05	0,00	0,13	0,01	0,06	0,01	0,16	0,01
OPB 1	0,06	0,01	0,15	0,00	0,04	0,01	0,13	0,01
Bolloré	0,09	0,00	0,21	0,01	0,12	0,01	0,20	0,02

Tabulka 10: Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Eriksen a Gregersen, měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-]			
	5 hodin po tisku		24 hodin po tisku	
	$L^*a^*b^*$	sm. od.	$L^*a^*b^*$	sm. od.
OMP 1	9,46	0,33	9,43	0,14
OPB 1	11,34	0,25	11,55	0,19
Bolloré	16,42	0,21	17,24	0,48

Pro vyhodnocení prorážení tiskové barvy podle Mäkinen a kol. [28] byly měřeny hodnoty $L^*a^*b^*$ spodní strany potištěného a nepotištěného papíru na opacitní vrstvě papíru, pětkrát na každém vzorku. Z těchto hodnot byla pomocí rovnice (6) vypočítána barvová odchylka $CIE94$ (Tabulka 11) a následně pomocí rovnice (7) byl vypočítán penetrační index (Tabulka 12). Hodnocení bylo provedeno 5 a 24 hodin po tisku. Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty měření.

Tabulka 11: Hodnoty prorážení tiskové barvy podle Mäkinen a kol., měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-] vyjádřené jako ΔE_{94}							
	5 hodin po tisku		24 hodin po tisku		5 hodin po tisku		24 hodin po tisku	
	ΔE_{94}^{PT}	sm. od.	ΔE_{94}^{PT}	sm. od.	ΔE_{94}^{OP}	sm. od.	ΔE_{94}^{OP}	sm. od.
OMP 1	8,58	0,51	8,56	0,46	4,88	0,16	4,90	0,19
OPB 1	10,29	0,40	10,44	0,35	6,61	0,38	6,57	0,39
Bolloré	13,77	0,39	14,33	0,57	7,54	0,16	7,52	0,14

Tabulka 12: Hodnoty penetračního indexu podle Mäkinen a kol., měřeno 5 a 24 hodin po tisku

Papír	Penetrační index [-]			
	5 hodin po tisku		24 hodin po tisku	
	<i>PI</i>	sm. od.	<i>PI</i>	sm. od.
OMP 1	0,43	0,04	0,43	0,03
OPB 1	0,36	0,04	0,37	0,04
Bolloré	0,45	0,02	0,47	0,01

Tabulky 13–16 obsahují porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 5 a 24 hodin po tisku.

Tabulka 13: Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 5 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy									
	[-]		[-]		[-]		[%]		[%]	
	$PT_{D/c}$	sm. od.	$PT_{D/op}$	sm. od.	PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{IGT L}$	sm. od.	$PT_{IGT Y}$	sm. od.
OMP 1	0,05	0,00	0,13	0,01	0,11	0,00	90,50	0,34	77,57	0,74
OPB 1	0,06	0,01	0,15	0,00	0,13	0,00	88,55	0,24	73,35	0,49
Bolloré	0,09	0,00	0,21	0,01	0,20	0,00	83,10	0,20	62,58	0,38

Tabulka 14: Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 5 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-]					
	$L^*a^*b^*$	sm. od.	ΔE_{94}^{PT}	sm. od.	ΔE_{94}^{OP}	sm. od.
OMP 1	9,46	0,33	8,58	0,51	4,88	0,16
OPB 1	11,34	0,25	10,29	0,40	6,61	0,38
Bolloré	16,42	0,21	13,77	0,39	7,54	0,16

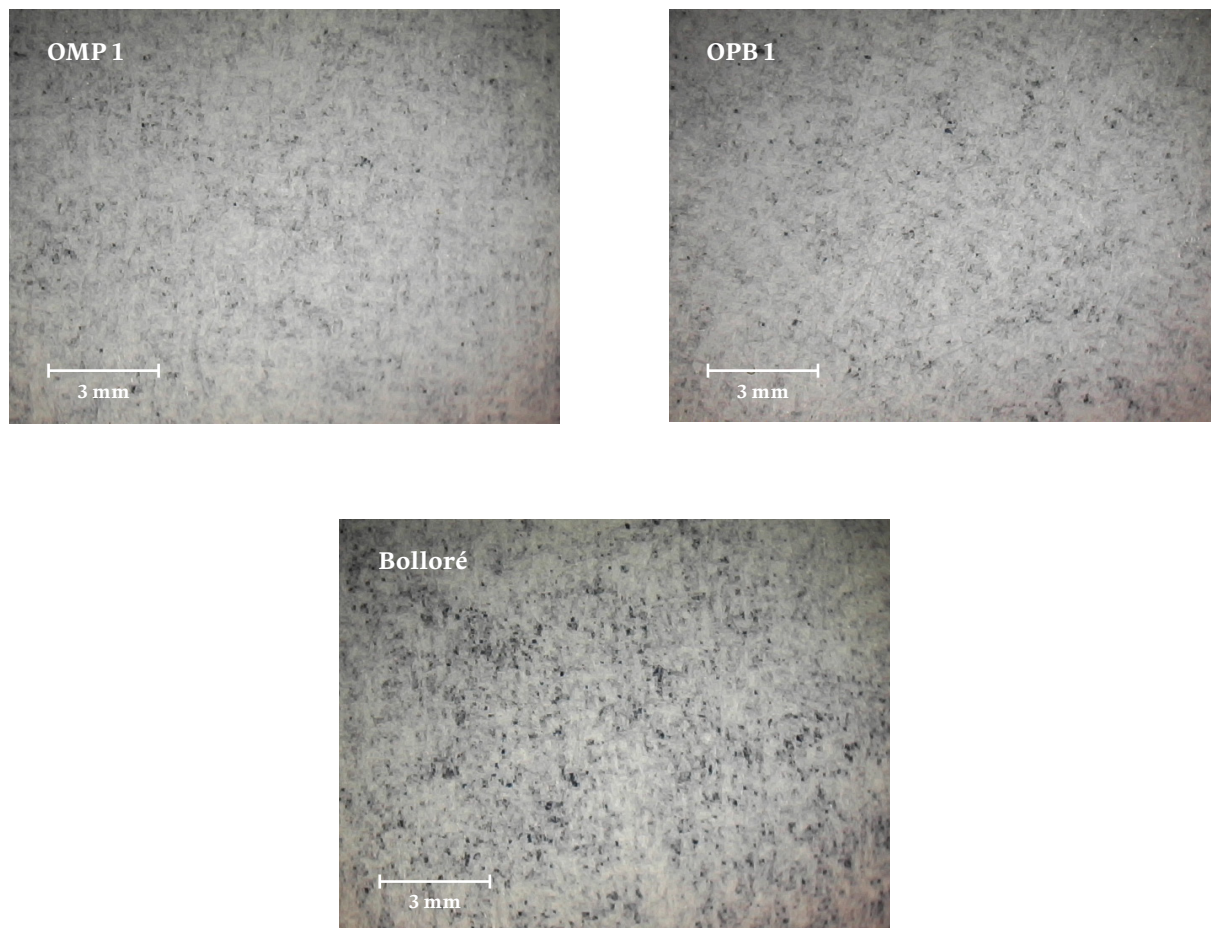
Tabulka 15: Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy									
	[-]		[-]		[-]		[%]		[%]	
	$PT_{D/\check{c}}$	sm. od.	$PT_{D/OP}$	sm. od.	PT_{SCAN}	sm. od.	$PT_{IGT L^*}$	sm. od.	$PT_{IGT Y}$	sm. od.
OMP 1	0,06	0,01	0,13	0,01	0,11	0,00	90,52	0,15	77,60	0,33
OPB 1	0,04	0,01	0,16	0,01	0,14	0,00	88,32	0,19	72,87	0,40
Bolloré	0,12	0,01	0,20	0,02	0,21	0,01	82,25	0,48	61,00	0,89

Tabulka 16: Porovnání hodnot metod testování prorážení tiskové barvy, měřeno 24 hodin po tisku

Papír	Prorážení tiskové barvy [-]					
	$L^*a^*b^*$	sm. od.	ΔE_{94}^{PT}	sm. od.	ΔE_{94}^{OP}	sm. od.
OMP 1	9,43	0,14	8,56	0,46	4,90	0,19
OPB 1	11,55	0,19	10,44	0,35	6,57	0,39
Bolloré	17,24	0,48	14,33	0,57	7,52	0,14

Na Obrázku 25 lze vidět mikroskopické snímky povrchu spodní strany potištěných vzorků OMP 1, OPB 1 a Bolloré.



Obrázek 25: Mikroskopické snímky spodní strany tisku papíru OMP 1, OPB 1 a Bolloré

3. Závěr

Diplomová práce byla řešena ve spolupráci s firmou OP papírna s.r.o., která vyrábí tenké tiskové papíry. Důležitým parametrem kvality tisku těchto papírů je prorážení tiskové barvy. Pro jeho stanovení existují v současné době dva standardy, z nichž každý předepisuje odlišné podmínky pro provedení testu prorážení tiskové barvy. Liší se jak ve způsobu přípravy tiskových vzorků, tak ve způsobu vyhodnocení prorážení tiskové barvy. Vedle těchto dvou standardů existuje několik odborných studií, které se zabývají problematikou hodnocení prorážení tiskové barvy.

Cílem práce bylo ověřit metodiku testování prorážení tiskové barvy na různých typech tenkých tiskových papírů a porovnat různé metody testování. K tomuto účelu bylo dodáno 15 typů papírů o plošné hmotnosti 40 g/m^2 s označením: Bolloré, Burgo, Köhler, COM, OMP 1, OMP 2, OMP 3, OMP 4, OPB 1, OPB 2, OPB 3, OPB 400, Tervakoski Thinbook 1 a 2, Tervakoski PB.

V experimentální části byly provedeny čtyři série testování prorážení tiskové barvy. Všechny tiskové vzorky byly připraveny v souladu s normou *IGT Information leaflet W43/68* [22].

V první sérii byly testovány papíry Bolloré, Burgo, COM, Köhler, OPB 400 a Tervakoski Thinbook 1. Prorážení tiskové barvy bylo hodnoceno v souladu s normou *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] (PT_{SCAN}) měřením světelného činitele odrazu spodní strany tisku a opacitní vrstvy papíru. Dále bylo prorážení hodnoceno jako optická hustota spodní strany tisku, měření bylo provedeno na opacitní vrstvě papíru ($PT_{\text{D/OP}}$). Nejnižší hodnotu prorážení tiskové barvy v této sérii měl papír COM. Nejvyšších hodnot prorážení bylo dosaženo na papírech Burgo a Bolloré. Hodnoty PT_{SCAN} byly na všech typech papírů nižší než hodnoty $PT_{\text{D/OP}}$ s výjimkou papíru Köhler, kde byly hodnoty prorážení PT_{SCAN} a $PT_{\text{D/OP}}$ stejné. Rozdíly v hodnotách prorážení tiskové barvy stanovených těmito dvěma metodami se pro jednotlivé papíry často pohybují v rozsahu směrodatné odchylky naměřených hodnot, nejsou tedy relevantní pro posouzení rozdílu v prorážení tiskové barvy mezi jednotlivými papíry. Z vizuálního hodnocení je patrné nejvyšší prorážení tiskové barvy na papíru Burgo a nejnižší na papíru COM.

Druhá série testování byla provedena se stejnými typy papírů, ale množství tiskové barvy bylo místo normou předepsaných $0,35 \text{ cm}^3$ sníženo na $0,05$ a $0,15 \text{ cm}^3$. Vyhodnocení bylo provedeno stejným způsobem jako u předchozí série. Stejně jako u předchozí série i zde vykazoval nejnižší hodnoty prorážení tiskové barvy papír COM a nejvyšší hodnoty papíry Bolloré a Burgo. Hodnoty PT_{SCAN} byly na všech typech papíru nižší než hodnoty $PT_{\text{D/OP}}$ s výjimkou papíru Köhler při nánosu barvy $0,15 \text{ cm}^3$, kde byly hodnoty prorážení PT_{SCAN} a $PT_{\text{D/OP}}$ stejné, a papíru Bolloré při stejném nánosu barvy, kdy byla hodnota PT_{SCAN} vyšší než hodnota $PT_{\text{D/OP}}$. S nižším nánosem tiskové barvy se rozdíly v prorážení tiskové barvy mezi jednotlivými papíry snižovaly, většinou se pohybovaly v rámci směrodatné odchylky naměřených hodnot, takže jejich relevantnost pro posouzení rozdílu v prorážení tiskové barvy mezi jednotlivými papíry je ještě menší než v případě množství barvy $0,35 \text{ cm}^3$. Vizualní hodnocení spodní strany papíru i při nižších nánosech barvy potvrzuje nejvyšší prorážení na papíru Burgo, případně Bolloré, a nejnižší prorážení na papíru COM.

Ve třetí sérii bylo testováno devět druhů papíru: Tervakoski Thinbook 2, Tervakoski PB, OMP 1–4, OPB 1–3. Prorážení tiskové barvy bylo hodnoceno v souladu s normou *SCAN-P 36:02 Evaluation of test prints* [10] (PT_{SCAN}) a jako optická hustota spodní strany tisku, přičemž měření bylo provedeno na černé podložce ($PT_{\text{D/č}}$). Nejnižšího prorážení tiskové barvy bylo dosaženo na papíru Tervakoski Thinbook 2 při tisku na síťovou stranu. Nejvyšší hodnoty prorážení vykazoval papír OPB 2. Hodnoty PT_{SCAN} byly na všech typech papírů výrazně vyšší než hodnoty $PT_{\text{D/č}}$. I v tomto případě se rozdíly v hodnotách prorážení tiskové barvy pohybovaly v rámci směrodatných odchylek naměřených hodnot, přestože z vizuálního hodnocení jsou patrné rozdíly v prorážení tiskové barvy na jednotlivých papírech.

Z důvodu nevhodnosti metod PT_{SCAN} a PT_{D} k vyjádření rozdílu v prorážení tiskové barvy mezi podobnými typy tenkých tiskových papírů bylo provedeno další testování v souladu s metodikou *IGT Information leaflet W43/68* [22] a podle dalších metod vycházejících z různých odborných studií zaměřených na testování prorážení tiskové barvy (podle Eriksen a Gregersen [26, 27], Mäkinen [28]). Jing Liu ve své práci [24] používal metodu prorážení tiskové barvy založenou

na stanovení optické hustoty spodní strany tisku (PT_D), která byla použita už v předchozím hodnocení. Pro porovnání jednotlivých metod hodnocení bylo zopakováno i hodnocení podle PT_{SCAN} . Vzhledem k tomu, že různé standardy předepisují hodnocení prorážení tiskové barvy v různých dobách po tisku (SCAN-P 36:02 *Evaluation of test prints* [10] 24 hodin po tisku, IGT *Information leaflet W43/68* [22] 5 hodin po tisku) byly všechny metody hodnocení provedeny jak po 5 tak po 24 hodinách.

Čtvrtá série testování byla provedena na vybraných typech papírů: papír OMP 1 vykazoval v předchozích testech nízké hodnoty prorážení, papír OPB 1 střední a papír Bolloré vysoké hodnoty prorážení tiskové barvy. U těchto typů papírů byly při použití všech metod pro jednotlivé typy papíru naměřeny hodnoty prorážení tiskové barvy, mezi kterými byl zřetelný rozdíl, který výrazně převyšoval směrodatné odchylky naměřených hodnot. Přestože číselné hodnoty prorážení tiskové barvy se u jednotlivých metod liší, existuje korelace mezi hodnotami naměřenými jednotlivými metodami. Metoda hodnocení podle IGT *Information leaflet W43/68* [22] dává nelogické výsledky, jelikož vyšší vypočtená hodnota odpovídá nižšímu prorážení tiskové barvy. Stanovení penetračního indexu nedává hodnoty, které by korelovaly s hodnotami prorážení tiskové barvy. Rozdíly v hodnocení prorážení tiskové barvy po 5 a 24 hodinách byly minimální nebo žádné.

Z výsledků vyplývá, že jedná-li se o tenké tiskové papíry s výrazněji odlišným příjmem tiskové barvy, pro hodnocení prorážení tiskové barvy a porovnání jednotlivých papírů jsou stejně vhodné všechny testované metody. V případě papírů, které jsou si z hlediska příjmu barvy velmi podobné, metody PT_{SCAN} a PT_D neposkytují relevantní výsledky pro porovnání těchto papírů z hlediska prorážení tiskové barvy. Další metody nebyly z důvodu časových možností diplomové práce na podobných typech tenkých tiskových papírů odzkoušeny.

Pro praxi by z hlediska jednoduchosti a dostupnosti měřicího zařízení byla nejvhodnější metoda testování PT_D , která však, jak je uvedeno výše, nemusí vždy poskytnout relevantní hodnoty. Dále je potřeba při použití této metody zohlednit podmínky měření, co se týče podložky pod měřeným vzorkem. Výsledky měření $PT_{D/OP}$ a $PT_{D/č}$ se výrazně liší.

Seznam literatury

- [1] Svobodová, A. *Povrchové vlastnosti tenkých tiskových papírů*, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, KPF, FChT, Pardubice 2012.
- [2] Wilkeová, H. *Prorážení tiskové barvy na tenkých tiskových papírech*, Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, KPF, FChT, Pardubice 2017.
- [3] DE GRACE, J. H. *The print-through propensity of newsprint*, Journal of Pulp and Paper Science, 1993, 19 (5) s. 208–213.
- [4] PAULER, N.; BRISTOW, J. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1994, 9(4), s. 226–231. ISSN 0283-2631.
- [5] EADIE, D.; DURAND, R.; FORD, P. a kol. *Ink and paper effects on show through in white knock out directory printing*[C]. Proceedings of International Printing and Graphic Arts Conference 1998, s. 193–198.
- [6] ERIKSEN, O.; GREGERSEN, O. W. *The influence of ink oil on print-through*. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2007, 22 (3), s. 364–370.
- [7] YANG, Y; LIU, F. *Preliminary Study on the Print-through Standard of Offset Printing*. Advanced Materials Research, 2011, s. 332–334, s. 1812–1815. ISSN 1662-8985.
- [8] HOC, M. *Print-through in multicolour printing*. STFI-Packforsk Report No 187, NRP 28, 2005, s. 35.
- [9] BRISTOW, J. A. *Print-through and ink penetration – a mathematical treatment*. Advanced Printing Science and Technology, London: W. H. Banks edition, Pentech press, 1988, 19, s. 137–145.
- [10] Paper and board. *SCAN-P 36:02, Evaluation of test prints*. Stockholm: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, 2002, s. 3.
- [11] CHINGA-CARRASCO, G.; AASAROD, O.; LEINSVANG, B.; BOUVENG, M.; JOHANSSON, P. A. *Structural effects on print-through and set-off*. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2012, 27 (3), s. 596–603.
- [12] H. U. Heintze. *The impact of formation on print-through measurement*. TAPPI Proceeding–Process & Product Quality Conference, 1997, s. 83–86.
- [13] DICKSON, A.R.; DOOLEY, N.J.; SLOANE, C.M. *The print-through of newsprint with different sheet structures*. 59th Appita Annual Conference and Exhibition, Auckland, New Zealand, 2005, 1, Paper3B32, s. 275–278.
- [14] PERNG, Y.-S.; WANG, E. I.-CH.; HSIA, Y.-J.; TSAI, S.-H. *Effect of different filler combination with talc and calcium carbonate on paper properties/printability*. Cellulose Chemistry and Technology, 2015, 49 (5–6), s. 511–516.

- [15] ALLAN, G. Paper for 21 st century. *Paper Age*, 1995, 1, s. 10–15.
- [16] KUMAR, P.; NEGI, Y. S.; SINGH, S. P. *Offset printing behavior of bagasse and hardwood paper sheets loaded by in-situ precipitation*. *BioResources*, 2011, 6 (1), s. 207–218.
- [17] OTHMAN, R.; ZAKARIA, S.; CHIA, CH.; ZURIYATI, A.; ISA, N. *Mechanical and Optical Properties of CaCO₃ Lumen-Loaded Paper: Effect of Polyethylenimine and Alum*. 2010, 39(3), s. 435–439.
- [18] Aydemir, C.; Yenidoğan, S.; Karademir, A.; Kandirmaz, E. A. *The examination of vegetable and mineral oil-based inks' effects on print quality: Green printing effects with different oils*. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 2018, 16 (3), s. 137–143.
- [19] Ying, L.; Beihai, H. *Characterization of ink pigment penetration an distribution related to surface topography of paper using confocal lase scanning microscopy [online]*. *BioResources*, 2011, 6 (3), s. 2690–2702 [cit. 2021-6-25].
Dostupné z: journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2280800018764761.
- [20] Ren'ai, L.; Yan Z.; Yunfeng C.; Zhulan L. *Ink Penetration of Uncoated Inkjet Paper and Impact on Printing Quality*. *BioResources*. 2015, 10 (4), s. 8135–8147.
- [21] Krainer S.; Saes L.; Hirn U. *Predicting inkjet dot spreading and print through from liquid penetration- and picoliter contact angle measurement [online]*. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2020 [cit. 2021-6-25].
Dostupné z: [doi org/10.1515/npprj-2019-0088](https://doi.org/10.1515/npprj-2019-0088).
- [22] IGT Testing Systems. *IGT Information leaflet W43/68-AMS. Print Through*, IGT Amsterdam 1/2/5/6, Version June 2017.
- [23] Newsprint. *SCAN-P 87:02, Test printing*. Stockholm: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, 2002.
- [24] LIU, J. *Establishment of the Print-through Forecasting Model Based on the Optical Density Difference and Its Application*. Beijing Academy of Printing & Packaging Industrial Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing, China, 2013, s. 291–294, s. 2727–2730.
- [25] CHINGA, G.; ERIKSEN, Ø.; EILERTSEN, M. *On the Suitability of Desktop Scanners for Assessing Print-Through*. *Journal of pulp and paper science*, 2007, 33 (3).
- [26] ERIKSEN, Ø; GREGERSEN, Ø. W. *The Influence of Ink Pigment Penetration and Paper Structure on Print Through*. *Nordic Pulp Paper Res. J.* 2005, 20(2), s. 234–238.
- [27] ERIKSEN, Ø.; GREGERSEN, Ø. W. *The Influence of Ink Oil on Print Through*. *Nordic Pulp Paper Res. J.* 2007, 22(3), s. 364–370.

- [28] Mäkinen, M. O. A.; Jääskeläinen, T.; Parkkinen, J. *Evaluation of print-through with color theory*. TAPPI Coating and Graphic Arts Conference, 2007.
- [29] Testing machines, Inc. *Parker Print Surf* [online]. © 2018 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: www.testingmachines.com/pdf/58-06-parker-print-surf.pdf
- [30] IGT testing systems. *IGT High Speed Inking Unit 4* [online]. © 2019 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: www.igt.com.sg/resources/content/files/HSIU-4%20A3_ENG%20pages_LR.pdf
- [31] IGT Testing systems. *IGT Amsterdam 2* [online]. © 2021 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: www.igt.nl/product/amsterdam-2
- [32] Tendering Physical testing. *IGT Amsterdam 2* [online]. © 2021 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: tendringphysicaltesting.com/product/igt-amsterdam-2-printability-tester
- [33] Lettero. *X-Rite SpectroEye* [online]. © 2019 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: lettero.com.pl/en/color-control/measuring-devices-x-rite/x-rite-spectroeye
- [34] Hunter Associates Laboratory, Inc. *Spektrofotometr UltraScan VIS* [online]. © 2021 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: www.hunterlab.com/solutions/color-measurement/ultra-scan-vis
- [35] Allegro Archiv. *Wl Mirazoom MZ902 Digital microscope 9Mpx USB, LED* [online]. © 2021 [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: archiwum.allegro.pl/oferta/cyfrowy-mikroskop-wl-mirazoom-mz902-9mpx-usb-led-i7523364354.html